UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

INFLUÊNCIA DO TRANSPORTE LARVAR NOS PROCESSOS DE RECRUTAMENTO DE CIRRIPÉDIOS NA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO, RJ BRASIL.

JULIO CESAR QUINTANILHA PERES DOS SANTOS

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor. Área de Concentração: Ecologia Marinha.

Orientador: Dr. Ricardo Coutinho
Co-orientador: Dra. Fernanda Siviero

Niterói, RJ
Março de 2020

INFLUÊNCIA DO TRANSPORTE LARVAR NOS PROCESSOS DE RECRUTAMENTO DE CIRRIPÉDIOS NA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO, RJ BRASIL.

JULIO CESAR QUINTANILHA PERES DOS SANTOS

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor.

BANCA EXAMINADORA

_____
Dr. Ricardo Coutinho (UFF/IEAPM)

_____
Dr. José Eduardo Arruda Gonçalves (Universidade Estácio de Sá)

_____
Dr. Lohengrin Fernandes (IEAPM)

_____
Dr. Bernardo Antônio Perez da Gama (UFF)

_____
Dra. Luciana Vicente Resende de Messano (Fundep/Vallourec)

Niterói, RJ
Março de 2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S237i Santos, Julio Cesar Quintanilha Peres dos
INFLUÊNCIA DO TRANSPORTE LARVAR NOS PROCESSOS DE RECRUTAMENTO DE CIRRIPÉDIOS NA REGIÃO DE RESSURGÊNCIA DE CABO FRIO, RJ BRASIL. / Julio Cesar Quintanilha Peres dos Santos ; Ricardo Coutinho, orientador ; Fernanda Neves Siviero, coorientadora. Niterói, 2020.
121 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

DOI: http://dx.doi.org/10.22409/PPGDOT .2020.d.11890547794

1. Cirripédios. 2. Ressurgência. 3. Taxa de Recrutamento. 4. Suprimento larvar. 5. Produção intelectual. I. Coutinho, Ricardo, orientador. II. Siviero, Fernanda Neves, coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Sandra Lopes Coelho - CRB7/3389

À minha esposa, Ana Polycarpa, por ser incansável no apoio e incentivo.

Agradecimentos

Ao meu querido orientador, Ricardo Coutinho, pelos incentivos e confiança depositada em mim e pela disponibilidade e ensinamentos. À minha co-orientadora. Fernanda Neves Siviero, pela atenção e puxões de orelhas, que não foram poucos.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e apoio financeiro durante a execução do projeto.

À toda Divisão de Biotecnologia Marinha do IEAPM, aos que participaram diretamente ou indiretamente e contribuíram para a construção desse trabalho. Um agradecimento especial à Fabián que esteve em mais de cinquenta porcento das coletas de trabalho. Aos amigos Lucas Castelo Branco, Kassuga, Julio Monteiro, Rafael Menezes, Fred e Paula, Ellen, Carol, Zé Bola, Fábio e Lucas, Érica Sardela, CASOP-Arraial pessoas que estavam sempre dispostas ajudar nas saídas de campo, sem vocês várias coletas não teriam acontecido. Á minha querida e amada esposa, Ana Polycarpa, sem vocês teria sido muito difícil.

Ao grupo de trabalho do professor Sérgio Navarret, em especial, Nicolas Weidberg e Jessica Bonicelli que me ajudaram e me ensinaram muito.

A secretária mais incrível e competente desse mundo, Glauce, que sempre ajudou em inúmeros momentos e pela sua torcida do início ao fim dessa caminhada.

Meus agradecimentos a todos aqueles que participaram de alguma forma deste trabalho, entre eles: Maria Helena, Jurema, Wandinha, Lu Brito, Lu Altivater, Lohengrin. Desculpe-me se esqueci alguém, pois foram muitas as ajudas e sem a ajuda e boa vontade de todos não teria sido possível a realização deste trabalho.

Ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM, Marinha do Brasil) pelo apoio logístico. Ao pessoal da garagem, pelas idas e vindas ao Pontal do Atalaia. A todo pessoal do Laboratório de Química do IEAPM.

À minha mãe, que mesmo não entendendo nada do meu trabalho, sempre me apoiou de todas as formas possíveis.

Aos meus amigos de Araruama, Diogo Coutinho, Moisés Marinho, Lins, Rozana, André, Wander Bruno, Natã Rahhal, que sempre vibraram e vibram com as minhas conquistas.

"Enquanto eles capitalizam a realidade, eu socializo meus sonhos."
Sérgio Vaz

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito e a frequência dos eventos de ressurgência nos processos de suprimento e recrutamento de cirripédios de duas espécies *Chthamalus bisinuatus* (Pilsbry, 1916) e *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818)*;* e um gênero *Megabalanus* que compreende um complexo de três espécies: *Megabalanus coccopoma* (Darwin, 1854), *Megabalanus tintinnabulum* (Linnaeus, 1758) *e Megabalanus vesiculosus* (Darwin, 1854). Cirripédios são um grupo de organismos sésseis que apresentam um estágio larvar pelágico e outro bentônico em seu ciclo de vida. A produção de larvas, o transporte e suprimento larvar são processos que podem influenciar as populações bentônicas, aumentando assim, a complexidade da dinâmica do recrutamento. O estudo foi conduzido em uma região com influência de eventos de ressurgência do Cabo Frio, em áreas costeiras de Arraial do Cabo (Forno= FO, UTM 23K 806798.11mE, 7457151.44mS; Porcos= PO, 24K 193041.95mE, 7457088.36mS; Ponta da Cabeça= PC, UTM 23K 804005.08mE, 7455970.80mS; Sonar= SO, 23K 805768.03mE, 7454688.60mS), Saquarema (UTM 23K 756810.25mE, 7461393.36mS) e Niterói (UTM 23K 695150.07mE, 7460227.97mS), que possuem a capacidade de influenciar os padrões de transporte e suprimento larvar, recrutamento e produção de larvas de cirripédios. A nossa hipótese de trabalho foi que os eventos de ressurgência, não ressurgência e o vento na região influenciam os períodos de recrutamento e suprimento larvar das espécies de cirripédios dominantes da região entremarés. Nossos resultados, mostraram diferenças espaciais no recrutamento para ambientes com maior e menor frequência nos eventos de ressurgência. Ambientes com maior frequência da ressurgência apresentaram maior taxa de recrutamento e suprimento larvar de cípris para o período estudado. Além disso, foi possível observar a influência negativa de ventos do quadrante NE, causando a diminuição do suprimento larvar, enquanto que ventos do quadrante S-SO foram correlacionados positivamente com o aumento da disponibilidade de larvas. Nosso estudo também mostrou de forma específica o efeito da variação dos eventos de ressurgência na taxa de recrutamento, influenciado pela intermitência do evento de ressurgência, causando mudança nos períodos dos picos de recrutamento (em um comparativo interanual) de espécies do entremarés da região estudada. Nossos dados mostraram que o fator vento é uma variável importante para compreender sobre o suprimento e recrutamento de cirripédios do entremarés dos costões rochosos nessa região.

Palavras-chave: Cirripédios; Ressurgência; Taxa de Recrutamento; Suprimento larvar; Fator Vento.

Abstract

This study aimed to evaluate the effect and frequency of upwelling events in the supply processes and recruitment of two species barnacles *Chthamalus bisinuatus* (Pilsbry, 1916) and *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818); and a *Megabalanus* genus that comprises a complex of three species: *Megabalanus coccopoma* (Darwin, 1854), *Megabalanus tintinnabulum* (Linnaeus, 1758) and *Megabalanus vesiculosus* (Darwin, 1854). Barnacles are a group of sessile organisms that have a pelagic larval stage and other benthic in their life cycle. The production of larvae, transport and larval supply are processes that can influence benthic populations, thus increasing the complexity of recruitment dynamics. The study was conducted in a region with influence of upwelling events of Cabo Frio, in coastal areas of Arraial do Cabo (Forno= FO, UTM 23K 806798.11mE, 7457151.44mS; Porcos= PO, 24K 193041.95mE, 7457088.36mS; Ponta da Cabeça= PC, UTM 23K 804005.08mE, 7455970.80mS; Sonar= SO, 23K 805768.03mE, 7454688.60mS), Saquarema (UTM 23K 756810.25mE, 7461393.36mS) e Niterói (UTM 23K 695150.07mE, 7460227.97mS), which have the ability to influence larval transport and supply patterns, recruitment and larvae production of barnacles. Our working hypothesis was that the events of upwelling, non-upwelling and the wind in the region influence the periods of recruitment and larval supply of the dominant barnacle's species in the intertidal zone. Our results showed differences in the recruitment space for environments with higher and lower frequency in upwelling events. Environments with higher frequency of upwelling presented higher rate of recruitment and supply of larval cypris in the period studied. Moreover, it was possible to observe the negative influence of winds from the NE quadrant, causing a decrease in the larval supply, while winds from the S-SO quadrant were positively correlated with increased larval availability. Our study also specifically showed the effect of variation in upwelling events on the recruitment rate, influenced by the intermittency of the upwelling event, causing change in peak recruitment periods (in an interannual comparison) of intertidal species in the region studied. Our date showed that the wind factor is an important variable to understand about the supply and recruitment of barnacles from intertidal rocky shore in that region.

Key words: Barnacles; Upwelling; Recruitment rate; Larval supply; Wind Factor.

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL 14

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 21

CAPÍTULO 1 - VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO RECRUTAMENTO DE CIRRIPÉDIOS EM LOCAIS COM FREQUÊNCIA DISTINTA DO ENVENTO DE RESSURGÊNCIA 25

1. INTRODUÇÃO 26

2. MATERIAIS E MÉTODOS 29

2.1 Dados Ambientais 30

2.2 Dados Meteorológicas 31

2.3 Recrutamento 32

2.4 Suprimento larvar 34

2.5 Análise dos Dados 35

3. RESULTADOS 37

3.1 Clorofila-*a* 37

3.2 Temperatura da Água 38

3.3 Suprimento Larvar 40

3.4 Recrutamento 44

3.4.1 Médiolitoral superior 44

3.4.2 Médiolitoral Intermediário 45

3.4.3 Franja do Infralitoral 47

4.5 Fator Meteorológico 49

3.5 Correlação da taxa de recrutamento com o fator vento 50

4. DISCUSSÃO 55

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 60

CAPÍTULO 2 - DISTRIBUIÇÂO ESPACIAL E TEMPORAL DAS LARVAS DE CIRRIPÉDIOS EM COSTÕES DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO-RJ 65

1. INTRODUÇÃO 66

2. MATERIAIS E MÉTODOS 70

2.1 Área de estudo 70

2.2 Dados Ambientais 72

2.2 Dados Meteorológicos 72

2.3 Análise dos dados 72

3. RESULTADOS 74

3.1 Clorofila-*a* por Satélite 74

3.2 Temperatura da água obtida por imagem de Satélite 75

3.3 Concentração de Larvas 77

3.4 Condições meteorológicas e suprimento larvar 80

3.5 Correlação Cruzada Suprimento larvar 82

4. DISCUSSÃO 84

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 88

CAPÍTULO 3 - AVALIAÇÃO SAZONAL INTERANUAL DO RECRUTAMENTO DE CIRRIPÉDIOS EM AMBIENTE COM RESSURGÊNCIA 94

1. INTRODUÇÃO 95

2. MATERIAIS E MÉTODOS 99

2.1 Locais de coleta 99

2.2 Dados Ambientais 101

2.3 Recrutamento 101

2.4 Análise de dados 103

3. RESULTADOS 104

3.1 Clorofila-*a* por Satélite 104

3.2 Temperatura da água dos períodos 2012-2013 a 2015-2016 105

3.4 Comparação das taxas de recrutamento 2012-2013 a 2015-2016 107

4. DISCUSSÃO 111

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 115

CONCLUSÕES 120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A – Costão rochoso de Arraial do Cabo; B – Faixa de *C. bisinuatus*; C – Faixa de *T. stalactifera*; D – Faixa *Megabalanus spp*..... 19

Figura 2: Mapa da região de Arraial do Cabo. Círculos vermelhos representam os pontos de amostragem. Pontos dentro da baía dos Anjos, FO= Forno e PO= Porcos e pontos do lado externo do Pontal do Atalaia, PC= Ponta da Cabeça e SO= Sonar. 30

Figura 3: Faixa de dominância para cada espécie, onde as estruturas foram instaladas e fixadas com parafuso de aço inox. 33

Figura 4: Aspecto geral dos recrutas de cirripédios 33

Figura 5: Coletas feitas com auxílio de uma motobomba para o suprimento larvar com volume mínimo final de 350 litros por amostra. 35

Figura 6: Concentração de clorofila-*a* nos 4 pontos amostrais nos períodos mensais. Pontos da parte interna da Baía dos Anjos: FO= Forno e PO = Porcos e pontos da parte externa da ilha de Cabo Frio: PC= Ponta da Cabeça e SO= Sonar..... 39

Figura 7: Temperaturas da água dos locais amostrados. A - Ponta da Cabeça = Maior influência dos eventos de ressurgência. B - Baía dos Anjos = Menor influência dos eventos de ressurgência. 39

Figura 8: Concentração total das larvas no estágio náuplio (quadrado) e cípris (triângulo) nos 4 pontos amostrais, ao longo do período junho/2015 a abril/2016. Pontos da parte externa da Ilha do Cabo Frio: PC= Ponta da Cabeça e SO= Sonar e pontos da parte interna da Baía dos Anjos: FO= Forno e PO = Porcos. Barra de erro representa o erro padrão..... 42

Figura 9: Concentração das larvas no estágio náuplio (quadrado) e cípris (triângulo) nos 4 pontos amostrais, ao longo do período julho/2015 a abril/2016 com amostragens mensais. Pontos da parte externa à Ilha do Cabo Frio: PC= Ponta da Cabeça e SO= Sonar e pontos da parte interna da Baía dos Anjos: FO= Forno e PO = Porcos. Barra de erro representa o erro padrão. Nota: O ponto PC está em escala diferente para náuplios e FO e PO estão em escala diferentes para cípris..... 43

Figura 10: Taxa de recrutamento da espécie *C. bisinuatus* dos 4 pontos amostrais. Colunas: médias de indivíduos/dia e Barras: desvio padrão 45

Figura 11: Taxa de recrutamento da espécie *T. stalactifera* dos 4 pontos amostrais. Colunas: médias de indivíduos/dia e Barras de erro: desvio padrão. 46

Figura 12: Taxa de recrutamento da espécie *Megabalanus* ssp. dos 4 pontos amostrais. Colunas: médias e Barras de erro: desvio padrão. Nota: PC e SO em escala diferente. 48

Figura 13: Frequência da direção e velocidade dos ventos durante o experimento e por estação do ano.do vento. 50

Figura 14: Mapa das regiões de estudo no estado do Rio de Janeiro e seus respectivos pontos. A = Arraial do Cabo, B = Saquarema, C = Jaconé e D= Niterói. 71

Figura 15: Concentração de clorofila-*a*, obtida por satélite, dos 4 pontos amostrados nos períodos entre 20/07/2018 à 24/09/2018. 76

Figura 16: Temperatura diária da água, obtida por satélite, dos 4 pontos amostrados nos períodos entre 20/07/2018 à 24/09/2018. 76

Figura 17: Concentração de Náuplios/m^3 nos 4 pontos amostrais. Colunas: médias e Barras de erro: desvio padrão. Nota: diferentes escalas nos valores de concentração de Náuplios para cada ponto. 79

Figura 18: Concentração de Cípris/m^3 nos 4 pontos amostrais. Colunas: médias e Barras de erro: desvio padrão. 79

Figura 19: Frequência percentual da orientação e velocidade do vento 24 horas antes da coleta de larvas para cada período amostral. 81

Figura 20: Mapa da Região de Arraial do Cabo - RJ e seus respectivos pontos. BO = Boqueirão, SO = Sonar e PC = Ponta da Cabeça. 100

Figura 21: Placa de PVC recoberta com fita 3M utilizada no recrutamento de cirripédios. 102

Figura 22: Concentração de Clorofila-*a* por satélite dos períodos, A-2012-2013 e B-2015-2016 da região de Arraial do Cabo. Nota: legendas em escalas diferentes..... 106

Figura 23: Temperatura da água, por sensor dos períodos, A- 2012-2013 e B-2015-2016, da região de Arraial do Cabo. 106

Figura 24: Taxa de recrutamento de *Chthamalus bisinuatus* por dia, durante 8 períodos na região de Arraial do Cabo. As colunas representam as médias e as barras de erros, seus respectivos desvio-padrão..... 108

Figura 25: Taxa de recrutamento de *Tetraclita stalactifera* por dia, durante 8 períodos na região de Arraial do Cabo. As colunas representam as médias e as barras de erros, seus respectivos desvio-padrão. 109

Figura 26: Taxa de recrutamento de *Megabalanus* spp. por dia, durante 8 períodos na região de Arraial do Cabo. As colunas representam as médias e as barras de erros, seus respectivos desvio-padrão. 110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado da análise One-way PERMANOVA da comparação da concentração de clorofila-a entre os sites sobre influência da ressurgência.... 37

Tabela 2: Resultado da análise Two-way PERMANOVA da comparação dos locais e a influência da ressurgência no processo de recrutamento de *C. bisinuatus*. 44

Tabela 3: Resultado da análise Two-way PERMANOVA da comparação dos locais e a influência da ressurgência no processo de recrutamento de *T. stalactifera* 46

Tabela 4: Resultado da análise Two-way PERMANOVA da comparação dos sites e a influência da ressurgência no processo de recrutamento de *Megabalanus* ssp. 48

Tabela 5: Resultados da correlação cruzada comparando com a concentração de náuplios e cípris com variáveis meteorológicas (v= direção do vento, componente zonal; v= velocidade do vento, componente meridional; NE = frequência do vento nordeste; S-SO= frequência do vento sul-sudoeste) para o período amostrado. Período de lag na escala de dias. A..... 54

Tabela 6: Resultado da análise one-way ANOVA da comparação da clorofila-*a* por satélite entre os locais amostrados 74

Tabela 7: Resultado da análise one-way ANOVA da comparação da temperatura da água por satélite entre os locais amostrados 75

Tabela 8: Resultado da análise One-way ANOVA da comparação dos 4 sites quanto a concentração de larvas no estágio náuplio. 78

Tabela 9: Resultado da análise One-way ANOVA da comparação dos 4 sites quanto a concentração de larvas no estágio cípris 78

Tabela 12: Resultados da correlação cruzada comparando com a concentração de náuplios e cípris com variáveis meteorológicas (*u* = direção do vento, componente zonal; NE = frequência do vento nordeste; SO = frequência do vento sudoeste; *v* = velocidade do vento, componente meridional) e oceanográficas para o período amostrado. Período de lag em dias. Resultados significativos da correlação em negrito..... 83

Tabela 13: Resultado da análise One-way ANOVA da comparação de clorofila dos anos 2012-2013 e 2015-2016. 105

Tabela 14: Resultado da análise One-way ANOVA da comparação de temperatura da água dos anos 2012-2013 e 2015-2016. 107

INTRODUÇÃO GERAL

Os costões rochosos são afloramentos rochosos que fazem parte dos ecossistemas marinhos que estão entre o oceano e o continente. Esses ambientes da região entremarés são heterogêneos e suportam uma ampla variedade de formas de vida. Os cirripédios, em particular, são um componente ecológico importante das comunidades entremarés de costões rochosos em todo o mundo e ocupam uma posição trófica central na rede alimentar por serem organismos espacialmente dominantes (Stephenson & Stephenson, 1949).

Os cirripédios pertencem à infraclasse Cirripedia, subclasse Thecostraca do subfilo Crustacea e cirrípedes são divididos em três superordens principais: Acrothoracica, que são cracas que perfuram corais e conchas de gastrópodes; Rhizocephala, que são endoparasitas em hospedeiros crustáceos e a Thoracica que são cracas de vida livre quando larvas e séssies quando adultos e podem viver a partir do entremarés ao mar profundo (Chan *et al.*, 2009). Os cirripédios possuem características únicas que os distinguem de outros crustáceos de vida livre que podem procurar ativamente seus alimentos e companheiros. São organismos hermafroditas, que possuem comportamento gregário, sésseis quando adultos, mas com vida livre quando larvas (Darwin 1851, Barnes, 1970). O seu desenvolvimento larvar compreende uma série de seis estágios naupliares, planctotróficos, o qual é acompanhado pelo estágio de assentamento final que não se alimenta, chamado cípris (Barnes & Achituv,1981, Severino & Resgalla, 2005). Alguns estudos mostraram que o desenvolvimento larvar nos estágios planctotróficos são determinantes durante o assentamento, metamorfose da larva cípris e também para o desenvolvimento pós-metamorfose

(Pechenik *et al.*, 1993, Jarrett & Pechenik, 1997, Anil *et al.*, 2001, Kasten *et al.*, 2019)

O ciclo de vida complexo desses organismos, é influenciado fortemente pela dinâmica populacional em diferentes estágios da sua história de vida (Gaines & Roughgarden, 1987, Roughgarden *et al.* 1988). Um fator importante e determinante na estrutura da comunidade é a relação entre o oceano costeiro e os habitats bênticos que contribuem com o suprimento de novos indivíduos para população (Connell, 1985, Gaines & Roughgarden, 1985, Connolly & Roughgarden, 1999). O fornecimento de novos indivíduos às populações locais é reconhecido há muito tempo como um fator importante que controla as interações entre espécies e a regulação das comunidades nos ecossistemas marinhos (Menge & Sutherland, 1987, Navarrete *et al.*, 2005). A quantidade de larvas disponíveis pode desempenhar um papel importante na determinação do tamanho da população adulta local (Underwood & Denley, 1984, Gaines *et al.*, 1985, Roughgarden *et al.*, 1985, Caley *et al.*, 1996). Esse conjunto de larvas que chega a uma comunidade, afeta diretamente o número de assentados e recrutas (Pineda *et al.*, 2002, Porri *et al.*, 2006).

As larvas de cirripédios liberadas na coluna d'água passam por uma série de processos até o seu retorno ao substrato. A quantidade de larvas liberadas possui grande importância para o sucesso da população, uma vez que a dinâmica do pool larvar que inclui o ambiente larvar de alimentação e dispersão para longe da costa (Pineda, 2000, Pineda *et al.,* 2009). O fitoplâncton é a principal fonte de alimento para muitas larvas planctônicas, que pode ser medido através da concentração de clorofila-*a* como indicador de biomassa. Estudos mostram que a alta disponibilidade de alimento (clorofila-*a*) influencia na nutrição

larvar no estágio náuplio, garantindo uma reserva energética, que pode aumentar a chance de sobrevivência e o sucesso de larvas no estágio cípris (Pechenik, *et al*., 1993, Jarrett & Pechenik, 1997). Segundo Pineda e colaboradores (2009), a dinâmica das populações bentônicas costeiras sofre reflexo da quantidade de larvas disponíveis e são influenciados diretamente pelo transporte dessas larvas.

O transporte larvar de maneira geral é um evento de grande complexidade que influencia em diversas escalas e processos. Podemos dizer que o transporte larvar é o deslocamento da larva entre dois pontos, como por exemplo de perto da costa para longe da costa (Pineda, 2007). Um dos processos de transporte é realizado pelas ondas de maré que são geradas com a periodicidade das marés e interagem com a topografia local e influenciam na produção de ondas internas (Scotti *et al.*, 2007). As ondas internas são originadas por variações verticais de massa específica, isso pode ocorrer quando a coluna d´água é estratificada por temperatura, salinidade e quando a termoclina é rasa. Devemos ressaltar que as ondas internas nem sempre estão correlacionados com o ciclo lunar e também podem ser modulados por outros processos costeiros. Pineda e López (2002), mostraram que quando a termoclina está rasa por alguns dias as ondas internas se manifestam e as larvas podem ser transportadas para próximo da costa. Outro processo que contribui para o transporte larvar são as correntes, que podem transportar larvas de 1 km até 100 km, esse mecanismo faz com que o seu retorno seja influenciado por forças hidrodinâmicas, como correntes e ondas geradas pelos ventos (Tapia *et al.*, 2004, Rilov *et al.*, 2008). No entanto, em alguns casos as larvas podem ficar retidas mais próximas a costa e assim não sofrerem com o transporte para longe da costa. Kasten & Flores (2013) em

estudo com o cirripédio do gênero *Chthamalus* demostraram uma sincronicidade endógena da liberação das larvas junto a maré alta, favorecendo a retenção larvar local. Ainda assim, processos de retenção larvar podem ser efeitos locais e geralmente devem ser levados em consideração a topografia e as características da região (Porri *et al.*, 2014).

Em regiões com influência da ressurgência costeira, as larvas podem ser transportadas para regiões mais afastadas da costa (Roughgarden *et al.*, 1988, Menge *et al.*, 2003, Navarrete *et al.*, 2005), onde o transporte de Ekman possui um potencial efeito na dispersão das larvas de cirrípedes (Roughgarden *et al.*, 1988; Rivera *et al.*, 2013). Além disso, outros fatores como hidrodinamismo e zona de surf (Shanks *et al.*, 2010, Shanks *et al.*, 2017), frente fria e vento (Mazzuco *et al.*, 2018), temperatura (Yan & Miao, 2004) e a disponibilidade de alimento (Anil *et al.*, 2010) influenciarão o retorno das larvas. Uma vez que as larvas transportadas consigam voltar para a costa, os padrões de assentamento serão determinados por fatores de menor escala, como hidrodinamismo, comportamento larvar e disponibilidade de substrato (Pineda, 2000). Dessa forma, podemos afirmar que o transporte larvar é um componente essencial para a ocorrência do assentamento, no qual as larvas planctônicas estabelecem contato permanente com o substrato (Connell, 1985).

O assentamento é processo de fixação de indivíduos planctônicos ao substrato por um período de até dois dias (Connell, 1985). O recrutamento é a sobrevivência da prole após um período arbitrário de tempo, alguns dias ou semanas, da entrada operacional de recrutas na população bentônica até o ponto em que a mortalidade pós-assentamento cessa (Connell 1985, Roughgarden *et al.*, 1985, Caley *et al.*, 1996). Após o sucesso do assentamento

o número dos recém recrutados para uma população adulta local pode não estar relacionado ao esforço reprodutivo local, devido aos efeitos de transporte (Pineda *et al.*, 2010), o que sugere uma maior conectividade entre as comunidades bênticas podendo gerar mudanças ao longo do tempo e também influenciar como as espécies interagem dentro da comunidade. Assim, o recrutamento é um processo complexo, no sentido em que é determinado por muitos fatores que operam e interagem em múltiplas escalas espaciais e temporais em vários ambientes.

O presente estudo foi realizado em uma região sob influência do fenômeno da ressurgência costeira do Cabo Frio, RJ, Brasil. Os sistemas de ressurgência cobrem menos de 2% da superfície do oceano e contribuem para cerca de 7% da produção primária marítima global e mais de 20% das capturas globais de peixes (Pauly & Christensen, 1995, Wang *et al.*, 2015). As zonas de ressurgência que ocorrem nas fronteiras ocidentais, sudoeste do Oceano Atlântico, são promovidas por interações atmosféricas e oceanográficas especiais (Coelho-Souza *et al.*, 2012, Belem *et al.*, 2013). Embora sejam consideradas fracas, quando comparada aos outros sistemas de ressurgência costeira das bordas oeste das plataformas (Gonzalez-Rodriguez *et al.*, 1992, 1994, Coelho-Souza *et al.*, 2012). Apesar de conseguirmos visualizar a grande importância da ressurgência para o enriquecimento biológico da água e das atividades de pesca na região da costa leste do Oceano Atlântico (Franchito *et al.*, 2008), pouco se sabe sobre os efeitos desse fenômeno no transporte, no suprimento e recrutamento das espécies das comunidades entremarés dessa região.

O presente trabalho teve como objetivo geral verificar o efeito da frequência e intensidade dos eventos de ressurgência nos processos de suprimento e recrutamento de duas espécies: *Chthamalus bisinuatus* (Pilsbry, 1916) e *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818); e um gênero *Megabalanus* que compreende um complexo de três espécies: *Megabalanus coccopoma* (Darwin, 1854), *Megabalanus tintinnabulum* (Linnaeus, 1758) e *Megabalanus vesiculosus* (Darwin, 1854), que são as espécies dominantes nos costões rochosos da costa sudeste do Brasil (Figura 1).

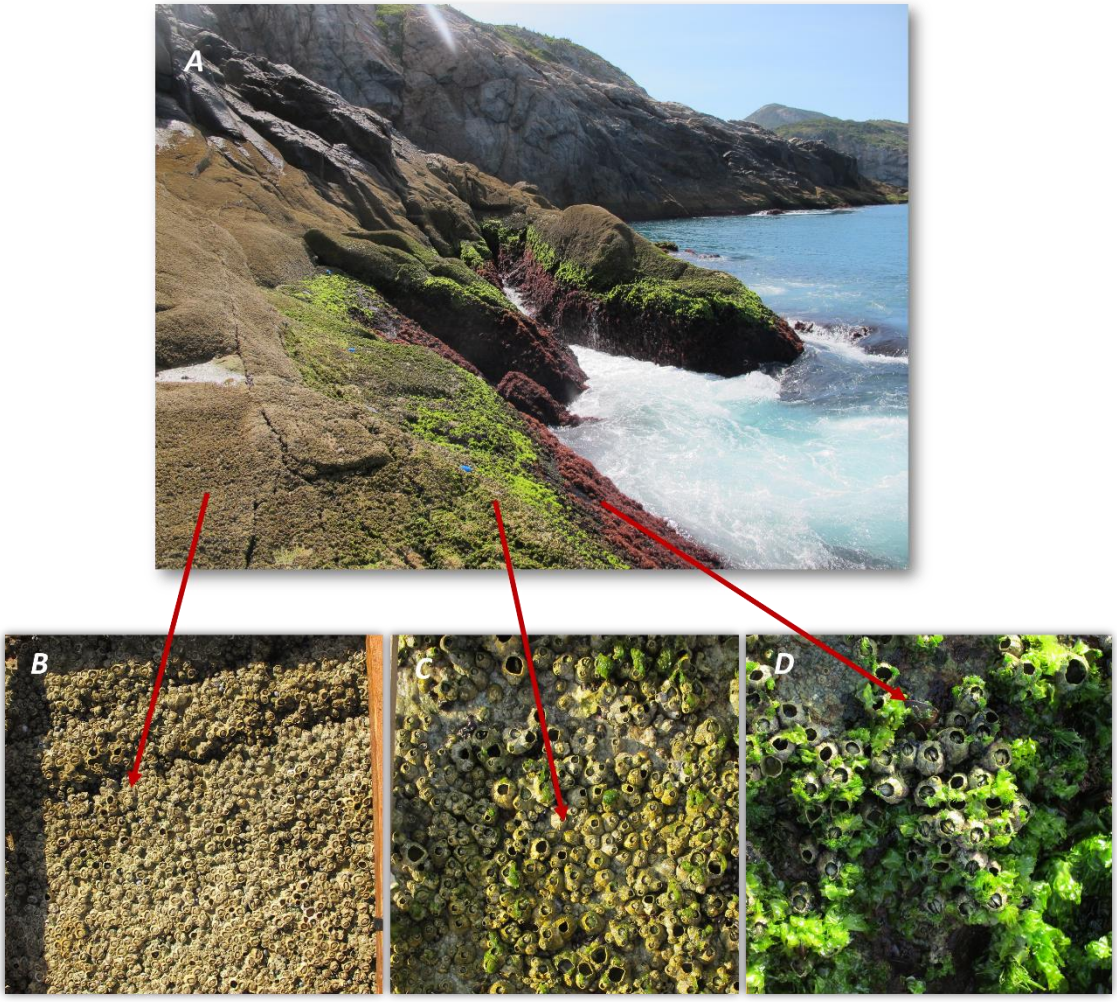

Figura 1: A – Costão rochoso de Arraial do Cabo; B – Faixa de *C. bisinuatus*; C – Faixa de *T. stalactifera*; D – Faixa *Megabalanus* spp.

