

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Identificação e extração multi-escala de
estruturas dos processos físicos utilizando ondaletas

Daniel Isaias Grados Paredes

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de concentração: Estatística e Experimentação
Agronômica

Piracicaba

2011

Daniel Isaias Grados Paredes
Engenheiro Estatístico

**Identificação e extração multi-escala de
estruturas dos processos físicos utilizando ondaletas**

Orientadora:

Prof. Dr. **PAULO JUSTINIANO RIBEIRO JR.**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciência. Área de concentração: Estatística e Experimentação Agronômica

Piracicaba

2011

Dedicatória

A minha mãe, Lidia Paredes,
A meus irmãos, José, Richard, Javier e Ronald,
que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.
A Rocio por todos os momentos felizes.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha mãe Lidia e meus irmãos por estar sempre ao meu lado, mesmo a quilômetros de distancia.

A Arnaud e Sophie que acreditaram em mim, Obrigado Arnaud pela tua ajuda e teus conselhos. Obrigado Sophie.

A Ronan Fablet por teu constante apoio e constante ensino da programação é interpretação dos meus dados.

Ao Paulo Justiniano por teu ensino da área de estatística espacial. Verdadeiramente foi um gosto trabalhar baixo sua orientação.

A minha namorada Rocio, você é a pessoa que esta quando eu mais preciso de alguém, é minha companheira do meu caminho da vida. Obrigado por acreditar nas mesmas coisas que eu acredito.

A minhas amigas Zayda e Rosmery que fizeram muito confortável minha estadia em IMARPE, obrigado Zayda pelas brincadeiras.

A meus amigos Juan, Nancy, Silvia, Veronika, Andres, Adriana, Javier e a todos os Peruanos e Colombianos pela companhia em Piracicaba.

A meus amigos do mestrado Ana Julia, Gabriel, João, Josy, Faby, Kuang, Luiz, por sempre estarem ao meu lado.

Às secretárias do programa de pós graduação: Luciane e Solange por toda a ajuda, em especial a Luciane por as muitas ajudas que eu solicitei.

Aos funcionários do programa de pós graduação: Eduardo, Jorge e Rosni por me ajudar quando eu precisava de alguma ajuda.

Aos professores do programa de pós graduação em Estatística e Experimentação

Agrônômica: Carlos Tadeu dos Santos Dias, Edwin Moisés Marcos Ortega, Silvio Sandoval Zocchi, Sônia Maria De Stefano Piedade e Taciana Villela Savian pelos conselhos e ajuda nos momentos de dúvidas.

Agradeço em especial à professora Clarice Garcia Borges Demétrio por sua dedicação nas aulas, você vai ser um exemplo para mim.

Ao IRD pela constante apoio oferecida a minha pessoa.

Ao IMARPE por fazer possível meu trabalho no campo de ecologia marinha.

Por fim a todos que sempre acreditaram em mim.

OBRIGADO!!!!!!

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 DESENVOLVIMENTO	23
2.1 Materiais e Métodos	23
2.1.1 Área de estudo	23
2.1.2 Variáveis	23
2.1.3 Extração multi-escala das estruturas características	24
2.1.4 Caracterização da distribuição das estruturas	30
2.1.4.1 Indicador de eficiência do método de extração de estruturas	33
2.1.5 Estudo do impacto das estruturas físicas sobre a distribuição do zooplâncton	33
2.1.5.1 Independência dos processos físicos e a distribuição do zooplâncton	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 Validação do método de extração de estruturas	35
3.1.1 Aplicação da metodologia aos dados do Ecossistema marinho	40
3.2 Tipologia das estruturas	41
3.2.1 Estudo do impacto das estruturas sob a distribuição do zooplâncton	47
3.2.1.1 Estudo da independência entre os dois processos	53
3.3 Discussão	54
3.3.1 Da metodologia	54
3.3.2 Tipologia das estruturas físicas	55
3.3.3 Do impacto sobre a biomassa de zooplâncton	56
4 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS	60

RESUMO

Identificação e extração multi-escala de estruturas dos processos físicos utilizando ondaletas

Ecossistemas marinhos de upwelling são muito heterogêneos e apresentam uma intensa atividade de mesoescala (10s km) e submesoescala (100s m ate kms) dos processos físicos. A importância das estruturas dos processos físicos esta na estruturação que eles exercem sob a biomassa de zooplâncton. O presente trabalho foi levado a cabo no no Norte do Sistema da Corrente de Humboldt (Peru), utilizou-se dois variáveis, a profundidade do limite superior da zona de mínimo oxigênio (ZMO) e a biomassa de zooplâncton. No trabalho se desenvolveu uma metodologia baseado em análises de Ondeletas para a identificação e extração das estruturas dos processos físicos. O método foi aplicado aos dados do ZMO. Estudos de simulação mostraram que nosso método tem a capacidade de identificar as estruturas de interesse, tendo erro de estimação nas fronteiras do espectro da potência de Ondeleta. A tipologia das estruturas identificadas mostraram que existe três tipos de estruturas, estruturas grandes e muito energéticas, dois estruturas pequenas com diferencia na profundidade. Outro resultado importante foi que dentro das estruturas pequenas existe maior biomassa de zooplâncton, principalmente nas estruturas de downwelling.

Palavras-chave: Processos físicos; Biomassa de zooplâncton; Análise de ondeletas; Espectro de ondeleta

ABSTRACT

Identifying and extract multiscale of physical processes structures using wavelets

Marine upwelling ecosystems are very heterogeneous and have intense mesoscale (10s km) and submesoscale (100s m to km) physical processes. The importance of the structures of the physical processes is in the rol they play in structuring the biomass of zooplankton. This work was carried out in the northern Humboldt Current System (Peru). We used two variables: the depth of the upper limit of the oxygen minimum zone (ZMO, in portuguese) and the biomass of zooplankton. In this work we developed a methodology based on wavelet analysis for the identification and extraction of structures of physical processes. The method was applied to data from the ZMO. Simulation studies showed that our method is able to identify structures of interest, computing an estimation error in the boundaries of the power spectrum of the wavelet. The structures identified are classified in three types: one large and very energetic, and two small ones at different depths. Another important result is that within the small structures there is a higher biomass of zooplankton, especially in the structures of downwelling.

Keywords: Physical processes; Zooplankton biomass; Wavelet methods; Wavelet spectrum

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática do conceito de transferência bottom-up do comportamento e estruturação espacial. Fonte: Bertrand et al., (2008b)	18
Figura 2 - Representação esquemática das estruturas físicas e seus impactos sobre a distribuição dos organismos.	19
Figura 3 - Representação de um ecograma acústico.	24
Figura 4 - Elementos do sinal, a amplitude e o período	24
Figura 5 - Esquema da obtenção de estruturas de meso e submeso escala usando a potência do espectro de ondeleta.	29
Figura 6 - Sinal simulada com período de 47 e amplitude de 7.	36
Figura 7 - Sinal simulada com período de 20 e amplitude de 15.	36
Figura 8 - Sinal simulada utilizando 4 séries diferentes.	39
Figura 9 - Resultado da aplicação do método ao um transecto.	40
Figura 10 - Representação do espaço dos componentes, só sao apresentados as variáveis contínuas	43
Figura 11 - Dendograma com os três cluster	44
Figura 12 - Representação dos 3 grupos de estruturas identificadas.	47
Figura 13 - Doble k ripley	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - % de identificação de estruturas e Erro quadrado médio para sinais seno . . .	36
Tabela 2 - % de identificação de estruturas e EQM para sinais com ruído branco	37
Tabela 3 - % de identificação de estruturas e EQM para sinais com ruído vermelho . .	38
Tabela 4 - Matriz varianza covarianza	42
Tabela 5 - Porcentagem de variância explicada	43
Tabela 6 - cargas de las variables	44
Tabela 7 - Descrição das variáveis categóricas para os cluster	45
Tabela 8 - Variáveis continuas nos grupos	46
Tabela 9 - Promedio da biomassa de zooplâncton dentro do grupo 1	48
Tabela 10 - Anova para o zooplâncton no grupo 1.	48
Tabela 11 - Teste de Tukey para o zooplâncton no grupo 1.	49
Tabela 12 - Anova no grupo 1 para a diferencial de biomassa	49
Tabela 13 - Teste de Tukey para o diferencial de biomassa	49
Tabela 14 - Promedio da biomassa segundo os fatores (dia, zona e fase) dentro do grupo 2	50
Tabela 15 - Anova para a biomassa do zooplâncton dentro do grupo 2.	50
Tabela 16 - Teste de Tukey para a biomassa de zooplâncton no grupo 2.	51
Tabela 17 - Anova para o diferencial da biomassa no grupo 2	51
Tabela 18 - Teste de Tukey para o diferencial de biomassa no grupo 2.	51
Tabela 19 - Promedio da biomassa segundo os fatores (dia, zona e fase) dentro do grupo 3	52
Tabela 20 - Anova da biomassa no grupo 3	52
Tabela 21 - teste de Tukey para a biomassa dia no grupo 3	53
Tabela 22 - Anova do diferencial da biomassa no grupo 3	53
Tabela 23 - Teste de Tukey para o diferencial da biomassa no grupo 3.	53

1 INTRODUÇÃO

O acontecimento das interações entre predadores e presas é dado pela sobreposição espacial deles (predadores e suas presas). Há evidências que em ecossistemas marinhos existe uma transferência 'bottom-up' (de baixo para cima) da estruturação espacial (RUSSELL et al., 1992; BERTRAND et al., 2008b): A transferência começa nos processos físicos, os processos físicos estruturam a paisagem da comunidade pelágica mediante as turbulências nas massas de água. As partículas inertes (nutrientes) e uma parte dos seres vivos (fitoplâncton e grande parte do zooplâncton) são passivamente organizadas no espaço por causa dos processos físicos. Logo, pela necessidade de se alimentar, os peixes condicionam sua distribuição segundo a distribuição de suas presas (FRONTIER et al., 2004) e pela sucessão de relações predador-presa, a estrutura espacial originada pelos processos físicos são transferidos a todos os níveis tróficos do ecossistema (Figura 1). A identificação e explicação da variação espacial da distribuição dos organismos é um tema muito importante em ecologia (DALE et al., 2002). Populações são espacialmente estruturadas por diversos fatores, em particular (i) os processos ecológicos são intrinsecamente espaciais, dado que as interações entre indivíduos vizinhos gera auto-correlação (TILMAN; KAREIVA, 1997), e (ii) as espécies respondem às variações meio-ambientais, como estes últimos estão estruturados, induzem dependência espacial da distribuição das espécies. A resposta das espécies às variações de seu entorno acontece a diferentes escalas características e estas respostas podem variar em função do alcance de escalas em consideração.

Dentro destes ecossistemas marinhos estão os sistemas de afloramento, os quais são particularmente heterogêneos a pequenas escalas de espaço e tempo (LAVANIEGOS et al., 2002; CARR; KEARNS, 2003; BERTRAND et al., 2008a,b; CHAIGNEAU; GIZOLME; GRADOS, 2008). A intensa atividade de mesoescala (10km) e submesoescala (100s m a kms) geram frentes entre águas costeiras (com muito nutriente) e águas oceânicas de poucos nutrientes (CHAIGNEAU; PIZARRO, 2005a), filamentos (THOMAS, 1999), redemoinhos (HORMAZABAL; SHAFFER; LETH, 2004; CHAIGNEAU; PIZARRO, 2005a) e ondas internas (BERTRAND et al., 2008a, BERTRAND; BALLON; CHAIGNEAU, 2010). Nesta paisagem, as atividades de meso e submesoescala condicionam a distribuição espacial dos organismos (ROGACHEV; SALOMATIN; CARMACK, 1996; SEKI et al., 2002; FOSSHEIM et al., 2005;

BERTRAND et al., 2008a) que usualmente apresentam distribuições agregadas (e.g. WIEBE, 1970; HAURY; McGOWAN; WIEBE, 1978; MACKAS; BOYD, 1979; MACKAS; DENMAN; ABBOTT, 1985; RUSSEL et al., 1992; BERTRAND et al., 2008a,b).