A tese está dividida em três capítulos: O primeiro capítulo, visa explicar a influência do fenômeno de ressurgência no recrutamento de cirripédios de quatro pontos em Arraial do Cabo com frequências distintas do evento. Também busca correlações com variáveis ambientais como clorofila, temperatura, e variáveis meteorológicas como o vento. No segundo capítulo, avaliamos o suprimento larvar de cirripédios, simultaneamente, em quatro pontos na costa do Rio de Janeiro e correlacionamos com clorofila-*a*, temperatura e vento. No terceiro capítulo, foi feito uma comparação entre o recrutamento duas e espécies e um gênero de cirripédios em uma série temporal na mesma região, nos períodos de 2012-2013 e 2015-2016.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANIL, A. C., DESAI, D., KHANDEPARKER, L. Larval development and metamorphosis in *Balanus amphitrite* Darwin (Cirripedia; Thoracica): significance of food concentration, temperature and nucleic acids. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 263, n. 2, p. 125-141, 2001.

ANIL, A. C., KHANDEPARKER, L., DESAI, D. V., BARAGI, L. V., GAONKAR, C. A. Larval development, sensory mechanisms and physiological adaptations in acorn barnacles with special reference to *Balanus amphitrite*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 392, n. 1-2, p. 89-98, 2010.

BARNES, H. A review of some factors affecting settlement and adhesion in the cyprids of some common barnacles. In: **Adhesion in biological systems**. Academic Press, 1970. p. 89-111.

BARNES, M., ACHITUV, Y. The nauplius stages of the cirripede *Tetraclita squamosa rufotincta* Pilsbry. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 54, n. 2, p. 149-165, 1981.

BELEM, A. L., CASTELAO, R. M., ALBUQUERQUE, A. L. Controls of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. **Geophysical research letters**, v. 40, n. 7, p. 1362-1366, 2013.

CALEY, M. J., CARR, M. H., HIXON, M. A., HUGHES, T. P., JONES, G.P., MENGE, B. A. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. **Review of Ecology and Systematics**, v. 27, n. 1, p. 477-500, 1996.

CHAN, B. K. K., PRABOWO, R. E., & LEE, K. S**. Crustacean fauna of Taiwan: barnacles, volume I-Cirripedia: Thoracica excluding the Pyrgomatidae and Acastinae**. National Taiwan Ocean University, 2009.

COELHO-SOUZA, S. A., LÓPEZ, M. S., GUIMARÃES, J. R. D., COUTINHO, R., CANDELLA, R. N. Biophysical interactions in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, n. 3, p. 353-365, 2012.

CONNELL, J. H. The consequences of variation in initial settlement vs. Post settlement mortality in rocky intertidal communities. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 93, n. 1-2, p. 11-45, 1985.

CONNOLLY, S. R., ROUGHGARDEN J. Theory of marine communities: Competition, predation, and recruitment-dependent interaction strength. **Ecological Monographs**, v. 69, n. 3, p. 277-296, 1999.

DARWIN, C. **A monograph on the sub-class Cirripedia.** The Royal Society, 1854.

FRANCHITO, S. H., ODA, T. O., RAO, V. B.; KAYANO, M. T. Interaction between coastal upwelling and local winds in Cabo Frio, Brazil: an observational study. **Journal of applied meteorology and climatology**, v. 47, n. 6, p. 1590-1598, 2008.

GAINES, S. D., ROUGHGARDEN, J. Fish in off shore kelp forests affect recruitment to intertidal barnacle populations. **Science**, v. 235, n. 4787, p. 479-481, 1987.

GAINES, S., ROUGHGARDEN, J. Larval settlement rate: a leading determinant of structure in an ecological Community of the marine intertidal zone. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 82, n. 11, p. 3707-3711, 1985.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E. Yearly variation in primary productivity of marine phytoplankton from Cabo Frio (RJ, Brazil) region. **Hydrobiologia**, v. 294, n. 2, p. 145-156, 1994.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; VALENTIN, J. L.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S. A. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): comparison of biomass and primary production responses. **Journal of Plankton Research**, v. 14, n. 2, p. 289-306, 1992.

JARRETT, J. N.; PECHENIK, J. A. Temporal variation in cyprid quality and juvenile growth capacity for an intertidal barnacle. **Ecology**, v. 78, n. 4, p. 1262-1265, 1997.

KASTEN, P., JENKINS, S. R., TREMBLAY, R., FLORES, A. A. V. Evidence for enhanced late-stage larval quality, not survival, through maternal carry-over effects in a space monopolizing barnacle. **Hydrobiologia**, v. 830, n. 1, p. 277–286, 2019.

MAZZUCO, A. C. A., CHRISTOFOLETTI, R. A., COUTINHO, R., CIOTTI, Á. M. The influence of atmospheric cold fronts on larval supply and settlement of intertidal invertebrates: Case studies in the Cabo Frio coastal upwelling system (SE Brazil). **Journal of sea research**, v. 137, p. 47-56, 2018.

MENGE, B. A., LUBCHENCO, J., BRACKEN, M. E. S., CHAN, F., FOLEY, M. M., FREIDENBURG, T. L., GAINES, S. D., HUDSON, G., KRENZ, C., LESLIE, H., MENGE, D.N.L., RUSSELL, R., WEBSTER, M.S. Coastal oceanography sets the pace of rocky intertidal community dynamics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 21, p. 12229-12234, 2003.

MENGE, B. A., SUTHERLAND, J. P. Community regulation: Variation in disturbance, competition, and predation in relation to environmental stress and recruitment. **The American Naturalist**, v. 130, n. 5, p. 730-757, 1987.

NAVARRETE, A. S., WIETERS, E. A., BROITMAN, B. R., CASTILLA, J. C. Scales of benthic-pelagic coupling and the intensity of species interactions: from

recruitment limitation to top-down control. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 50, p. 18046-18051, 2005.

PAULY, D., CHRISTENSEN, V. Primary production required to sustain global fisheries. **Nature**, v. 374, n. 6519, p. 255-257, 1995.

PECHENIK, J. A.; RITTSCHOF, D.; SCHMIDT, A. R. Influence of delayed metamorphosis on survival and growth of juvenile barnacles Balanus amphitrite. **Marine Biology**, v. 115, n. 2, p. 287-294, 1993.

PINEDA, J., LÓPEZ, M. Temperature, stratification and barnacle larval settlement in two Californian sites. **Continental Shelf Research**, v. 22, n. 8, p. 1183-1198, 2002.

PINEDA, J., PORRI, F., STARCZAK, V. R., BLYTHE, J. Causes of decoupling between larval supply and settlement and consequences for understanding recruitment and population connectivity. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 392, n. 1-2, p. 9-21, 2010.

PINEDA, J., REYNS, N. B., STARCZAK, V. R. Complexity and simplification in understanding recruitment in benthic populations. **Population Ecology,** v. 51, n. 1, p. 17-32, 2009.

PINEDA, J., RIEBENSAHM, D., MEDEIROS-BERGEN, D. *Semibalanus balanoides* in winter and spring: larval concentration, settlement, and substrate occupancy. **Marine Biology**, v. 140, n. 4, p. 789-800, 2002.

PORRI, F., JACKSON, J. M., VON DER MEDEN, C. E., WEIDBERG, N., & MCQUAID, C. D. The effect of mesoscale oceanographic features on the distribution of mussel larvae along the south coast of South Africa. **Journal of Marine Systems**, v. 132, p. 162-173, 2014.

PORRI, F., MCQUAID, C. D., RADLOFF, S. Spatio-temporal variability of larval abundance and settlement of *Perna perna*: differential delivery of mussels. **Marine Ecology Progress Series**, v. 315, p. 141-150, 2006.

RILOV, G., DUDAS, S. E., MENGE, B. A., GRANTHAM, B. A., LUBCHENCO, J., & SCHIEL, D. R. The surf zone: a semi-permeable barrier to onshore recruitment of invertebrate larvae?. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 361, n. 2, p. 59-74, 2008.

RIVERA, A.; WEIDBERG, N.; PARDIÑAS, A. F.; GONZÁLEZ-GIL, R.; GARCÍA-FLÓREZ, L.; ACUÑA, J. L. Role of Upwelling on Larval Dispersal and Productivity of Gooseneck Barnacle Populations in the Cantabrian Sea: Management Implications. **PloS one**, v. 8, n. 11, 2013.

ROUGHGARDEN, J., GAINES, S., POSSIGAN, H. Recruitment dynamics in complex life cycles. **Science**, v. 241, n. 4872, p. 1460-1466, 1988.

SHANKS, A. L., MORGAN, S. G., MACMAHAN, J., RENIERS, A. J. H. M. Along shore variation in barnacle populations is determined by surf zone hydrodynamics. **Ecological Monographs**, v. 87, n. 3, p. 508-532, 2017.

SHANKS, A. L., MORGAN, S. G., MACMAHAN, J., RENIERS, A. J. H. M. Surf zone physical and morphological regime as determinants of temporal and spatial variation in larval recruitment. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 392, n. 1-2, p. 140-150, 2010.

SHANKS, A., GRANTHAM, B. A., CARR, M. H. Dispersal distance and the size and spacing of marine reserves. **Ecological applications**, v. 13, n. sp1, p. 159-169, 2003.

STEPHENSON, T. A.; STEPHENSON, A. The universal features of zonation between tide-marks on rocky coasts. **The Journal of Ecology**, p. 289-305, 1949.

TAPIA, Fabián J. et al. High-frequency observations of wind-forced onshore transport at a coastal site in Baja California. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 13-14, p. 1573-1585, 2004.

UNDERWOOD, A. J., DENLEY, E. J. **Ecological Communities: conceptual issues and the evidence**. eds. Strong, D. R., Simberloff, D., Abele, L. G., Thistle, A. B. (Princeton Univ. Press, Princeton, NJ), pp. 171–180, 1984.

WANG, D., GOUHIER, T. C., MENGE, B. A., GANGULY, A. R. Intensification and spatial homogenization of coastal upwelling under climate change. **Nature**, v. 518, n. 7539, p. 390-394, 2015.

YAN, Y., MIAO, S. The effect of temperature on the reproductive cycle of the tropical barnacle, *Chthmalus malayensis* Pilsbury (Cirripedia). **Crustaceana**, v. 77, p. 205–212, 2004.

CAPÍTULO 1

VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO RECRUTAMENTO DE CIRRIPÉDIOS EM LOCAIS COM FREQUÊNCIA DISTINTA DO EVENTO DE RESSURGÊNCIA

1. INTRODUÇÃO

Organismos adultos de cracas (Cirripédia) são crustáceos marinhos exclusivamente sésseis, que se alimentam por filtração, e são conspícuos nos ecossistemas rochosos, competindo por espaço com outros organismos bentônicos, notadamente gastópodes e bivalves. A sua ocorrência, abundância e distribuição latitudinal dependem do clima e dessa forma, a temperatura é um fator crucial na determinação para seu sucesso reprodutivo (Norris & Crisp, 1953, Barnes, 1989, Southward, 1991, Poloczanska *et al.*, 2008).

Um dos fatores que aumenta a taxa de sucesso reprodutivo desses organismos é o número de desovas por ano. Nas regiões temperadas, algumas espécies tem um único período reprodutivo anual (Barnes, 1963) e outras espécies são caracterizadas por uma época definida com vários picos reprodutivos (Norris & Crisp, 1953, Burrows *et al.*, 1999, Herbert *et al.*, 2003, Macho *et al.*, 2010), o que mostra um forte fator sazonal, pois apresentam uma vida mais curta em comparação com as de região temperadas por investirem mais energia na reprodução durante sua vida mais curta (Connell 1985, Chan e Williams, 2004).

Em invertebrados marinhos, o crescimento e a sobrevivência de juvenis se devem inteiramente à variação temporal na disponibilidade de alimentos (Bertness *et al.*, 1991). A maioria dos invertebrados marinhos produz fases larvais alimentares ou não alimentares que permanecem no plâncton por períodos de vários dias a algumas semanas (McCulloch & Shanks, 2003). Podemos dizer que a quantidade das reservas de energia do estágio cípris (larva competente) depende do histórico de alimentação dos náuplios, especificamente da quantidade e qualidade de alimentos.

O fornecimento de larvas competentes pode ser avaliado separadamente da taxa de assentamento (Miron *et al.*, 1995, Moreira *et al.*, 2007), uma vez que os assentados do mesmo *pool* de larvas podem apresentar desempenho bastante diferente quando estabelecidos no ambiente bentônico se levado em consideração suas taxas de crescimento e sobrevivência (Jarrett, 2003, McQuaid & Phillips, 2006). Isso sugere que as condições fisiológicas das larvas, como a sua qualidade (idade, reservas lipídicas, entre outros), possuem um papel muito importante (Thiyagarajan *et al.,* 2002, Kasten *et al.*, 2019). Além do efeito da quantidade de alimentos, há um efeito significativo da qualidade dos alimentos no acúmulo de reserva de energia das larvas (Thiyagarajan *et al.*, 2002).

Evidências de trabalhos experimentais com diferentes grupos de invertebrados marinhos levou, portanto, a um amplo reconhecimento da importância da qualidade larvar sobre a força de recrutamento e dinâmica populacional (Burgess & Marshall, 2011, Kasten *et al.*, 2019, Van Allen & Rudolf, 2013).

O recrutamento é considerado um importante processo de controle da dinâmica de populações. No entanto, os principais processos que determinam a entrada de novos indivíduos, envolvem uma série de fatores que ainda não são bem compreendidos. Os ciclos de vida complexos em invertebrados marinhos sésseis, tem o fornecimento de larvas competentes ao assentamento como um dos fatores críticos no controle do sucesso do recrutamento analisado (Todd *et al.*, 2006, Jenkins *et al.*, 2008, Pineda *et al.*, 2009, Kasten *et al.*, 2019).

Vários estudos conduzidos ao longo das últimas décadas, concentraram-se em determinar quais dos muitos processos físicos que afetam tanto a

circulação costeira, quanto o fornecimento de larvas aos habitats entremarés, seriam importantes na formação dos padrões de assentamento e recrutamento (por exemplo, Connolly & Roughgarden, 1999, Farrell *et al.*, 1991, Bonicelli *et al.*, 2014, Lagos *et al.*, 2005, 2008, Roughgarden *et al.*, 1988). Ao longo dos anos estudos vincularam os padrões de transporte e assentamento de larvas de espécies bentônicas marinhas com processos físicos (Bonicelli *et al.*, 2014, Lagos *et al.*, 2008, Pineda, 1991, Pineda & López, 2002, Roughgarden *et al.*, 1988, Shanks & Shearman, 2009, Vargas *et al.*, 2004, Wing *et al.*, 1995).

Fatores como o vento e a temperatura parecem possuir influência direta no processo de assentamento. Mudanças que ocorrem diariamente na tensão do vento têm um forte efeito no padrão espacial das flutuações diurnas de temperatura e no padrão espacial da taxa de recrutamento de cracas, como já observado (Bonicelli *et al.* 2014).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar duas regiões com frequência distintas do efeito do fenômeno da ressurgência costeira de Cabo Frio, RJ, Brasil, e assim buscar relacionar o suprimento e a taxa de recrutamento com variáveis climatológicas. As hipóteses de trabalho são:

H1: A taxa de recrutamento varia em função da frequência dos eventos de ressurgência;

H2: Ambiente com maior frequência do evento de ressurgência apresenta maior suprimento larvar

H3: As condições meteorológicas, como o vento, influenciam na taxa de recrutamento de cirripédios.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no estado de Rio de Janeiro, região sudeste do Brasil, município de Arraial do Cabo, RJ. A região é caracterizada pela abundância de costões rochosos graníticos, alternados por praias arenosas. Na região, a presença da Ilha de Cabo Frio protege as enseadas da ação de ondas do mar aberto e forma uma baía. Essa área foi escolhida pela ocorrência sazonal de eventos de ressurgência, que são caracterizados pelo afloramento costeiro de águas oriundas do sistema de Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) contendo baixos valores de temperatura e altas concentrações de nutrientes (Valentin, 1984). Foram selecionados quatro pontos amostrais na área de estudo (Figura 2), dois pontos internos na Baía dos Anjos (Forno = FO UTM 23K 806798.11mE, 7457151.44mS) e Porcos = PO (24K 193041.95mE, 7457088.36mS) e do lado externo do Pontal do Atalaia (Ponta da Cabeça = PC UTM 23K 804005.08mE, 7455970.80mS) e Sonar = SO (23K 805768.03mE, 7454688.60mS), com orientações para os mesmos quadrantes de ventos. A conexão da baía com o oceano aberto se dá através da passagem do Boqueirão, na região sudoeste da ilha e pela Ponta Leste à nordeste da ilha. A circulação pode ser definida no sentido Boqueirão-Ponta Leste com ventos do quadrante SO e no sentido contrário no quadrante NE (Valentin, 1974).

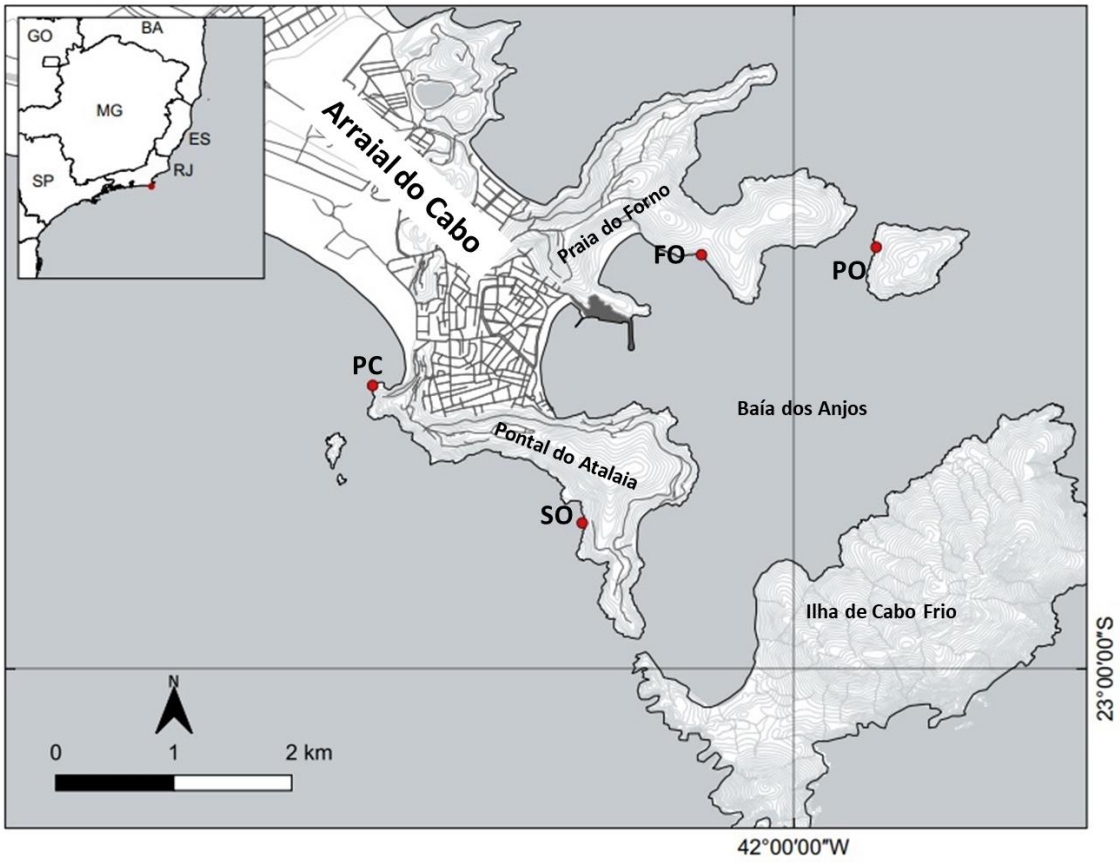

Figura 2*:* Mapa da região de Arraial do Cabo. Círculos vermelhos representam os pontos de amostragem. Pontos dentro da baía dos Anjos, FO= Forno e PO= Porcos e pontos do lado externo do Pontal do Atalaia, PC= Ponta da Cabeça e SO= Sonar.

2.1 Dados Ambientais

No intuito de caracterizar as diferentes condições oceanográficas entre os pontos, foram feitas amostragens pontuais de água da superfície, realizadas em todos os pontos durante o período de amostragem experimental. Os parâmetros da água medidos foram: temperatura e clorofila-*a*.

Para medir a temperatura da água e do substrato em campo, foram utilizados sensores eletrônicos de temperatura (Data logger DS 1921 L-F5, i-Button, Maxim Inc.), feitos em aço inox, resistentes a água, com 16 mm de diâmetro e programados para adquirir um dado a cada 1h (uma) hora com autonomia para permanecer em campo por pouco mais de 30 dias.

Para medir a concentração de clorofila-*a*, foram realizadas coletas mensais (Início das coletas em julho/2015 e termino em abril/2016), onde foram coletados aproximadamente 3L por amostra (n=3) de água do mar que banhavam diretamente o costão em cada ponto. As amostras foram acondicionadas em garrafas térmicas e levadas após a coleta para serem filtradas no Laboratório de Química do IEAPM. No laboratório as amostras de água foram filtradas em bomba a vácuo com pressão constante. Foram filtrados 3L de água por filtro Millipore, com 47 mm de diâmetro e 0,45 µm de poro. Os filtros com o material retido foram submersos separadamente em uma solução contendo acetona a 90% durante e posteriormente centrifugados. Após dissolução e centrifugação, as amostras foram analisadas por espectrofotometria e a concentração de clorofila foi estimada pelas equações de SCOR-UNESCO (1966).

2.2 Dados Meteorológicas

Os principais componentes meteorológicos de comparação entre os pontos foram: direção e intensidade do vento para a região de estudo durante os períodos de coleta. A partir delas foi possível verificar relações entre os processos da taxa de recrutamento. Os dados foram obtidos diretamente pelo endereço eletrônico do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (www.inmet.gov.br), a partir da estação meteorológicas de superfície instalada no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM, estação mais próxima aos pontos amostrais.

2.3 Recrutamento

O recrutamento foi mensurado com a utilização de placas de PVC (Poli Cloreto de Vinila) com dimensões de 8 cm x 8 cm x 0,4 cm, com uma área total de 64 cm². Essas placas foram recobertas com uma fita antiderrapante da marca 3M™ de cor cinza, a fim de proporcionar a rugosidade adequada para estimular o assentamento das larvas de cirripédios. O mesmo tipo de artefato tem sido amplamente utilizado por outros investigadores (Menge, 1992, Menge, 2000, Navarrete *et al.*, 2005, Mazzuco *et. al.*, 2015, Mazzuco *et. al.*, 2018).

Neste estudo, foi considerado como taxa de recrutamento, todos os organismos assentados e pós-assentados, dividido pelos dias em que a estrutura ficou no campo. As estruturas experimentais foram dispostas nas três faixas de dominância dos cirripédios do entremarés (Figura 3). Foram utilizadas 5 réplicas para cada uma das três faixas, instaladas nos costões com distância de 2 metros, aproximadamente, entre as estruturas. As faixas escolhidas foram: Faixa médiolitoral superior (dominância de *Chthamalus bisinuatus*); médiolitoral médio (dominância de *Tetraclita stalactifera*) e franja do infralitoral (dominância do gênero *Megabalanus* spp., devido a presença das espécies *Megabalanus coccopoma, Megabalanus tintinnabulum e Megabalanus vesiculosus*, que são difíceis de distinguir morfologicamente quando recém assentadas) (Figura 4).

As estruturas foram fixadas às rochas com parafusos e arruelas de aço-inoxidavel. A janela temporal de amostragem foi quinzenal para as trocas das placas, com início do experimento no dia 30/06/2015 e término no dia 27/04/2016. Para avalição do assentamento, todos os recrutas de cirripédios fixos vivos sobre as placas foram contabilizados e identificados quanto a suas espécies, sempre sob estereomicroscópio.

Figura 3: Faixa de dominância para cada espécie, onde as estruturas foram instaladas e fixadas com parafuso de aço inox.

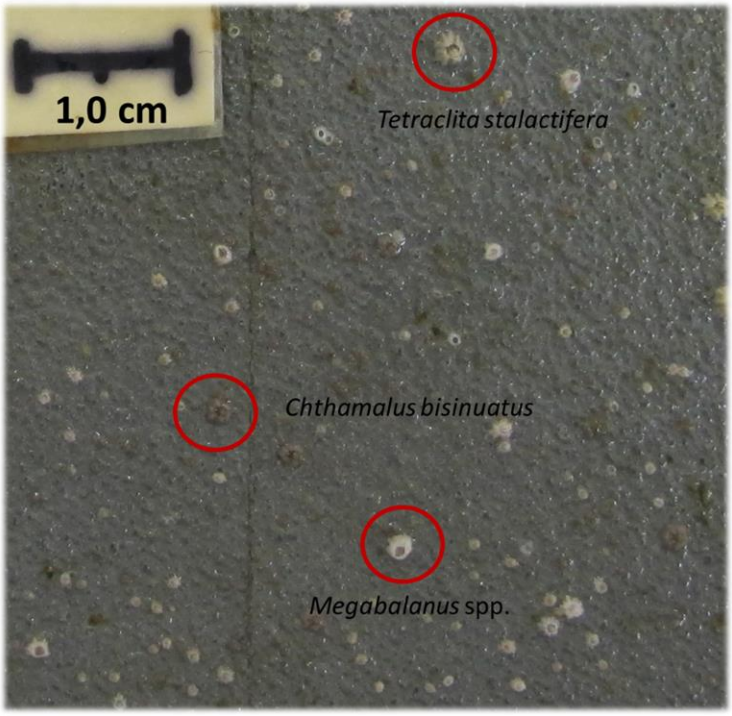

Figura 4: Aspecto geral dos recrutas de cirripédios

2.4 Suprimento larvar

O suprimento larvar dos cirripédios no plâncton foi amostrado em cada ponto mensalmente (início das coletas em julho/2015 e término em abril/2016, no mesmo dia das coletas de clorofila-*a*). As coletas da água que banhava diretamente os costões foi coletada com auxílio de uma motobomba até conseguir o volume mínimo final de 350 litros filtrados por amostra. As amostras foram filtradas em malha de 100 µm *in sito* (Figura 5). As amostras foram imediatamente fixadas em uma solução 10% de formol para a análise em laboratório.

As amostras foram triadas em laboratório na cuba de Dolfus sob microscópio estereoscópico sem subamostragem e as quantidades de larvas identificadas de acordo com as duas principais fases do desenvolvimento de Cirripedia: náuplios e cípris. As densidades de larvas foram então transformadas para indivíduos/m^3, a fim de permitir comparações entre os pontos.

Figura 5: Coletas feitas com auxílio de uma motobomba para o suprimento larvar com volume mínimo final de 350 litros por amostra.

2.5 Análise dos Dados

O vento foi descrito utilizando os seguintes componentes: velocidade do vento e direção, que foram decompostos em intensidade dos ventos zonais (u) e meridionais (v). O período de amostragem utilizado nas análises dos dados do vento *in situ* foi diário durante as 24h do dia. Foram calculadas médias do vento para cada período em que as estruturas de recrutamento ficaram em campo e em seguida, foi realizado a análise de correlação de Pearson entre recrutamento e os componentes variáveis do vento.

Para comparar o suprimento larvar e a taxa de recrutamento entre as regiões com maior e menor influência da ressurgência e entre os pontos amostrais e períodos, foi realizada a análise de variância multivariada

permutável (PERMANOVA; Anderson, 2001), que foi conduzida em dados de recrutamento com 9999 permutações de resíduos sob um modelo reduzido, utilizando a similaridade de Bray-Curtis. Esta análise considerou “Região e os Pontos” (fixo; 2 níveis; com contrastes: região com maior frequência da ressurgência *versus* região com menor frequência e entre os pontos amostrais) e, *a posteriori* foi realizado teste de múltiplas comparações. Já para comparação temporal, foi utilizado One Way PERMANOVA. Para comparações entre os pontos foi realizado um balanceamento no número de amostras (n).

Para verificar o efeito da orientação e velocidade do vento no recrutamento foi realizado uma correlação cruzada. Todas as análises foram feitas com a utilização do software PAST 2.23 (Hammer *et al.*, 2001).

3. RESULTADOS

3.1 Clorofila-*a*

As concentrações de clorofila-*a* apresentaram variações ao longo do período amostral, com os maiores picos nos pontos com maior influência da ressurgência (Figura 6). Os maiores picos de clorofila-*a* nos locais de menor influência da ressurgência foram registrados no mês de agosto, com 1,56±0,29 e 2,58±0,49 mg/m^3 nos pontos PO e FO, respectivamente, período em que a temperatura mínima registrada foi de 19ºC.