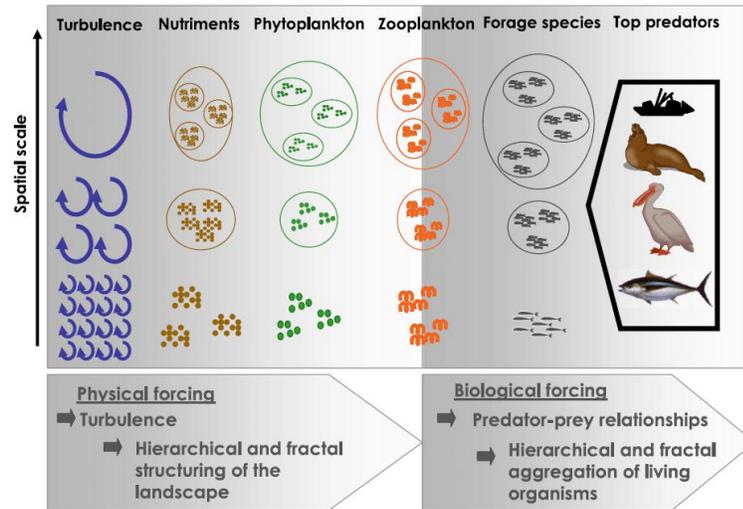


Figura 1 - Representação esquemática do conceito de transferência bottom-up do comportamento e estruturação espacial. Fonte: Bertrand et al., (2008b)

Este é o caso do ecossistema de afloramento mais produtivo do mundo em termos de pesca (CHAVEZ et al., 2008), o norte do Sistema da Corrente de Humboldt (NSCH) do Peru. O NSCH é uma região onde a oscilação sul de **El Niño** e a variabilidade climática são mais notáveis (CHAVEZ et al., 2008). O NSCH e seus recursos vivos são diretamente impactados por uma intensa e grande variabilidade climática em diferentes escalas. O NSCH, também é caracterizado pela presença de uma muito pronunciada e extensa zona de mínimo oxigênio (ZMO) (HELLY; LEVIN, 2004; CHAVEZ et al., 2008; KARSTENSEN; STRAMMA; VISBECK, 2008; PAULMIER; RUIZ-PINO, 2009). A ZMO é uma barreira para alguns animais (em particular a anchova) e concentra a maioria dos recursos vivos cerca da superfície (BERTRAND; BALLON; CHAIGNEAU, 2010).

Estruturas físicas de mesoescala (filamentos, redemoinhos) acrescentam a produtividade primária (FALKOWSKI et al., 1991; STRASS, 1992; DADOU et al., 1996; MCGILLICUDDY et al., 1998, 1999, 2007; OSCHLIES; GARÇON, 1998; MAHADEVAN; ARCHER, 2000; WILLIAMS; FOLLOWS, 2003; BENITEZ-NELSON et al., 2007; BIBBY et al., 2008),

e condicionam a distribuição do zooplâncton. Através destas estruturas acontece a sucessão de relações predador-presas, que estende-se aos níveis tróficos superiores (BERTRAND et al., 2008b; TEW-KAI et al., 2009). No NSCH os processos físicos de mesoescala são mais estáveis e menos intensos que em outros ecossistemas (CHAIGNEAU; ELDIN; DEWITTE, 2009). Isto pode ser importante para uma eficiente transferência da produtividade primária aos níveis tróficos superiores (CHAVEZ et al., 2008). As estruturas físicas de convergência de mesoescala acumulam o zooplâncton no seu centro (YEBRA; ALMEIDA; HERNANDEZ-LEON, 2005) e as estruturas de divergência dispersam o zooplâncton. Ao nível de submesoescala, existe a possibilidade de que processos físicos como as ondas internas ou pequenos redemoinhos poderiam favorecer a produtividade (KLEIN; LAPEYRE, 2009) e condicionam a estruturação vertical e horizontal do zooplâncton (BERTRAND et al., 2008a). Pois, estas estruturas físicas de submesoescala (de convergência ou divergência) podem ter um impacto sobre a distribuição do zooplâncton similar às estruturas de mesoescala, uma representação gráfica da estruturação é observada na Figura 2.

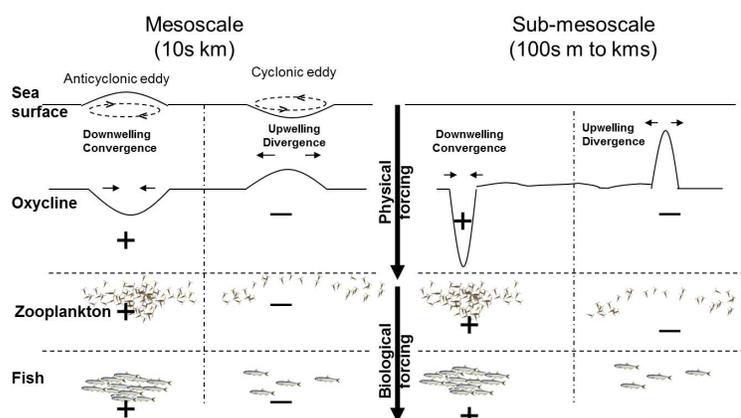


Figura 2 - Representação esquemática das estruturas físicas e seus impactos sobre a distribuição dos organismos.

Muitos estudos realizados no NSCH estão focalizados nas dinâmicas físicas e ecológicas em escalas temporais e grandes escalas espaciais. Isto foi graças à existência de informação nessas escalas. É assim que existe evidencia que o processos físicos em mesoes-

cala jogam um rol fundamental na estruturação e funcionamento dos ecossistemas marinhos (BERTRAND et al., 2008a). Mas, existe uma grande necessidade de ampliar os estudos nas pequenas escalas espaciais, onde acontecem as relações predador-presas. Mas, Os estudos de submesoescala foi difícil devido à falta de dados de alta resolução (CAPET et al., 2008a; KLEIN; LAPEYRE, 2009).

Felizmente, novos métodos baseados na acústica e desenvolvidas em Peru proporcionam um novo caminho para estudar os ecossistemas a submesoescala. Utilizando dados acústicos de duas frequências, Bertrand; Ballon; Chaigneau, (2010) e Ballon et al., (2011) desenvolvem um método para extrair dados simultâneos de grande resolução (um dado por segundo) de: (i) a profundidade do limite superior da ZMO e (ii) o zooplâncton, além de outras variáveis. Os efeitos dos processos físicos sobre os componentes do ecossistema podem ser estudados utilizando a profundidade do limite superior da ZMO (BERTRAND; BALLON; CHAIGNEAU, 2010). Os métodos acústicos propõem a visualização de uma ampla gama de estruturas de meso e submesoescalas tais como redemoinhos, frentes, filamentos e ondas internas (BERTRAND; BALLON; CHAIGNEAU, 2010; BALLON et al., 2011).

Pelo descrito anteriormente, nos ecossistemas marinhos existe uma estruturação hierárquica. Devido à estruturação hierárquica processos de submesoescala podem estar contidos em processos de mesoescala (i.e. uma onda interna pode estar dentro de um redemoinho de mesoescala), esta estruturação acrescenta a complexidade dos ecossistemas. Assim, para entender a dinâmica (estruturação e funcionamento) do ecossistema é preciso considerar múltiplos níveis de escalas no estudo. Para poder analisar as diferentes escalas temos que usar ferramentas estatísticas ou matemáticas que tenham a capacidade de ter em consideração as diferentes escalas. Como foi falado linhas acima, ao nível de mesoescala estruturas de convergência (downwelling) agregam mais zooplâncton no seu interior e estruturas de divergência dispersam o zooplâncton, então além de ter métodos multi-escala há a necessidade de identificar estas estruturas para um estudo mais profundo. O método tem que ter a capacidade de identificar e extrair estruturas que ficam dentro de outras estruturas.

Neste endereço são utilizadas ferramentas como os variogramas alinhados (CRESSIE, 1993) que são usadas para identificar estruturas espaciais (BELLIER; MONESTIEZ; DURBEC, 2007) ou PCNM (BORCARD; LEGENDRE, 2002; BORCARD et al., 2004)

que ainda tem pouca aplicação no campo de ecologia pela complexidade de suas análises. Estes dois métodos permitem trabalhar com diferentes escalas tendo como suposto básico a estacionariedade da variável (GRADOS et al., submetido). Mas muitas vezes acontece que as variáveis provenientes do campo da ecologia não são estacionárias. Um método que não precisa que a variável seja estacionária é o método de ondaletas (TORRENCE; COMPO, 1998). O método de ondaleta foi desenvolvido na área da física e permite trabalhar a múltiplas escalas espaciais (ou temporais). Aplicações das ondaletas em campos de geofísica e climatologia são muito frequentes. No obstante, os métodos de ondaletas estão sendo aplicados aos campos de ecologia (MENARD et al., 2007; BERTRAND et al., 2008a). Os três métodos dão resultados comparáveis mas são as ondaletas os que permitem identificar estruturas multi-escala no espaço (GRADOS et al., submetido).

Os métodos de ondaletas fazem uma decomposição em tempo-escala da série (ou sinal) permitindo identificar todas as escalas presentes. O método de ondaleta tem a capacidade de identificar pequenas escalas que estão dentro de grandes escalas. Pelas características deste método no presente trabalho, nós utilizamos as ondaletas para implementar um algoritmo que vai-nos permitir identificar estruturas dos processos físicos em diferentes escalas.

O descrito acima deixa claro que há necessidade de compreender a dinâmica dos processos no NSCH. É assim que nós fazemos as seguintes perguntas:

- Existe uma característica geral dos processos físicos de meso e submesoescala?
- Qual é o impacto que tem os processos físicos de meso e submesoescala sobre a distribuição espacial na abundância de zooplâncton?

Neste estudo temos dois tipos de objetivos, o primeiro é um objetivo metodológico e os outros dois são objetivos ecológicos, eles são:

- Desenvolver uma metodologia para a identificação e extração de estruturas dos processos físicos no espaço.
- Fazer uma tipologia da estruturação espacial dos processos físicos de meso e submesoescala.

- Estudar o impacto que tem os processos físicos de meso e submesoescala sobre a distribuição espacial da abundância do zooplâncton.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

2.1.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no norte do Sistema da Corrente de Humboldt (NSCH), frente às costas do Peru. A coleta dos dados foi realizado pelo **Instituto do Mar do Peru (IMARPE)**, que mediante suas embarcações de pesquisa monitora as condições bióticas do ecossistema marinho. As embarcações de pesquisa fazem trajetórias paralelas à costa do Peru, as trajetórias são chamadas de transectos. A pesquisa tem transectos de até 180 km, e inter-transectos de até 25 km de distância. Os dados usados nesta pesquisa provem de um cruzeiro acústico que foi feito entre fevereiro e abril do ano 2005. Neste trabalho utiliza-se informação simultânea do proxi (aproximação) da profundidade do limite superior da Zona Mínima de Oxigênio (ZMO) (BERTRAND; BALLON; CHAIGNEAU, 2010) e a abundância de zooplâncton (BALLON et al., 2011). Estes dados proporcionados por **IMARPE** foram obtidos por métodos acústicos e a coleta foi cada 14 metros ao longo do trajeto do barco.

2.1.2 Variáveis

No trabalho vamos ter principalmente 2 variáveis, as quais são:

O proxi da profundidade do limite superior da Zona de Mínima Oxigênio (ZMO):

No NSCH, a extensão vertical da comunidade epipelágica é limitada pela presença de uma Zona de mínimo oxigênio (CRIALES-HERNÁNDEZ, 2008). A estimacão da profundidade vertical da comunidade epipelágica é mediante a metodologia proposta por Bertrand et al. (2010). A ZMO é uma estimacão dos processos físicos pois eles estruturam ao limite superior da zona de mínimo oxigênio. A variável ZMO é medida em metros.

Abundância do Zooplâncton: O zooplâncton é uma espécie biológica, a abundância é o volume de zooplâncton que está presente no SCH, geralmente são as presas dos peixes. Sua estimacão é feita mediante a proposta de Ballon et al. (2011), que utiliza os dados acústicos para estimar esta variável. As unidades da abundância de zooplâncton são gramas.metros⁻² (g.m⁻²).

Na Figura 3 observa-se a representacão das duas variáveis, as linhas pretas re-

presentam a ZMO que é um estimador do limite superior da zona de mínimo oxigênio. As cores amarelas representam a abundância do zooplâncton.

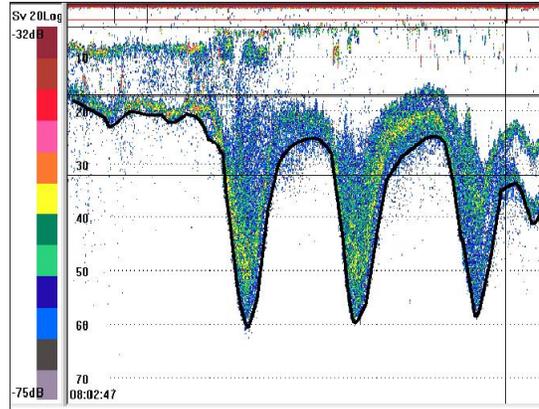


Figura 3 - Representação de um ecograma acústico.

2.1.3 Extração multi-escala das estruturas características

Pela necessidade de identificar escalas características de um processo, onde pequenas estruturas podem estar dentro de grandes estruturas, nós vamos desenvolver uma metodologia baseada no método de ondaletas o qual vai permitir identificar múltiplas escalas dos processos físicos.

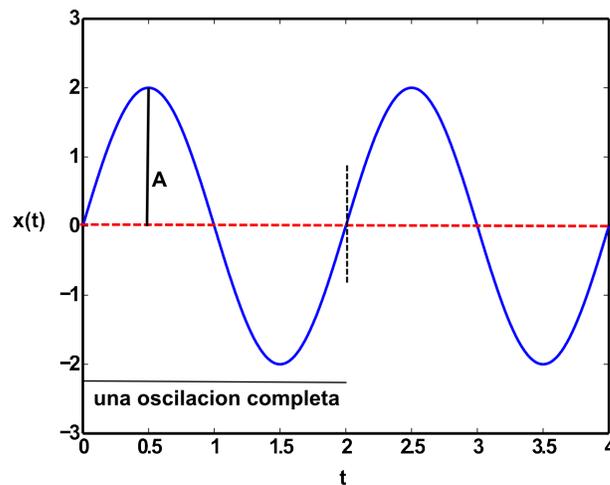


Figura 4 - Elementos do sinal, a amplitude e o período

A transformada de ondaleta envolve uma operação linear que pode ser utilizada

na análise de sinais não-estacionários (DAUBECHIES, 1990; TORRENCE; COMPO, 1998). A transformada permite extrair informações das variações em frequência dos sinais e para detectar estruturas localizadas no tempo ou espaço.

Neste sentido é usado uma função ondeleta mãe, representado por $\psi(t)$. A escolha da função ondeleta ψ_t não é arbitrária (CAZELLES et al., 2007). Esta função é normalizada $\int \|\psi(t)\|^2 dt = 1$ e verifica-se que $\int \psi(t) dt = 0$. A decomposição da ondeleta é, portanto, uma representação linear onde a variância é preservada (DAUBECHIES, 1990). Isto quer dizer que a série (ou sinal) original pode ser reconstruída mediante uma transformada inversa de ondeleta.

A partir da função mãe é que podemos chegar à transformada de ondeleta a qual tem a seguinte forma:

$$W_x(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{a,\tau}^*(t) dt \quad (1)$$

por enquanto $*$ denota a conjugada complexa, os parâmetros a e τ representam a dilatação (o fator de escala) e translação, respectivamente. Os coeficientes de ondaletas, $W_x(a, \tau)$, representam a contribuição das escalas a a diferentes posições do tempo τ . Na equação anterior o fator $1/\sqrt{a}$ esta normalizando a função ondeleta assim tem-se variância igual a 1 e, portanto, são comparáveis a todas as escalas a .

A idéia central da transformada de ondeleta é de decompor o sinal analisado em diferentes níveis de frequência; tal processo é conhecido como multiresolução. Esta forma de representação do sinal fornece uma estrutura hierárquica simples.

Um ponto muito importante nas funções mãe é a escolha destas, mas existem muitos critérios que tem que se definir na hora da escolha da ondeleta, como por exemplo, ondeleta real vs ondeleta complexa, ondeleta continua vs ondeleta discreta, ortogonal vs não ortogonal. Em resumo, as ondaletas contínuas freqüentemente fazem uma decomposição redundante, isto quer dizer que a informação extraída em um determinado intervalo de escalas pega informação das escalas dos vizinhos (TORRENCE; COMPO, 1998), mas são mais robustos ao ruído em comparação com outras ondaletas. As ondaletas discretas tem a vantagem de uma rápida implementação, mas pelo geral o número de escalas e a característica invariante no tempo depende fortemente do número de dados. Todas as famílias das ondaletas tem uma

característica geral: oscilações lentas tem uma boa frequência e uma ruim resolução temporal, por enquanto que, as oscilações rápidas tem uma boa resolução temporal mas uma ruim resolução em frequência.

Assim, para a ondeleta continua as duas funções mais conhecidas são: ondeleta Hat e Ondeleta Morlet. A escolha da função ondeleta pode influir na resolução do tempo e a escala da decomposição. Portanto, como a função morlet tem uma boa localização em escalas (e frequência), então espera-se uma resolução de alta frequência. Em contra-parte, a função ondeleta Hat tem uma boa localização no tempo, mas uma ruim localização na frequência. Estudos de comparação das duas funções chegaram a conclusões que as duas funções são similares. Em nosso estudo nós utilizamos a função morlet, que tem a seguinte forma:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (2)$$

Por enquanto ω_0 é a frequência angular central ($\omega_0 = 2\pi f_0$) é o valor que determina a forma do sinal modular. A ondeleta é o produto de uma função senoidal complexa $e^{i\omega_0\eta}$ e um envelope gaussiano $e^{-\eta^2/2}$. Assim quando a frequência angular central (ω_0) é perto de 2π , a escala da função ondeleta é inversamente proporcional à frequência central da ondeleta, $f \approx 1/a$. Esta aproximação é de muita ajuda na hora de interpretação das análises de ondaletas. Uma vantagem de usar a função ondeleta Morlet é que permite o estudo de sinais a cada escala, e suas fases e a amplitude do sinal (CAZELLES et al., 2008). Muitas vezes a forma de observar a informação da transformada de ondeleta é mediante o espectro da potência de ondeleta. A potência de ondeleta é definido como:

$$S_x(a, \tau) = |W_x(a, \tau)|^2 \quad (3)$$

a $S_x(a, \tau)$ estima a distribuição da variância entre a e diferentes τ . Uma representação usada para o espectro da potencia de ondeleta é fazer um gráfico 2D do $S_x(a, \tau)$, onde no eixo x representa o tempo (ou espaço) e no eixo y representa as escalas (ou frequências). O espectro de fourier pode ser comparado com o espectro global da potência de ondeleta, que é definido como o média de energia (variância média) contido em todos os coeficientes de ondaletas de igual escala a .

$$\bar{S}_x(a) = \frac{\sigma_x^2}{T} \int_0^T \|W_x(a, \tau)\|^2 d\tau \quad (4)$$

Com σ_x^2 variância da série x e T a duração do tempo na série. A equação anterior apresenta a variância para cada período (ou escala). Mas, também pode-se representar a variância para cada tempo, ficando a equação do seguinte jeito.

$$\bar{S}_x(\tau) = \frac{\sigma_x^2 \pi^{1/4} \tau^{1/2}}{C_g} \int_0^T a^{1/2} \|W_x(a, \tau)\|^2 da \quad (5)$$

A partir da potência da transformada de ondeleta pode-se obter zonas de maior energia, para isto tem-se que comparar o espectro da potência de ondeleta com outro espectro apropriado. Para muitos processos (físicos, geográficos, etc) um espectro de comparação muito utilizado é o ruído vermelho (TORRENCE; COMPO, 1998), assim o espectro do sinal em estudo é comparado com o espectro de ruído vermelho. A série do ruído vermelho pode ser modelada usando métodos de Monte Carlo. Um modelo usado é um modelo auto regressivo $AR(1)$ ($x_n = \alpha x_{n-1} + z_n$) por enquanto α é o $lag - 1$.

Segundo Gilman; Fuglister e Mitchell (1963), a transformada da potência discreta de Fourier é dado como:

$$P_k = \frac{1 - \alpha^2}{1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos(2\pi k/N)} \quad (6)$$

A equação anterior mostra a forma de se calcular o espectro de energia de fundo vermelho em função da autocorrelação da série analisada. Na qual k pode tomar valores de 0, 1, ... $N/2$. O nível de 95% no espectro local da ondeleta implica em dizer que a energia na potência de ondeleta é maior do que a energia no ruído vermelho. O nível de significancia tem a seguinte forma:

$$\frac{|W_x(a, \tau)|^2}{\sigma^2} \approx \frac{1}{2} P_k \chi_2^2 \quad (7)$$

χ_2^2 representa a distribuição chi-quadrada com 2 graus de liberdade.

Extração das estruturas de convergencia e divergencia

Aplicou-se o método ondeleta com a função morlet a nossa séries de dados (ZMO) com o objetivo de decompor a série em múltiplas escalas. As análises de ondaletas foram aplicadas

em todos nossos transectos e dependendo das características da série foi utilizado um valor diferente do parâmetro ω_0 . Os valores do espectro da potência de ondaletas maiores que 95% de significância foram usados para identificar os máximos locais de energia, assim ao redor de cada máximo local de energia definiu-se um área que contém a energia. Na Figura 5b observa-se duas caixas, elas representam a informação de dois máximos locais, os quais foram gerados com diferentes períodos.

A informação proporcionada pelo máximo local de energia foi usada para estimar o valor do período (com a ideia de que com este valor chega-se a gerar um valor de energia similar ao do máximo local). Também, a zona ao redor do máximo local de energia foi usada para estimar a amplitude do sinal. Para isto foi reconstruída o sinal para aquela zona. Para a estimação da amplitude foi usada a propriedade de reconstrução do sinal a partir da decomposição redundante do espectro de ondaleta contínua. A reconstrução foi feita como segue:

$$x_n = \frac{\delta j \delta t^{1/2}}{C_\delta \psi_0(0)} \sum_{j=0}^J \frac{\Re(W_x(a, \tau_j))}{\tau_j^{1/2}} \quad (8)$$

por enquanto, o fator $\psi_0(0)$ remove a energia da escala, assim também, o fator C_δ é calculado como:

$$C_\delta = \frac{\delta j \delta t^{1/2}}{\psi_0(0)} \sum_{j=0}^J \frac{\Re(W_x(a, \tau_j))}{\tau_j^{1/2}} \quad (9)$$

Para cada estrutura foi estimado a amplitude utilizando o sinal reconstruído.

Agora para conhecer a característica da estrutura (fase positiva, negativa ou downwelling, upwelling) utilizou-se a informação proporcionada pela fase de nossa série $x(t)$. A fase tem uma variação de $-\pi$ até π e a forma de calcular a fase é com o ratio da parte imaginária \Im entre a parte real \Re dos coeficientes de ondaletas $W_x(a, \tau)$ e esta dado como:

$$\phi_x(a, \tau) = \tan^{-1} \frac{\Im(W_x(a, \tau))}{\Re(W_x(a, \tau))} \quad (10)$$

A informação proporcionada nesta etapa é importante e vai-nos servir para fazer a caracterização das estruturas obtidas.

Um exemplo do processo de obtenção de objetos esta na Figura 5, onde o sinal da Figura 5a foi gerada mediante a soma de três séries, duas delas foram geradas da função $\text{seno}(\text{periodo})$, para o qual utilizou-se dois valores de periodo (12 e 30) e a terceira série foi um ruído branco com média zero e variância um. A Figura 5b é a representação do espectro de ondeleta, onde pode-se observar as caixas de cor vermelho e dentro delas as zonas de maior energia do espectro. A energia de cada caixa é utilizada para a reconstrução do sinal. As Figuras 5c e d representam a reconstrução do sinal original, cada um delas representa um período diferente. Sendo que a figura foi reconstruída utilizando um período de 12 e do lado direito um período de 32. Nestas duas figuras os círculos de cor vermelho estão representando a fase do sinal.

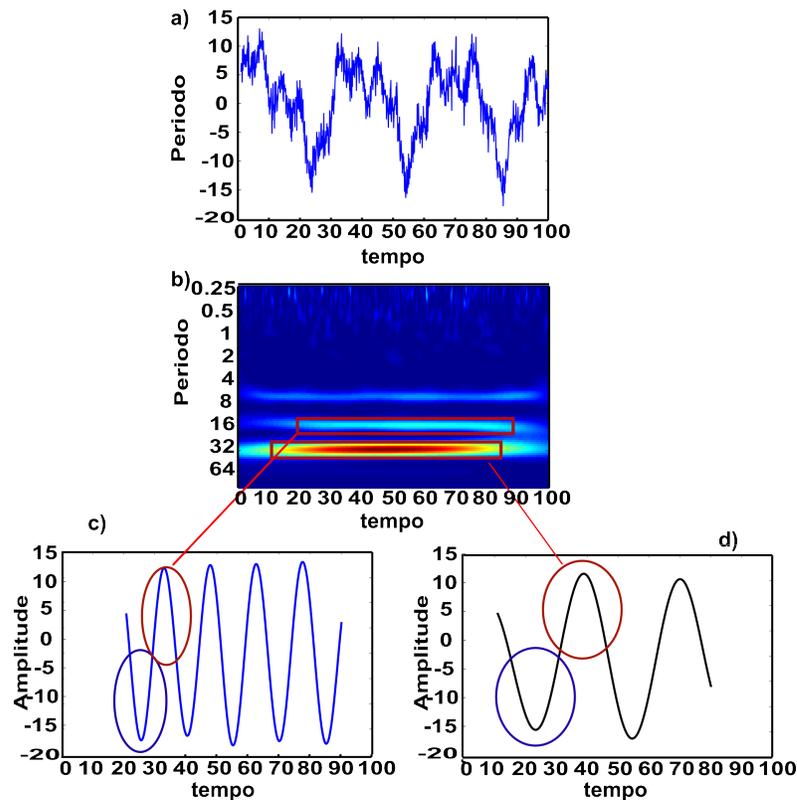


Figura 5 - Esquema da obtenção de estruturas de meso e submeso escala usando a potencia do espectro de ondeleta.