Para os locais com maior influência da ressurgência, o pico de clorofila-*a* foi registrado nos meses de novembro, dezembro e fevereiro, para os dois pontos (novembro - PC: 3,83±0,42 e SO: 4,0±0,02 mg/m^3; dezembro- PC: 2,65±0,11 e SO: 2,60±0,14 mg/m^3; fevereiro - PC: 2,94±0,35 e SO: 2,06±0,36 mg/m^3 respectivamente). O ponto PC e SO, apresentaram maior concentração de clorofila-*a* e foram considerados diferentes significativamente ($p < 0,001$) dos pontos com menor frequência da ressurgência (Tabela 1).

Tabela 1: Resultado da análise One-way PERMANOVA da comparação da concentração de clorofila-*a* entre os sites sobre influência da ressurgência

	gl	F	*p*
Pontos	3	6,296	***<0,001****
Total	83		

Resultado significativo *(≤0,05) estão em negrito. gl, graus de liberdade

3.2 Temperatura da Água

Os valores de temperatura foram utilizados para caracterizar as regiões quanto a frequência dos eventos de ressurgência. Foram considerados os pontos SO e PC, como os de maior influência do evento de ressurgência. Os locais FO e PO foram considerados de menor frequência da ressurgência.

A temperatura da água variou entre 26 e 19 ºC nos pontos situados dentro da baía de Arraial do Cabo (PO e FO), ou seja, locais que foram considerados com menor frequência do fenômeno de ressurgência. Nos locais mais expostos aos efeitos da ressurgência, a temperatura da água variou entre 27 e 14,5 ºC, (PC, SO) (Figura 7). No período do final do inverno (meses de agosto e setembro), a temperatura da água teve como média 20,3 ºC e a mínima de 19ºC nos pontos com menor influência da ressurgência (PO e FO). Foram registradas quedas intensas de temperatura nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (20, 19 e 21,25 ºC, respectivamente) nos pontos situados na área de menor frequência da ressurgência, lembrando que a temperatura da água mais baixa alcançada foi de 19 ºC no período de janeiro.

Já nos pontos de maior frequência da ressurgência (SO e PC), no final de julho, foram registradas temperaturas mínimas de 19ºC, que na sequência, com a início dos meses de agosto e setembro, e maior intensificação do fenômeno de ressurgência, foram aferidas temperatura da água mínima de 14ºC por longos períodos. As temperaturas baixas permaneceram durante os meses de outubro e novembro, que registraram médias de 19,6 ºC e mínimas de 16,5 e 16 ºC respectivamente. No período de verão (meses: dezembro, janeiro e fevereiro), nos pontos de maior frequência do fenômeno da ressurgência a média de temperatura permaneceu em torno de 18 ºC com mínimas de 15 ºC.

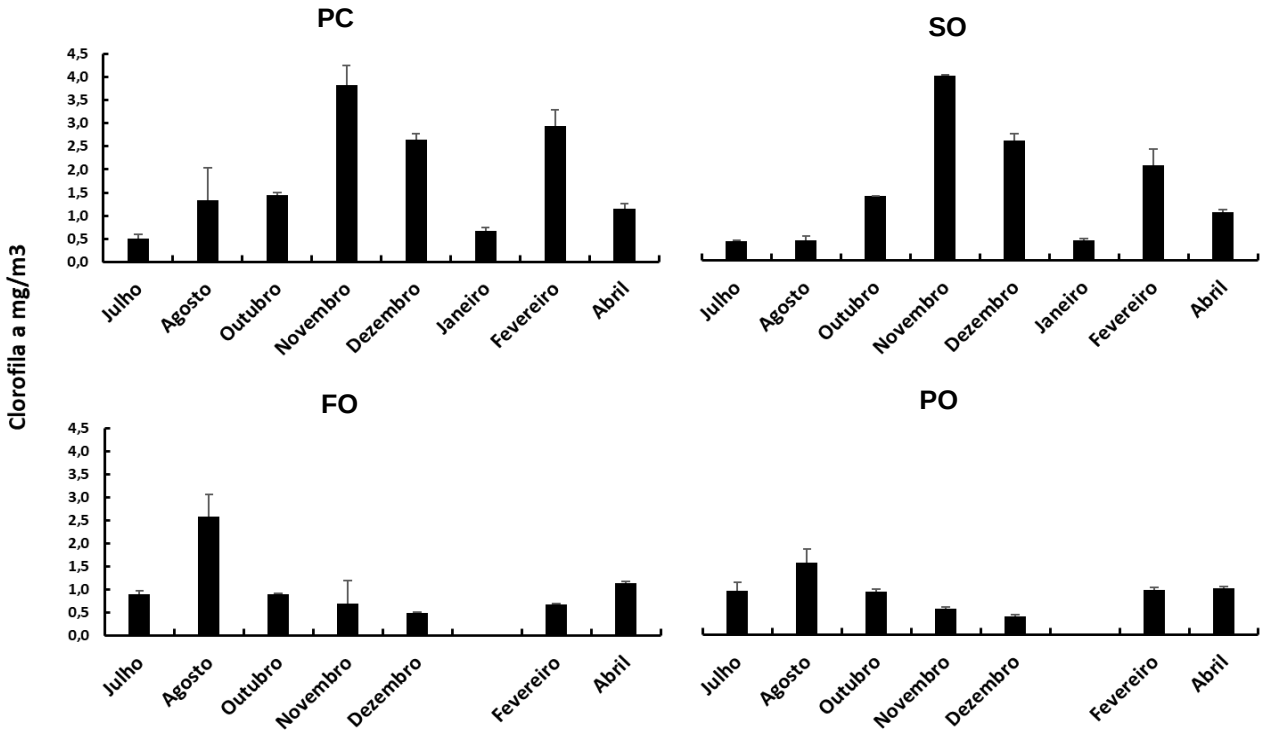

Figura 6: Concentração de clorofila-a nos 4 pontos amostrais nos períodos mensais. Pontos da parte interna da Baía dos Anjos: FO= Forno e PO = Porcos e pontos da parte externa da ilha de Cabo Frio: PC= Ponta da Cabeça e SO= Sonar.

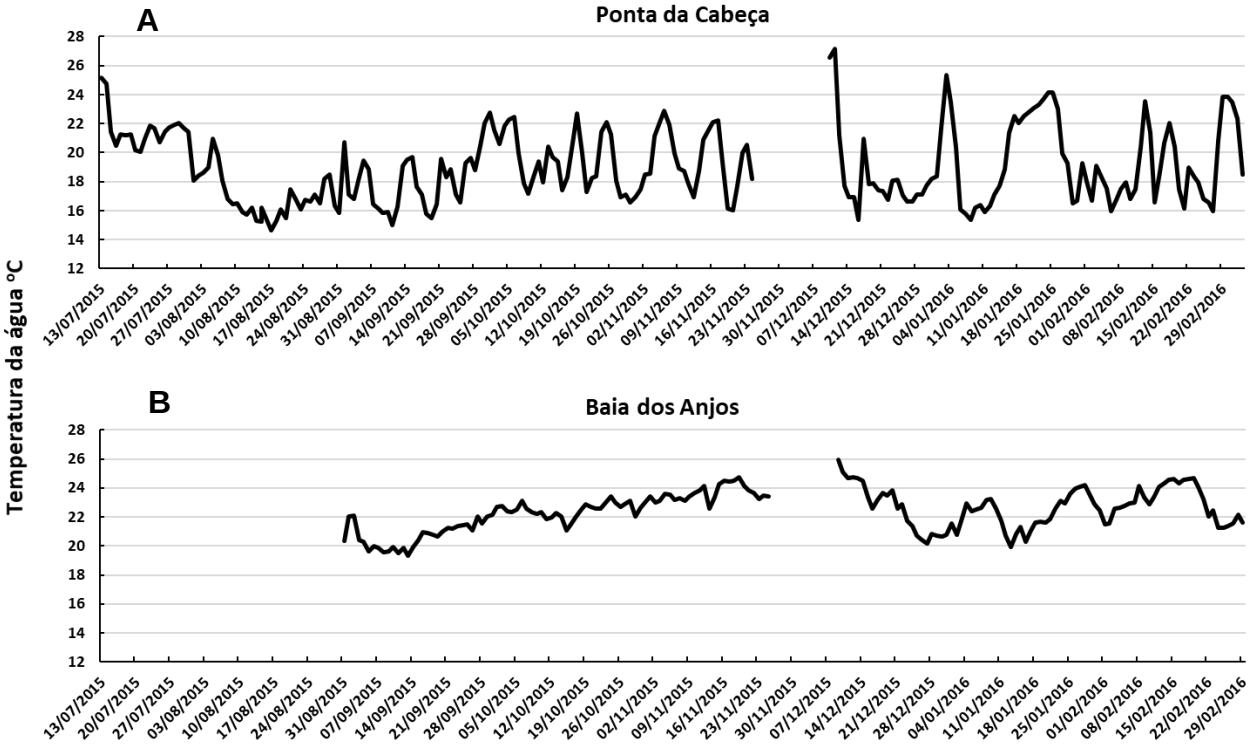

Figura 7: Temperaturas da água dos locais amostrados. A - Ponta da Cabeça = Maior influência dos eventos de ressurgência. B - Baía dos Anjos = Menor influência dos eventos de ressurgência.

3.3 Suprimento Larvar

A concentração do suprimento larvar de náuplios, na região de menor frequência da ressurgência, foi significativamente maior (F= 4,21, gl= 3, p<0,007) que no ambiente de maior frequência do evento. Entretanto, a concentração de suprimento larvar de cípris foi significativamente maior (F= 15,12, gl= 3, p<0,001) nos locais com maior frequência da ressurgência (Figura 8).

O ponto PC apresentou maior concentração de suprimento de náuplios no mês de abril (9,0±4,35 náuplio/m^3, média e erro padrão respectivamente), sendo esse período considerado diferente significativamente (F= 4,27, gl=6, p=0,01, Figura 9) dos períodos de junho, agosto e novembro. Já para larvas no estágio cípris, as maiores concentrações de suprimento foram nos meses de julho (5970,15 ± 3585,5 cípris/m^3, média e erro padrão respectivamente) e outubro/ 2015 (1987,7 ± 196,2 cípris/m^3, média e erro padrão respectivamente), sendo esses períodos significativamente diferentes (F=6,57 , gl=6 , p=0,002) dos períodos agosto/2015 e fevereiro e março/ 2016.

No ponto SO, apresentou maior concentração de suprimento de náuplios no mês de agosto (497,5±329 náuplio/m^3, média e erro padrão respectivamente). Para larvas no estágio cípris, as maiores concentrações de suprimento foram nos meses de agosto (497,5±329 cípris/m^3, média e erro padrão respectivamente) e outubro (1236,1±210 cípris/m^3, média e erro padrão respectivamente). As concentrações larvares dos estágios náuplio e cípris não apresentaram diferença significativa (F= 1,8, gl=6, p=0,17 e F=1,81, gl=6, p=0,16) entre os períodos amostrais.

Na região com menor frequência da ressurgência, o ponto FO apresentou maior concentração de suprimento de náuplios nos períodos de julho

(268,65±136,8 náuplio/m^3, média e erro padrão respectivamente) e agosto/ 2015 (749,9±252,7 náuplio/m^3, média e erro padrão respectivamente) e abril/ 2016 (273,2±20,2 náuplio/m^3, média e erro padrão respectivamente), sendo significativamente diferentes dos demais períodos (F= 45,9, gl=6, p<0,001). Para suprimento de cípris as maiores concentrações foram encontradas nos períodos de julho/2015 (89,6±51,7 cípris/m^3, média e erro padrão respectivamente) e março/2016(55,6±5,4 cípris/m^3, média e erro padrão respectivamente), sendo significativamente diferentes dos demais períodos (F=7,16, gl=6, p<0,001).

No ponto PO, as maiores concentrações do suprimento de náuplios foram nos períodos de agosto/2105 (510,5±96,9 náuplio/m^3, média e erro padrão respectivamente) e março/2016 (1204,2±553,5 náuplio/m^3, média e erro padrão respectivamente), sendo março/2016 significativamente diferente dos outros períodos (F= 27,43, gl=6, p<0,001), exceto agosto/2015. O suprimento de cípris apresentou maiores concentrações nos períodos de novembro/2015 (16±5,4 cípris/m^3, média e erro padrão respectivamente) e março/2016(11,11±3,7 cípris/m^3, média e erro padrão respectivamente), significativamente maiores que os períodos de julho e agosto/2015 (F= 9,09, gl=6, p=0,17 p<0,001).

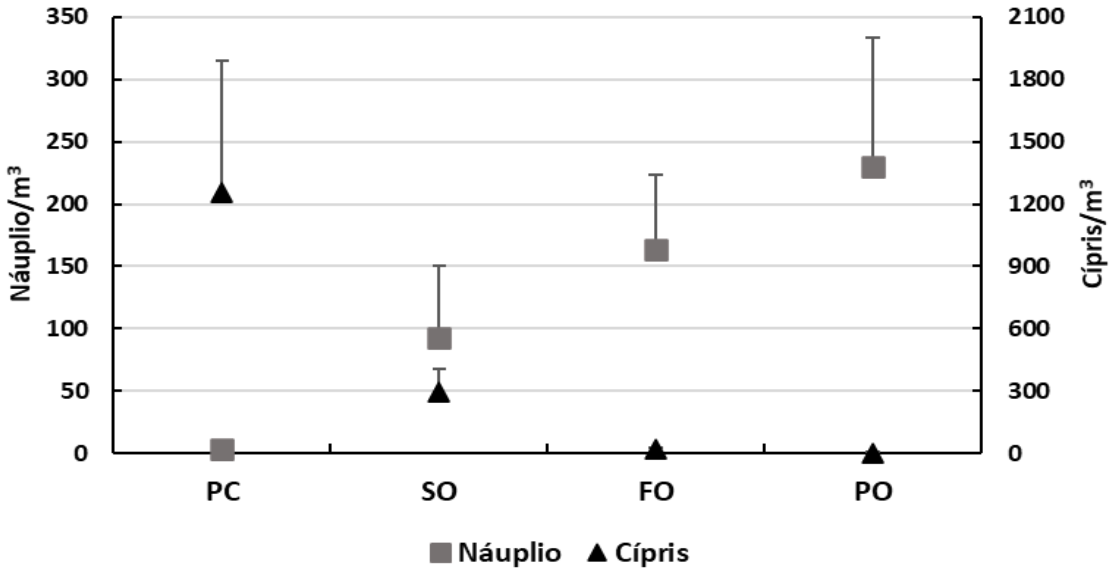

Figura 8: Concentração total das larvas no estágio náuplio (quadrado) e cípris (triângulo) nos 4 pontos amostrais, ao longo do período junho/2015 a abril/2016. Pontos da parte externa da Ilha do Cabo Frio: PC= Ponta da Cabeça e SO= Sonar e pontos da parte interna da Baía dos Anjos: FO= Forno e PO = Porcos. Barra de erro representa o erro padrão.

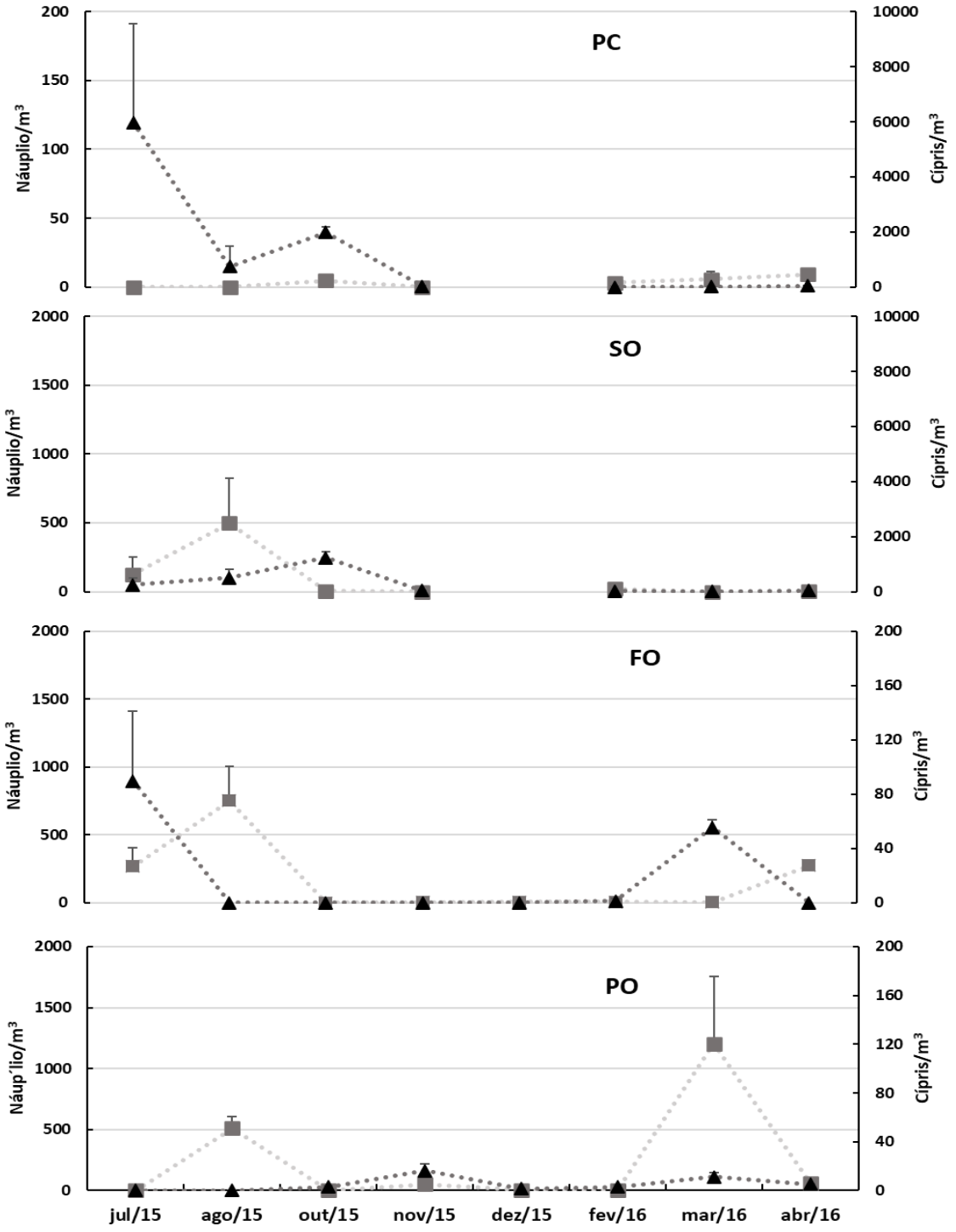

Figura 9: Concentração das larvas no estágio náuplio (quadrado) e cípris (triângulo) nos 4 pontos amostrais, ao longo do período julho/2015 a abril/2016 com amostragens mensais. Pontos da parte externa à Ilha do Cabo Frio: PC= Ponta da Cabeça e SO= Sonar e pontos da parte interna da Baía dos Anjos: FO= Forno e PO = Porcos. Barra de erro representa o erro padrão. Nota: O ponto PC está em escala diferente para náuplios e FO e PO estão em escala diferentes para cípris.

3.4 Recrutamento

3.4.1 Médiolitoral superior

Os resultados da taxa de recrutamento para a faixa de *C. bisinuatus*, faixa médiolitoral superior, apresentou diferença significativa (p=0,0346) para o ponto PC, sendo diferentes dos demais pontos (Figura 10). Entretanto a diferença não foi atribuída a frequência da ressurgência entre os pontos para as duas regiões (p=0,186), (Tabela 2).

As maiores taxa de recrutamento ocorram nos meses de outubro/2015 (2,64± 3,56 indivíduos/dia) e janeiro/2016 (2,63±0,47 indivíduos/dia) no ponto PC, sendo outubro/2015 e janeiro/2016 considerado significativamente maior e diferente dos demais pontos. No ponto SO os picos de recrutamento foram no período de outubro/2015 e janeiro/ 2016 (0,84± 0,19 e 0,65 ± 0,16 indivíduos/dia, respectivamente).

Na região de menor frequência do fenômeno da ressurgência, o ponto FO apresentou maiores médias nos períodos de outubro/2015 e março/2016 (0,5± 0,62 e 1,2 ± 0,9 indivíduos/dia, respectivamente). Já no ponto PO, as maiores médias foram registradas apenas no período de março/2015 (0,83± 0,35 indivíduos/dia). Os resultados mostram não existir influência do fenômeno da ressurgência na influência do recrutamento para esta espécie.

Tabela 2: Resultado da análise Two-way PERMANOVA da comparação dos locais e a influência da ressurgência no processo de recrutamento de *C. bisinuatus*.

	gl	F	*p*
Ponto	3	1,206	**0,0341***
Ressurgência	1	0,79569	0,1855
Interação	3	-32,265	0,8146
Resido	192		

Resultado significativo *(≤0,05) estão em negrito. gl, graus de liberdade.

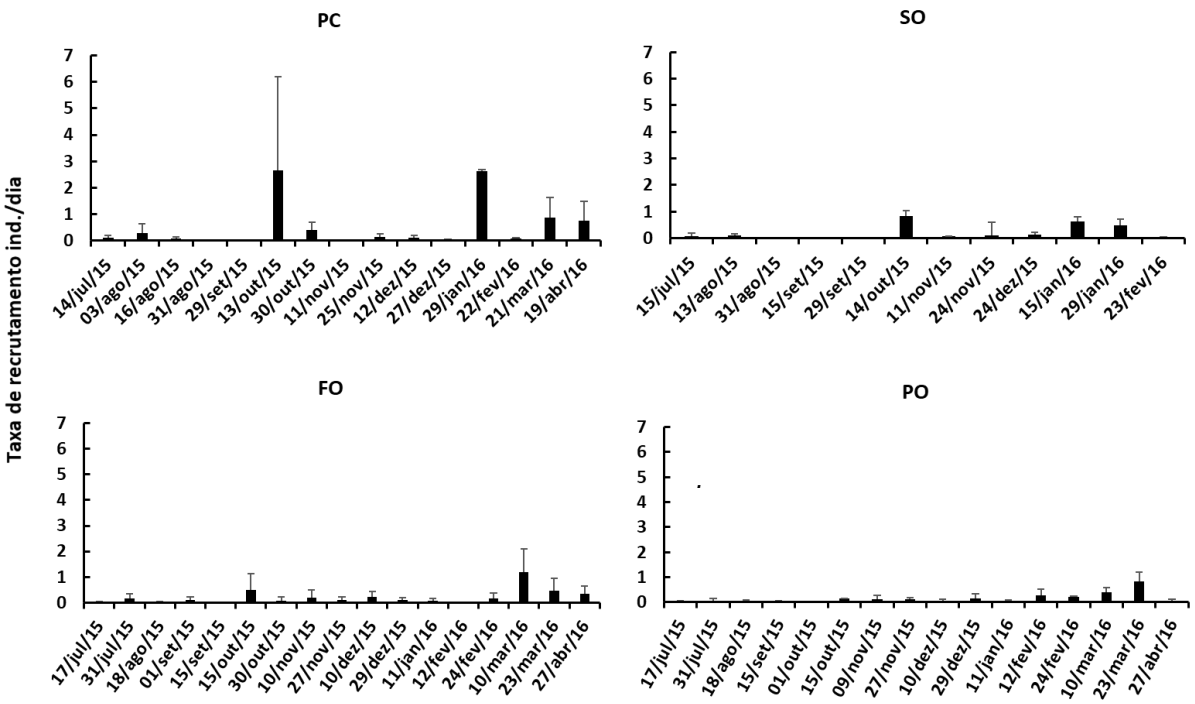

Figura 10: Taxa de recrutamento da espécie *C. bisinuatus* dos 4 pontos amostrais. Colunas: médias de indivíduos/dia e Barras: desvio padrão

3.4.2 Médiolitoral Intermediário

A taxa de recrutamento para a faixa de *T. stalactifera*, faixa médiolitoral intermediário, apresentou diferença significativa entre os locais ($p<0,001$, Tabela 3), onde, nos dois pontos com maior frequência ressurgência (PC e SO), foram registradas as maiores taxas de recrutamento, sendo considerados significativamente diferentes dos pontos de menor frequência da ressurgência. A análise *a posteriori,* mostrou que os pontos de menor frequência não apresentaram diferenças significativas entre si.

O pico de recrutamento ocorreu no final do mês de janeiro/2016 (26,32± 0,06 indivíduos/dia) no ponto PC, sendo considerado significativamente diferente dos demais pontos (Figura 11). No ponto SO os picos de recrutamento também ocorreram no mesmo período de outubro/2015 e janeiro/2016 (4,39 ± 0,97 e 11,61 ± 5,7 indivíduos/dia, respectivamente).

No local de menor frequência do fenômeno da ressurgência, o ponto FO apresentou maiores médias nos períodos de novembro/2015 e dezembro/2015 (1,1± 0,91 e 3,89 ± 3,11 indivíduos/dia, respectivamente). Já no ponto PO, as maiores médias foram registradas apenas nos meses de novembro/2015 e dezembro/2015 (0,95± 0,70 e 4,57 ± 3,07 indivíduos/dia, respectivamente) e voltando a subir em março/2016 (1,9 ± 1,72 indivíduos/dia).

Tabela 3: Resultado da análise Two-way PERMANOVA da comparação dos locais e a influência da ressurgência no processo de recrutamento de *T. stalactifera*

	df	F	*p*
Ponto	3	11,424	**0,0002***
Ressurgência	1	18,901	**0,0001***
Interação	3	-19,095	1
Resido	192		

Resultado significativo *(≤0,05) estão em negrito. gl, graus de liberdade

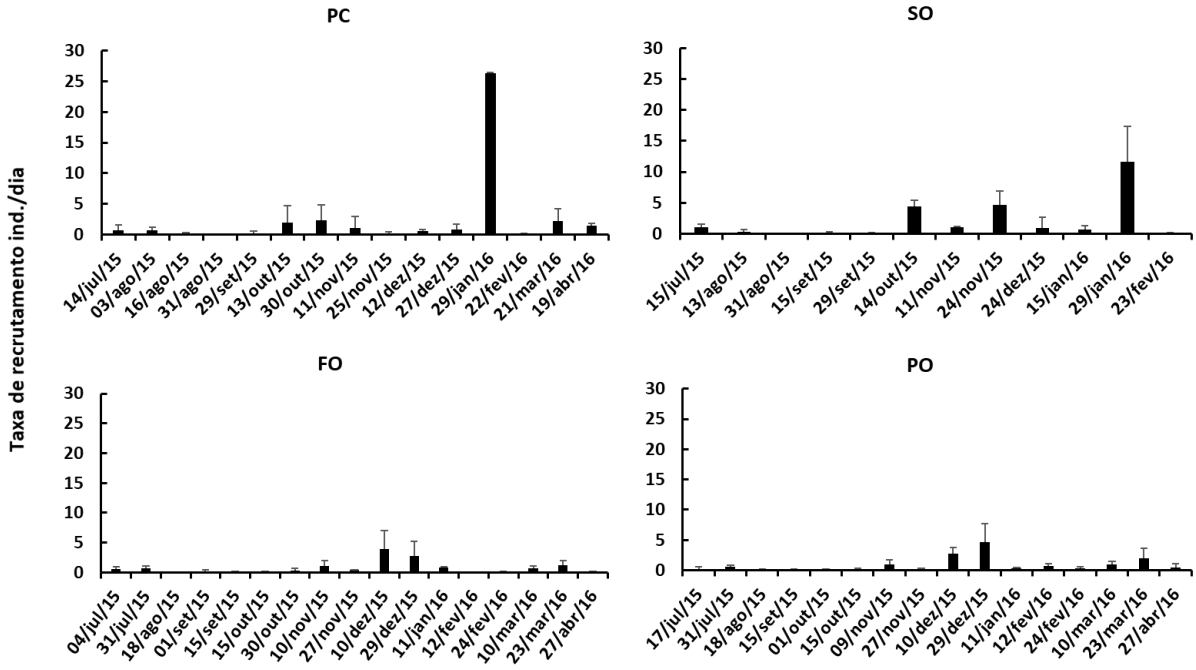

Figura 11: Taxa de recrutamento da espécie *T. stalactifera* dos 4 pontos amostrais. Colunas: médias de indivíduos/dia e Barras de erro: desvio padrão.

3.4.3 Franja do Infralitoral

A faixa de *Megabalanus* spp., franja do infralitoral, apresentou diferença significativa entre as regiões ($p<0,001$, Tabela 4). Nos pontos PC e SO, foram registradas as maiores taxas de recrutamento, sendo considerados significativamente diferentes dos pontos de menor frequência da ressurgência (Figura 12). No entanto, foi identificado uma diferença entre os dois pontos com menor frequência do fenômeno. A taxa de recrutamento foi maior no ponto FO em relação a PO, assim sendo, são considerados significativamente diferentes entre si.

No ponto PC pico de recrutamento ocorreu nos períodos de outubro/2015, janeiro/2016 e março/2016 (23 ± 14,75, 134,45 ± 31,84 e 58,24 ± 31,72 indivíduos/dia, respectivamente). O mês de janeiro/2016 foi considerado significativamente diferente dos demais pontos, outros picos menores ocorreram nos períodos de outubro/2015 e março/2016. No ponto SO os picos de recrutamento também ocorreram nos períodos de julho/2015, outubro/201 e janeiro/2016 (35,55 ± 8,03, 60,49 ± 2,87 e 148,9 ± 43,9 indivíduos/dia, respectivamente), sendo este último mais expressivo.

Na região de menor frequência do fenômeno da ressurgência, o ponto FO apresentou maiores médias nos períodos de junho/2015 e julho/2015 (4,84 ± 1,82 e 3,77 ± 2,62 indivíduos/dia, respectivamente), com o maior pico de recrutamento no período de janeiro (9,15 ± 2,89 indivíduos/dia). Já o ponto PO as maiores médias foram registradas nos períodos de janeiro/2016 e março/2016 (1,76 ± 0,79 e 2,09 ± 1,17 indivíduos/dia, respectivamente).