Nesta série aplicou-se a análises de ondaletas e sua potência do espectro pode ser observada na Figura 5b, onde também é observada duas zonas (em caixas vermelhas), as quais são as zonas locais de energia. Usando a energia dentro destas zonas, procedeu-se a reconstruir

a série nas escalas que compreendem aqueles intervalos das caixas, assim como resultado temos as Figuras 5c e d, onde são séries de período=12 (5c) e período=32 5d. Finalmente também estimou-se a fase, os círculos de cor vermelho representam às fases positivas e as de cor azul representam às fases negativas.

2.1.4 Caracterização da distribuição das estruturas

A caracterização das estruturas obtidas pelo método desenvolvido vai ser realizada usando métodos exploratório de dados (métodos multivariados). Estes métodos exploratório de dados estudam as igualdades e diferenças de indivíduos desde um ponto de vista multidimensional. Três métodos são usados, os quais são: componentes principais (ACP), análises cluster e partição dos cluster (HUSSON; JOSSE; PAGÈS, 2010). Geralmente considera-se que os indivíduos estão distribuídos em uma grande nuvem de pontos num espaço euclidiano, o ACP leva aqueles indivíduos num novo espaço, fazendo uma redução do número de variáveis. Outro método que também permite a redução do espaço de estudo é a análise cluster, que mediante um critério de distância e algoritmos de aglomeração reduz o espaço dos indivíduos. Uma distância muito usada em análises cluster é a distância euclidiana, e critérios de aglomeração como o centróide ou ward são usados em cluster. A hierarquia que é apresentada no cluster é chamada dendograma, um terceiro método usado é a partição do cluster, geralmente o método usado para a partição é o k-medias.

Neste estudo usaremos os três métodos para caracterizar nossas estruturas.

Análises de Componentes Principais (ACP) A ideia principal do ACP é fazer descrição de um conjunto de dados X com I indivíduos e K variáveis usando um número pequeno ($R < K$) de variáveis não correlacionadas ficando com a maior informação possível. A análise cluster pode ser realizada sobre os resultados do ACP. Se a análise cluster é feita sobre todos os componentes do ACP os resultados serão similares ao realizado com cluster sobre os dados originais (indivíduos), um resultado mais interessante é usar o cluster sobre os R componentes principais. O ACP pode ser olhado como um método que vai separar a informação do ruído (HUSSON; JOSSE; PAGÈS, 2010), sendo que o primeiro componente fica com a informação relevante para o conjunto de dados e os outros componentes estão restringidos ao ruído.

A obtenção dos componentes principais é mediante a decomposição (ou diago-

nalização) da matriz variância-covariância de nosso conjunto de variáveis originais.

Seja Z a nova matriz obtida, estas novas variáveis estão associadas à matriz original mediante:

$$Z = XA \quad (11)$$

Sendo que $A^t A = I$

Então, calcular os componentes principais é igual a aplicação de uma transformação ortogonal A às variáveis X , a transformação vai nos dar a nova matriz de variáveis no correlacionadas Z .

Porcentagem de variância associada a cada componente

A porcentagem de variância associada a cada componente é dada pela divisão entre seu valor próprio e a soma dos valores próprios. $\lambda_i / \sum_{i=1}^K \lambda_i$. Sendo que o primeiro componente tem o valor próprio maior, é assim que este componente tem um % de explicação maior.

Variáveis suplementarias ou complementarias

Além das variáveis usadas para a construção dos componentes (as quais chamaremos de variáveis ativas), nós podemos usar outras variáveis as quais ajudarão a interpretar os dados. A estas variáveis chamaremos de variáveis suplementarias (complementarias). As variáveis suplementarias não são usadas para o cálculo dos componentes mas são projetadas sobre o espaço gerado pelos componentes, esta projeção mostra com que componente estão correlacionado. Existem dois tipos de variáveis suplementarias, as variáveis suplementarias contínuas e as variáveis categóricas.

Cluster e partição dos cluster.

Outro método para estudar nossa base de dados é o método de agrupamento ou análises cluster. Que por critério de similaridade vai formando grupos ou cluster.

Basicamente a análises cluster esta baseada num critério de distância euclidiana. Um critério de aglomeração utilizado é o método Ward. O método Ward é baseado no teorema de Huygens que faz uma decomposição da variância total em variância entre grupos e dentro grupos. A variância total é decomposta como:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^{I_q} (x_{iqk} - \bar{x}_k)^2 = \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q I_q (\bar{x}_{qk} - \bar{x}_k)^2 + \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^{I_q} (x_{iqk} - \bar{x}_{qk})^2 \quad (12)$$

por enquanto, x_{iqk} é o valor da variável k para o indivíduo i dentro do grupo q , \bar{x}_{qk} é o promedio

da variável k para o cluster q , \bar{x}_k o promedio total da variável k e I_q é o numero de individuos para o cluster q .

O método Ward consiste na agregação dos grupos de um jeito que o incremento da variância dentro de grupo é mínimo para cada passo do algoritmo, e a variância entre grupos vai aumentando em cada passo.

Eleição do número de cluster

Escolher o número de cluster é uma questão central e várias abordagens têm sido propostas. Alguns deles são baseados na árvore hierárquica. De fato, uma árvore hierárquica pode ser considerada como uma sequência de partições aninhadas daquele em que cada indivíduo é um cluster para aquele em que todos os indivíduos pertencem ao mesmo cluster. O número de cluster pode, então, ser escolhido olhando para o aspecto global da árvore. Estas regras são muitas vezes baseadas implicitamente ou não sobre o crescimento da inércia.

O critério da inércia sugere uma divisão em Q cluster quando o incremento da inércia entre $Q-1$ e Q cluster é muito maior do que Q e $Q+1$ cluster.

Um critério empírico que formaliza a idéia é dado por: $\frac{\Delta Q}{\Delta(Q+1)}$ onde ΔQ representa o incremento da inércia de $Q-1$ a Q cluster.

Partição dos cluster

Uma forma simples é ficar com os cluster dado pelo critério da inércia. Uma segunda estratégia é baseado no algoritmo de k-means. Neste algoritmo é fixado o numero de cluster Q . Outra estratégia combina os dois métodos falados anteriormente. A partição do critério da inércia é introduzida como partição inicial ao método de k-means.

2.1.4.1 Indicador de eficiência do método de extração de estruturas

Depois de ter desenvolvido a metodologia de extração de estruturas temos que estudar a sua eficiência para identificar e extrair as estruturas dos processos físicos. Um indicador muito utilizado é o erro quadrado médio (EQM), Então nós também utilizaremos este indicador para nosso método.

O indicador é dado a seguir como:

$$EQM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\theta - \hat{\theta})^2 \quad (13)$$

Sendo que θ é o parâmetro teórico e $\hat{\theta}$ é o parâmetro estimado, i representa a estrutura e N o numero de estruturas identificadas. Este indicador foi usado para os dois parâmetros (período e amplitude), este valor de EQM pode ser utilizado como método de comparação ante outros métodos. Mas ate agora não existe método algum que permita identificar e extrair estruturas.

2.1.5 Estudo do impacto das estruturas físicas sobre a distribuição do zooplâncton

Tendo identificado as características dos processos físicos vai-se estudar o impacto destas estruturas sobre a distribuição do zooplâncton. Assim para cada cluster vai-se estudar o impacto das estruturas físicas. Para estudar isto utilizou-se análises de variância onde além de estudar o impacto das estruturas sobre a distribuição do zooplâncton estudou-se o impacto do dia (dia, noite) e a zona (costa, fora da costa) sobre o zooplâncton.

Outro método que foi utilizado para estudar o impacto dos processos físicos sobre o zooplâncton foi o duplo K-ripley.

2.1.5.1 Independência dos processos físicos e a distribuição do zooplâncton

Para este caso, além de aplicar a metodologia a nossa série da estimação do limite superior da zona de mínimo oxigênio foi aplicado também à biomassa de zooplâncton, assim temos dois processos no espaço. Estes dois processos podem ser considerados como ao acaso. Para testar a independência deles vamos usar a função dupla K-ripley.

A função K-ripley esta baseada na teoria dos processos pontuais, um processo pontual segundo sua distribuição pode ser um espaço completamente aleatório, um processo regular ou um processo agrupado. Dentro dos processos pontuais temos os processos homogêneos de poisson. Um processo homogêneo de poisson é um processo espacial completamente aleatório (CRESSIE, 1993) o qual tem duas características importantes que são estacionarios é isotrópicos.

Função K-ripley.

A função K-ripley estuda a dependência espacial ao longo de uma variedade de escalas de um processo pontual. A função K-ripley é definida como:

$$K_N = \lambda^{-1}(h)E(N_0(h)) \quad (14)$$

sendo que $N_0(h)$ representa o número esperado de eventos a uma distância h de um evento aleatório N . Teoricamente a função K-ripley é representada como $K_N = \pi h^2$.

Para o estudo de dois processos no espaço é usado a função dupla K-ripley, a qual tem como definição:

$$K_{ij}(h) = \lambda_j^{-1}(h)E(N_{0ij}(h)) \quad (15)$$

sendo que $N_0(h)$ é o número de eventos de tipo j dentro de uma distância h de um evento aleatório de tipo i , e λ_j é a intensidade do tipo de evento j . Igualmente que no caso da função K-ripley existe uma função teórica para o caso bivariado, sendo que a função dupla K-ripley teórica esta definido como $K^{12}(h) = \pi h^2$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a implementação do método desenvolvido, como foi mencionado anteriormente, foi utilizado o *software MATLAB*. As análises estatísticas para a caracterização das estruturas foram realizadas no *software R* onde foi usado o pacote *FactoMineR* para fazer a caracterização das estruturas extraídas.

3.1 Validação do método de extração de estruturas

Com o objetivo de testar se nossa metodologia proposta tem a capacidade de identificar as estruturas de uma sinal, nós geramos sinais com diferentes valores de amplitude e período e foi aplicado o modelo desenvolvido. Especificamente pegamos em primeiro lugar séries de senos onde o valor de amplitude e período foi gerado aleatoriamente usando uma distribuição uniforme, depois geramos séries de senos mais um ruído branco, em terceiro lugar geramos séries de senos mais um ruído vermelho, assim finalmente se gero séries mais complexas, o qual consistiu na soma de senos com diferentes valores de amplitude e período, ao qual foi adicionado séries de ruído vermelho.

Identificação de estruturas em funções seno

Como primeiro modelo, geramos funções seno com parâmetros de amplitude e período conhecida. A amplitude e período foram gerados a partir de uma distribuição uniforme. A estas séries foi aplicado o método de identificação de estruturas. Nossas séries y são do seguinte jeito: $y = Amplitude * seno(periodo)$.

Geramos 1000 amostras com períodos que vão desde 2 ate 80 e amplitudes que tem variação entre 5 e 40, a eleição deles foi ao acaso. Os resultados indicam que a identificação foi boa (Tabela 1). Podemos ver exemplos de dois sinais nas Figuras 6 e 7 onde observamos dois séries simuladas (séries senos) com período de 47 e 20 respectivamente, e amplitude de 7 e 15 respectivamente. Nas duas figuras, as linhas de cor vermelho representam fases positivas (ou upwelling) e as linhas de cor azul representam a fase negativa (ou downwelling).

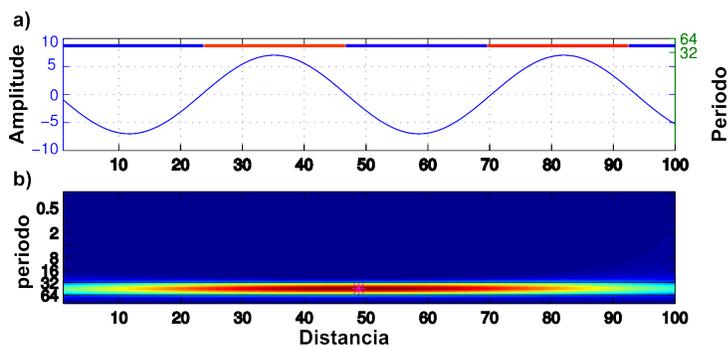


Figura 6 - Sinal simulada com período de 47 e amplitude de 7.

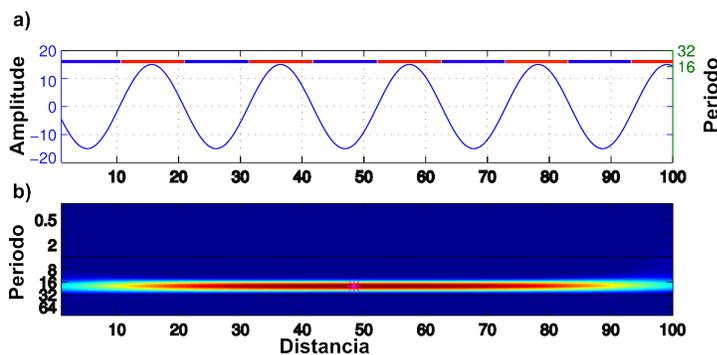


Figura 7 - Sinal simulada com período de 20 e amplitude de 15.