Tabela 4: Resultado da análise Two-way PERMANOVA da comparação dos sites e a influência da ressurgência no processo de recrutamento de *Megabalanus* spp.

	gl	F	*p*
Pontos	3	14,183	**0,0001***
Ressurgência	1	40,513	**0,0001***
Interação	3	-63,527	1
Residual	292		

Resultado significativo *(≤0,05) estão em negrito. gl, graus de liberdade

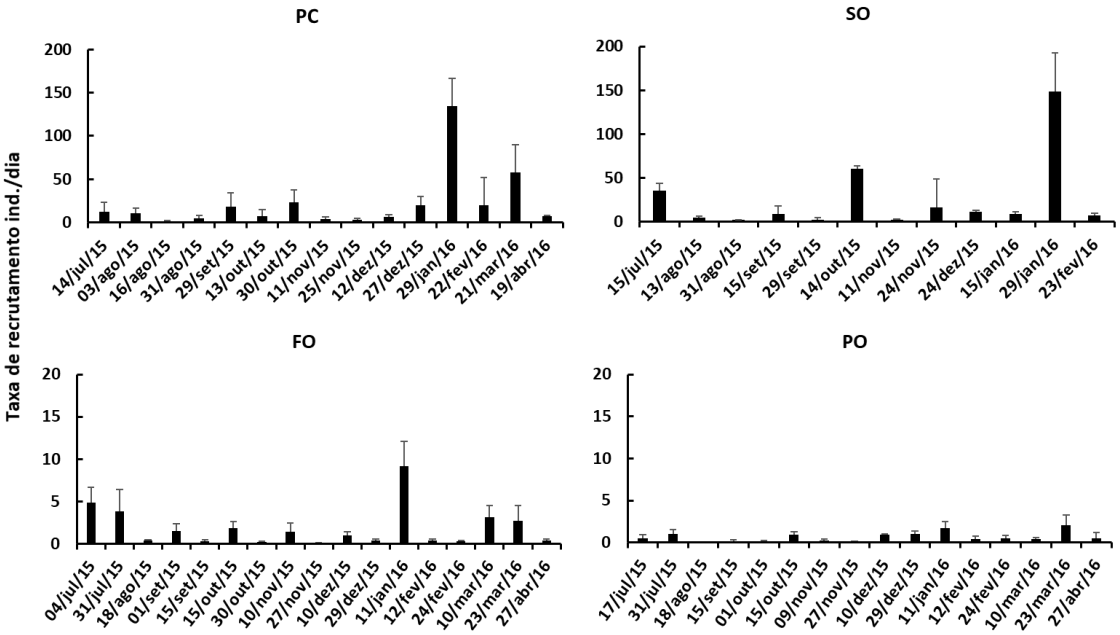

Figura 12: Taxa de recrutamento da espécie *Megabalanus s*pp. dos 4 pontos amostrais. Colunas: médias e Barras de erro: desvio padrão. Nota: PC e SO em escala diferente.

4.5 Fator Meteorológico

Durante o experimento (início 30/06/2015 e término no dia 27/04/2016) o vento predominante foi do quadrante NE com 60,6%, com maior frequência na classe de velocidade de 5,7 a 8,8 m/s (29,62%). Os ventos do quadrante S-SO tiveram a frequência de 15,8% com velocidades mais frequentes na classe de velocidade 2,1 a 5,7 m/s (Figura 13).

Durante o período do inverno a frequência do vento NE foi de 67,2% com maior frequência na classe de vento 5,7 a 8,8 m/s (33,62%), mas ventos que chegaram até 11,1 m/s (4,33%). A predominância do vento NE foi quebrada por ventos do quadrante S-SO com frequência de 14,46% e velocidades de 2 a 5,7 m/s com frequência de 6,44%, No período da primavera a frequência do vento NE (53,83%) foi menor que no período do inverno, assim como a velocidade na classe de velocidade de 5,7 a 8,8 m/s que corresponde a 23%. O vento do quadrante S-SO teve frequência de 19,04%, com maior frequência nas classes de velocidade de 2 a 5,7 m/s (12,2%), os valores são maiores que os período do inverno.

No período do verão a frequência do vento NE foi maior que no período da primavera (55,45%), com maior frequência na classe de vento 5,7 a 8,8 m/s (28,7%). Contudo a frequência do vento do quadrante S-SO foi menor que o inverno e primavera (10,28%) com ventos de 2,1 a 5,7 m/s (10,28%).

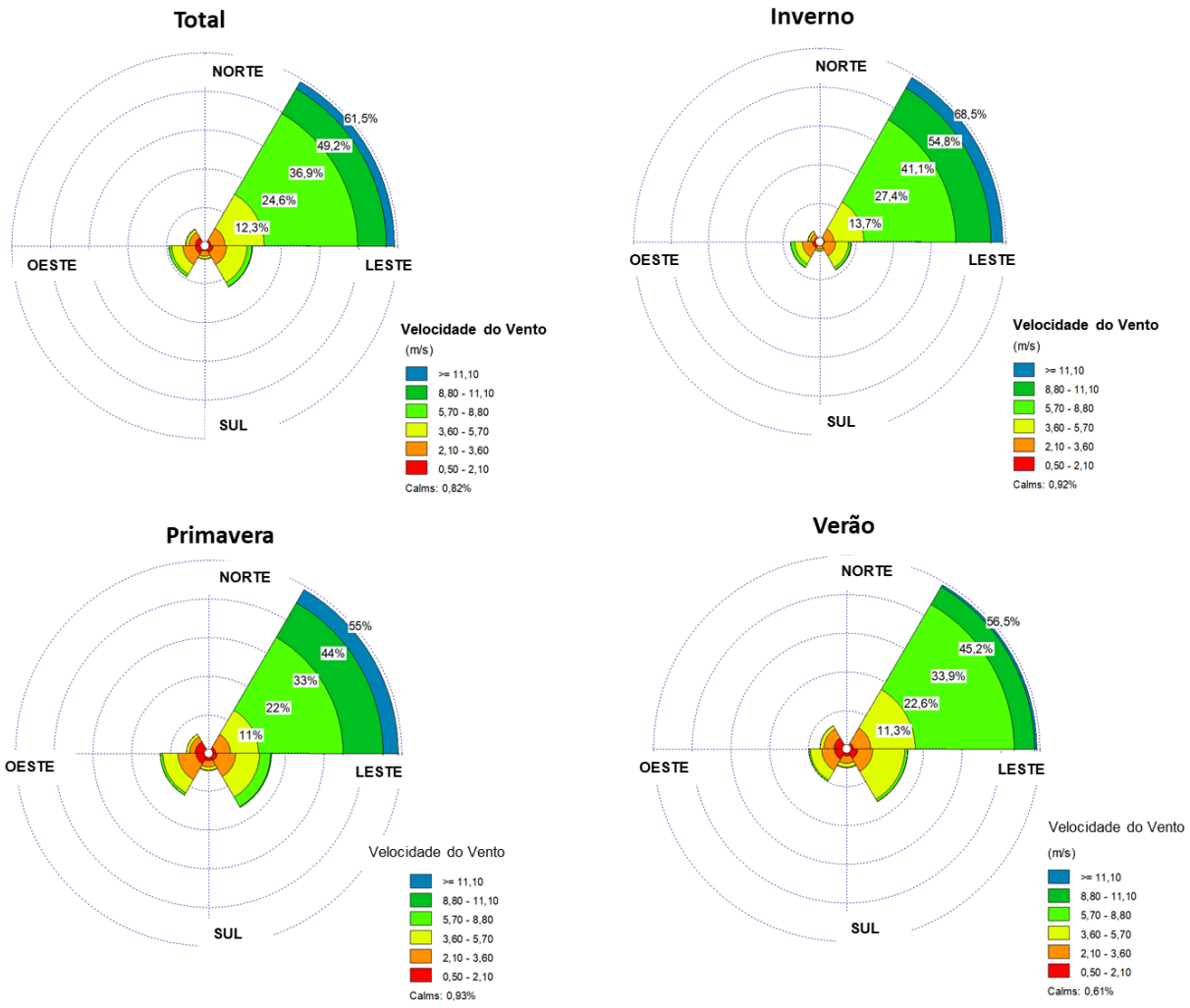

Figura 13: Frequência da direção e velocidade dos ventos durante o experimento e por estação do ano.do vento.

3.5 Correlação da taxa de recrutamento com o fator vento

O fator vento apresentou correlação com a taxa de recrutamento para todas as espécies de cirripédios. De maneira geral os ventos do quadrante Norte-Nordeste (N-NE) tiveram correlação negativa com a taxa de recrutamento, assim como a velocidade do vento. Em contra partida, os ventos do quadrante Sul-Sudoeste (S-SO) tiveram uma correlação positiva (r= 0,44 e r=0,62; Tabela 5).

Podemos perceber que existe um efeito diferente do fator vento na região com menor influência da ressurgência, o que pode ser explicado pela própria geografia do local e deixando os pontos mais abrigados em relação aos ventos, o que faz a correlação não seja significativa. Na região de maior frequência dos eventos de ressurgência apresentou correlação negativa para todas as espécies de cirripédios para ventos do quadrante NE e para aumento da velocidade (componente meridional =v). Para os ventos do quadrante S-SO a correlação foi positiva, sendo mais forte para o gênero *Megabalanus* spp. (r=0,55; Tabela 5). Os valores de correlação entre o recrutamento e o fator vento ficam mais evidente quando os dados são agrupados por estação do ano, separados por espécies e regiões com influência distinta do fenômeno de ressurgência.

A taxa de recrutamento da espécie *C. bisinuatus*, na PC apresentou correlação negativa forte com a orientação (u) e frequência do vento do quadrante NE, sendo mais expressiva durante o período de verão (u, r= -0,82 e NE, r= -0,92). Ventos do quadrante S-SO apresentaram correlação positiva com o recrutamento, sendo mais forte essa correlação no período do inverno (r= 0,86). O ponto SO respondeu de maneira diferente aos efeitos do fator vento, correlacionando-se positivamente com ventos do quadrante NE nos períodos de inverno e primavera (NE, inverno r= 0,58 e primavera r= 0,87) e negativamente nos períodos do verão (r= -0,34). Durante o período do verão foi encontrada uma correlação positiva fraca com ventos do quadrante S-SO (r=0,27).

No ponto FO a correlação foi negativa para vento do quadrante NE no período de primavera (r= -0,54) e correlação nula nos períodos de verão e inverno para essa orientação. Para ventos do quadrante S-SO e o recrutamento foi possível perceber correlação positiva nos períodos de inverno (r= 0,41) e

primavera (r= 0,51). O ponto PO apresentou correlação positiva com u e frequência dos ventos do quadrante NE durante a primavera (r= 0,79) e correlação negativa durante o verão (r= -0,51). Diferente dos demais pontos, o PO apresentou correlação negativa para ventos do quadrante S-SO (r= -0,99) para a espécies de *C. bisinuatus*.

A correlação da taxa de recrutamento da espécie *T. stalactifera* com o fator vento na PC apresentou o mesmo padrão que para espécies *C. Bisinuatus*. A taxa de recrutamento da PC apresentou correlação negativa com ventos do quadrante NE para os períodos de inverno (r= -0,74), primavera (r= -0,56), verão (r= -0,82) e correlação positiva com ventos do quadrante S-SO para todos os períodos, sendo mais expressivo no verão (r= 0,72). O ponto SO apresentou correlações mais expressivas no período do verão, resultados similares aos encontrados no ponto PC, sendo correlação forte negativa com componente meridional v (r= -0,93), ventos do quadrante NE (r= -0,98) e correlação positiva com ventos do quadrante S-SO (r= 0,98).

No ponto FO a correlação da taxa recrutamento de *T. stalactifera* foi mais expressiva no período do verão. Diferente dos pontos de maior frequência dos eventos de ressurgência o ponto FO apresentou correlação positiva com componente zonal (*u* r= 0,7), meridional (*v*, r= 0,71), frequência dos ventos quadrante NE (r= 0,61) e correlação negativa com ventos do quadrante S-SO (r= -0,61). O ponto PO apresentou os maiores valores de correlação no período de primavera, assim como o ponto do FO, correlacionou-se positivamente com ventos do quadrante NE (r= 0,71) e negativamente com ventos do quadrante S-SO (primavera r= -0,55 e verão r= -0,99).

A correlação da taxa de recrutamento do complexo *Megabalanus* spp. apresentou resultados semelhantes as outras espécies. O ponto PC apresentou correlação negativa forte no período do inverno com o componente *u* (r= -0,73), meridional *v* (r= - 0,82) e com a frequência do vento no quadrante NE (r= -0,91) e correlação positiva com o vento do quadrante S-SO (r= 0,87). Durante a primavera as correlações foram positivas com a componente zonal (r= 0,8) e meridional (r= 0,70) e negativa com os ventos do quadrante S-SO (r= -0,83). No verão os valores de correlação foram mais expressivos, assim como no inverno, com correlação negativa para componente zonal (*u*, r= -0,82), meridional *v* (r= -0,82), com a frequência do vento no quadrante NE (r= -0,92) e correlação positiva com o vento do quadrante S-SO (r= 0,86). No ponto SO a correlação mais expressiva foi no período do verão, assim como na PC, apresentou correlação negativa com o componente meridional *v* (r= -0,78), com a frequência do vento no quadrante NE (r= -0,93) e correlação positiva com o vento do quadrante S-SO (r= 0,98).

No ponto FO, foi encontrado correlação positiva com o quadrante S-SO nos períodos do inverno (r= 0,51) e primavera (r= 0,59), valores menores em relação aos pontos PC e SO. O ponto PO apresentou correlação positiva com o vento do quadrante NE durante a primavera (r= 0,74), mas durante o verão foi encontrado uma correlação negativa com os ventos do quadrante NE e S-SO (r= -0,51; r= -0,99, respectivamente).

Tabela 5: Resultados da correlação cruzada comparando com a concentração de náuplios e cípris com variáveis meteorológicas (*v*= direção do vento, componente zonal; *v*= velocidade do vento, componente meridional; NE = frequência do vento nordeste; S-SO= frequência do vento sul-sudoeste) para o período amostrado. Período de lag na escala de dias. A

	Inverno				**Primavera**				**Verão**			
	n=5				**n=5**				**n=4**			
Chthamalus bisinuatus	***u***	***v***	**NE**	**S-SO**	***u***	***v***	**NE**	**S-SO**	***u***	***v***	**NE**	**S-SO**
Ponta da Cabeça	-0,40	-0,71	-0,84	0,43	-0,18	-0,32	-0,53	0,15	-0,82	-0,82	-0,92	0,86
Sonar	0,36	0,40	0,58	-0,15	0,43	0,71	0,87	0,06	0,12	-0,29	-0,34	0,27
Forno	-0,40	-0,26	-0,09	0,41	-0,13	-0,38	-0,54	0,51	0,02	-0,30	-0,03	-0,08
Porcos	0,22	0,07	0,38	-0,18	0,73	0,58	0,79	0,23	-0,54	-0,41	-0,51	-0,99
T. stalatifera												
Ponta da Cabeça	-0,62	-0,61	-0,74	0,45	0,44	0,00	-0,56	0,26	-0,71	-0,68	-0,82	0,72
Sonar	-0,09	0,24	0,27	0,36	-0,39	-0,04	0,20	0,42	-0,03	-0,93	-0,98	0,98
Forno	-0,23	0,02	-0,05	0,61	0,30	0,31	0,02	-0,33	0,70	0,71	0,61	-0,61
Porcos	0,02	0,00	0,32	-0,09	0,01	0,34	0,71	-0,55	-0,08	0,35	0,14	-0,99
Megabalanus spp.												
Ponta da Cabeça	-0,76	-0,82	-0,91	0,87	0,80	0,70	0,48	-0,83	-0,82	-0,82	-0,92	0,86
Sonar	-0,25	0,17	0,14	0,46	0,30	0,64	0,82	0,09	0,24	-0,78	-0,93	0,98
Forno	-0,03	0,28	0,08	0,51	0,10	-0,26	-0,41	0,59	0,30	-0,30	0,16	-0,34
Porcos	0,02	0,00	0,32	-0,09	0,66	0,58	0,74	0,09	-0,54	-0,41	-0,51	-0,99

4. DISCUSSÃO

O presente estudo buscou relacionar o suprimento larvar, disponibilidade de alimento, taxa de recrutamento de duas espécies e um gênero de cirripédios em uma região com influência do evento de ressurgência. Nossos resultados mostraram que a ressurgência pode influenciar locais de uma mesma região de forma diferente no suprimento larvar, disponibilidade de alimento e recrutamento. O local influenciado pela maior frequência da ressurgência, apresentou maior concentração de clorofila-*a* nos meses de novembro/2015, dezembro/2015 e fevereiro/2016, período em que a temperatura da água estava mais baixa (na faixa de 16 a 17 ºC). Na parte interna da baía, área de menor frequência da ressurgência, os picos de clorofila-*a* ocorreram apenas em agosto/2015, valores semelhantes para os mesmos meses condizem com os encontrados por López (2008), e que mostra uma sazonalidade.

A temperatura da água nos dois locais estudados foi muito distinta, caracterizando claramente a diferença de frequência dos eventos de ressurgência para esses locais. O padrão de temperatura amostrado, corrobora os resultados encontrados por Skinner e colaboradores (2011), que caracterizou a parte interna da baía como um ambiente tropical. Entretanto, valores entre 18 e 16 ºC podem ser encontrados esporadicamente nos períodos de primavera e verão por um curto período, o que sugere a presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) nesses locais (Batista *et. al*., 2017).

O suprimento de náuplios foi maior no local de menor concentração de clorofila-*a* e menor frequência da ressurgência. O alto suprimento larvar de náuplios não garantiu uma concentração de larvas no estágio cípris. Em contraste, o local de maior frequência dos eventos de ressurgência apresentou

menor concentração de náuplios e maior concentração de cípris. Os resultados obtidos sugerem duas situações hipotéticas distintas: 1ª) locais mais protegidos (Baía dos Anjos) apresentam um fornecimento diferenciado de larvas com níveis de mortalidades aumentada; e/ou 2ª) apresenta uma dispersão larvar aumentada. Resultados semelhantes foram obtidos por Jenkins (2005) em fortes padrões diferenciais de assentamento de espécies de *Chthamalus*, que ocorreram devido um *pool* larvar completamente misturado, em que os padrões de assentamento foram ditados pela escolha da larva e não pela oferta larvar.

Os resultados mostram que os pontos localizados na parte interna da Baía dos Anjos apresentam o fornecimento de larvas no estágio inicial (náuplio) desacoplado das taxas de recrutamento, resultados já observado em outros estudos (Miron *et al.*, 1995, Moreira *et al.*, 2007), enquanto que, os pontos localizados nos locais externos estariam recebendo larvas de outras localidades, pois apresentam 3 vezes mais larvas no estágio cípris do que sua produção de náuplios. Leslie e colaboradores (2005), mostraram que locais com maior produtividade primária, podem produzir até 5 vezes mais larvas do que regiões com baixa produtividade, funcionando como *hotspots* reprodutivos.

Nossos resultados, mostram uma diferença espacial do recrutamento de cracas em ambientes com maior e menor frequência do fenômeno de ressurgência. Dessa forma, podemos dizer que processos oceanográficos em larga escala, como a ressurgência costeira, podem modular os padrões espaciais de mesoescala de recrutamento para as espécies de cracas como observado por Lagos *e* colaboradores (2005) em Chthamaloides, mas que podem ser ampliados para as demais espécies, que vivem no mesmo local.

Os resultados apresentados no presente estudo mostraram que as diferenças espaciais na taxa de recrutamento e a periodicidade dos picos de assentamento de cracas nos locais aumentam nos períodos do verão, quando os eventos de ressurgência são mais frequentes e intermitentes. No entanto, apesar da diferença de recrutamento entre os locais, os eventos de ressurgência só tiveram influência para as espécies de *T. stalactifera* e *Megabalanus* spp. Skinner e colaboradores (2011) mostrou, para a mesma região, que eventos de ressurgência influenciam na sazonalidade da maturação e liberação de larvas de *T. stalactifera*, fator que pode ter contribuído para as diferenças observadas entre os locais.

Além disso, outros fatores podem influenciar a taxa de recrutamento, como diferentes condições de vento, que podem modificar o padrão espacial de assentamento de cracas. Pôde-se perceber que os períodos de vento no quadrante NE de maneira geral foram correlacionados negativamente com o recrutamento, o que mostra que quanto mais frequente o vento nordeste menor é a taxa de recrutamento. No entanto ventos do quadrante S-SO foram correlacionados positivamente com a taxa de recrutamento vento responsável por causar o empilhamento de massa d'água, sendo mais expressivos nonos períodos do verão. Resultados similares de correlação entre o recrutamento e variáveis climáticas já tinham sido obtidos por Mazzuco e colaboradores (2015). O padrão espacial de povoamento de cracas pode ser heterogêneo e fortemente dependente da variabilidade do estresse do vento, como Bonicelli e colaboradores (2014), que mostraram o mesmo em áreas de uma pequena baía, com o vento influenciando de forma significativa a distribuição de larvas.

Numerosos estudos, conduzidos ao longo das últimas décadas, concentraram-se em determinar quais dos muitos processos físicos que afetam a circulação costeira e o fornecimento de larvas em ambientes de entremarés, são mais importantes na formação de padrões de assentamento e recrutamento (por exemplo, Connolly & Roughgarden, 1999, Farrell *et al.*, 1991, Lagos *et al.*, 2005, 2008, Roughgarden *et al.*, 1988). Podemos dizer que uma série de questões abordas no presente estudo são de importância ecológica e dependem da sua compreensão e dinâmica (Gaines *et al.*, 2003, Largier, 2003, Shanks *et al.*, 2003).

Assim como, fenômenos físicos como correntes de vento direcionam o transporte larvar para a costa (*onshore transport*), o que pode alterar o tempo de chegada de larvas à *habitats* entremarés (por exemplo, Pineda *et al.*, 2010), fenômeno que ocorre com relaxamento, na região estudo, com a virada dos ventos para a orientação sul. Nossos resultados reforçam para as espécies da parte interna da baia, os fluxos de vento e a sua interação com a topografia da baía estaria modelando o padrão de circulação local (Batista *et al.*, 2017), onde os ventos NE levam as larvas de invertebrados para fora da Baía dos Anjos e fazem a distribuição larvar para os ambientes entremarés, tendo um efeito no estabelecimento de larvas na parte de fora da baía como visto por Bonicelli e colaboradores (2014). Em condições opostas, com ventos do quadrante Sul, as águas são empilhadas para dentro da baía (Batista *et. al*., 2017) trazendo o suprimento larvar para o recrutamento durante os períodos de frente fria (ver Mazzuco *et al.*, 2015, Mazzuco *et al.*, 2018). Além disso, o recrutamento de cirripédios está sujeito a fatores como exposição a ondas, ou até mesmo

recrutamento em outras faixas do costão em maior quantidade do que na sua faixa de dominância (Scrosati, 2020), o que pode levar a morte dos recrutas.

O que o nosso estudo mostra e vem sendo sugerido por pesquisas anteriores é que o fluxo de águas frias profundas e ricas em nutrientes trazidas através de ventos ou correntes de superfície podem ter influências importantes nas comunidades costeiras. Eventos de ressurgência muito fortes diminuem o recrutamento, enquanto que eventos mais fracos aumentam o recrutamento (Navarrete *et al.*, 2005), dessa forma o recrutamento de cracas varia com a intensidade da ressurgência (Shanks, 2009).Assim, eventos intermitentes de ressurgência aumentam o recrutamento e melhoram a retenção costeira de larvas pelágicas, além de permitir que os nutrientes ressurgidos fiquem perto da costa por períodos mais longos, aumentando a abundância de fitoplâncton (Menge & Menge 2013). No entanto, Shanks & Morgan (2018) sugerem que o tamanho da zona de surf e as ondas internas geradas por maré seriam mais importantes para a abundância de fitoplâncton costeiro e no recrutamento da região entremarés.

O presente estudo contribui significativamente na compreensão de ambientes com maior frequências dos eventos da ressurgência apresentarem maior concentração de clorofila-*a* e suprimento larvar, que gera um aumento significativo na taxa de recrutamento. Além disso podemos dizer que a maior frequência do vento do quadrante NE diminui a taxa de recrutamento e a diminuição da velocidade do vento junto com ventos do quadrante S-SO aumentam a taxa do recrutamento, dessa forma o vento, e seus efeitos na circulação das massas d’águas demonstra ser uma excelente ferramenta para compreender a dinâmica da comunidade de cirripédios.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology,** v. 26, n.1, p. 32-46, 2001.

BARNES, H. Light, temperature and breeding of *Balauns balanoides*. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 43, p. 717–727, 1963.

BARNES, M. Egg production in cirripedes. **Oceanography and Marine Biology Annual Review**, v. 27, p. 91–166,1989.

BATISTA, D., GONÇALVES, J. E. A., MESSANO, H. F., ALTVATER, L., CANDELLA, R., ELIAS, L. M. C., COUTINHO, R. Distribution of the invasive orange cup coral *Tubastraea coccinea* Lesson, 1829 in an upwelling area in the South Atlantic Ocean fifteen years after its first record. **Aquatic Invasions**, v. 12, n. 1, p. 23–32, 2017.

BERTNESS, M. D.; GAINES S.D.; BERMUDEZ, D.; SANFORD, E. Extreme spatial variation in the growth and reproductive output of the acorn barnacle *Semibalanus balanoides*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 75, p. 91–100, 1991.

BONICELLI, J., TAPIA, F. J., NAVARRETE, S. A. Wind-driven diurnal temperature variability across a small bay and the spatial pattern of intertidal barnacle settlement. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. *461*, p. 350–356, 2014.

BURGESS, S., MARSHALL, D. Are numbers enough? Colonizer phenotype and abundance interact to affect population dynamics. **Journal of Animal Ecology** v. 80, n.3, p. 681–687, 2011.

BURROWS, M. T., HAWKINS, S. J., SOUTHWARD, A. J. Larval development of the intertidal barnacles *Chthamalus stellatus* and *Chthamalus montagui*. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 79, n.1, p. 93–101, 1999.

CHAN, Benny KK; WILLIAMS, Gray A. Population dynamics of the acorn barnacles, *Tetraclita squamosa* and *Tetraclita japonica* (Cirripedia: Balanomorpha), in Hong Kong. **Marine Biology**, v. 146, n. 1, p. 149-160, 2004.

CONNOLLY, S.R., ROUGHGARDEN, J., Increased recruitment of northeast Pacific barnacles during the 1997 El Niño. **Limnology and Oceanography**, v. 44, n. 2, p. 466-469, 1999.

FARRELL, T.M., BRACHER, D., ROUGHGARDEN, J. Cross-shelf transport causes recruitment to intertidal populations in central California. **Limnology and Oceanography**, v. 36, n. 2, p. 279-288, 1991.

GAINES, S.D., GAYLORD, B., LARGIER, J.L. Avoiding current oversights in marine reserve design. **Ecological Applications**, v. 13, n. sp1, p. 32-46, 2003.

HAMMER, Ø; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

HERBERT, R. J. H., HAWKINS, S. J., SHEADER, M., SOUTHWARD, A. J. Range extension and reproduction of the barnacle *Balanus perforatus* in the eastern English Channel. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom,** v. 83, n.1, p. 73–82, 2003.

JARRETT, J. Seasonal variation in larval condition and post-settlement performance of the barnacle *Semibalanus balanoides*. **Ecology**, v. 84, n. 2, p. 384–390, 2003.

JENKINS, S. R. *Larval habitat selection, not larval supply, determines settlement patterns and adult distribution in two chthamalid barnacles*. **Journal of Animal Ecology**, v. 74, n. 5, p. 893-904, 2005.

JENKINS, S. R., MURUA, J., BURROWS, M. T. Temporal changes in the strength of density-dependent mortality and growth in intertidal barnacles. **Journal of Animal Ecology**, v. 77, n. 3, p. 573–584, 2008.

KASTEN, P., JENKINS, S. R., TREMBLAY, R., FLORES, A. A. V. Evidence for enhanced late-stage larval quality, not survival, through maternal carry-over effects in a space monopolizing barnacle. **Hydrobiologia**, v. 830, n. 1, p. 277–286, 2019.

LAGOS, N.A., CASTILLA, J.C., BROITMAN, B.R. Spatial environmental correlates of intertidal recruitment: a test using barnacles in northern Chile. **Ecological Monographs**, v. 78, n. 2, p. 245-261, 2008.

LAGOS, N.A., NAVARRETE, S.A., VÉLIZ, F., MASUERO, A., CASTILLA, J.C. Meso-scale spatial variation in settlement and recruitment of intertidal barnacles along the coast of central Chile. **Marine Ecology Progress Series**, v. 290, p. 165-178, 2005.

LARGIER, J.L. Considerations in estimating larval dispersal distances from oceanographic data. **Ecological Applications**, v. 13, n. sp1, p. 71-89, 2003.

LESLIE, H. M., BRECK, E. N., CHAN, F., LUBCHENCO, J., MENGE, B. A. Barnacle reproductive hotspots linked to nearshore ocean conditions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 30, p. 10534-10539, 2005.

LÓPEZ, M. S. **O bivalve invasor *Isognomon bicolor* e seu papel na ecologia das comunidades de entremarés rochoso na região de ressurgência de Cabo Frio, RJ.** 225 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas - Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. 2008.

MACHO, G., VASQUEZ, E., GIRÁLDEZ, R., MOLARES, J. Spatial and temporal distribution of barnacle larvae in the partially mix estuary of the Ria de Arousa (Spain). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 392, n. 1-2, p. 129-139, 2010.

MAZZUCO, A. C. A., CHRISTOFOLETTI, R. A., PINEDA, J., STARCZAK, V. R., CIOTTI, A. M. Temporal variation in intertidal community recruitment and its relationships to physical forcings, chlorophyll-a concentration and sea surface temperature. **Marine Biology**, v. 162, n. 9, p. 1705-1725, 2015.

MAZZUCO, A. C., CHRISTOFOLETTI, R. A., COUTINHO, R., CIOTTI, Á. M. The influence of atmospheric cold fronts on larval supply and settlement of intertidal invertebrates: Case studies in the Cabo Frio coastal upwelling system (SE Brazil). **Journal of Sea Research**, v. 137, p. 47-56, 2018.

MCCULLOCH A., SHANKS A. L. Topographically generated fronts, very nearshore oceanography and the distribution and settlement of mussel larvae and barnacle cyprids. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 11, p. 1427-1439, 2003.

MCQUAID, C. D., PHILLLIPS, T. E. Mesoscale variation in reproduction, recruitment and population structure of intertidal mussels with low larval input: a bay/open coast comparison. **Marine Ecology Progress Series**, v. 327, p. 193-206, 2006.

MENGE, B. A. Community regulation: under what conditions are bottom-up factors important on rocky shores? **Ecology**, v. 73, p. 755–765, 1992.