Os resultados das 1000 simulações são mostrados na Tabela 1, onde observamos que existe um Erro quadrático médio (EQM) pequeno para a o período e a amplitude. Este resultado esta-nos indicando que a o método esta tendo uma boa estimacão dos parâmetros de amplitude e período para séries sim ruído. Existindo erro de estimacão nos bordes do espectro da potência de ondaleta.

Tabela 1 - % de identificacão de estruturas e Erro quadrado médio para sinais seno

Parâmetro	Identificacão	EQM
Período	99%	1.7
Amplitude	99%	0.4

Outro resultado interessante foi o numero de estruturas que foram mal identificadas, se simularam 1000 séries (com 1000 valores de amplitude e período conhecidos) sendo que das 1000 só o 1% das estruturas foram mal identificado (os valores de amplitude e período estimadas são distintos aos valores usados na simulação).

Identificação de estruturas em funções seno com ruído branco

Para fazer mais complexa nossas séries de dados, vamos adicionar um ruído branco a nossas séries de dados senos. Assim temos: $y = Amplitude * seno(periodo) + \varepsilon$ sendo que $\varepsilon \sim N(0, 1)$. Diferentes séries de seno foram gerados utilizando valores de amplitude e período distintos em cada simulação.

Os valores de amplitude e período foram gerados de uma distribuição uniforme. Sendo que o intervalo de variação do período e de 2 ate 80 e o intervalo de variação da amplitude foi de 5 ate 40. Os resultados indicam que existe uma boa identificação das estruturas (Tabela 2). Simulou-se 1000 séries com valores de período e amplitude conhecidos, das 1000 simulações que representam o 100% só o 4% foram mal identificadas, novamente observou-se uma identificação ruim perto dos bordes do espectro da potência de ondaleta. Também, os resultados indicam que o EQM da amplitude acrescentou-se com a complexidade da sinal.

Tabela 2 - % de identificação de estruturas e EQM para sinais com ruído branco

Parâmetro	Identificação	EQM
Período	96%	1.7
Amplitude	96%	4.6

Identificação de estruturas em funções seno com ruído vermelho

Tendo já nossa metodologia contrastado frente a sinais sim ruído e com ruído branco, então agora vamos a testar a metodologia frente a sinais com ruído vermelho. Assim é que temos a seguinte estrutura da série $y = Amplitud * seno(periodo) + ar(1)$, sendo que $ar(1)$ é um processo autoregressivo de ordem 1. Para isto geramos 1000 séries com valores de amplitude e período conhecidos com intervalos iguais aos casos anteriores.

Na Tabela 3 que das 1000 sinais simuladas o 91% de estruturas foram identificada

corretamente, também observamos que o EQM para o período é similar aos encontrados nos casos anteriores (< 2) mas no caso da amplitude o EQM foi muito maior do que os dois casos anteriores (sem ruído e com ruído branco), isto foi por causa da complexidade das sinais. Existiram mais erros de identificação perto dos bordes do espectro da potência de ondaleta, como nos casos anteriores esta-se tendo uma ruim identificação de estruturas perto do borde do espectro da potência de ondaleta.

Tabela 3 - % de identificação de estruturas e EQM para sinais com ruído vermelho

Parâmetro	Identificação	EQM
Período	91%	1.9
Amplitude	91%	14.9

Identificação de estruturas em funções complexas

Finalmente construímos séries complexas, as quais são combinação de sub séries. Para os fins da simulação usamos 3 séries mais um ruído vermelho, o qual foi composto como:

$$y = Ampl_1 * seno(per_1) + Ampl_2 * seno(per_2) + Ampl_3 * seno(per_3) + ar(1)$$

sendo que a eleição dos valores de $Ampl_1$, $Ampl_2$, $Ampl_3$, per_1 , per_2 e per_3 são aleatórios, para o ruído vermelho $ar(1)$ foi usada uma ρ de 0.85. Assim, temos uma série complexa, o método de extração foi aplicado a nossas séries de dados simulados. Na Figura 8 do lado esquerdo observamos um exemplo de uma série simulada o qual tem três diferentes valores de amplitude e período como esta mostrada na figura, ao lado direito observamos a sinal resultante e seu respectivo espectro de ondaleta. As caixas vermelhas (dentro do espectro da potência de ondaleta) representam as zonas de máxima energia, onde são reconstruídas as séries originais. Na figura de embaixo são mostradas as três séries reconstruídas. Os valores de período foram estimados corretamente, para a amplitude observou-se uma sub-estimação perto dos bordes do espectro.

Em geral existe uma boa identificação dos parâmetros usados (período e amplitude), com efeito dos bordes na estimação da amplitude.

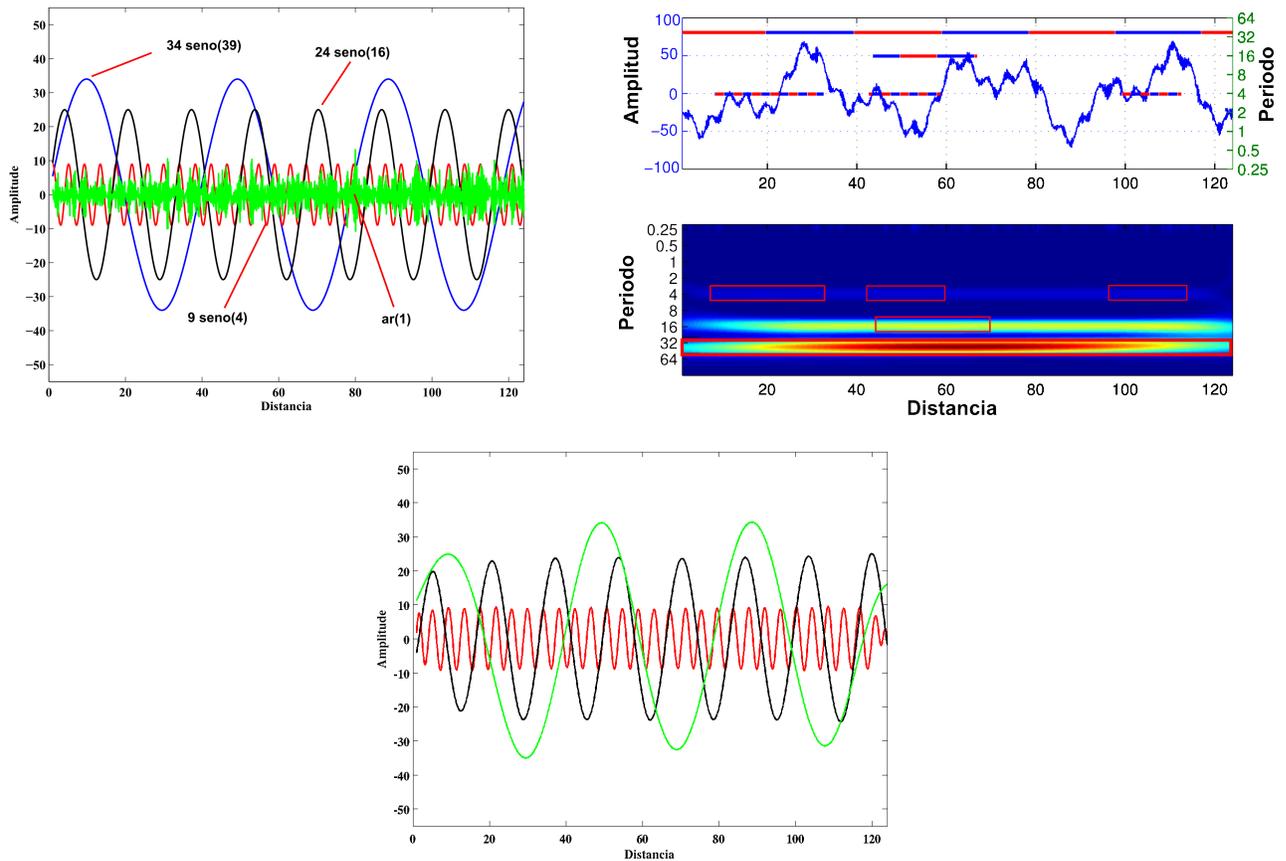


Figura 8 - Sinal simulada utilizando 4 séries diferentes.

Eleição do valor da frequência central ω_0

A eleição do valor da frequência central é muito importante na decomposição das sinais, o valor vai depender das características da sinal estudada. Nos avaliamos as sinais simuladas com um primeiro valor de $\omega_0=6$, e assim contrastamos outros valores do parâmetro. Como já foi falado a eleição do parâmetro depende das características observadas nas sinais estudadas, para séries com alta frequência (alta variabilidade a pequena escala) foi usado valores de ω_0 de entre 6, 7 e alguns casos 8. Estes valores permitem o estudo de estruturas de alcance pequeno. Para séries de baixa frequência (variabilidade a grandes escalas) foram usados valores entre 3, 4 e 5. os quais permitem identificar estruturas de grandes escalas.

Observou-se também que a estimação do parâmetro de amplitude foi sensível para mudanças do valor de ω mais a estimação do período mostrou-se robusto para mudanças

do valor de ω_0 , isto foi porque a reconstrução da sinal leva como variável o valor de ω_0 e a partir da sinal reconstruída é estimado a amplitude.

3.1.1 Aplicação da metodologia aos dados do Ecossistema marinho

A metodologia desenvolvida foi aplicada a nossos dados contínuos da ZMO, a aplicação foi feito transecto por transecto. Depois de aplicar o método aos transectos foram obtidas uma série de variáveis as quais classificamos em dois tipos. o primeiro tipo é chamado de variáveis endógenas, nela temos as variáveis próprias da estrutura como são a tamanho da estrutura (Width), a altura da estrutura (Heigh), a profundidade, o ratio que foi da divisão entre a altura e o tamanho, a energia que é o produto da altura e o tamanho da estrutura e a última variável endógena é o ratio entre a estrutura e estruturas menores. O segundo tipo de variáveis obtidas foi chamado de variáveis endógenas e são as variáveis obtidas do espaço como a posição no espaço (latitude e longitude), a distancia à costa, a distancia ao talude, a biomassa de zooplâncton dentro da estrutura identificada e o diferencial da biomassa que é obtida como a diferenca da biomassa da estrutura e a biomassa média das estruturas vizinhas.

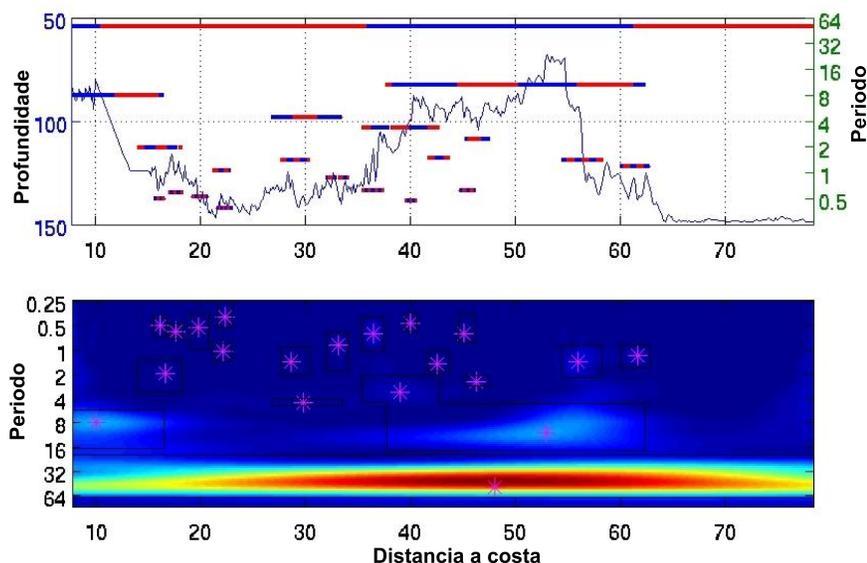


Figura 9 - Resultado da aplicação do método ao um transecto.

Na Figura 9 observamos o resultado de aplicar nosso método a um transecto.

Esta a sinal da ZMO com profundidade que vai do 50 ate os 150 m e uma distancia à costa q vai desde os 10 ate os 80 km. Também esta identificado o valor do período. As linhas de cores (azul e vermelho) representam o tamanho da estrutura e a fase, alinha vermelha indica estrutura de downwelling e as linhas de cor azul indicam estruturas de upwelling. Também podemos observar que dentro de estruturas grandes estão estruturas pequenas. Na figura de embaixo é observado o espectro da potência de ondaleta. As estrelas indicam a posição do máximo local.

3.2 Tipologia das estruturas

Para fazer a tipologia das estruturas dos processos físicos só foram usadas as variáveis endógenas, estas variáveis são chamadas de variáveis ativas. As variáveis exógenas foram usadas como variáveis contínuas suplementarias as quais foram projetadas sobre o espaço dos componentes encontrados com as variáveis contínuas.