MENGE, B. A. Recruitment vs. post-recruitment processes as determinants of barnacle population abundance. **Ecological Monographs**, v. 70, n. 2, p. 265-288, 2000.

MIRON, G., BOUDREAU, B., BOURGET, E. Use of larval supply in benthic ecology: testing correlations between larval supply and larval settlement. **Marine Ecology Progress Series**, v. 124, p. 301-305, 1995.

MOREIRA, F. T., HARARI, J., FLORES, A. A. V. Neustonic distribution of decapod planktonic stages and competence of brachyuran megalopae in coastal waters. **Marine and Freshwater Research**, v. 58, n. 6, p. 519-530, 2007.

NAVARRETE, A. S., WIETERS, E. A., BROITMAN, B. R., CASTILLA, J. C. Scales of benthic-pelagic coupling and the intensity of species interactions: from recruitment limitation to top-down control. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 50, p. 18046-18051, 2005.

NORRIS, E., CRISP, D. J. The distribution and planktonic stages of the cirripede *Balanus perforatus* Bruguiere. **Proceedings of the Zoological Society of London**, v. 123, p. 393–409, 1953.

PINEDA, J. Predictable upwelling and the shoreward transport of planktonic larvae by internal tidal bores. **Science**, v. 253, n. 5019, p. 548-549, 1991.

PINEDA, J., LÓPEZ, M. Temperature, stratification and barnacle larval settlement in two Californian sites. **Continental Shelf Research**, v. 22, n. 8, p. 1183-1198, 2002.

PINEDA, J., PORRI, F., STARCZAK, V.R., BLYTHE, J. Causes of decoupling between larval supply and settlement and consequences for understanding recruitment and population connectivity. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 392, n. 1-2, p. 9-21, 2010.

PINEDA, J., REYNS, N. B., STARCZAK, V. R. Complexity and simplification in understanding recruitment in benthic populations. **Population Ecology,** v. 51, n. 1, p. 17-32, 2009.

POLOCZANSKA, E. S., HAWKINS, S. J., SOUTHWARD, A. J., BURROWS, M. T. Modeling the response of populations of competing species to climate change. **Ecology**, v. 89, n. 11, p. 3138-3149, 2008.

ROUGHGARDEN, J., GAINES, S.D., POSSINGHAM, H.P. Recruitment dynamics in complex life cycles. **Science**, v. 241, n. 4872, p. 1460-1466, 1988.
SCOR-UNESCO, W. G. Determination of photosynthetic pigments. **Determination of Photosynthetic Pigments in Sea-water**, p. 9-18, 1966.

SCROSATI, R. A. Effects of intertidal elevation on barnacle recruit density and size in wave-exposed habitats on the Atlantic Canadian coast. **Northeastern Naturalist,** 27, in press., 2020.

SHANKS A. L., SHEARMAN R. K. Paradigm lost? Cross-shelf distributions of intertidal invertebrate larvae are unaffected by upwelling or downwelling. **Marine Ecology Progress Series**, v. 385, p. 189-204, 2009.

SHANKS, A. L. Barnacle settlement versus recruitment as indicators of larval delivery: time series analysis and hypothesized delivery mechanisms. **Marine Ecology Progress Series**, v. 385, p. 217-226, 2009b.

SHANKS, A. L., GRANTHAM, B. A., CARR, M. H. Propagule dispersal distance and the size and spacing of marine reserves. **Ecological applications**, v. 13, n. sp1, p. 159-169, 2003.

SHANKS, A. L., MORGAN, S. G. Testing the intermittent upwelling hypothesis: reply. **Ecology**, v. 100, n. 3, p. e02516, 2019.

SKINNER, L. F., KELEN, H., MACHARET, L., COUTINHO, R. Influence of upwelling and tropical environments on the breeding development of the intertidal barnacle *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 59, n. 4, p. 349-356, 2011.

SOUTHWARD, A. J. Forty years of changes in species composition and population density of barnacles on a rocky shore near Plymouth. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 71, n. 3, p. 495-513, 1991.

THIYAGARAJAN V., HARDER T., QIAN, P.Y. Relationship between cyprid energy reserves and metamorphosis in the barnacle *Balanus amphitrite* Darwin (Cirripedia; Thoracica). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 280, n. 1-2, p. 79-93, 2002.

TODD, C.D., PHELAN, P.J.C., WEINMANN, B.E., GUDE, A.R., ANDREWS, C., PATERSON, D.M., LONERGAN, M.E., MIRON, G. Improvements to a passive trap for quantifying barnacle larval supply to semi-exposed rocky shores. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 332, n. 2, p. 135-150, 2006.

VALENTIN, J. L. Analyse des paramètres hydrobiologique dans la remontée de Cabo Frio (Brésil), **Marine Biology**, v. 82, n. 3, p. 259-276, 1984.

VALENTIN, J. L. O plâncton na ressurgência de Cabo Frio (Brasil). II- Primeiras observações sobre a estrutura física, química e biológica das águas da estação fixa. **Publ. do Instituto de Pesquisas da Marinha**, v. 83, p. 1-11, 1974.

VAN ALLEN, B. G, RUDOLF, V.H.W. Ghosts of habitats past: environmental carry over effects drive population dynamics in novel habitat. **The American Naturalist**, v. 181, n. 5, p. 596-608, 2013.

VARGAS, C. A., NARVÁEZ, D. A., PIÑONES, A., VENEGAS, R. M., NAVARRETE, S. A. Internal tidal bore warm fronts and settlement of invertebrates in central Chile. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 61, n. 4, p. 603-612, 2004.

WING, S.R., LARGIER, J.L., BOTSFORD, L.W., QUINN, J.F. Settlement and transport of benthic invertebrates in an intermittent upwelling region. **Limnology and Oceanography**, v. 40, n. 2, p. 316-329, 1995.

CAPÍTULO 2

DISTRIBUIÇÂO ESPACIAL E TEMPORAL DAS LARVAS DE CIRRIPÉDIOS EM COSTÕES DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO-RJ

1. INTRODUÇÃO

O ciclo de vida de muitos invertebrados bentônicos costeiros é caracterizado pelas diferenças entre os ambientes onde os adultos e as larvas devem sobreviver e se desenvolver. Assim, indivíduos adultos, com pouca ou nenhuma mobilidade, liberam suas larvas planctônicas no ambiente, onde vários processos físicos e biológicos determinam o equilíbrio entre a mortalidade, dispersão e sobrevivência para completar o desenvolvimento (Morgan, 1995).

As larvas são a principal fonte de novos indivíduos para o grupo dos cirripédios, e assim, as condições do ambiente pelágico são decisivas para a sua dispersão e crescimento. A variação na quantidade de novos indivíduos para as populações locais tem sido reconhecida como um fator importante, que controla interações entre espécies e a regulação da comunidade em ecossistemas marinhos (Navarrete *et al.*, 2005).

Ambientes pelágicos são responsáveis não só pela distribuição do alimento, mas também pelo fornecimento de larvas aos ambientes de fundo e são capazes de ligar sistemas bentônicos em locais diferentes (Navarrete *et al.*, 2005, Broitman *et al.*, 2008).

O suprimento larvar é considerado como o conjunto de larvas que chegam a uma comunidade e afetam diretamente o número que se estabelecerão (Pineda *et al.*, 2002, Porri *et al.*, 2006). Dessa forma, a fase larvar pelágica é capaz de dispersão muito maior do que juvenis e adultos, fazendo com que o destino das larvas seja chave determinante para a conectividade da população marinha (Cowen *et al.*, 2000, Pineda *et al.*, 2007).

Correntes marinhas ajudam no transporte e dispersão das larvas de invertebrados. No entanto, o retorno dessas larvas à costa pode ser uma jornada

incerta, como exemplificado pelo paradigma clássico de circulação das regiões de ressurgência (Roughgarden *et al.*, 1988)

Durante o período de ressurgência, as larvas que se encontram na água de superfície podem ser transportadas para regiões mais afastadas da costa (Roughgarden *et al.*, 1988, Menge *et al.*, 2003, Navarrete *et al.*, 2005, Shanks & Brink, 2005), onde o padrão esperado é um transporte de advecção para fora da costa devido aos ventos e transporte de Ekman (Roughgarden *et al.*, 1988, Llope *et al.*, 2006, Rivera *et al.*, 2013). Esse processo permite o afloramento de águas mais frias, e em geral mais ricas em nutrientes, estimulando uma produtividade primária adjacente, a chamada "pluma de ressurgência", que poderia servir como reservatório para larvas transportadas. Neste panorama, somente através do relaxamento da ressurgência, com ventos opostos, é que as larvas exportadas têm chances de voltarem para a costa, pela reversão do fluxo de água de superfície (Farrell *et al.*, 1991, Roughgarden *et al.*, 1991).

Assim sendo, longos períodos de ressurgência poderiam levar à perda de larvas, de forma que essas larvas não conseguiriam voltar para os locais de assentamento (Connolly & Roughgarden, 1999, Connolly *et al.*, 2001, Skinner & Coutinho, 2002). Alterações nos regimes de correntes e processos oceanográficos localmente alterariam o transporte das larvas planctônicas.

No entanto, relatos de que as larvas são capazes de manter a sua posição próxima a costa, apesar da forte advecção das águas superficiais durante a ressurgência, têm sido cada vez mais comuns (Morgan *et al.*, 2009, Shanks & Shearman, 2009, Hoffmann *et al.*, 2012, Rivera *et al.*, 2013). A explicação para esse processo seria que as larvas no estágio competente (cípris), conseguiriam fazer uma migração vertical na coluna d'água, que

permitiria encontrar uma corrente de retorno para voltar à costa (Hoffmann *et al.*, 2012, Rivera *et al.*, 2013).

Além disso, os períodos de ressurgência aumentam a taxa da produção primária que é importante para sobrevivência larvar (Anil *et al.*, 2001). O aumento na concentração de alimento pode aumentar o potencial reprodutivo (Bertness *et al.* 1991, Philips 2007). Assim a alocação de energia para a reprodução, em associação ao quanto é traduzido em novas larvas possui relação com a quantidade de alimento disponível para os adultos.

Fatores abióticos, como por exemplo, temperatura e salinidade, possuem uma influência direta em todo o ciclo de vida dos cirripédios. A temperatura e salinidade não somente influenciam nos estágios iniciais das larvas (Anil *et al.*, 2001), mas também no desenvolvimento dos recém assentados e estabelecidos (Thiyagarajan *et al.* 2007, Nasrolahi *et al.*, 2013).

O presente estudo foi conduzido em uma região com influência de eventos de ressurgência e subsidência na costa entre os municípios de Arraial do Cabo e Niterói (Gonzalez-Rodrigues *et al.*, 1992, 1994, Franchito *et al.*, 2008). Na região já foram documentadas a ocorrência de processos de meso-escala de ressurgências e sistemas frontais influenciam nos padrões de recrutamento (Skinner & Coutinho 2002, Mazzuco, 2009, Santos, 2014), no suprimento (Mazzuco *et al.*, 2018) e na produção de larvas de cirripédios (Skinner *et al.*, 2011).

O interesse decorre do fato que os padrões de circulação costeira e de transporte larvar podem influenciar a estrutura e o funcionamento de populações individuais (Roughgarden *et al.*, 1988), interações entre as espécies (Aiken & Navarrete, 2014, Salomon *et al.*, 2010) e comunidades bentônicas (Caro *et al.*,

2010), através de seus efeitos sobre o padrão espacial e o tempo de entrega das larvas para os ambientes próximos à costa.

Como os estágios larvais planctônicos de invertebrados bentônicos possuem o tamanho reduzido e têm capacidades limitadas para natação horizontal em relação às velocidades típicas das correntes de superfície próximas a costa, acredita-se que o transporte de larvas de invertebrados seja fortemente modulado por processos físicos (por exemplo, Cudaback *et al.*, 2005, Kaplan & Largier, 2006, Kirincich *et al.*, 2005).

A circulação na costa próxima é altamente complexa e variável, tanto temporal quanto espacialmente, devido à combinação de vários processos físicos e sua interação com a topografia costeira (Kirincich *et al.*, 2005, Lentz & Fewings, 2012, Sobarzo *et al.*, 2010).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi o de avaliar o suprimento dos estágios larvares quanto a variação temporal e espacial. Estabelecer essa conexão é especialmente importante para a compreensão dos mecanismos e das escalas de variabilidade que modelam os padrões de assentamento de espécies de invertebrados em ambientes de entremarés. Nossa hipótese de trabalho é que o suprimento larvar varia espacial e temporalmente, recebendo influência direta do vento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado na costa do estado do Rio de Janeiro, nos municípios de Arraial do Cabo, Saquarema e região Oceânica de Niterói. As regiões são abundantes em costões rochosos graníticos, que são alternados por praias arenosas.

A margem continental sudeste do Brasil é uma região crucial para a economia do país devido à alta produção pesqueira, associada ao sistema de ressurgência sazonal (Lopes *et al.*, 2006). A região de Arraial do Cabo é um dos principais pontos de ressurgência da costa, juntamente com Saquarema e Jaconé (pontos de uma mesma região). No entanto, afloramentos são menos frequentes na região de Niterói (próxima a Baia da Guanabara), ocorrendo uma mistura de massas d'águas (Ikeda, 1976, Magliocca *et al.*, 1979, Carbonel & Valentin, 1999, Lopes *et al*., 2006). O período escolhido para as coletas foi de não ressurgência, pois no inverno, em geral toda a coluna d'água sujeita ao mecanismo de Ekman, com águas mais quentes e mesmo sob condições favoráveis de vento, não se observa a presença de águas frias na superfície (Torres Jr., 1995). Já a região de Niterói está situada na entrada da Baía de Guanabara e recebe continuamente águas eutrofizadas, além de águas de origem oceânica (Salvador & Silva, 2002)

As amostras de água para análise do plâncton foram coletadas em quatro costões rochosos no mesmo dia, durante o período do inverno e início da primavera de 2018. Realizadas nos pontos A – Arraial do Cabo (UTM 23 K 804021.00mE, 7455995.00mS), B – Saquarema (UTM 23K 756810.25mE, 7461393.36mS), C – Jaconé (UTM 23K 737717.12mE, 7460414.01mS) e D –

Niterói (UTM 23K 695150.07mE, 7460227.97mS) (Figura 14). As amostragens foram semanais iniciadas no 29 de julho de 2017 e finalizadas no dia 24 de setembro de 2017 (total de 7 coletas em cada ponto). As larvas de Cirripédia foram coletadas no plâncton a partir das águas que banhavam diretamente o costão com a utilização de um balde plástico de 10 L de volume. Cada amostra de água era formada por 15 coletas sucessivas, totalizando-se 150 litros que foram filtradas e concentradas em cada amostra. A cada amostragem eram tomadas três réplicas (3 x 150 L) e imediatamente fixadas em uma solução 4% de formol salino até a análise em laboratório. O volume total da amostra foi triado, sem subamostragem, sob estereomicroscópio e as quantidades de larvas assinaladas de acordo com as duas principais fases do desenvolvimento de Cirripedia: náuplios e cípris, não se fazendo distinção entre os estágios naupliares nem entre as espécies, dada a dificuldade de identificação destas no plâncton. As densidades de larvas foram transformadas para indivíduos.m^{-3}, a fim de possibilitar comparações.

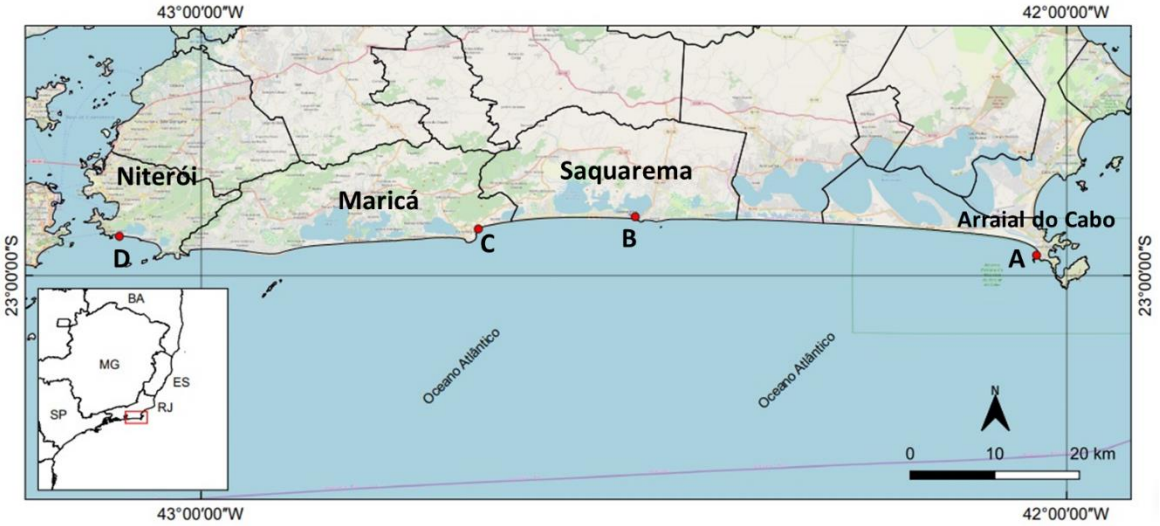

Figura 14: Mapa das regiões de estudo no estado do Rio de Janeiro e seus respectivos pontos. A = Arraial do Cabo, B = Saquarema, C = Jaconé e D= Niterói.

2.2 Dados Ambientais

Para os valores de Clorofila-*a* e temperatura da água foi utilizado dados do satélite Aqua-MODIS com células de 4x4 km para cada ponto amostrado. Os dados de Clorofila-*a* são um reflexo para a abundância de fitoplâncton (Menge & Menge 2013). Os dados costeiros de satélites de Clorofila-*a* e da temperatura da água são frequentemente usados na ecologia de entremarés (Navarrete *et al.* 2005, Burrows *et al.* 2010, Mazzuco *et al.* 2015, Lara *et al.* 2016). Foram obtidos valores da concentração de clorofila diários através das médias dos pixels da área amostrada, no entanto, podem existir pequenas diferenças entre os dados de satélite e os mensurados em *in-situ*. Os dados de satélite para Clorofila-*a* e temperatura da água foram os únicos disponíveis para este estudo.

2.2 Dados Meteorológicos

Os principais componentes meteorológicos de comparação foram: direção e intensidade do vento para a região de estudo durante os períodos de coleta. A partir delas foi possível verificar relações entre os processos bióticos e as variáveis climáticas e também determinar a frequência de ocorrência e intensidade dos fenômenos oceanográficos de interesse. Os dados utilizados foram do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (www.inmet.gov.br) a partir das estações meteorológicas de superfície, instalado no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), estação meteorológica mais próxima aos pontos amostrais.

2.3 Análise dos dados

O número total de larvas nos estágios náuplio e cípris foi contado e convertido para metros cúbicos. A variabilidade espacial dos pontos amostrados foi examinada através da análise de variância unifatorial (ANOVA), realizadas

separadamente para cada variável: fator: estágio e local, respectivamente. As premissas da normalidade e da homocedasticidade foram avaliadas pelos testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e de Cochran, respectivamente. Quando não atingidas com os dados brutos, realizamos as transformações adequadas. O nível de significância em todos os testes foi de $\alpha = 0,05$ (Underwood, 1997, Sokal & Rolhf, 2003).

O vento foi descrito utilizando as seguintes componentes: velocidade do vento e direção, que foram decompostos em: intensidade dos ventos zonais (u) e meridionais (v). Também foi verificada a frequência percentual dos ventos em seus quadrantes. O período de amostragem utilizado nas análises dos dados do vento *in situ* foi diário durante as 24h antes da coleta.

Foi realizada uma correlação cruzada com os valores de clorofila-*a*, temperatura da água e vento com intuito de compreender a distribuição do suprimento larvar.

3. RESULTADOS

3.1 Clorofila-*a* por Satélite

A concentração de clorofila-*a* foi maior no Ponto D, estação de Niterói, sendo esse ponto considerado diferente dos demais através da análise de variância (Figura 15, Tabela 6). Dessa forma Arraial do Cabo, Saquarema e Jaconé não apresentaram diferenças entre si.

O ponto de Arraial do Cabo apresentou concentração de clorofila-*a* média 0,87 mg/m^3, mínima de 0,23 mg/m^3 no dia 05/09/18 e máxima de 4,2 mg/m^3 no dia 02/09/18. Por outro lado, Saquarema apresentou concentração média 0,93 mg/m^3, mínima de clorofila-*a* de 0,24 mg/m^3 no dia 01/08/18 e máxima de 3,82 mg/m^3 no dia 02/09/18.

Jaconé apresentou valores semelhantes aos verificados em Arraial do Cabo e Saquarema, com concentração média 1,18 mg/m^3, mínima de clorofila-*a* de 0,22 mg/m^3 no dia 19/08/18 e máxima de 5,61 mg/m^3 no dia 23/07/18. Niterói apresentou os maiores valores de clorofila-*a* entre os pontos amostrados, com concentração mínima de 0,28 mg/m^3 no dia 18/08/18 e máxima concentração de 14,75 mg/m^3 no dia 31/08/18. Essa estação de coleta está localizada na saída da baía da Guanabara, ambiente altamente eutrofizado.

Tabela 6: Resultado da análise one-way ANOVA da comparação da clorofila-a por satélite entre os locais amostrados

	SQ	gl	MQ	F	p
Local:	227,73	3	75,91	25,13	**<0,001**
Total:	677,74	152	1,00E-05		

Resultado significativo *(≤0,05) em negrito. gl, graus de liberdade.

3.2 Temperatura da água obtida por imagem de Satélite

A diferença de temperatura da água, obtida por satélite, entre os pontos foi muito pequena (Figura 16), não sendo considerada significativa, quando feita a análise de variância comparando os pontos (Tabela 7). A amplitude da temperatura da água foi de 7,88 ºC entre os pontos ao longo do período de estudo.

No período amostrado de 20/07/2018 a 24/09/2018, a menor temperatura da água para Arraial do Cabo e Saquarema registradas foi de 20,3 ºC no dia 08/08/2018. As temperaturas da água por satélite máximas foi de 24,65 ºC no dia 19/09/2018.

Em Jaconé, a temperatura mínima da água registrada foi de 16,8 ºC, no dia 15/09/2018 e a máxima de 24,68 ºC no dia 19/09/18. Em Niterói, a temperatura mais baixa foi de 20,04 ºC, no dia 08/08/18 e máxima de temperatura de 24,35 ºC no dia 19/09/18.

Tabela 7: Resultado da análise one-way ANOVA da comparação da temperatura da água por satélite entre os locais amostrados

	SQ	gl	MQ	F	p
Local:	0,026	3	0,0087	0,01137	0,9983
Total:	89,9425	120	0,9984		

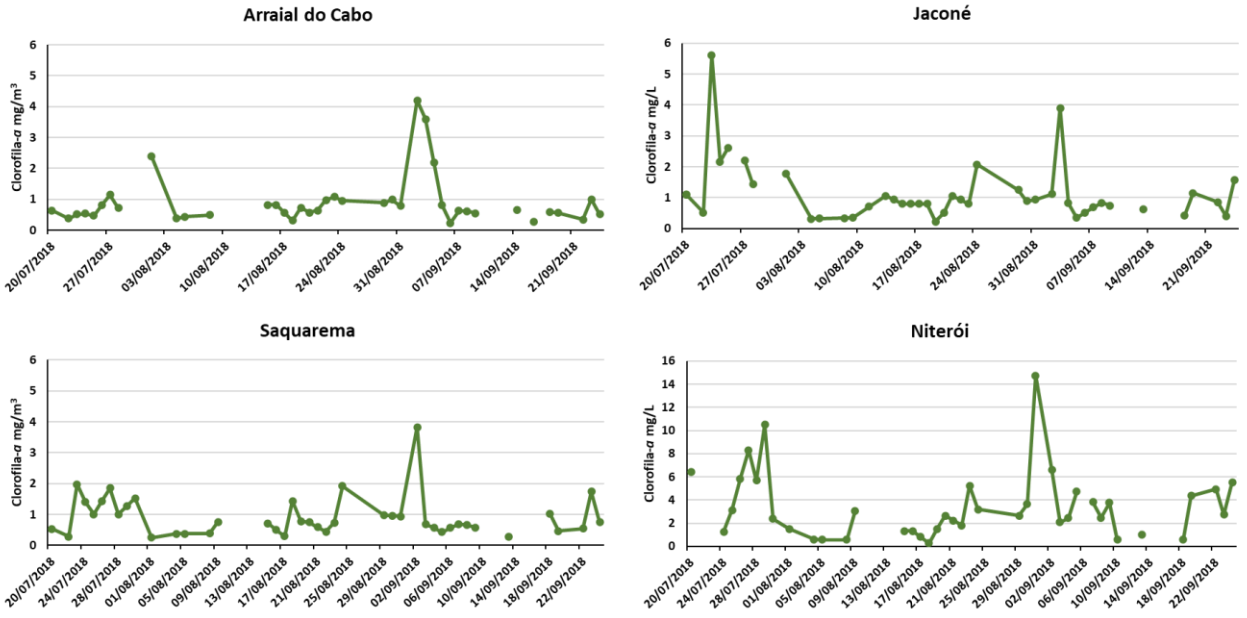

Figura 15: Concentração de clorofila-*a*, obtida por satélite, dos 4 pontos amostrados nos períodos entre 20/07/2018 à 24/09/2018.

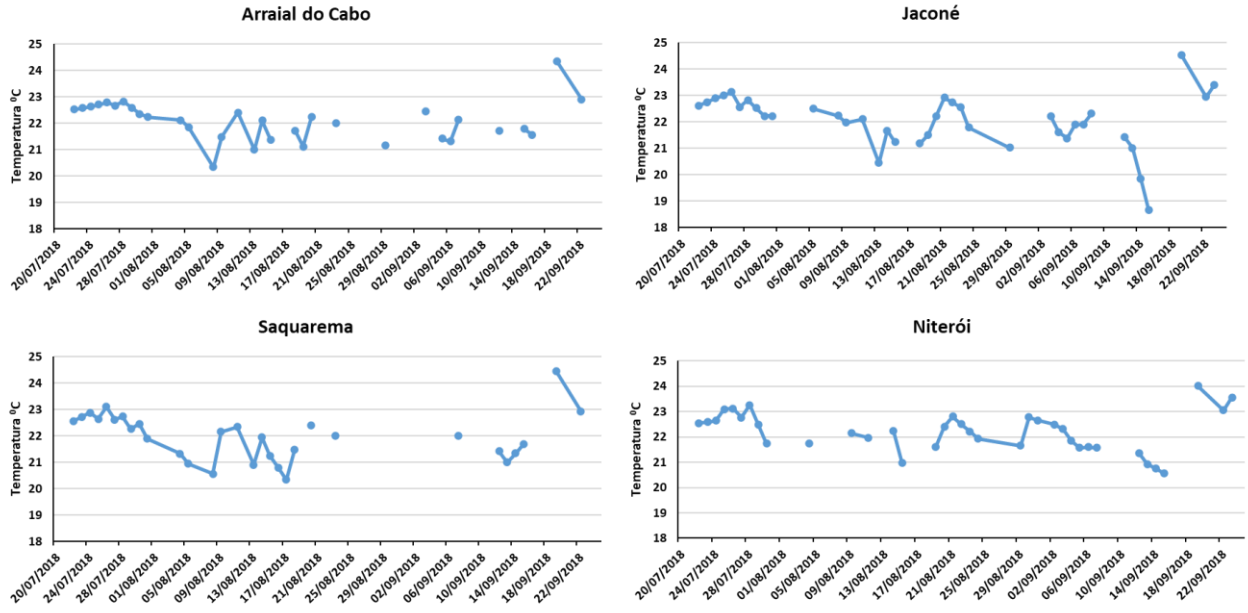

Figura 16: Temperatura diária da água, obtida por satélite, dos 4 pontos amostrados nos períodos entre 20/07/2018 à 24/09/2018.

3.3 Concentração de Larvas

A concentração de náuplios variou entre os pontos ao longo dos períodos (Figura 17). O ponto Arraial do Cabo, mostrou-se significativamente maior, do que Saquarema e Jaconé (F= 4,35, gl= 3, p=0,006, Tabela 8).

Os picos de larvas náuplio em Arraial do Cabo ocorreram com concentração de 15.011±1636 náuplio/m^3 no dia 06/08/2018 e picos menores nos dias 29/07/2018 (167±79 náuplio/m^3) e 21/08/2018 (com 3131±326 náuplio/m^3)

No ponto de Saquarema os maiores picos ocorreram nos dias 29/07/2018 (com 220±190 náuplio/m^3) e no dia 06/08/2018 (231,11±30,06 náuplio/m^3), os demais períodos as concentrações de náuplios foram abaixo de 37,77± 26,94 náuplio/m^3). No ponto Jaconé, o pico de larvas náuplio ocorreu no dia 06/08/18 com concentração de 82,22±77 náuplio/m^3, não apresentando mais nenhum pico.Já no ponto de Niterói o pico só veio ocorrer no dia 21/08/18 com concentração de 3.306±720,86 náuplio/m^3.

A concentração de larvas no estágio cípris no ponto de Arraial do Cabo pico de 164±57 cípris/m^3 no dia 06/08/2018 (Figura 18). No ponto Saquarema os picos ocorreram nos dias 29/07/2018 com concentração de 842,22±245,7 cípris/m^3 e no dia 06/08/2018 o maior pico com concentração de 1268,89±95,76 cípris/m^3, outros picos menores foram, mas com menor intensidade.

Assim como Saquarema, o ponto Jaconé apresentou picos de larvas nos dias 29/07/2018 com 426,67±13 cípris/m^3, no dia 06/08/2018 com concentração de 1206,67±682,87 cípris/m^3, outros picos menores foram encontrados nos dias 21/08/2018 e 10/09/2018.

No ponto Niterói os picos foram nos dias 06/08/2018 e 15/08/2018 com concentrações de 142±22 cípris/m^3 e 115,56±23,41 cípris/m^3 respectivamente. Os valores foram menores do que os encontrados nos pontos de Saquarema e Jaconé. Dessa forma, Saquarema e Jaconé tiveram significativamente mais larvas nesse estágio do que nos pontos de Arraial do Cabo e Niterói (F= 7,22, gl= 3, p<0,001, Tabela 9).