As variáveis q obtivemos foram classificadas em dois tipos, as quais chamamos de variáveis endogenas e variáveis exogenas:

Variáveis endogenas	Variáveis exogenas
Width	Latitude
Heigh	Longitude
Depth	Distancia a costa
Ratio	Distancia ao talude
Ratinf	Biomassa
Energia	dif. Biomassa
	fase (upwelling, downwelling)
	zona (costa, fora da costa)
	dia (dia, noite)

Análises de Componentes Principais

Calculou-se a matriz de correlação entre as variáveis endógenas, observando-se uma forte correlação entre a variável energia e o tamanho da estrutura. A variável energia ao ter uma

fortemente com a variável tamanho ia gerar um componente artificial, então foi o motivo por a qual a variável energia considerou-se como variável suplementaria. A matriz de correlação das variáveis ativas estão na Tabela 4. Aquela matriz foi usado para obter os componentes principais.

Tabela 4 - Matriz varianza covarianza

	Width	Heigh	Depth	ratio	ratinf
Width	1.00				
Heigh	0.38	1.00			
Depth	-0.00	0.06	1.00		
ratio	-0.35	0.31	0.04	1.00	
ratinf	-0.15	0.09	0.12	0.20	1.00

Para o análises de ACP foram usadas as variáveis Width, Heigh, Depth, ratio e ratioinf como variáveis contínuas, como variáveis suplementarias contínuas foram usadas as variáveis exogenas e como variáveis suplementarias categóricas foram usadas o dia (dia, noite), a zona (costa, fora da costa) e a fase (upwelling, downwelling).

Assim depois de fazer a decomposição da matriz variância covariância podemos olhar que temos três valores próprios maiores a um (Tabela 5). O critério dos valores próprios maiores a um indicam que temos que ficar só com 3 componentes. Com os três componentes podemos explicar o 77.5 % da variação total de nossos dados. Observamos que o primeiro componente explica um 29.9% da variância, o segundo componente explica o 27.5% da variância e o terceiro componente explica o 20%.

Depois de ter elegido os três componentes agora olhamos as cargas das variáveis contínuas (Tabela 6) em nossos componentes, onde podemos olhar que o primeiro componente tem mais peso as variáveis de ratio, no segundo componente ficam com mais peso as variáveis de altura e ancho da estrutura, finalmente o terceiro componente tem mais peso a profundidade da estrutura.

Tabela 5 - Porcentagem de variância explicada

	valor próprio	% de variância	% de variância acumulada
comp 1	1.49	29.89	29.89
comp 2	1.38	27.52	57.41
comp 3	1.01	20.17	77.58
comp 4	0.81	16.29	93.87
comp 5	0.31	6.13	100.00

De igual forma a informação apresentada na Tabela 6 é amostrado na Figura 10, onde é amostrado cada cada combinação das coordenadas e seu respectivo % de variância, também estão as variáveis contínuas.

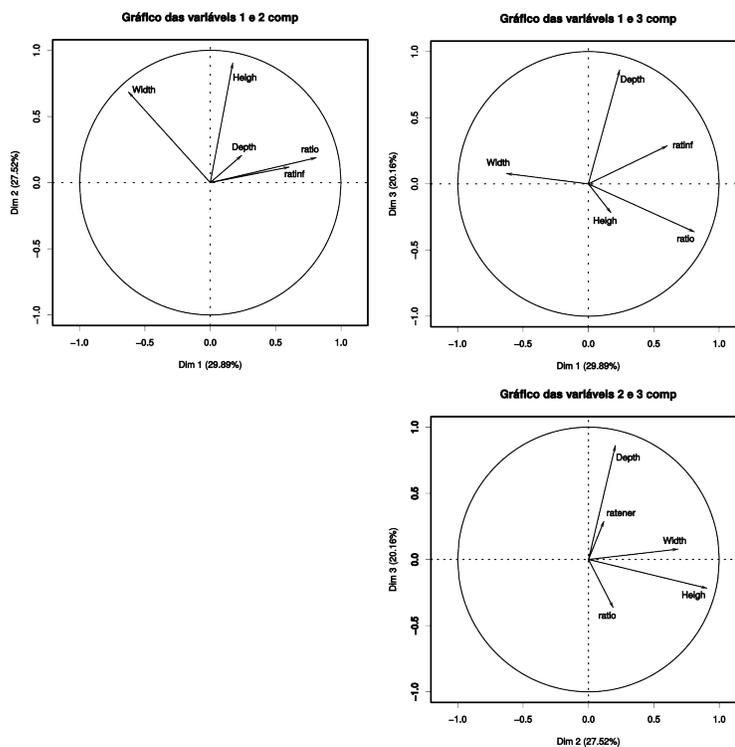


Figura 10 - Representação do espaço dos componentes, só sao apresentados as variáveis contínuas

Tabela 6 - cargas de las variables

	Dim.1	Dim.2	Dim.3
Width	-0.63	0.68	0.08
Heigh	0.17	0.90	-0.22
Depth	0.24	0.21	0.86
ratio	0.81	0.19	-0.36
ratinf	0.60	0.12	0.29

Análises de Cluster

Para o análises cluster foi usado os resultados dos três componentes. Se obtiveron 3 cluster os quais são mostrados na Figura 11.

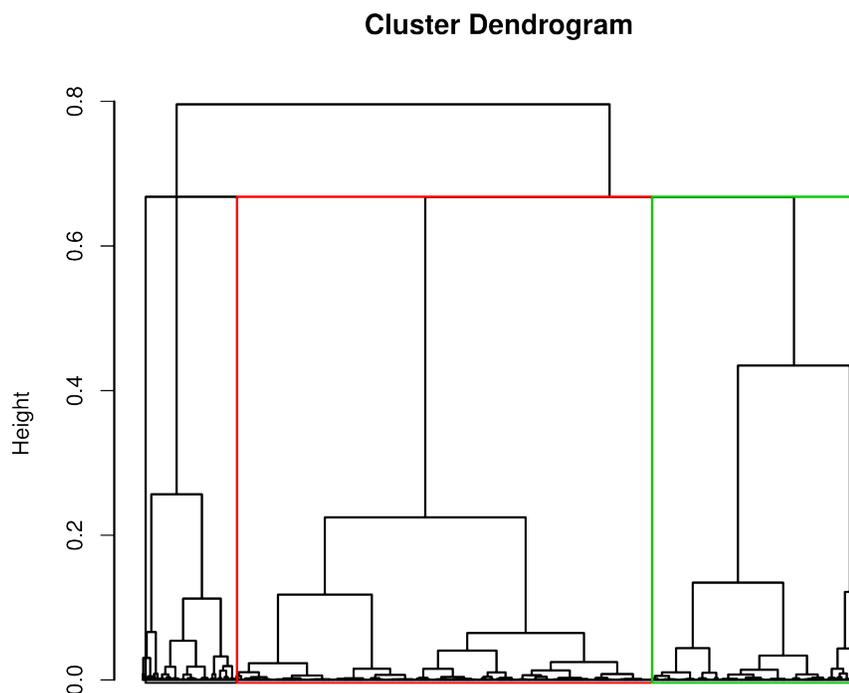


Figura 11 - Dendograma com os três cluster

Fazendo o análises das variáveis suplementarias categóricas para os três cluster observamos q para o cluster 1 são significativos a zona (costa, mar afora), assim para o cluster

2 são significativos o dia (dia, noite) e a fase (upwelling ou downwelling). Finalmente no cluster 3 são significativos as três variáveis categóricas (zona, dia e fase) (Tabela 7).

Tabela 7 - Descrição das variáveis categóricas para os cluster

Grupo		Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
I	zone=Coast	11.1	39.8	25.8	0.00	3.06
	zone=offs	5.8	60.2	74.2	0.00	-3.06
II	phase=Upwe	58.1	56.7	50.9	0.00	4.33
	day=Day	55.5	72.1	67.9	0.00	3.40
	day=Night	45.4	27.9	32.1	0.00	-3.40
	phase=Down	46.2	43.3	49.0	0.00	-4.33
	phase=Down	45.7	55.2	49.0	0.00	3.75
II	zone=offs	43.1	78.9	74.2	0.00	3.22
	day=Night	45.4	35.9	32.1	0.01	2.44
	day=Day	38.3	64.1	67.9	0.01	-2.44
	zone=Coast	33.2	21.1	25.8	0.00	-3.22
	phase=Upwe	35.6	44.8	50.9	0.00	-3.75

Do mesmo jeito apresentamos as variáveis contínuas com estatísticas descritivas para cada cluster (Tabela 8). Podemos observar que o cluster 1 está conformado por as estruturas mais grandes, que tem um tamanho promedio de 23 km e uma altura promedio de 18 m, estas estruturas são as estruturas mais energéticas (energia promedio 358) que foram encontradas. O cluster 2 está composta por estruturas pequenas (tamanho promedio 3.3 km e altura promedio 5m), e medianamente profundas (Depth promedio 36m). Estas estruturas tem uma energia promedio de 20 e representam o segundo tipo de estruturas mais energéticas. No caso das variáveis suplementarias contínuas observa-se uma biomassa de zooplâncton de 20 gr/m^2 . Finalmente no cluster 3 encontramos às estruturas pequenas (Width promedio 2km) e ratio promedio de 5 o qual indica que a altura promedio é de 10m, estas estruturas são as mais profundas (Depth promedio 68m), outra característica destas estruturas é que representam às

menos energéticas (energia promedio 14). O promedio da biomassa de zooplâncton foi de 44 gr/m^2 . Observou-se que as estruturas do cluster 3 tem a capacidade de ter mais biomassa de zooplâncton, sendo estas menos energéticas do que as outras categorias. Na Figura 12 são mostradas em forma gráfica os 3 tipos de estruturas.

Tabela 8 - Variáveis contínuas nos grupos

Grupo		v.test	média no grupo	média geral	sd no grupo	sd geral	p.value
I	Width	27.5	23.2	4.2	14.5	7.1	0.00
	energ	27.1	357.7	41.5	293.6	119.9	0.00
	Heigh	22.1	17.6	6.7	9.9	5.1	0.00
	DC	-2.3	63.6	73.7	40.6	44.7	0.02
	DShelf	-2.6	19.7	32.2	44.7	49.4	0.01
	ratio	-5.6	1.7	3.7	3.9	3.5	0.00
II	DC	-4.6	68.3	73.7	42.8	44.7	0.00
	Width	-4.6	3.3	4.2	3.2	7.1	0.00
	energ	-7.2	19.2	41.5	23.8	119.9	0.00
	DShelf	-7.5	22.6	32.2	42.1	49.4	0.00
	Biom	-9.6	20.3	30.8	29.8	41.5	0.00
	ratio	-11.2	2.7	3.7	1.9	3.5	0.00
	Heigh	-11.8	5.15	6.7	2.4	5.1	0.00
Depth	-19.1	35.8	50.1	18.1	28.8	0.00	
III	rat_inf	19.9	0.8	0.6	0.2	0.2	0.00
	Depth	18.8	67.7	50.1	30.3	28.8	0.00
	ratio	14.4	5.4	3.7	4.3	3.5	0.00
	Biom	9.9	44.2	30.8	50.4	41.5	0.00
	DShelf	9.0	46.8	32.2	55.0	49.4	0.00
	DC	5.9	82.5	73.7	46.4	44.8	0.00
	energ	-6.9	14.3	41.5	19.3	119.9	0.00
Width	-9.7	1.9	4.2	1.9	7.1	0.00	

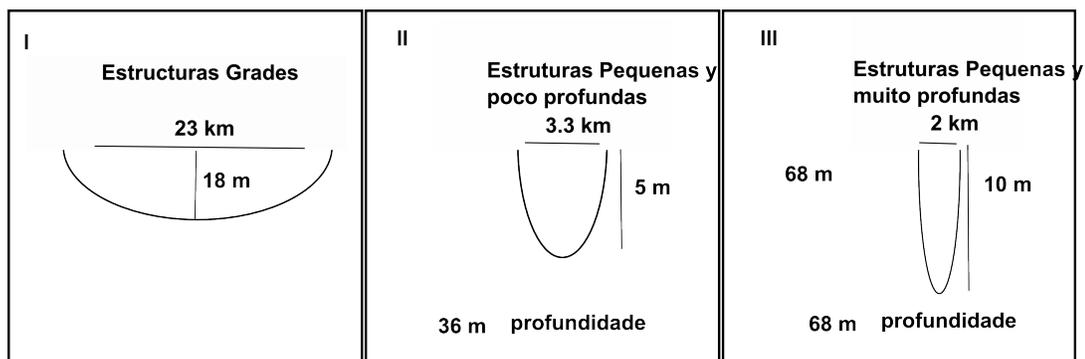


Figura 12 - Representação dos 3 grupos de estruturas identificadas.

3.2.1 Estudo do impacto das estruturas sob a distribuição do zooplâncton

Já definidos os três tipos de estruturas, vamos a estudar seu impacto sobre a biomassa de zooplâncton. Para isso usaremos os resultados dos três cluster e usando anovas estudaremos se existe diferença entre características (dia, zona e fase).

Para o cluster 1, na Tabela 9 observa-se que pela noite tem mais biomassa que em dia (promedio da noite e $53.2 \text{ gr}/\text{m}^2$ e do dia e $15.0 \text{ gr}/\text{m}^2$). Igualmente observamos que há maior biomassa na zona fora da costa que em costa, sendo a diferença mais notória nos dados de noite. Observamos que os resultados em fase não tem muita diferença, mas observou-se que em noite existe mais biomassa de zooplâncton. Para contrastar se, efetivamente, existem diferenças significativas na biomassa de zooplâncton ou não utilizamos anovas com desenhos anidados. Considerou-se o dia como fator principal, dentro do dia (dia e noite) foi anidado a zona (costa e fora da costa), finalmente dentro de cada zona foi anidado a fase (upwelling ou downwelling). Nossos resultados (Tabela 10) indicam que existe diferença significativa em dia (dia e noite), dia:zona e dia:zona:fase. O análise post-hoc (Tabela 11) mostram que existe maior abundância em noite. Do mesmo jeito os análises post-hoc amostram que existe maior biomassa de zooplâncton fora da costa (já seja em dia ou noite). Outro resultado interessante é que as estruturas de upwelling fora da costa tem maior biomassa de zooplâncton do que estruturas de downwelling na costa (em noite)

Tabela 9 - Promedio da biomassa de zooplâncton dentro do grupo 1

Dia	Fase	Zona		Promedio fase	Prom dia
		Costa	Fora costa		
Dia	Upwelling	6.5	12.1	10.3	15.0
	Downwelling	13.8	22.1	18.7	
Promedio zona		11.3	17.2		
Noche	Upwelling	12.2	71.9	35.4	53.2
	Downwelling	16.4	91.8	67.8	
Promedio zona		13.8	85.5		
Prom total zona		12.3	42.7		

Para um melhor estudo na fase (downwelling ou upwelling), foi feito o diferencial da biomassa entre estruturas. O diferencial foi feito da seguinte forma. Pegamos uma estrutura e a biomassa do zooplâncton dessa estrutura foi retirada com a biomassa promedio das estruturas vizinhas. Logo com um anova anidado foi analisado os resultados do diferencial de biomassa do zooplâncton (Tabela 12). Os resultados indicam que existe diferenca significativa em day:zona:fase. Depois com o teste post-hoc (onde foram utilizadas so os resultados significativos) (Tabela 13) olhamos que as ondas de downwelling tem maior impacto no diferencial de biomassa do zooplâncton. Isto quer dizer que dentro das estruturas de downwelling pode-se encontrar mais biomassa de zooplâncton que nas estruturas de upwelling, isto foi observado em dia como em noite.

Tabela 10 - Anova para o zooplâncton no grupo 1.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
day	1	28.9	28.9	63.5	0.0000
day:zone	2	45.9	22.9	50.4	0.0000
day:zone:phase	4	6.5	1.6	3.5	0.0092
Residuals	90	40.9	0.5		

Tabela 11 - Teste de Tukey para o zooplâncton no grupo 1.

	diff	lwr	upr	p adj
Dia	Night-Day	1.1	0.8	1.4 0.00
Dia:Zona	Night:offs-Night:Coast	2.1	1.6	2.7 0.00
Dia:Zona:Fase	Night:offs:Upwe-Night:Coast:Upwe	2.1	1.1	3.0 0.00
	Night:offs:Down-Night:Coast:Upwe	2.4	1.5	3.2 0.00
	Night:offs:Upwe-Night:Coast:Down	1.7	0.6	2.8 0.00
	Night:offs:Down-Night:Coast:Down	2.0	1.1	2.9 0.00

Tabela 12 - Anova no grupo 1 para a diferencial de biomassa

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
day	1	132.8	132.8	1.8	0.1781
day:zone	2	333.9	166.9	2.3	0.1046
day:zone:phase	4	1207.3	301.8	4.1	0.0037
Residuals	90	6492.1	72.1		

Tabela 13 - Teste de Tukey para o diferencial de biomassa

	diff	lwr	upr	p adj
Day:Coast:Down-Day:offs:Upwe	12.05	2.45	21.64	0.00

Para o cluster 2 também foi feito o análises descritivo da biomassa de zooplâncton (Tabela 14). Observamos que dentro do cluster 2 há mais biomassa de zooplâncton em noite que em dia (31.7 e 15.9 respectivamente). Sendo que também há mais biomassa fora da costa que dentro da costa, sendo a diferencia mais marcada na noite. No análise de fase observou-se resultados similares em estruturas de downwelling e upwelling isto foi em dados

de dia e noite.

Para contrastar se efetivamente existem diferencias significativas fazemos um teste de médias, o resultado pode-ser observada na Tabela 14

Tabela 14 - Promedio da biomassa segundo os fatores (dia, zona e fase) dentro do grupo 2

Dia	Fase	Zona		Promedio fase	Prom dia
		Costa	Fora costa		
Dia	Upwelling	6.1	18.1	15.2	15.9
	Downwelling	5.6	21.0	17.1	
Promedio zona		5.9	19.3		
Noche	Upwelling	8.1	41.7	30.4	31.7
	Downwelling	14.3	42.4	33.4	
Promedio zona		10.9	42.1		
Prom total zona		7.6	25.2		

Os resultados de análises de variância mostraram que existe diferencias significativas na biomassa de zooplâncton em dia e também em dia:zona (15). Os testes post-hoc (Tabela 16) amostraram diferencias significativa entre noite e dia, sendo que se tem mais biomassa em noite que em dia, além disso, é observado que fora da costa existe maior abundância. Estes resultados são similares aos observados no cluster 1, onde há diferencias significativas segundo o dia e, também, segundo a zona

Tabela 15 - Anova para a biomassa do zooplâncton dentro do grupo 2.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
day	1	51.41	51.41	63.38	0.0000
day:zone	2	101.56	50.78	62.61	0.0000
day:zone:phase	4	3.64	0.91	1.12	0.3450
Residuals	705	571.78	0.81		

Tabela 16 - Teste de Tukey para a biomassa de zooplâncton no grupo 2.

factor		diff	lwr	upr	p adj
Dia	Night-Day	0.6	0.5	0.7	0.00
	Day:offs-Day:Coast	0.7	0.5	0.9	0.00
Dia:Zona	Night:offs-Night:Coast	1.1	0.8	1.5	0.00

Para estudar a relação com a fase, vamos trabalhar com o diferencial da biomassa, assim o análise de variância (Tabela 17) indicaram que existe diferencia significativa em day:zona:fase. Fazendo um teste post-hoc amostram que as estruturas de downwelling tem maior impacto na agregação de zooplâncton, já seja na costa, fora da costa (Tabela 18). Observou-se que estruturas de downwelling tem mais biomassa que estruturas de upwelling (em dia e fora da costa).

Tabela 17 - Anova para o diferencial da biomassa no grupo 2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
day	1	9.38	9.38	0.20	0.6567
day:zone	2	134.37	67.18	1.42	0.2434
day:zone:phase	4	1444.05	361.01	7.61	0.0000
Residuals	705	33454.41	47.45		

Tabela 18 - Teste de Tukey para o diferencial de biomassa no grupo 2.

	diff	lwr	upr	p adj
Day:offs:Down-Day:offs:Upwe	3.09	0.92	5.26	0.00

Finalmente no cluster 3, fazemos o análises descritivo da biomassa no cluster 3 (Tabela 19) assim podemos observar que existe mais biomassa em dia que em noite, mais biomassa fora da costa que na costa, sendo estes valores maiores aos obtidos nos cluster 1 e

2. Também é observado que as estruturas de downwelling e upwelling tem mais biomassa que as estruturas do mesmo tipo nos cluster 1 e 2.

Para testar se efetivamente existem diferencias nos fatores (dia, zona e fase) aplicamos um análises de variância (Tabela 20). Os resultados do anova indicaram que existe diferencias significativas em dia e dia:zona. O teste post-hoc (Tabela 21) indicou que existe mais biomassa em dia que em noite, sendo tambem que existe mais biomassa de zooplâncton fora da costa que dentro da costa.

Tabela 19 - Promedio da biomassa segundo os fatores (dia, zona e fase) dentro do grupo 3

Dia	Fase	Zona		Promedio fase	Prom dia
		Costa	Fora costa		
Dia	Upwelling	17.2	26.3	24.5	24.9
	Downwelling	21.5	26.0	25.3	
Promedio zona		19.4	26.1		
Noche	Upwelling	24.6	100.2	84.2	78.4
	Downwelling	28.1	96.1	73.7	
Promedio zona		26.8	98.2		
Prom total zona		22.9	49.9		

Tabela 20 - Anova da biomassa no grupo 3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
day	1	220.9	220.9	267.8	0.0000
day:zone	2	94.3	47.2	57.2	0.0000
day:zone:phase	4	1.8	0.4	0.5	0.7061
Residuals	546	450.5	0.8		

Tabela 21 - teste de Tukey para a biomassa dia no grupo 3

		diff	lwr	upr	p adj
Dia	Night-Day	1.3	1.2	1.5	0.00
Dia:zona	Night:offs-Night:Coast	1.51	1.14	1.88	0.00

Igualmente para estudar se existe diferenca significativa induzido pela fase (downwelling ou upwelling) usamos o diferencial da biomassa. A Tabela 22 indicou que existe diferenca significativa em fase para a variável diferencial de biomassa, sendo que em estruturas de fase downwelling e maior do que estruturas upwelling (Tabela 23)

Tabela 22 - Anova do diferencial da biomassa no grupo 3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
day	1	12.8	12.8	0.22	0.6385
day:zone	2	97.2	48.6	0.84	0.4330
day:zone:phase	4	2021.2	505.3	8.71	0.0000
Residuals	546	31665.5	58.0		

Tabela 23 - Teste de Tukey para o diferencial da biomassa no grupo 3.

	diff	lwr	upr	p adj
Night:Coast:Down-Night:Coast:Upwe	9.45	2.88	16.02	0.00
Night:Coast:Down-Night:offs:Down	5.05	0.33	9.77	0.03

3.2.1.1 Estudo da independência entre os dois processos

Finalmente para testar se existe relação entre os processos físicos e os processos biológicos fazemos o análises doble K-ripley, os resultados podemos olhar na Figura 13. Para evitar o problema da aleatoriedad do processo juntamos todos nossos transectos, assim

obtivemos um grande transecto.

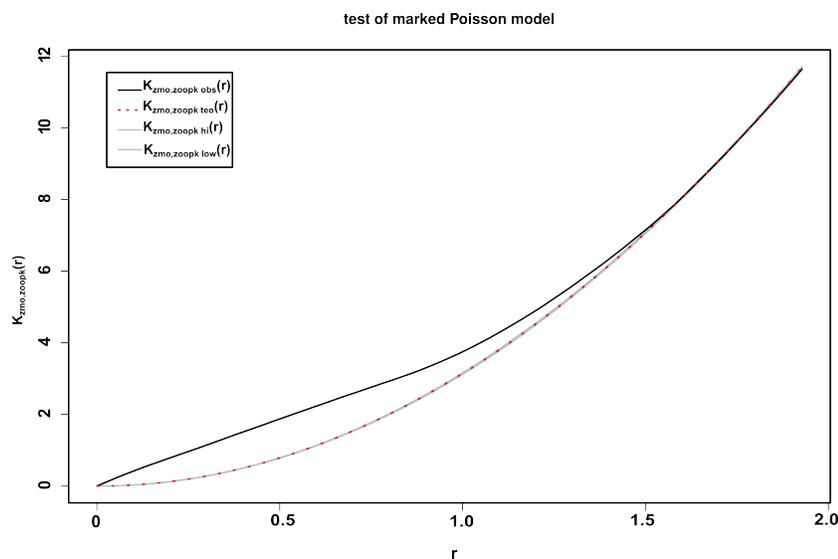


Figura 13 - Doble k ripley

O resultado indica que os processos físicos condicionam a distribuição dos processos biológicos, ou em outras palavras os processos físicos estão agregando aos processos biológicos.

3.3 Discussão

como resultado dos métodos estudados chegamos a conclusão que

3.3.1 Da metodologia

Como foi mencionado num início, para compreender a dinâmica dos ecossistemas temos que entender o comportamento de seus componentes. Assim com o objetivo de estudar a estruturação espacial dos processos físicos tínhamos a necessidade de procurar métodos que permitam trabalhar a múltiplas escalas. Métodos de geoestatística como os variogramas anidados (CRESSIE, 1993) permitem fazer estudos a múltiplas escalas. O variograma alinhado identifica as estruturas características que esta presentes num processo. Igualmente que os métodos dos variogramas alinhados, temos aos métodos PCNM (BORCARD; LEGENDRE,

2002) os quais também identificam diferentes estruturas espaciais dos processos. Nesta linha de modelos que identificam diferentes estruturas espaciais temos aos métodos de ondaletas. Os métodos de ondaletas além de estimar o tamanho da estrutura permite localizar sua a posição no espaço ou tempo (TORRENCE; COMPO, 1998). Estudos de comparação entre o PCNM e os variogramas anidados foram desenvolvidos por Bellier et al., (2007) onde mostra resultados consistentes entre eles, igualmente Grados et al., (sumetido) mostrou que os três métodos estimam as escalas do processo só que a vantagem dos métodos de ondaletas sobre os PCNM e os variogramas anidados é a capacidade de identificar a escala e sua posição no espaço, e a capacidade de identificar um intervalo de estruturas. Outra vantagem dos métodos de ondaletas é que pode identificar estruturas de pequenos alcances ate grandes alcances, também pode identificar estruturas de pequenas escalas que estão dentro de estruturas de grandes escalas. Estas vantagens dos métodos de ondaletas sobre os outros dois métodos foram o motivo pela qual utilizamos as ondaletas para desenvolver nossa metodologia de identificação e extração de estruturas.