Tabela 8: Resultado da análise One-way ANOVA da comparação dos 4 sites quanto a concentração de larvas no estágio náuplio.

	gl	F	*p*
Local	3	4,35	**0,006***
Residual	80		

Resultado significante *(≤0,05) estão em negrito. gl, graus de liberdade

Tabela 9: Resultado da análise One-way ANOVA da comparação dos 4 sites quanto a concentração de larvas no estágio cípris

	gl	F	*p*
Site	3	7,22	**0,001***
Residual	80		

Resultado significante *(≤0,05) estão em negrito. gl, graus de liberdade

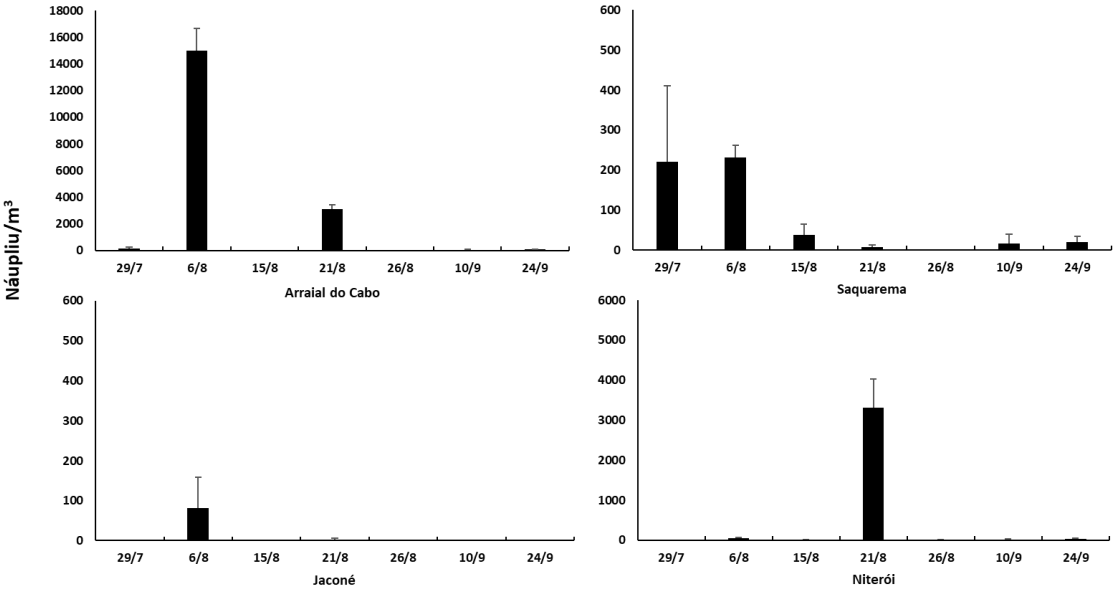

Figura 17: Concentração de Náuplios/m^3 nos 4 pontos amostrais. Colunas: médias e Barras de erro: desvio padrão. Nota: diferentes escalas nos valores de concentração de Náuplios para cada ponto.

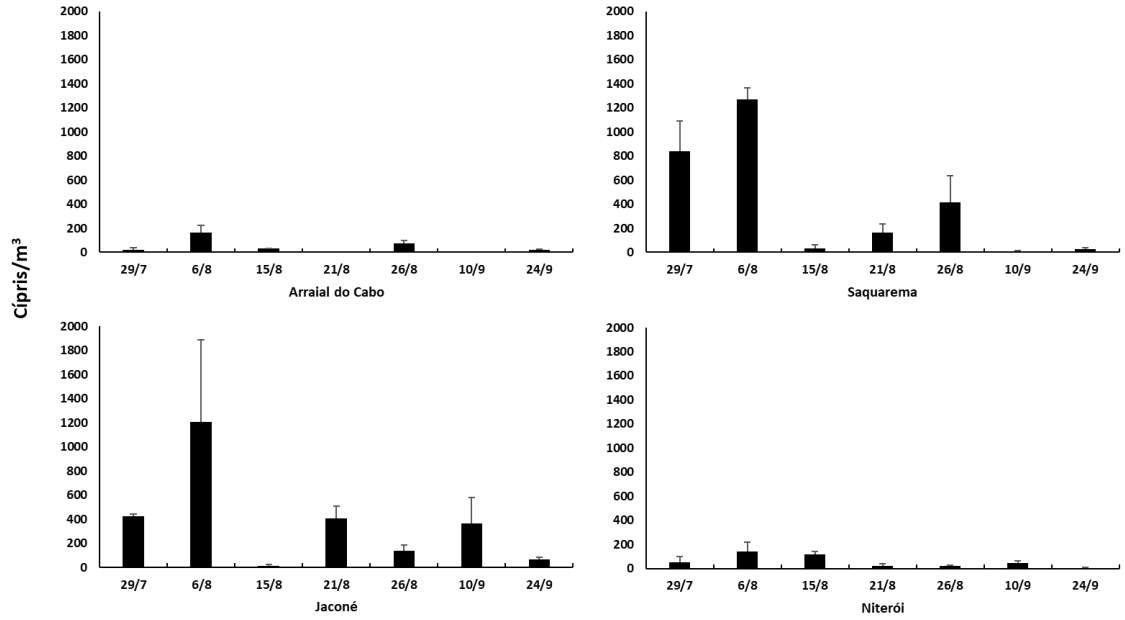

Figura 18: Concentração de Cípris/m^3 nos 4 pontos amostrais. Colunas: médias e Barras de erro: desvio padrão.

3.4 Condições meteorológicas e suprimento larvar

A direção do vento predominante durante as amostragens foi do quadrante NE foi de 55%, com velocidade média de 6,88 m/s e máxima de 13,4 m/s. A predominância do vento NE e foi quebrada com a entrada de ventos do quadrante SO, que representaram 19,29% respectivamente com velocidade média de 2,3m/s e máxima de 6,2 m/s (Figura 19).

Durante o período da coleta do dia 29/07/2018 a condição de vento era do quadrante NE com média de velocidade de 8,6 m/s. A maior concentração, pico de larvas náuplio para os pontos Arraial do Cabo, Saquarema e Jaconé foram encontrados no dia 06/08/2018, durante o estudo nas condições de vento do quadrante SO com velocidade média de 2,94 m/s. Já o pico de náuplio e Niterói ocorreu no dia 21/08/2018 com ventos do quadrante NE com velocidade média de 8,3 m/s.

Assim como para as larvas náuplio, os picos de larvas cípris aconteceram durante ventos do quadrante SO em todos os pontos no dia 06/08/2018. A concentração de larvas cípris voltou a diminuir com a entrada dos ventos NE, nos dias 21/08/2018 e 29/08/2018.

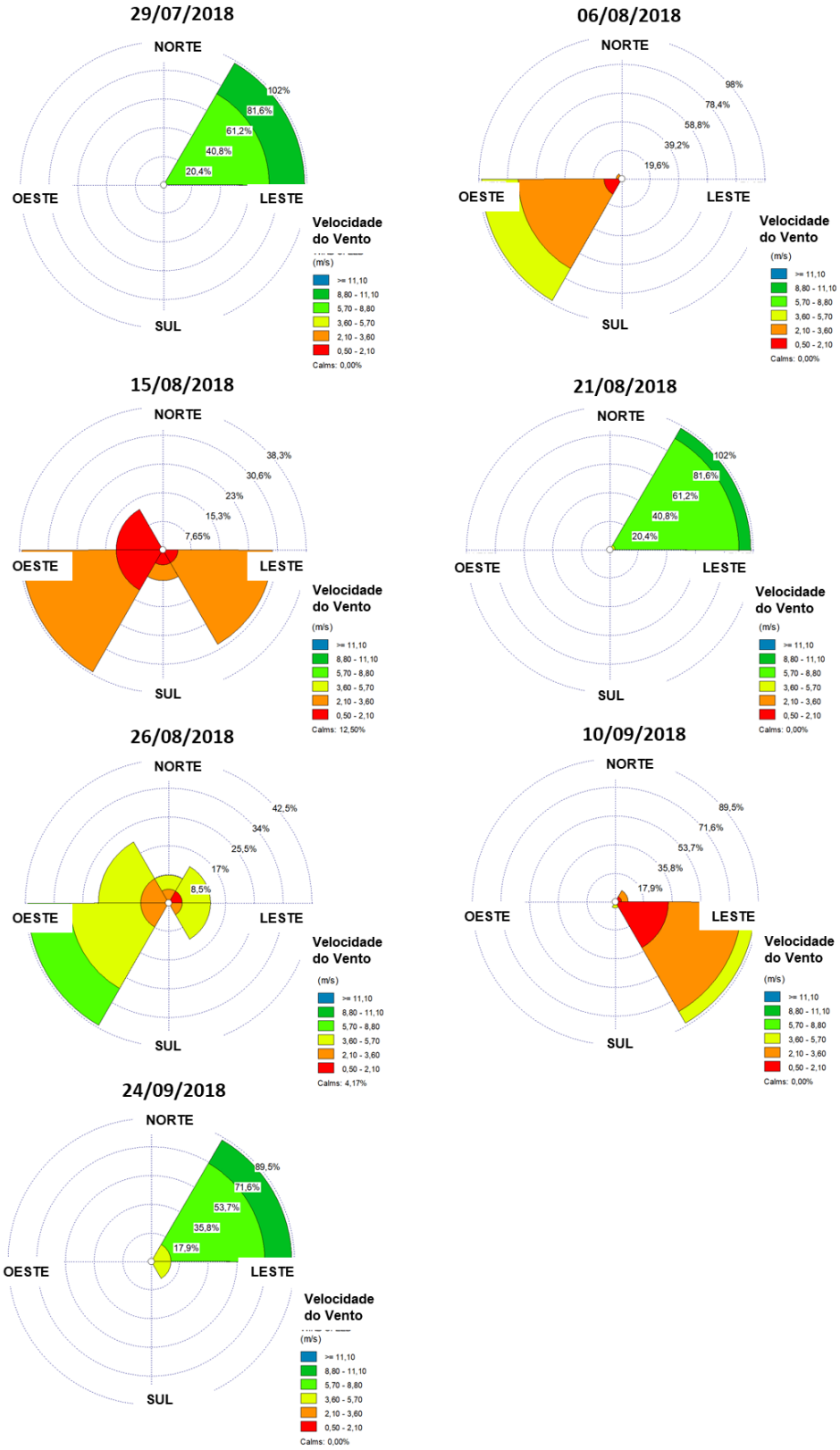

Figura 19: Frequência percentual da orientação e velocidade do vento 24 horas antes da coleta de larvas para cada período amostral.

3.5 Correlação Cruzada Suprimento larvar

As forçantes oceanográficas e meteorológicas tiveram influência direta nos valores da disponibilidade de larvas.

A temperatura da água mostrou-se positivamente correlacionada com o número de náuplio e cípris, apresentando atraso de 8 dias (Tabela 12), o que demostra relação entre o aumento da temperatura e o aumento da disponibilidade de larvas, tanto para os estágios náuplio quanto cípris.

A disponibilidade de alimento (clorofila-*a*) quando correlacionada com a disponibilidade larvar, mostrou um atraso, tendo influência apenas no período seguinte de forma positiva para ambos os grupos larvares (lag= 8 dias), mesmo não sendo considerada significativa.

A orientação do vento, de maneira geral, apresentou influência direta na disponibilidade para os dois grupos larvares. Eventos com componente zonal do vento, onde valores positivos correspondem ventos do quadrante norte, foram correlacionados negativamente tanto para larvas náuplio, quanto para larvas cípris, sendo essa influência mais significativamente forte nos períodos seguinte (lag= 8 e 23 dias), corroborando a hipótese de transporte. No entanto, a frequência do vento NE apresentou correlação negativa muito fraca.

A frequência do vento SO apresentou correlação positiva tanto para náuplios e cípris, sendo significativa apenas para as larvas no estágio cípris. O fator velocidade do vento não foi marcante para as náuplios, mas significativamente correlacionada negativamente para as cípris (lag= 17 dias, r=-0,97).

Tabela 10: Resultados da correlação cruzada comparando com a concentração de náuplios e cípris com variáveis meteorológicas (*u* = direção do vento, componente zonal; NE = frequência do vento nordeste; SO = frequência do vento sudoeste; *v* = velocidade do vento, componente meridional) e oceanográficas para o período amostrado. Período de lag em dias. Resultados significativos da correlação em negrito.

	Náuplio			Cípris		
	n= 28			n= 28		
	Lag-dias	r	p	Lag-dias	r	p
u	0	-0,27	0,56	0	-0,013	0,97
	8	-0,83	**0,039**	8	-0,88	**0,02**
	17	0,09	0,88	17	-0,30	0,62
	23	0,99	**0,002**	23	0,93	**0,07**
NE	0	-0,12	0,53	0	-0,12	0,53
	8	0,23	0,24	8	0,49	**0,009**
SO	0	0,34	0,07	0	0,46	**0,012**
	17	0,56	**0,002**			
v	0	-0,31	0,49	0	-0,32	0,48
	8	0,42	0,41	8	0,37	0,46
	17	0,74	0,15	17	-0,98	**0,004**
Temperatura da água	0	-0,050	0,92	0	0,21	0,65
	8	0,73	0,09	8	0,85	**0,031**
	17	0,0098	0,99	17	-0,73	0,16
Clorofila-*a*	0	-0,405	0,37	0	-0,03	0,95
	8	0,58	0,22	8	0,61	0,19
	17	-0,32	0,59	17	-0,93	**0,023**
	23	0,95	**0,050**			

4. DISCUSSÃO

Nossos resultados mostraram um potencial para compreender a dinâmica do suprimento larvar e o seu possível impacto na estrutura das populações de cirripédios em regiões distintas influenciadas por ressurgência.

O período estudado (29/07 até 24/09) não é conhecido como um período de ocorrência da ressurgência nessa região (Belem *et al*., 2013), pois os eventos são mais frequentes na primavera e no verão. Esse fato pode ser comprovado pela temperatura da água acima de 20 ºC em quase todas as amostragens. Contudo, a presença esporádica do evento pode ocorrer durante o período do inverno (Calil Elias, 2009), o que favorece a um aumento da produtividade regional (Gonzalez-Rodriguez, 1992).

Dessa forma, os valores encontrados de clorofila-*a* no presente estudo estão dentro dos valores aceitáveis para as regiões estudas (Gonzalez-Rodriguez, 1992, Coelho-Souza *et al.*, 2012). No entanto, as concentrações de clorofila-*a* foram significativamente maiores no ponto Niterói, devido a influência da Baía de Guanabara, em períodos de ventos no quadrante sul, juntamente com a saída da maré (ver Yoshinaga *et al.*, 2010 e Kehrig *et al.*, 2011). A temperatura da água nos quatro pontos amostrados não apresentou diferença significativas, sendo muito próximo os valores entre os pontos, o que novamente comprova ausência da ressurgência na maior parte dos dias amostrados.

As maiores concentrações de larvas para o suprimento, tanto para os estágios náuplio quanto cípris, ocorreram no período em que as temperaturas estavam mais altas e os ventos estavam no quadrante sul, com exceção do ponto Niterói, que só apresentou pico de larvas 15 dias após os demais pontos. Os valores elevados de temperatura da água são considerados um dos fatores

mais importantes que determinam o crescimento larvar, podendo diminuir em 14 dias até a transformação em cípris (Severino & Resgalla, 2005). Dessa forma, as mudanças na temperatura influenciam os meios fisiológicos das larvas (Anil *et al.*, 2001, Desai *et al.*, 2006). Contudo, os menores valores de suprimento larvar foram encontrados no período com ventos do quadrante NE, responsáveis por empurrar as larvas para alto mar nessa posição da costa brasileira.

Nos pontos Saquarema e Jaconé, o suprimento de larvas no estágio cípris foi superior à quantidade de larvas no estágio náuplio. Apesar de alguns estudos afirmarem que algumas larvas podem regular o transporte explorando os padrões de circulação e recrutar mais perto dos habitats de onde foram liberadas (Swearer *et al.* 2002, Warner e Cowen 2002, Cowen *et al.* 2006), os valores de larvas cípris encontrados, são incompatíveis com o suprimento de náuplios. Esses resultados suportam a ideia de que presença de larvas pelágicas, na maioria dos invertebrados bentônicos, são populações abertas e que o estabelecimento das larvas competentes (cípris) sejam independentes da produção local (Caley *et al.* 1996), fazendo com que o processo de recrutamento seja imprevisível no espaço-tempo (Thorson, 1950, Scheltema, 1975, Caley *et al.*, 1996).

Nesse estudo, podemos ver que forçantes oceanográficas e meteorológicas foram correlacionadas com as concentrações de larvas para ambos os estágios. Na correlação cruzada para a quantidade de alimento, (clorofila-*a*), por exemplo, foi possível perceber que existe um atraso (lag) de aproximadamente 23 dias entre a disponibilidade de alimento e o aumento do suprimento das larvas no estágio náuplio. Já para o estágio cípris, que não se

alimenta, a correlação foi negativa e significativa para o lag de duas semanas, resultados similares aos encontrados por Mazzuco e colaboradores (2018).

Também foi possível notar uma correlação positiva com a temperatura da água, após um lag de 8 dias aproximadamente, onde ocorreu um aumento na concentração das larvas tanto de náuplio quanto de cípris. Nossos resultados mostram que o período anterior, do dia 26/07/2018 até o 30/07/2018 os valores de temperatura ficaram próximos de 23 ºC, no entanto o pico de larvas só foi ocorrer no dia 06/08/2018. Valores de temperaturas mais altas contribui para o aumento do metabolismo e assim favorecem o desenvolvimento das larvas (Anil *et al.*, 2001, Desai *et al.*, 2006).

De maneira geral, ambos os estágios larvares apresentaram correlação negativa com a predominância do vento do quadrante norte. Entretanto, os resultantes do quadrante S-SO apresentaram correlação positiva com a concentração de larvas, sendo mais notável com as larvas no estágio cípris. A velocidade do vento só apresentou influência nos estágios náuplio e cípris, sendo negativamente correlacionada com a concentração de larvas. Os nossos resultados corroboram com os encontrados por Mazzuco e colaboradores (2018), que mostra a influência dos eventos como frentes frias relacionados ao vento S-SO aumentam a disponibilidade costeira dessas larvas, causando um efeito de empilhamento de larvas.

Os fenômenos de transporte causados por ventos do quadrante NE, vento que contribui para os eventos de ressurgência na região, pode realizar transportes de larvas para fora da costa, mas esses eventos são alternados por eventos de frentes frias que empurram as larvas para a costa. Logo, possuem consequências importantes que podem aumentar ou diminuir a quantidade de

larvas e assim influenciar na estrutura e dinâmica das comunidades marinhas do entremarés (Mazzuco *et al.*, 2015, Mazzuco *et al.*, 2018).

Desta forma, nossos resultados mostram uma variação espacial influenciada por fatores oceanográficos e meteorológicos com grande potencial de modificar ou estruturar uma comunidade marinha. Podemos dizer que amostragens mais detalhadas com frequências diárias podem fortalecer ainda mais os resultados apresentados no presente estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIKEN, C. M., NAVARRETE, S. A. Coexistence of competitors in marine metacommunities: environmental variability, edge effects, and the dispersal niche. **Ecology**, v. 95, n. 8, p. 2289-2302, 2014.

ANIL, A. C., DESAI, D., KHANDEPARKER, L. Larval development and metamorphosis in *Balanus amphitrite* Darwin (Cirripedia: Thoracica): significance of food concentration, temperature and nucleic acids. **J Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 263, n. 2, p. 125-141, 2001.

BELEM, A. L., CASTELAO, R. M., ALBUQUERQUE, A. L. Controls of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. **Geophysical research letters**, v. 40, n. 7, p. 1362-1366, 2013.

BERTNESS, M. D., GAINES S. D., BERMUDEZ, D., SANFORD, E. Extreme spatial variation in the growth and reproductive output of the acorn barnacle *Semibalanus balanoides*. **Mar. Ecol. Prog. Ser**, v. 75, p. 91-100, 1991.

BROITMAN, B. R., MIEZKOWSKA, N., HELMUTH, B., BLANCHETTE, C. A. Climate and recruitment of rocky shore intertidal invertebrates in the Eastern North Atlantic. **Ecology**, v. 89, n. sp11, p. S81-S90, 2008.

CALEY, M. J., CARR, M. H., HIXON, M. A., HUGHES, T. P., JONES, G. P., MENGE, B. A. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 27, n. 1, p. 477-500, 1996.

CALIL ELIAS, L. M. **Variabilidade Interanual da Ressurgência de Cabo Frio - RJ.** 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - COPPE/UFRJ: Rio de Janeiro, 2009.

CARBONEL H., C. A. A., VALENTIN, J. L. Numerical modelling of phytoplankton bloom in the upwelling ecosystem of Cabo Frio (Brazil). **Ecological Modelling**, v. 116, n. 2-3, p. 135-148, 1999.

CARO, A. U., NAVARRETE, S. A., CASTILLA, J. C. Ecological convergence in a rocky intertidal shore metacommunity despite high spatial variability in recruitment regimes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 43, p. 18528-18532, 2010.

COELHO-SOUZA, S. A., LÓPEZ, M. S., GUIMARÃES, J. R. D., COUTINHO, R., CANDELLA, R. N. Biophysical interactions in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, n. 3, p. 353-365, 2012.

CONNOLLY, S. R., MENGE, B. A., ROUGHGARDEN, J. A latitudinal gradient in recruitment of intertidal invertebrates in the northeast Pacific Ocean. **Ecology**, v. 82, n. 7, p. 1799-1813, 2001.

CONNOLLY, S. R., ROUGHGARDEN J. Theory of marine communities: Competition, predation, and recruitment-dependent interaction strength. **Ecological Monographs**, v. 69, n. 3, p. 277-296, 1999.

COWEN, R. K., LWIZA, K. M. M., SPONAUGLE, S., PARIS, C. B., OLSON, D. B. Connectivity of marine populations: open or closed? **Science**, v. 287, n. 5454, p. 857-859, 2000.

COWEN, R. K., PARIS, C. B., SRINIVASAN, A. Scaling of connectivity in marine populations. **Science**, v. 311, n. 5760, p. 522-527, 2006.

CUDABACK, C.N., WASHBURN, L., DEVER, E. P. Subtidal inner-shelf circulation near Point Conception, California. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 110, n. C10, 2005.

DESAI V. D., ANIL A. C., VENKAT K. Reproduction in *Balanus amphitrite* Darwin (Cirripedia: Thoracica): influence of temperature and food concentration. **Marine Biology**, v. 149, n. 6, p. 1431-1441, 2006.

FARRELL, T.M., BRACHER, D., ROUGHGARDEN, J. Cross-shelf transport causes recruitment to intertidal populations in central California. **Limnology and Oceanography**, v. 36, n. 2, p. 279-288, 1991.

FRANCHITO, S. H., ODA, T. O., RAO, V. B.; KAYANO, M. T. Interaction between coastal upwelling and local winds in Cabo Frio, Brazil: an observational study. **Journal of applied meteorology and climatology**, v. 47, n. 6, p. 1590-1598, 2008.

GAINES, S., ROUGHGARDEN, J. Larval settlement rate: a leading determinant of structure in an ecological Community of the marine intertidal zone. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 82, n. 11, p. 3707-3711, 1985.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E. Yearly variation in primary productivity of marine phytoplankton from Cabo Frio (RJ, Brazil) region. **Hydrobiologia**, v. 294, n. 2, p. 145-156, 1994.

GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; VALENTIN, J. L.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S. A. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): comparison of biomass and primary production responses. **Journal of Plankton Research**, v. 14, n. 2, p. 289-306, 1992

HOFFMANN, V.; PFAFF, M. C.; BRANCH, G. M. Spatio-temporal patterns of larval supply and settlement of intertidal invertebrates reflect a combination of passive transport and larval behavior. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 418, p. 83-90, 2012.

IKEDA, Y. Variações em escala média da temperatura e da salinidade do mar na região entre a Baía de Guanabara e Cabo Frio (17/08 a 26/08/1971). **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 25, n. 2, p. 221-280, 1976.

KAPLAN, D.M., LARGIER, J.L. HF radar-derived origin and destination of surface waters off Bodega Bay, California. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 53, n. 25-26, p. 2906-2930, 2006.

KEHRIG, H. A., MALM, O., PALERMO, E. F. A., SEIXAS, T. G., BAÊTA, A. P., MOREIRA, I. Bioconcentração e biomagnificação de metilmercúrio na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. **Química Nova**, v. 34, n. 3, p. 377-384, 2011.

KIRINCICH, A.R., BARTH, J.A., GRANTHAM, B.A., MENGE, B.A., LUBCHENCO, J. Wind-driven inner-shelf circulation off central Oregon during summer. J **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 110, n. C10, 2005.

LENTZ, S. J., FEWINGS, M. R. The wind- and wave-driven inner-shelf circulation. **Annual review of Marine Science**, v. 4, p. 317-343, 2012.

LLOPE, M., ANADÓN, R., VIESCA, L., QUEVEDO, M., GONZÁLEZ-QUIRÓS, R., STENSETH, N. C. Hydrography of the southern Bay of Biscay shelf-break region: integrating the multiscale physical variability over the period 1993–2003. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 111, n. C9, 2006.

LOPES, R.M., KATSURAGAWA, M., DIAS, J.F., MONTÚ, M.A., MUELBERT, J.H., GORRI, C., BRANDINI, F.P. Zooplankton and ichthyoplankton distribution on the southern Brazilian shelf: an overview. **Scientia Marina**, v. 70, n. 2, p. 189–202, 2006.

MAGLIOCCA, A., MIRANDA, L. B. DE, SIGNORINI, S. R. Physical and chemical aspects of transient stages of the upwelling at southwest of Cabo Frio (Lat. 23ºS - Long. 42ºW). **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 28, n. 2, p. 37– 46,1979.

MAZZUCO, A. C. A. **Efeito do regime hidrodinâmico no suprimento e recrutamento larval de Cirripedia em cilindros: Variabilidade espaço-temporal como função do fluxo, RJ.** 96f. Dissertação (Mestrado em Biologia Marinha) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

MENGE, B. A., LUBCHENCO, J., BRACKEN, M. E. S., CHAN, F., FOLEY, M. M., FREIDENBURG, T. L., GAINES, S. D., HUDSON, G., KRENZ, C., LESLIE, H., MENGE, D.N.L., RUSSELL, R., WEBSTER, M.S. Coastal oceanography sets the pace of rocky intertidal community dynamics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 21, p. 12229-12234, 2003.

MORGAN S. G. Life and death in the plankton: larval mortality and adaptation. **Ecology of Marine Invertebrate Larvae**, p. 279-321, 1995.

MORGAN, S., FISHER, J., MACE, A. Larval recruitment in a region of strong, persistent upwelling and recruitment limitation. **Marine Ecology Progress Series**, v. 394, p. 79-99, 2009.

NASROLAHI, A.; PANSCH, C.; LENZ, M.; WAHL, M. Temperature and salinity interactively impact early juvenile development: a bottleneck in barnacle ontogeny. **Marine Biology**, v. 160, n. 5, p. 1109-1117, 2013.

NAVARRETE, A. S., WIETERS, E. A., BROITMAN, B. R., CASTILLA, J. C. Scales of benthic-pelagic coupling and the intensity of species interactions: from recruitment limitation to top-down control. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 50, p. 18046-18051, 2005.

NAVARRETE, A. S., WIETERS, E. A., BROITMAN, B. R., CASTILLA, J. C. Scales of benthic-pelagic coupling and the intensity of species interactions: from recruitment limitation to top-down control. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 50, p. 18046-18051, 2005.

PHILIPS, N. A spatial gradient in the potential reproductive output of the sea mussel *Mytilus californianus*. **Marine Biology**, v. 151, n. 4, p. 1543-1550, 2007.

PINEDA, J. Predictable upwelling and the shoreward transport of planktonic larvae by internal tidal bores. **Science**, v. 253, n. 5019, p. 548-549, 1991.

PINEDA, J., HARE, J. A., SPONAUGLE, S. Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity. **Oceanography**, v. 20, n. 3, p. 22-39, 2007.

PINEDA, J., RIEBENSAHM, D., MEDEIROS-BERGEN, D. *Semibalanus balanoides* in winter and spring: larval concentration, settlement, and substrate occupancy. **Marine Biology**, v. 140, n. 4, p. 789-800, 2002.

PORRI, F., MCQUAID, C. D., RADLOFF, S. Spatio-temporal variability of larval abundance and settlement of *Perna perna*: differential delivery of mussels. **Marine Ecology Progress Series**, v. 315, p. 141-150, 2006.

RIVERA, A.; WEIDBERG, N.; PARDIÑAS, A. F.; GONZÁLEZ-GIL, R.; GARCÍA-FLÓREZ, L.; ACUÑA, J. L. Role of Upwelling on Larval Dispersal and Productivity of Gooseneck Barnacle Populations in the Cantabrian Sea: Management Implications. **PloS one**, v. 8, n. 11, 2013.

ROUGHGARDEN, J., PENNINGTON, J. T., STONER, D., ALEXANDER, S., MILLER, K. Collisions of upwelling fronts with the interdidal zone: the cause of recruitment pulses in barnacle populations of central California. **Acta Oecologica**, v.12, n. 1, p. 35-51,1991.

ROUGHGARDEN, J.; GAINES, S.; POSSIGAN, H. Recruitment dynamics in complex life cycles. **Science**, v. 241, n. 4872, p. 1460-1466, 1988.
SALOMON, Y., CONNOLLY, S.R., BODE, L. Effects of asymmetric dispersal on the coexistence of competing species. **Ecology Letters**, v. 13, n. 4, p. 432-441, 2010.

SALVADOR, M. S. S., DA SILVA, M. A. M. Morphology and sedimentology of the Itaipú Embayment-Niterói/RJ. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 74, n. 1, p. 127-134, 2002.

SANTOS, J. C. Q. P. **Recrutamento de cirrípedes e bivalves no entremarés de costões rochosos em regiões com ressurgência no Estado do Rio de Janeiro**. 97f. Dissertação (Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

SCHELTEMA, R. S. **Chemistry, biology and the estuarine system**. in L. E. Crosonin, editor. Estuarine research. Volume 1. Academic Press, New York, USA. P. 372–391,1975.

SHANKS, A. L., BRINK, L. Upwelling, downwelling, and cross-shelf transport of bivalve larvae: test of a hypothesis. **Marine Ecology Progress Series**, v. 302, p. 1-12, 2005.

SHANKS, A. L., SHEARMAN, R. K. Paradigm lost? Cross-shelf distributions of intertidal invertebrate larvae are unaffected by upwelling or downwelling. **Marine Ecology Progress Series**, v. 385, p. 189-204, 2009.

SKINNER, L. F., COUTINHO, R. Preliminary results on settlement of the barnacles *Tetraclita stalactifera* and *Chthamalus bisinuatus* on a Brazilian tropical rocky shore under upwelling conditions. **Invertebrate Reproduction & Development**, v. 41, n. 1-3, p. 151-156, 2002.

SKINNER, L.; MACHARET, H.; COUTINHO, R. Influence of upwelling and tropical environments on the breeding development of the intertidal barnacle *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 59, n. 4, p. 349-356, 2011.

SOBARZO, M.A., BRAVO, L., MOFFAT, C. Diurnal-period, wind-forced ocean variability on the inner shelf off Concepción, Chile. **Continental Shelf Research**, v. 30, n. 20, p. 2043-2056, 2010.

SWEARER, S., THORROLD, S., SHIMA, J. Evidence for self-recruitment in benthic marine populations. **Bulletin of Marine Science**, v. 70, n. 1, p. 251-271, 2002.

THIYAGARAJAN, V., PECHENIK, J., GOSSELIN, L., QIAN, P. Y. Juvenile growth in barnacles: combined effect of delayed metamorphosis and sub-lethal exposure of cyprids to low-salinity stress. **Marine Ecology Progress Series**, v. 344, p. 173-184, 2007.

THORSON, G. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. **Biological reviews**, v. 25, n. 1, p. 1-45, 1950.

TORRES JR., A. R. **Resposta da ressurgência costeira de Cabo Frio a forçantes locais.** 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) -

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia, Rio de Janeiro, 1995.

CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO SAZONAL INTERANUAL DO RECRUTAMENTO DE CIRRIPÉDIOS EM AMBIENTE COM RESSURGÊNCIA

1. INTRODUÇÃO

Os cirripédios estão entre os organismos mais importantes e muitas vezes espacialmente dominantes da comunidade bentônica do entremarés. Apresentam uma fase larvar planctônica e, quando adultos, são sésseis. A sua fase larvar inclui um estágio naupliar planctônico que é seguida por uma fase larvar cípris, responsável pelo pré-assentamento e que não se alimenta (Barnes, 1970, Severino & Resgalla Jr., 2005, Kasten *et al.*, 2019).

O ciclo reprodutivo de cada espécie marinha está associado à sua capacidade adaptativa. Para os cirripédios, o processo reprodutivo está interligado com o ambiente, para assim, aumentar a chance de sucesso dos descendentes. Algumas espécies podem se reproduzir apenas uma vez ao ano, que pode ser controlado rigorosamente por fatores endógenos (Crisp & Patel, 1969), dessa forma, espécies diferentes de cirripédios podem apresentar liberação de larvas em períodos diferentes para o mesmo local (Lang & Ackenhusen-Johns, 1981). Entretanto, algumas espécies possuem a capacidade de serem fecundadas e, consequentemente, produzir ovos o ano todo, como o caso de espécies tropicais e subtropicais (Barnes, 1963).

Estudos sobre processos reprodutivos do ciclo de vida de cirripédios e sua conexão com fatores ambientais como temperatura, disponibilidade de alimento e salinidade são de extrema importância para compreensão desses organismos (Anil *et al.*, 1995, 2001, Anil *et al.* 2010).

O estudo da biologia reprodutiva dos cirripédios têm demostrado que, a temperatura e a disponibilidade de alimento, são os fatores mais importantes e que influenciam o ciclo reprodutivo desses invertebrados (Barnes, 1989). Segundo Yan & Miao (2004), é possível com o aumento da temperatura, induzir

a um melhoramento do ciclo, como a diminuição do tempo de maturação dos ovários mesmo fora do período de maturação, com a premissa de que aumento de temperatura aumenta a atividade metabólica. Além disso, em temperaturas mais altas, adultos podem acelerar as taxas de ecdises e assim esgotar as reservas de energia em menor tempo (Yan & Miao, 2004).

A liberação de larvas no estágio náuplios, pode ocorrer por fatores endógenos ou ser sincronizada durante a primavera com os afloramentos de diatomáceas (Barnes, 1957, 1962). Thiyagarajan e colaboradores (1996), mostraram que as cracas tropicais balanóides completam o seu desenvolvimento larvar em menor período, 4 a 5 dias, quando alimentadas com diatomáceas. Contudo, essa liberação de larvas, em resposta a uma floração de microalgas, pode ser uma estratégia não muito boa, pois pode comprometer a manutenção da população e gerar uma diminuição no recrutamento devido a sincronização inadequada (Desai & Anil, 2005).

A temperatura da água é um fator crucial para o cirripédio e atua em todos os níveis, desde dos adultos, até as larvas e nos recém assentados. Algumas espécies como *Balanus glandula* e *Tetraclita squamosa* conseguem regular sua temperatura (Hines, 1978), no entanto, outras espécies tropicais tais como *Chthamalus stellatus, Perforatus perforatus*, *Amphibalanus amphitrite amphitrite*, *Chthamalus malayensis* podem ter a taxa de desenvolvimento da gônada e a reprodução fora da estação reprodutiva induzidas pela temperatura (Crisp & Patel, 1960, Yan & Miao 2004).

Crickenberger (2014), demostrou que a temperatura da água tem a capacidade de afetar diretamente o sucesso da dispersão larvar, limitando as funções e, indiretamente, influenciando na utilização e o acúmulo de reservas

energéticas, dessa forma, afetando o seu assentamento. Thiyagarajan e colaboradores (2002), mostraram que condições sazonais caracterizadas por temperatura e salinidade bem definidas, podem desempenhar um papel crucial no sucesso metamórfico do estágio cípris. Assim sendo, o prolongamento do estágio larvar de alguns invertebrados, pode comprometer de maneira a reduzir a sobrevivência do pós-larva (Pechenik & Cerulli 1991). Em contra partida, a temperatura da água nos períodos de inverno e verão, possuem influência nos estágios naupliares, podendo diminuir até pela metade o tempo de permanência da larva na coluna d'água, quando a temperatura está mais quente (Al-Aidaroos & Satheesh, 2014), assim, aumentando a chance de assentamento.

O assentamento larvar corresponde ao processo de chegada e fixação de indivíduos planctônicos a um substrato (Connell, 1985) e o recrutamento é a entrada operacional de recrutas na população bentônica até o fim da mortalidade pós-assentamento (Booth & Brosnan 1995, Caley *et al.*, 1996). Os recém chegados podem sofrer uma mortalidade substancial durante o período pós-assentamento, o que não tem a ver necessariamente, com a mortalidade dependente de densidade, dessecação ou ação de ondas, mas sim com a reserva energética e temperatura do ambiente (Gosselin & Qian, 1996). Entretanto, muitos desses fatores podem ocorrer de forma interespecífica como, por exemplo, o assentamento ao longo da região entremarés, que ocasionará sobreposição entre espécies diferentes (Yan & Miao 2004).

O recrutamento é um processo importante que controla a dinâmica populacional da espécie, que por sua vez também pode ser influenciado por vários fatores. Os mais importantes nos diversos estudos são a temperatura da água do mar e a abundância de alimentos no meio pelágico (Cole *et al.* 2011,

Scrosati & Ellrich 2018), hidrodinâmismo das zonas de surf (Shanks *et al.* 2017, Shanks & Morgan 2019), ressurgência costeira (Menge & Menge, 2019), e ventos costeiros que afetam o transporte larvar (Bertness *et al.* 1996, Mazzuco *et al.* 2018), por exemplo.

A ressurgência é um fenômeno costeiro, que em determinadas regiões é sazonal, capaz de modificar temporariamente as características do ambiente. A massa d'água desse fenômeno influencia não só a temperatura da água, mas também a produção primária, ao ressurgir com os nutrientes.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da ressurgência do Cabo Frio na região costeira do município de Arraial do Cabo e o seu efeito na sazonalidade do recrutamento de cirripédios que coexistem na mesma faixa do costão.

Nossa hipótese de trabalho é que os eventos de ressurgência influenciam nos períodos de pico de recrutamento das 2 espécies e 1 gênero de cirripédios dominantes da região entremarés. Para testar essa hipótese, foram feitas amostragens do recrutamento de cirripédios em três diferentes pontos nos costões rochosos da região de Arraial do Cabo, pontos com maior frequência de ressurgência em diferentes períodos do ano e em diferentes anos (2012-2013 e 2015-2016), de forma a avaliar o efeito da ressurgência a nível sazonal e interanual.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na costa do estado do Rio de Janeiro, na região costeira do município de Arraial do Cabo. A região é caracterizada pela abundância de costões rochosos graníticos, alternados por praias arenosas.

A costa de Arraial do Cabo é uma região que apresenta uma predominância de ventos de nordeste (NE), que, associados ao relevo marinho, torna essa região altamente favorável à ocorrência de ressurgência. Este fenômeno é caracterizado pelo afloramento costeiro de águas oriundas do sistema de Águas Centrais do Atlântico Sul (ACAS) nos períodos de primavera e verão. O padrão de ventos para a região de Arraial do Cabo é bem definido, com dominância de direção no quadrante E, maior frequência de NE tornando-se mais intensos entre setembro e fevereiro e mais fracos de março a agosto. A predominância dos ventos de NE é quebrada pela passagem de sistemas frontais, que invertem o vento para Sudoeste (SW), Sul (S) e Sudeste (SE) (Oda, 1997). A região de Arraial do Cabo foi escolhida pela ocorrência de eventos sazonais de ressurgência.

2.1 Locais de coleta

Para esse estudo foram selecionados dois pontos amostrais na mesma região para cada ano de estudo. Foram eles: Boqueirão (UTM 23K 805954.78mE, 7453835.74mS) e Ponta da Cabeça (UTM 23K 804005.08mE, 7455970.80mS) para os períodos de 2012-2013 e Sonar (UMT 23K 805768.03mE, 7454688.60mS) e Ponta da Cabeça (UTM 23K 804005.08mE, 7455970.80mS) nos períodos de 2015-2016 (Figura 20). No ano de 2015-2016 o ponto Boqueirão foi substituído por Sonar devido a maior facilidade de acesso. Os costões rochosos Boqueirão e Sonar possuem a mesma orientação e

características. Os pontos possuem uma distância aproximada entre eles de 2,9 km (do Boqueirão até a Ponta da Cabeça) e 2,21 km (Sonar até a Ponta da Cabeça). Os critérios para a escolha dos pontos foram: forte hidrodinâmismo, semelhança na exposição do costão em relação morfologia; orientação para o quadrante Sul; e a presença dos organismos adultos das espécies selecionadas para a investigação.

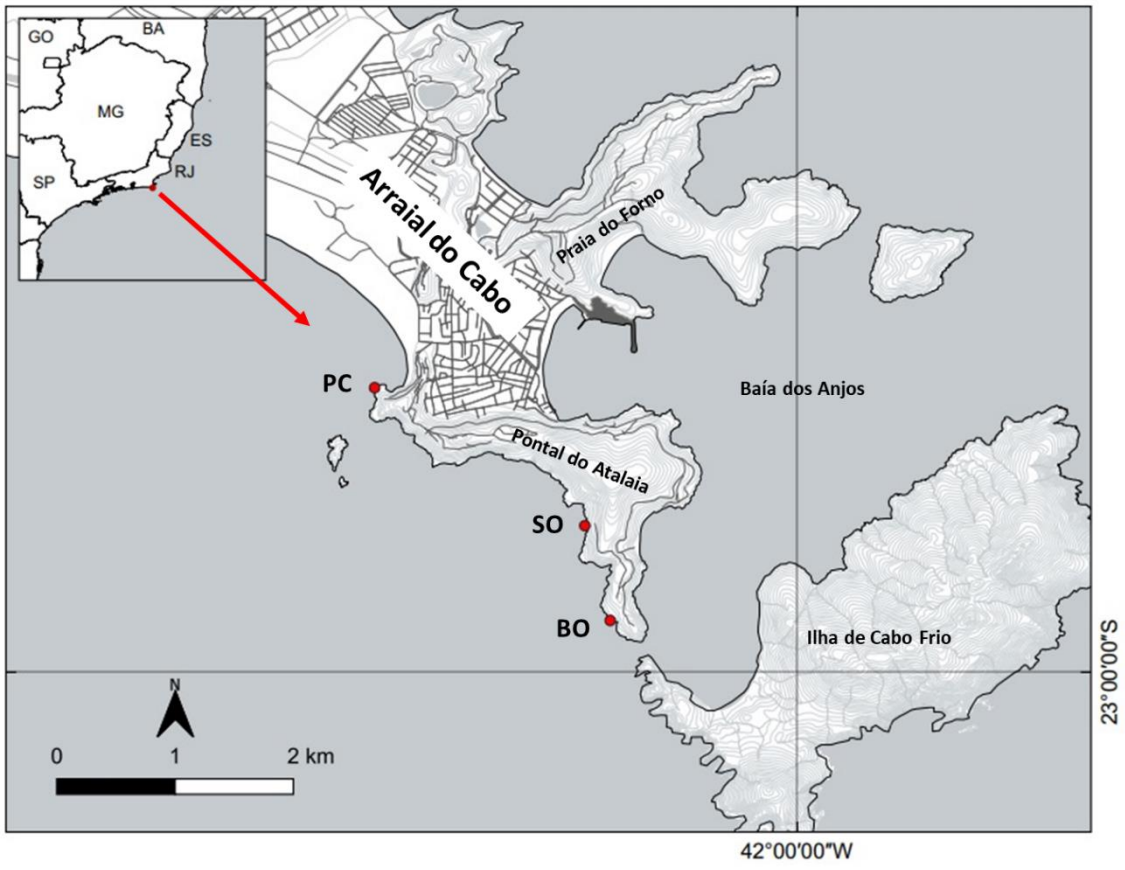

Figura 20: Mapa da Região de Arraial do Cabo - RJ e seus respectivos pontos. BO = Boqueirão, SO = Sonar e PC = Ponta da Cabeça.

2.2 Dados Ambientais

Para medir a temperatura da água e do substrato em campo, foram utilizados sensores eletrônicos de temperatura (Data logger DS 1921 L-F5, i-Button, Maxim Inc.), feitos em aço inox, resistentes a água, com 16 mm de diâmetro e programados para adquirir um dado a cada 1h (uma) hora com autonomia para permanecer em campo por pouco mais de 30 dias.

Para obtenção dos valores de Clorofila-*a* foi utilizado dados de satélite MODIS-Aqua em Clorofila-*a* com células de 4x4 km que incluem os dois pontos amostrais. Os dados de Clorofila-*a* são um reflexo da abundância de fitoplâncton (Menge & Menge, 2013). Os dados costeiros de Clorofila-*a* dos satélites são frequentemente usados na ecologia entremarés (Navarrete *et al.* 2005, Burrows *et al.* 2010, Mazzuco *et al.*, 2015, Lara *et al.* 2016). Os valores utilizados foram obtidos diariamente com a média da área amostrada, contudo, pequenas diferenças entre os dados de satélite e *in-situ*. No entanto, os dados de satélite foram os únicos disponíveis de Clorofila-*a* para este estudo.

2.3 Recrutamento

O recrutamento das espécies *Chthamalus bisinuatus* (Pilsbry, 1916) e *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818); e um gênero *Megabalanus* que compreende um complexo de três espécies: *Megabalanus coccopoma* (Darwin, 1854), *Megabalanus tintinnabulum* (Linnaeus, 1758) e *Megabalanus vesiculosus* (Darwin, 1854), foi mensurado com a utilização de placas de PVC (Poli Cloreto de Vinila) com dimensões de 8 cm x 8 cm x 0,4 cm, com uma área total de 64 cm^2 (Figura 21). Essas placas foram recobertas com uma fita antiderrapante da marca 3M^{TM} de cor cinza, a fim de proporcionar a rugosidade adequada para estimular o assentamento das larvas de cirripédios. O mesmo tipo de artefato

tem sido amplamente utilizado por outros investigadores (Menge, 1992, Menge, 2000, Navarrete *et al.*, 2005, Mazzuco *et. al.*, 2015, Mazzuco *et. al*., 2018).

Foi considerado como taxa de recrutamento, todos os organismos vivos assentados metamorfoseados, pós-assentado dividido pelos dias em que a estrutura ficou no campo.

As estruturas experimentais ficaram dispostas em uma mesma faixa do entremarés, que corresponderam à zona de transição entre a faixa de dominância de *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818), *Mytilaster solisianus* (d'Orbigny, 1842) e *Perna perna* (Linnaeus, 1758). Essa faixa não é a zona específica de cada espécie, porém recebe recrutas de todas as faixas. Para o estudo foram utilizadas cinco réplicas (n=5) para cada tipo de estrutura, que foram instaladas no costão com distância de 2 metros aproximadamente entre as réplicas.

As estruturas foram fixadas às rochas com parafusos e arruelas de aço-inoxidável. A janela temporal de amostragem foi cada 28-30 dias e para a avalição do assentamento, todos os recrutas de cirripédios fixos vivos sobre as placas foram contabilizados e identificados quanto a suas espécies quando possível, sempre sob estereomicroscópio.

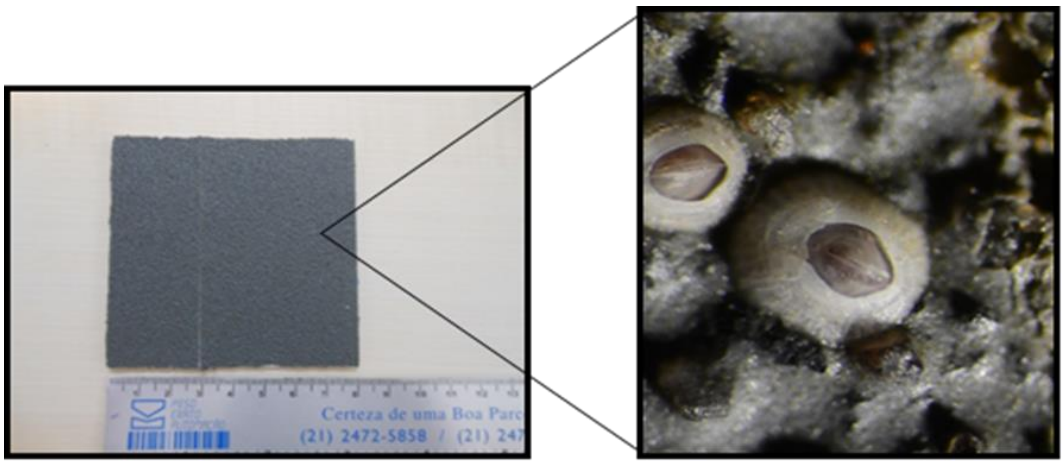

Figura 21: Placa de PVC recoberta com fita 3M utilizada no recrutamento de cirripédios.

2.4 Análise de dados

Foi contado o número de recrutas total por placa e dividido pelo tempo em dias que as placas ficaram em campo para o cálculo da taxa de recrutamento. A variabilidade espacial e temporal do ponto amostrado foi examinado por análises de variância unifatorial (ANOVA), realizadas separadamente para cada variável: fator: ponto e tempo, respectivamente. As premissas da normalidade e da homocedasticidade foram avaliadas pelos testes de Kolmogorov- Smirnov (K-S) e de Cochran, respectivamente. Quando não atingidas com os dados brutos, realizamos as transformações adequadas. O nível de significância em todos os testes foi de $\alpha = 0,05$ (Underwood, 1997, Sokal & Rolhf, 2003).

3. RESULTADOS

3.1 Clorofila-*a* por Satélite

A concentração de clorofila-*a* por satélite apresentou os maiores picos no ano de 2012, entretanto, não foi o suficiente para ser considerado significativamente diferente (F= 0,478, gl= 1, p=0,827; Tabela 13, Figura 22) dos demais anos. A média e o desvio padrão de clorofila-*a* no período dos anos de 2012-2013 foi de 1,2 ± 2,26 mg/m^3, respectivamente. O máximo de clorofila-*a* de todo período amostral registrado foi de 16,46 mg/m^3 (05/09/2012) e o mínimo de 0,14 mg/m^3 (17/12/2012).

Os grandes picos de clorofila-*a* por satélite no ano de 2012-2013 aconteceram durante o final do inverno nos dias 31/08/2012 (15,67 mg/m^3), 05/09/2012 (16,46 mg/m^3) e na primavera durante os dias 19/09/2012 (7,95 mg/m^3), 15/10/2012 (4,08 mg/m^3), 21/10/2012 (4,48 mg/m^3), 30/10/2012 (13,44 mg/m^3) e 28/11/2012 (5,6 mg/m^3). No verão o maior valor registrado foi no dia 12/02/2013 (2,21 mg/m^3).

No período amostral de 2015-2016 os valores de clorofila-*a* por satélite foram bem menores do que o do período anterior. A média e desvio padrão de clorofila-*a* no período dos anos de 2015-2016 foi de 0,83 ± 0,71 mg/m^3, respectivamente. A clorofila-*a* máxima de todo período amostral registrado entre 2015-2016 foi de 4,43 mg/m^3 (22/08/2015) e o mínimo de 0,16 mg/m^3 (16/02/2016).

Os picos de clorofila-*a* por satélite no ano de 2015-2016 aconteceram durante o outono, no dia 27/05/2015 (3,92 mg/m^3), no final do inverno, no dia 22/08/2015 (4,44 mg/m^3) e na primavera durante os dias 11/10/2015 (4,14 mg/m^3), 16/10/2015 (3,12 mg/m^3). No verão, o maior valor registrado foi no dia 23/02/2016 (2,32 mg/m^3).

Tabela 11: Resultado da análise One-way ANOVA da comparação de clorofila dos anos 2012-2013 e 2015-2016.

	gl	F	*p*
Ano	1	0,478	0,827
Total	92		

Resultado significante *(≤0,05) estão em negrito. gl, graus de liberdade

3.2 Temperatura da água dos períodos 2012-2013 a 2015-2016

Os valores de temperatura da água obtida por sensor no período amostral de 2012-2013, foi significativamente menor que no período de 2015-2016 (F=29,63 p< 0,001; Tabela 14, Figura 23), o que mostra que durante o período de 2012-2013, os eventos de ressurgência foram mais fortes e frequentes.

A média e desvio padrão de temperatura da água durante o período de 2012-2013 foi de 18,46 ºC ± 3,08, respectivamente. O valor máximo de temperatura encontrado foi de 23,17 ºC e a temperatura mínima de 12,7 ºC, sendo este o valor mais baixo encontrado durante o período amostral.

Os menores valores de temperatura durante o período 2012-2013 foram registrados durante o final do inverno e início da primavera. Durante o período do verão, os valores foram acima dos registrados na primavera, esse fenômeno possivelmente ocorreu devido à mistura de massas d'água. As maiores temperatura da água registradas para o período de 2012-2013 foram durante o inverno.

No período de 2015-2016, os menores valores de temperatura foram registrados durante o inverno e início da primavera. Valores baixos de temperatura durante a primavera também foram registrados, seguidos do aumento da temperatura. Já no início do verão as temperaturas baixaram, mas

não chegaram ser mais baixos que os valores amostrados no final do inverno e durante a primavera.

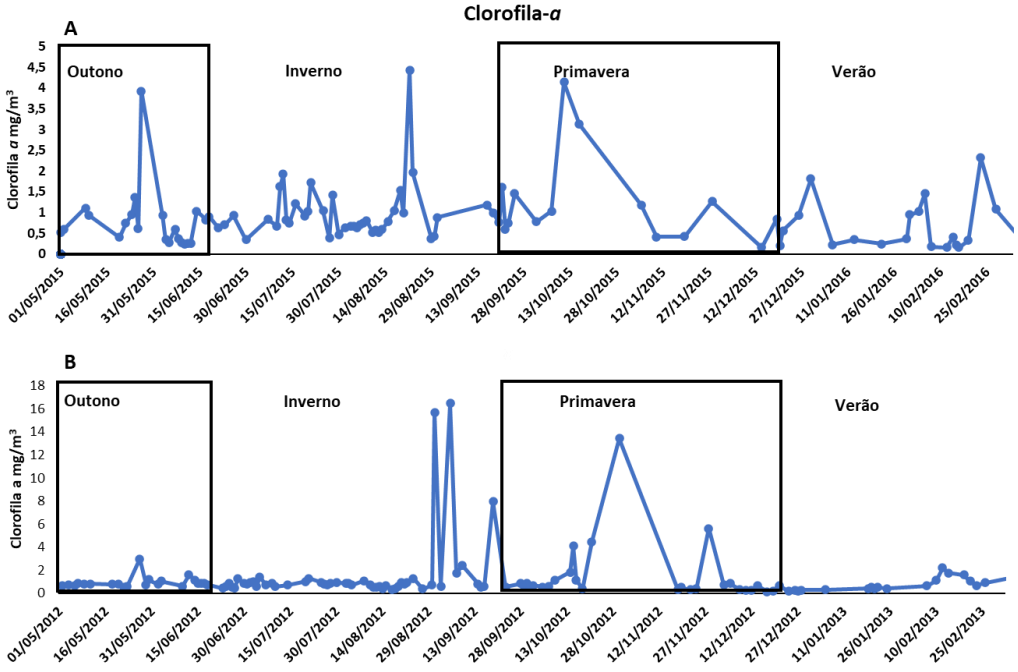

Figura 22: Concentração de Clorofila-*a* por satélite dos períodos, A-2012-2013 e B-2015-2016 da região de Arraial do Cabo. Nota: legendas em escalas diferentes.

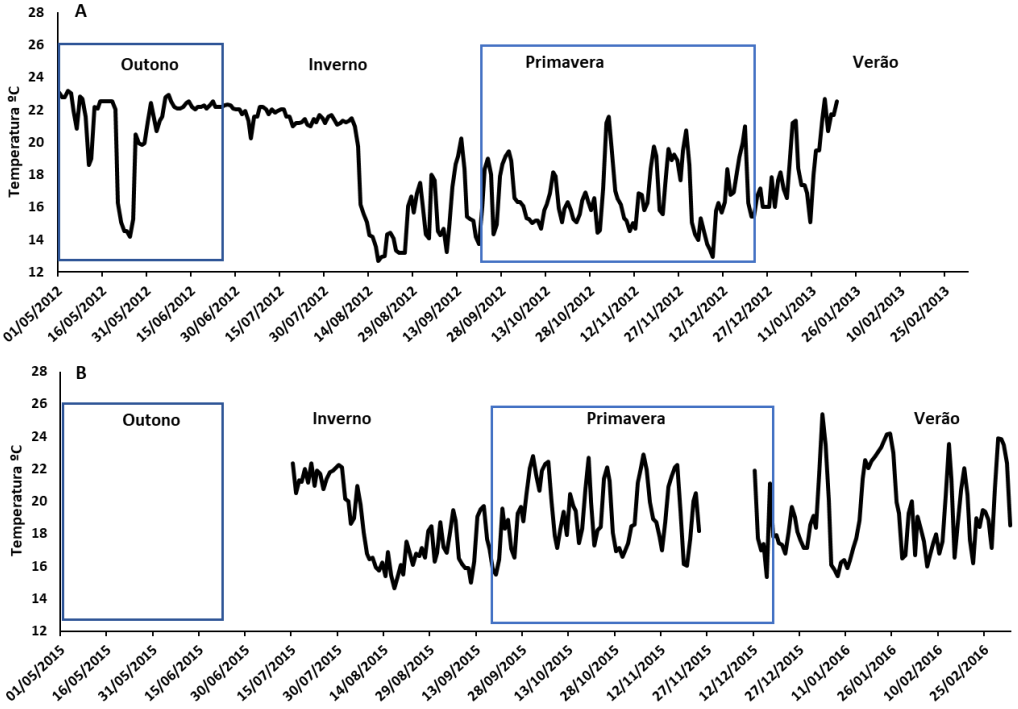

Figura 23: Temperatura da água, por sensor dos períodos, A- 2012-2013 e B-2015-2016, da região de Arraial do Cabo.

Tabela 12: Resultado da análise One-way ANOVA da comparação de temperatura da água dos anos 2012-2013 e 2015-2016.

	gl	F	*p*
Ano	1	29,63	**<0,001***
Total	351		

Resultado significativo *(≤0,05) estão em negrito. gl, graus de liberdade

3.4 Comparação das taxas de recrutamento 2012-2013 a 2015-2016

No ponto Boqueirão em 2012 a taxa de recrutamento de *C. bisinuatus* foi quase constante (Figura 24), com maior valor de recrutamento no mês de janeiro (média: 0,47± 0,5), diferente significativamente apenas dos meses de outubro e dezembro (F=2,87, gl= 7, p= 0,02). No mesmo ano, na Ponta da Cabeça, o pico da taxa de recrutamento foi no mês de janeiro (média: 4,62 ± 2,37), sendo considerado significativamente maior que nos demais períodos (F= 16,63, gl= 7, p< 0,001).

A taxa de recrutamento no Sonar em 2015, apresentou pico de recrutamento no mês de outubro (média: 5,33 ± 1,25), sendo significativamente diferente dos demais (F= 35,7, gl= 7, p<0,001). Os meses de dezembro e janeiro não apresentaram diferenças entre si. Na Ponta da Cabeça, para o mesmo ano, a maior taxa de recrutamento ocorreu no mês de janeiro (média: 1,75 ± 0,74), o que não foi considerado diferente dos meses de julho, outubro e dezembro (F= 2,45, gl= 7, p=0,04).

Quando comparado quanto a sazonalidade e a taxa de recrutamento entre os anos de 2012 a 2015, podemos observar uma diferença significativa (F= 22,3, gl= 1, p< 0,001) entre os anos para espécie *C. bisinuatus*, com maior taxa de recrutamento no ano de 2015.

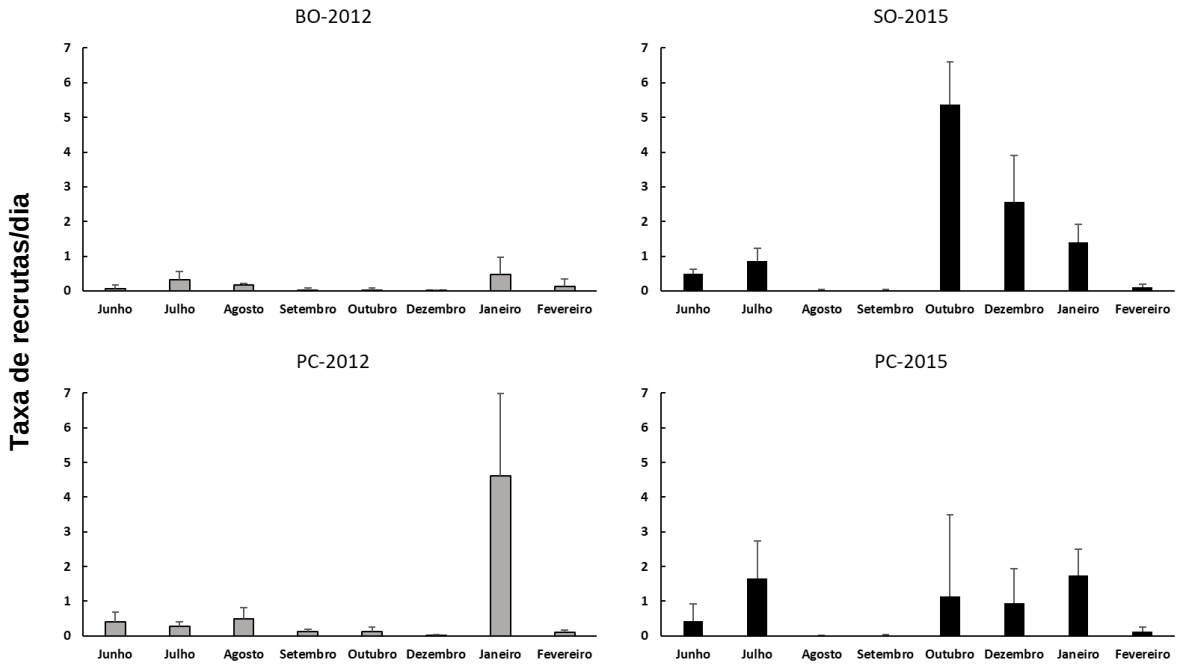

Figura 24: Taxa de recrutamento de *Chthamalus bisinuatus* por dia, durante 8 períodos na região de Arraial do Cabo. As colunas representam as médias e as barras de erros, seus respectivos desvio-padrão

Para a espécie de *T. stalactifera* no ano de 2012, os picos de recrutamento aconteceram nos meses de junho, julho e janeiro-2013, enquanto que no ano de 2015-2016 os picos de recrutamento começaram em dezembro, culminando em janeiro de 2016 com o maior recrutamento para espécie (Figura 25).

A estação Ponta da Cabeça apresentou os maiores valores de recrutamento na região, com o maior pico no mês de junho-2012 (média: 10,81 ± 6,34), já no ano de 2015-2016 o pico foi em janeiro-2016 (média: 26,33 ± 8,45). Entretanto, apesar das taxas de recrutamento serem maiores no ano de 2015-2016, não foram encontradas diferenças significativas para a taxa de recrutamento entre os anos de 2012-2013 e 2015-2016 ($F= 2,64$, $g=1$, $p=0,105$).

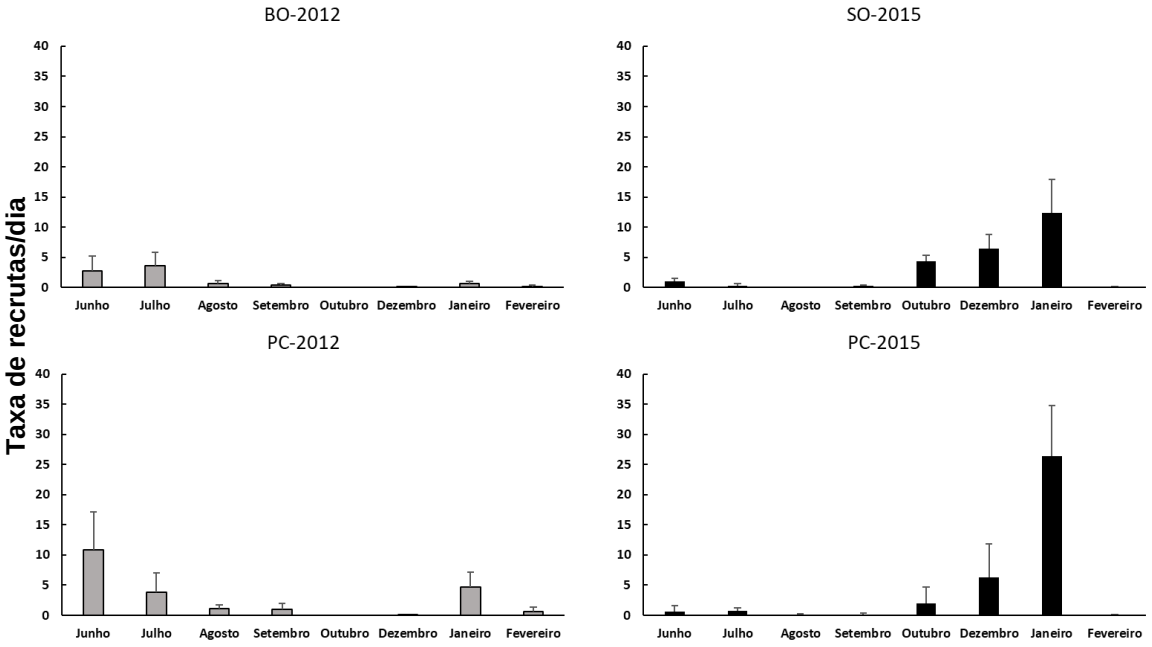

Figura 25: Taxa de recrutamento de *Tetraclita stalactifera* por dia, durante 8 períodos na região de Arraial do Cabo. As colunas representam as médias e as barras de erros, seus respectivos desvio-padrão.

Para espécies de *Megabalanus* spp*.* os picos de recrutamento ocorreram nos meses de junho, julho e setembro do ano 2012, período em que os níveis de clorofila-*a* são mais baixos e a água está mais quente (22 ºC). Enquanto que, no ano de 2015, os picos ocorreram nos meses de outubro e janeiro após altos valores de clorofila-*a* (4,14 e 3,2 mg/m^3 no mês de outubro) e em janeiro, período em que a temperatura chegou a 25 ºC. A estação Ponta da Cabeça se destacou devido ao grande pico de recrutamento no período de setembro (média: 101,01 ± 22,7), mês em que a clorofila-*a* atingiu a concentração de 7,95 mg/m^3 e a temperatura estava abaixo de 20 ºC. Os nossos resultados mostram que a taxa de recrutamento para o gênero *Megabalanus* spp. no ano de 2012-2013 foi significativamente maior (F= 4,83, gl=1 , p= 0,03) que o ano de 2015-2016, diferença que foi atribuída ao fico do mês de setembro/2012 (Figura 26).

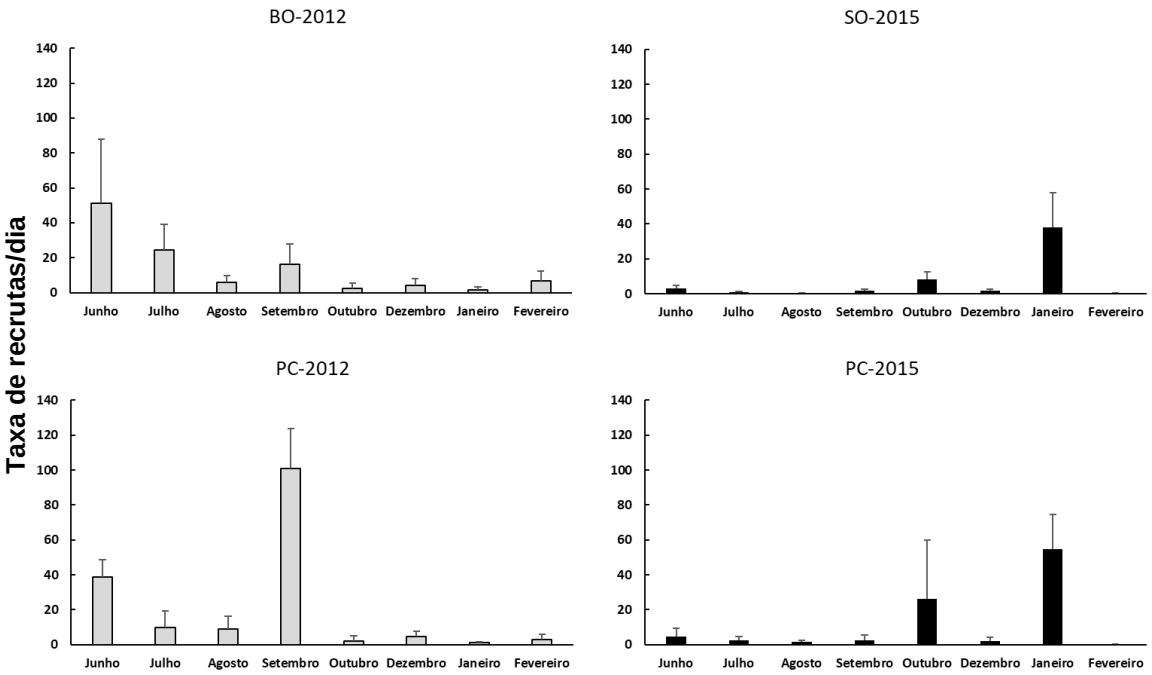

Figura 26: Taxa de recrutamento de *Megabalanus* spp. por dia, durante 8 períodos na região de Arraial do Cabo. As colunas representam as médias e as barras de erros, seus respectivos desvio-padrão.

4. DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nesse estudo reforçam a importância da sazonalidade do fenômeno de ressurgência para os processos relacionados ao recrutamento. Além disso, os padrões geográficos de recrutamento podem ser influenciados pelos padrões de fecundidade dos adultos e sua contribuição para o conjunto local de larvas (Hughes *et al.*, 2000), variáveis que não foram estudadas no presente estudo.

A clorofila-*a* não apresentou diferença entre os períodos 2012-2013 e 2015-2016. Seus picos aconteceram nos mesmos meses para os anos de 2012-2013 e 2015-2016, em alguns casos com diferença de poucos dias, quando comparado entre os anos. Entretanto, os valores mais altos de clorofila-*a* foram encontrados no ano de 2012, durante o final do inverno e na primavera, que foram aproximadamente 3,5 vezes maiores que os valores do pico do ano de 2015. De maneira geral os picos de clorofila-*a* aconteceram entre 2 a 4 dias depois de serem registradas temperaturas da água abaixo de 17 ºC.

A temperatura da água foi menor no período de 2012-2013, o que indica uma maior frequência e permanência em dias dos eventos de ressurgência, resultando em águas frias por mais tempo. Esses resultados corroboram os valores de clorofila-*a* mencionados acima.

Os períodos de recrutamento de cada espécie foram diferentes quando comparados entre os anos de 2012-2013 e 2015-2016. A espécie *C. bisinuatus* apresentou um padrão de recrutamento diferente entre os anos, sendo maior o número de recrutas no ano de 2015-2016 em outubro durante a primavera e 2012-2013 no mês de janeiro, no verão. Apesar da temperatura da água ser um fator determinante, maiores concentrações de alimento podem garantir maior

número de metamorfoses de cirripédios (Desai *et al.*, 2006) e assim garantir o sucesso do recrutamento.

Na espécie *T. stalactifera,* os picos de recrutamento aconteceram em estações de ano diferentes. Durante o ano de 2012-2013, os picos foram durante os meses de junho e julho no inverno, meses em que as temperaturas da água estão mais quentes e com menor disponibilidade de alimento. Podemos levar em consideração a maior importância da temperatura em frente a disponibilidade de alimento (Anil *et al.*, 2001) para esse período. Já no ano de 2015-2016, os picos de recrutamento foram na primavera e verão, período com eventos de ressurgência mais curtos, alternados por temperaturas da água mais altas. Skinner e Coutinho (2002), mostraram que os valores de assentamento para espécie *T. stalactifera* foram mais altos em períodos com temperaturas mais altas no verão para a mesma região.

Da mesma forma que para espécie *T. stalactifera*, os picos de recrutamento de *Megabalanus* spp. ocorreram em estações do ano diferentes. No período de 2012-2013, os picos menores foram na estação do inverno e o maior pico de recrutamento ocorreu em setembro durante a primavera, após altos valores de clorofila-*a* e com temperaturas abaixo de 17 ºC. Leslie e colaboradores (2005), apontaram em seu estudo que a população de *Balanus glandula,* em uma região de maior produtividade primária pode ser capaz de produzir quase cinco vezes mais larvas do que aqueles nas regiões de menor produtividade, aumentando assim a quantidade de larvas disponíveis para o recrutamento.

Severino & Resgalla (2005), demostraram que as larvas do gênero *Megabalanus* apresentam um desenvolvimento mais rápido em temperaturas

mais elevadas, dessa forma, ficam menos tempo no plâncton e assim aumentam de forma considerável a chance de sobreviventes. Além disso, em temperaturas mais altas aumentam significativamente a quantidade de ecdises, aumentando assim a chance de estabelecimento na comunidade (Yan & Miao, 2004).

Durante o período de 2015-2016, os menores picos de *Megabalanus* spp. e *T. stalactifera* aconteceram na primavera e o maior no verão. Podemos notar que a intermitência dos eventos de ressurgência durante o verão pode permitir que os nutrientes ressurgidos fiquem perto da costa por mais dias, aumentando a abundância de fitoplâncton, além de poder aumentar a retenção larvar, influenciando diretamente no recrutamento (Menge & Menge, 2013).

O recrutamento, de modo geral, tem sido apontado por alguns autores como dependente do suprimento larvar (Jenkins *et al.*, 2008, Pineda *et al.*, 2009). Contudo, segundo Moreira e colaboradores (2007), o suprimento larvar pode ser desacoplado da taxa de recrutamento e que a qualidade das larvas pode desempenhar um papel mais importante no sucesso do recrutamento (Kasten *et al.*, 2019).

Segundo Shanks e colaboradores (2003), as larvas de invertebrados permanecem no plâncton por períodos de vários dias podendo chegar a algumas semanas, assim, em um evento de ressurgência forte, as larvas demorariam mais tempo para se metamorfosear e ficariam mais nutridas devido ao aumento da clorofila.

Além disso, processos locais, mesmo em pontos próximos dentro da mesma área em regiões com maior frequência da ressurgência, podem resultar em alta variabilidade (Rilov & Schiel, 2011), sendo um fator que pode vir a

influenciar também na sazonalidade da reprodução dos organismos adultos (Skinner *et al.*, 2011).

Mudanças nos regimes da ressurgência podem comprometer a produtividade e respectivamente o recrutamento (Barth *et al.*, 2007). Oscilações no padrão de uma feição oceânica de larga-escala (7-10 anos), como a Oscilação Decadal do Pacifico (ODP) e Oscilação Interdecadal do Pacífico (OIE), podem influenciar no recrutamento de várias espécies marinhas (Menge *et al.*, 2009, Menge *et al.*, 2011). Assim como, apenas mudanças no regime dos ventos seriam capazes de diminuir ou potencializar o fenômeno da ressurgência na região estudada (Campos *et al.*, 2000, Castelao & Barth, 2006).

Os resultados apresentados no presente estudo confirmam a importância do fenômeno e da frequência dos eventos de ressurgência no recrutamento, de forma, que a sua variação sazonal e interanual tem a capacidade de adiantar ou atrasar os picos de recrutamento para as espécies dominantes de cracas na região de costões rochosos no sudeste do Brasil. As mudanças desses períodos de recrutamento, possivelmente poderá modificar também o período de reprodução e liberação das larvas, dessa forma influenciando toda a estrutura das comunidades bentônicas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-AIDAROOS, A. M., SATHEESH, S. Larval development and settlement of the barnacle *Amphibalanus amphitrite* from the Red Sea: Influence of the nauplii hatching season. **Oceanological and Hydrobiological Studies**, v. 43, n. 2, p. 170-177, 2014.

ANIL, A. C, DESAI, D., KHANDERPARKER, L. Larval development and metamorphosis in *Balanus amphitrite* Darwin (Cirripedia; Thoracica): significance of food concentration, temperature and nucleid acids. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 263, n. 2, p. 125-141, 2001.

ANIL, A. C., CHIBA, K., OKAMOTO, K., KUROKURA, H. Influence of temperature and salinity on larval development of Balanus amphitrite: implications in fouling ecology. **Marine ecology progress series. Oldendorf**, v. 118, n. 1, p. 159-166, 1995.

ANIL, A. C., KHANDEPARKER, L., DESAI, D. V., BARAGI, L. V., GAONKAR, C. A. Larval development, sensory mechanisms and physiological adaptations in acorn barnacles with special reference to *Balanus amphitrite*. *J* **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 392, n. 1-2, p. 89-98, 2010.

BARNES, H. Light, temperature and the breeding of *Balanus balanoides*. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 43, n. 3, p. 717-727, 1963.

BARNES, H. Note on variations in the release of nauplii of *Balanus balanoides* with special reference to the spring diatom outburst. **Crustaceana**, *v.* 4, p. 118-122,1962.

BARNES, H. Processes of restoration and synchronization in marine ecology. The spring diatom increase and 'spawning' of the common barnacle *Balanus balanoides* (L). **Année biol**, v. 33, n. 6, p. 85, 1957.

BARNES, H., A review of some factors affecting settlement and adhesion in the cyprids of some common barnacles. In: Manley, E. (ed), **Adhesion in Biological Systems**, cap. 5, New York, Academic Press, Inc., 1970.

BARNES, M. Egg production in cirripedes. **Oceanogr. Mar. Biol**, v. 27, p. 91-166, 1989.

BARTH, J. A., MENGE, B. A., LUBCHENCO, J., CHAN, F., BANE, J., KIRINCICH, A., MCMANUS, M., NIELSEN, K. J., PIERCE, S. D., WASHBURN, L. Delayed upwelling alters nearshore coastal ocean ecosystems in the northern California current. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 10, p. 3719-3724, 2007.

BERTNESS, M. D., GAINES, S. D., WAHLE, R. A. Wind-driven settlement patterns in the acorn barnacle *Semibalanus balanoides*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 137, p. 103-110, 1996.

BOOTH, D. J., BROSNAN, D. M. The role of recruitment dynamics in rocky shore and coral reef fish communities. **Advances in Ecological Research,** v. 26, p. 309–385, 1995.

BURROWS, M. T., JENKINS, S. R., ROBB, L., HARVEY, R. Spatial variation in size and density of adult and post-settlement *Semibalanus balanoides*: effects of oceanographic and local conditions. **Marine Ecology Progress Series**, v. 398, p. 207-219, 2010.

CALEY, M. J., CARR, M. H., HIXON, M. A., HUGHES, T. P., JONES, G.P., MENGE, B. A. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. **Review of Ecology and Systematics**, v. 27, n. 1, p. 477-500, 1996.

CAMPOS, E. J. D., VELHOTE, D., DA SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 6, p. 751-754, 2000.

CASTELAO, R. M., BARTH, J. A. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: the importance of wind stress curl. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 3, 2006.

COLE, S. W. B., SCROSATI, R. A., TAM, J. C., SUSSMANN, A. V. Regional decoupling between NW Atlantic barnacle recruit and adult density is related to changes in pelagic food supply and benthic disturbance. **Journal of Sea Research**, v. 65, n. 1, p. 33-37, 2011.

CONNELL, J. H. The consequences of variation in initial settlement vs. Post settlement mortality in rocky intertidal communities. **Journal of experimental marine biology and ecology**, v. 93, n. 1-2, p. 11-45, 1985.

CRICKENBERGER, S. E. **Range limits, range shifts, and lower termal tolerance in the tropical barnacle *Megabalaus coccopoma***. Dissertation – Degree Doctor of Philosophy Biological Sciences - Graduate School of Clemson University, 2014.

DESAI, D. V., ANIL, A. C. Recruitment of the barnacle *Balanus amphitrite* in a tropical estuary: Implications of environmental perturbation, reproduction and larval ecology. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 85, n. 4, p. 909-920, 2005.

DESAI, D., KHANDEPARKER, L., SHIRAYAMA, Y. Larval development and metamorphosis of *Balanus albicostatus* (Cirripedia: Thoracica); implications of temperature, food concentration and energetics. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 86, n. 2, p. 335-343, 2006.

GOSSELIN, L. A., QIAN, P. Y. Early post-settlement mortality of an intertidal barnacle: A critical period for survival. **Marine Ecology Progress Series**, v. 135, p. 69-75, 1996.

HUGHES, T. P., BAIRD, A. H., DINSDALE, E. A., MOLTSCHANIWSKYJ, N. A., PRATCHETT, M. S., TANNER, J. E., WILLIS, B. L. Supply-side ecology works both ways: the link between benthic adults, fecundity, and larval recruits. **Ecology**, v. 81, n. 8, p. 2241-2249, 2000.

JENKINS, S. R., MURUA, J., BURROWS, M. T. Temporal changes in the strength of density dependent mortality and growth in intertidal barnacles. **Journal of Animal Ecology**, v. 77, n. 3, p. 573-584, 2008.

KASTEN, P., JENKINS, S. R., TREMBLAY, R., FLORES, A. A. V. Evidence for enhanced late-stage larval quality, not survival, through maternal carry-over effects in a space monopolizing barnacle. **Hydrobiologia**, v. 830, n. 1, p. 277-286, 2019.

LANG, W. H., ACKENHUSEN-JOHNS, A. Seasonal species composition of barnacle larvae (Cirripedia: Thoracica) in Rhode Island waters, 1977-1978. **Journal of Plankton Research**, v. 3, n. 4, p. 567-575, 1981.

LARA, C., SALDÍAS, G. S., TAPIA, F. J., IRIARTE, J. L., BROITMAN, B. R. Interannual variability in temporal patterns of chlorophyll-a and their potential influence on the supply of mussel larvae to inner Waters in northern Patagonia (41–44° S). **Journal of Marine Systems**, v. 155, p. 11-18, 2016.

LESLIE, H. M., BRECK, E.N., CHAN, F., LUBCHENCO, J., MENGE, B. A. Barnacle reproductive hotspots linked to nearshore ocean conditions. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 30, p. 10534-10539, 2005.

MAZZUCO, A. C. A., CHRISTOFOLETTI, R. A., COUTINHO, R., CIOTTI, Á. M. The influence of atmospheric cold fronts on larval supply and settlement of intertidal invertebrates: Case studies in the Cabo Frio coastal upwelling system (SE Brazil). **Journal of sea research**, v. 137, p. 47-56, 2018.

MAZZUCO, A. C. A., CHRISTOFOLETTI, R. A., PINEDA, J., STARCZAK, V. R., CIOTTI, A. M. Temporal variation in intertidal community recruitment and its relationships to physical forcings, chlorophyll-a concentration and sea surface temperature. **Marine Biology**, v. 162, n. 9, p. 1705-1725, 2015.

MENGE, B. A. Community regulation: under what conditions are bottom-up factors important on rocky shores? **Ecology**, v. 73, n. 3, p. 755-765, 1992.

MENGE, B. A. Recruitment vs. post-recruitment processes as determinants of barnacle population abundance. **Ecological Monographs**, v. 70, n. 2, p. 265-288, 2000.

MENGE, B. A., CHAN, F., NIELSEN, K. J., LORENZO, E. D., LUBCHENCO, J. Climatic variation alters supply-side ecology: Impact of climate patterns on phytoplankton and mussel recruitment. **Ecological Monographs**, v. 79, n. 3, p. 379-395, 2009.

MENGE, B. A., GOUHIER, T. C., FREIDENBURG, T., LUBCHENCO, J. Linking long-term, large-scale climatic and environmental variability to patterns of marine invertebrate recruitment: Toward explaining “unexplained” variation. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 400, n. 1-2, p. 236-249, 2011.

MENGE, B. A., MENGE, D. N. L. Dynamics of coastal meta-ecosystems: the intermittent upwelling hypothesis and a test in rocky intertidal regions. **Ecological Monographs**, v. 83, n. 3, p. 283-310, 2013.

MENGE, B. A., MENGE, D. N. L. Testing the intermittent upwelling hypothesis: comment. **Ecology**, v. 100, n. 3, p. e02476, 2019.

MOREIRA, F. T., HARARI, J., FLORES, A. A. V. Neustonic distribution of decapod planktonic stages and competence of brachyuran megalopae in coastal waters. **Marine and Freshwater Research**, v. 58, n. 6, p. 519-530, 2007.

NAVARRETE, A. S., WIETERS, E. A., BROITMAN, B. R., CASTILLA, J. C. Scales of benthic-pelagic coupling and the intensity of species interactions: from recruitment limitation to top-down control. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 50, p. 18046-18051, 2005.

ODA, T. O. **Influência da ressurgência costeira sobre a circulação local em Cabo Frio (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE. São José dos Campos, 1997.

PECHENIK, J. A., CERULLI, T. R. Influence of delayed metamorphosis on survival, growth, and reproduction of the marine polychaete Capitella sp. I. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 151, n. 1, p. 17-27, 1991.

PINEDA, J., REYNS, N. B., STARCZAK, V. R. Complexity and simplification in understanding recruitment in benthic populations. **Population Ecology**, v. 51, n. 1, p. 17-32, 2009.

RILOV, G., SCHIEL, D. R. Community regulation: the relative importance of recruitment and predation intensity of an intertidal community dominant in a seascape context. **PLoS One**, v. 6, n. 8, 2011.

SCROSATI, R. A., ELLRICH, J. A. Benthic-pelagic coupling and bottom-up forcing in rocky intertidal communities along the Atlantic Canadian coast. **Ecosphere**, v. 9, n. 5, p. e02229, 2018.

SEVERINO, A., RESGALLA, C. Descrição dos estágios larvais de *Megabalanus coccopoma* (Darwin, 1854) e sua variação temporal na enseada de Itapocoroy (Santa Catarina, Brasil). **Atlântica (Rio Grande)**, v. 27, n. 1, p. 05-16, 2005.

Shanks, A. L., Morgan, S. G. Testing the intermittent upwelling hypothesis: reply. **Ecology**, v. 100, n. 3, p. e02516, 2019.

SHANKS, A. L., MORGAN, S. G., MACMAHAN, J., RENIERS, A. J. H. M. Along shore variation in barnacle populations is determined by surf zone hydrodynamics. **Ecological Monographs**, v. 87, n. 3, p. 508-532, 2017.

SHANKS, A., GRANTHAM, B. A., CARR, M. H. Dispersal distance and the size and spacing of marine reserves. **Ecological Applications**, v. 13, n. sp1, p. 159-169, 2003.

SKINNER, L. F., COUTINHO, R. Preliminary results on settlement of the barnacles *Tetraclita stalactifera* and *Chthamalus bisinuatus* on a Brazilian tropical rocky shore under upwelling conditions. **Invertebrate Reproduction & Development**, v. 41, n. 1-3, p. 151-156, 2002

SKINNER, L.F, MACHARET, H., COUTINHO, R. Influence of upwelling and tropical environments on the breeding development of the intertidal barnacle *Tetraclita stalactifera* (Lamarck, 1818). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 59, n. 4, p. 349–356, 2011.

SOKAL, R., ROHLF, F. J. **Biometry: the principles and practice of statistics in biological research**. WH Freeman and Company, New York, 2003.

THIYAGARAJAN, V., HARDER, T., QIAN, P-Y. Effect of the physiological condition of cyprids and laboratory-mimicked seasonal conditions on the metamorphic successes of *Balanus amphitrite* Darwin (Cirripedia; Thoracica). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 274, n. 1, p. 65-74, 2002.

THIYAGARAJAN, V., VENUGOPALAN, V. P., SUBRAMONIAM, T., NAIR, K. V. K. Laboratory rearing of barnacle larvae (*Balanus reticulatus*) using *Chaetocerous wigham* as food. **Indian J. Mar. Sci**, v. 25, p. 365-367, 1996.

UNDERWOOD, A. J. **Experiments in ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance**. Cambridge University Press, Cambridge: 444-477, 1997.

YAN, Y., MIAO, S. The effect of temperature on the repro- ductive cycle of the tropical barnacle, *Chthmalus malayensis* Pilsbury (Cirripedia). **Crustaceana**, v. 77, p. 205–212, 2004.

CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo geral verificar o efeito da frequência e intensidade dos eventos de ressurgência nos processos de suprimento e recrutamento de duas espécies e um gênero de cirripédio da região sudeste do Rio de Janeiro.

- ✓ A região de maior frequência da ressurgência apresentou maiores concentrações de clorofila-*a,* menores temperaturas da água, suprimento larvar e recrutamento.

- ✓ Pontos com maior frequência dos eventos de ressurgência apresentaram maiores picos e taxas de recrutas por dia. No entanto, a espécie *C. bisinuatus,* aparentemente, não sofre efeito da frequência desses eventos.

- ✓ Os picos de recrutas ocorreram no mesmo período tanto na região de maior frequência do evento de ressurgência quanto para a região de menor frequência do evento. A diferença principal é no número total de recrutas que foi mais alto no ponto Ponta da Cabeça, diretamente afetado pela ressurgência.

- ✓ Os altos valores das correlações com o vento mostraram que esse fator é uma variável importante na regulação do recrutamento na região com maior frequência da ressurgência.

- ✓ Ventos do quadrante NE são negativamente correlacionados com o suprimento larvar em períodos de não ressurgência, os ventos do quadrante NE são capazes de transportar larvas e assim diminuindo o suprimento local, enquanto que, os ventos do quadrante S e SO são correlacionados de forma positiva, capazes de aumentar a concentração de larvas. Nossos resultados mostram importância dos ventos no transporte e distribuição do suprimento larvar para região estudada.

- ✓ A variação interanual do fenômeno da ressurgência tem a capacidade de adiantar ou atrasar os picos de recrutamento para as espécies dominantes de cracas na região de costões rochosos no sudeste do Brasil, além da capacidade de potencializar o recebimento de larvas ou causar a sua diminuição.

- ✓ Variações interanual dos eventos de ressurgência possui influência no recrutamento. No período 2012-2013 o recrutamento das espécies foi favorecido devido as altas temperaturas registradas no inverno, enquanto que no ano de 2015-2016 os eventos intermitentes de ressurgência com altos valores de clorofila-*a* alternados com temperaturas altas podem ter direcionado o recrutamento.

- ✓ Nossos resultados trouxeram contribuições importantes para este tipo de estudo nessa região, que mostra a importância da temperatura e do fator vento para compreensão sobre o suprimento e o recrutamento de cirripédios do entremarés de costões rochosos.