Os estudos de simulação permitiram observar que o método desenvolvido tem a capacidade de identificar corretamente os parâmetros de nosso interesse, tendo resultados muito bons na identificação do período e a amplitude. Estes dois parâmetros são o tamanho e a altura da estrutura identificada.

A eleição do parâmetro de frequência central é um tema muito importante na decomposição da sinal, este parâmetro permite o ajuste a pequenas ou grandes escalas. Nossos resultados indicam que o valor da frequência tem influencia na estimação da amplitude. Outro aspecto importante foi a familia usada, nós usamos a família morlet pois permite obter dois tipos de informação (a fase e amplitude) (CAZELLES at al, 2007; TORRENCE; COMPO, 1998).

3.3.2 Tipologia das estruturas físicas

Nos ecossistemas marinhos os processos físicos tem um rol fundamental na estruturação espacial (BERTRAND et al., 2008a,b). Os processos físicos de meso e submesoescala condicionam a distribuição espacial do limite superior da zona de mínimo oxigênio, então estudar o comportamento deste limite é estudar o comportamento dos processos físicos. Bertrand;

Ballon; Cahigneau, (2010) desenvolve um método para estimar o limite superior da zona de mínimo oxigênio.

A partir deste estimador nós começamos a extrair as estruturas físicas, nossos resultados indicam a presença de três tipos de estruturas, grandes estruturas de tamanho promedio de 23 km os quais correspondem aos processos de mesoescala (BERTRAND et al., 2008a; CHAIGNEAU; GIZOLME; GRADOS, 2008). Segundo Chaigneau; Gizolme; Grados, (2008) estruturas de mesoescala são as mais energéticas do ecossistema de Humboldt, o qual foi corroborado com nossos análises.

O segundo tipo de estruturas tem um tamanho menor a $<10\text{km}$, dentro deste grupo há uma classificação do que variam segundo a profundidade. Estruturas pouco e muito profundas foram encontradas. Estas estruturas correspondem aos processos de submesoescala (BERTRAND et al., 2008a; BALLON et al., 2011). Estas estruturas correspondem a ondas internas ou pequenos redemoinhos (BERTRAND et al., 2008a) e são as mais abundantes no ecossistema, sendo que as estruturas pouco profundas tem mais energéticas do que as estruturas mais profundas.

3.3.3 Do impacto sobre a biomassa de zooplâncton

Observou-se diferencia marcadas entre a biomassa de zooplâncton em dia e noite estas diferencias é devido à migração vertical do zooplâncton, pois durante o dia aproximadamente o 77% da biomassa de zooplâncton migra para embaixo da oxiclina (BALLON et al., 2011), também observamos diferencia segundo a zona sendo que tem mais abundância fora da costa que na costa.

Os três tipos de estruturas tem um impacto diferente sobre a biomassa de zooplâncton assim, as estruturas grandes que são as mais energéticas (CHAIGNEAU; GIZOLME; GRADOS, 2008) agregam o zooplâncton. Nossos análises indicam que estruturas de downwelling tem mais biomassa de zooplâncton que as estruturas de upwelling, sendo que as estruturas de downwelling representam os processos físicos de convergência e estruturas de upwelling representam aos processos físicos de divergência. Estes resultados corroboram o dito por Bakun (2006).

As estruturas pequenas tem impactos diferentes sobre a biomassa de zooplâncton,

sendo que o comportamento da biomassa varia segundo o dia (mais biomassa em noite que em dia) e zona (mais biomassa fora da costa que em costa). A diferencia das estruturas grandes em estas estruturas existe uma diferencia não muito forte na agregação do zooplâncton. O terceiro grupo de estruturas são as mais profundas e pouco energéticas, são de pouco tamanho e muito altos. Estas estruturas tem mais abundância de zooplâncton, tendo um impacto maior que os outros dois tipos de estruturas. Até agora as estruturas de submesoescala são pouco estudadas, alguns pesquisadores tem realizado estudos a este nível (submesoescala) (BERTRAND et al., 2008a), sendo que estudou uma zona muito especifica do ecossistema de Humboldt. Nosso estudo foi realizado a tudo o ecossistema da parte do Peru.

O análise de doble K-ripley indicou que existe uma agregação que é exercida dos processos físicos aos processos biológicos, isto da evidencia da estruturação de embaixo para acima que existe no ecossistema (RUSSEL et al., 1992). Sendo que os componentes físicos estruturam o paisagem do ecossistema.

4 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi desenvolvido uma metodologia para identificar e extrair estruturas de processos físicos, este método pode ser utilizado em outros campos de aplicação. Utilizou-se análises de ondaletas para o desenvolvimento do método. Como conclusão do trabalho observou-se que:

- O método desenvolvido mostrou a capacidade de identificar e extrair estruturas multi-escalas no espaço. Observou-se também que o parâmetro de localização é importante para a estimação da altura da estrutura.
- Depois de ter feito a caracterização das estruturas obtidas, observou-se que no ecossistema da corrente de Humboldt existem três tipos de estruturas. O primeiro tipo de estruturas são as de mesoescala as quais são as mais energéticas do ecossistema, o segundo e terceiro tipo são as estruturas de submesoescala, as quais tem diferencia na profundidade, umas são localizadas aos 20 ou 30 metros de profundidade no mar e as outras são localizadas aos 60 ou 70 metros de profundidade no mar. As estruturas de submesoescalas são as mais abundantes e menos energéticas no ecossistema da corrente de Humboldt.
- Observou-se que as estruturas mais profundas tem a capacidade de agregar mais abundância de zooplâncton no seu centro. Observou-se que estruturas de downwelling tem a capacidade de agregam mais abundância de zooplâncton que as estruturas de upwelling, isto foi observado mais nas estruturas mais profundas de submesoescala.

REFERÊNCIAS

- BAKUN, A. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response. **Scientia Marina**, Barcelona, v.70, p.105-122, 2006.
- BALLON, M. **Acoustic study of macrozooplankton off Peru: biomass estimation, spatial patterns, impact of physical forcing and effect on forage fish distribution**. 2010. 155p. Teses de doutorado (Biologia de populações e ecologia) - University Montpellier II, Montpellier, França, 2010.
- BALLON, M.; BERTRAND, A.; LEBOURGES-DHAUSSY, A.; GUTIÉRREZ, M.; AYÓN, P.; GRADOS, D.; GERLOTTO, F. Is there enough zooplankton to feed forage fish populations off Peru? An acoustic (positive) answer. **Progress in Oceanography**, [s.l.: s.n.], 2011.
- BENITEZ-NELSON, C.; BIDIGARE, R.; DICKEY, T.; LANDRY, M.; LEONARD, C.; BROWN, S.; NENCIOLI, F.; RII, Y.; MAITI, K.; BECKER, J.; BIBBY, T.; BLACK, W.; CAI, W.; CARLSON, C.; CHEN, F.; KUWAHARA, V.; MAHAFFEY, C.; McANDREW, P.; QUAY, P.; RAPPÉ, M.; SELPH, K.; SIMMONS, M.; YANG, E. Mesoscale eddies drive increased silica export in the subtropical pacific ocean. **Science**, [s.l.], v.316, p.1017-1021, 2007.
- BELLIER, E.; MONESTIEZ, P.; DURBEC, J.-P. Identifying spatial relationships at multiple scales: principal coordinates of neighbour matrices (PCNM) and geostatistical approaches, **Ecography**, Malden, v.30, p.385-399, 2007.
- BERTRAND, A.; BALLON, M.; CHAIGNEAU, A. Acoustic Observation of Living Organisms Reveals the Upper Limit of the Oxygen Minimum Zone. **PLoS ONE**, [s.l.], v.5, p.e10330, 2010.
- BERTRAND, A.; GERLOTTO, F.; BERTRAND, S.; GUTIERREZ, M.; ALZA, L.; CHIPOLLINI, A.; DIAZ, E.; ESPINOZA, P.; LEDESMA, J., QUESQUEN, R.; PERALTILLA, S.; CHAVEZ, F. Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: An analysis across multiple spatial scales, **Progress in Oceanography**, Exeter, v.79, p.264-277, 2008a.
- BERTRAND, S.; EDWITTE, B.; TAM, J.; DIAZ, E.; BERTRAND, A. Impacts of kelvin wave forcing in the Peru Humboldt Current System: scenarios of spatial reorganizations from physics to fishers, **Progress in Oceanography**, Exeter, v.79, p.278-289, 2008b.
- BIBBY, T.; GORBUNOV, M.; WYMAN, K.; FALKOWSKI, P. Photosynthetic community responses to upwelling in mesoscale eddies in the subtropical North Atlantic and Pacific Oceans, **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, [s.l.], v.55, p.1310-1320, 2008.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices, **Ecological Modelling**, Copenhagen v.153, p.51-68, 2002.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P.; AVOIS-JACQUET, C.; TUOMISTO, H. Dissecting the spatial structure of ecological data at multiple scales, **Ecology**, [s.l.], v.85, p.1826-1832, 2004.
- CAPET, X.; McWILLIAMS, J.; MOLEMAKER, M.; SHCHEPETKIN, A. Mesoscale to submesoscale transition in the california current system. part I: flow structure, eddy flux, and observational tests, **Journal of Physical Oceanography**, Washington, v.38, p.29-43, 2008.

- CARR, M.; KEARNS, E. Production regimes in four eastern boundary current systems, **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, [s.l.], v.50, p.3199-3221, 2003.
- CAZELLES, B.; CHAVEZ, M.; BERTEAUX, D.; MÉNARD, F.; OLAV-VIK, J.; JENOUVRIER, S.; STENSETH, N. Wavelet analysis of ecological time series, **Oecologia**, New York, v.156, p.287-304, 2008.
- CAZELLES, B.; CHAVEZ, M.; MAGNY, G.; GUÉGAN, J.-F.; HALES, S. Time-dependent spectral analysis of epidemiological time-series with wavelets, **Journal of the Royal Society Interface**, [s.l.], v.4, p.625-636, 2007.
- CAZELLES, B.; STONE, L. Detection of imperfect population synchrony in an uncertain world, **Journal of Animal Ecology**, London, v.72, p.953-968, 2003.
- CHAIGNEAU, A.; GIZOLME, A.; GRADOS, C. Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns, **Progress in Oceanography**, Exeter, v.79 p.106-119, 2008.
- CHAIGNEAU, A.; ELGIN, G.; DEWITTE, B. Eddy activity in the four major upwelling systems from satellite altimetry (1992-2007), **Progress in Oceanography**, Exeter, v.83, p.117-123, 2009.
- CHAIGNEAU, A.; PIZARRO, O. Surface circulation and fronts of the South Pacific ocean, east of 120°W, **Geophysical Research Letters**, Washington, v.32, p.L08605.1-4, 2005.
- CHAVEZ, F.; BERTRAND, A.; GUEVARRA-CARRASCO, R.; SOLER, P.; CSIRKE, J. The northern Humboldt Current system: brief history, present status and a view towards the future, **Progress in Oceanography**, Exeter, v.79, p.95-105, 2008.
- CRESSIE, N. **Statistics for Spatial Data**, Iowa: Willey series, 1993, p887.
- CRIALES-HERNÁNDEZ, M.; SCHAWAMBORN, R.; GRACO, M.; AYÓN, P.; HIRCHE, H.; WOLFF, M. Zooplankton vertical distribution and migration off Central Peru in relation to the oxygen minimum layer, **Helgoland Marine Research**, [s.l.], v.62, p.85-100, 2008.
- DADOU, I.; GARÇON, V.; ANDERSEN, V.; FLIERL, G.; DAVIS, C. Impact of the North Equatorial Current meandering on a pelagic ecosystem: A modeling approach, **Journal of Marine Research**, Connecticut, v.54, p.311-342, 1996.
- DALE, M.; DIXON, P.; FORTIN, M.; LEGENDRE, P.; MYERS, D.; ROSENBERG, M. Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis, **Ecography**, Copenhagen, v.25, p.558-577, 2002.
- DAUBECHIES, I. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. **IEEE Transactions on Information Theory**, Piscataway, v.36, p.961-1004, 1990.
- FALKOWSKI, P.; ZIEMANN, D.; KOLBER, Z.; BIENFANG, P. Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean, **Nature**, [s.l.], v.352, p.55-58, 1991.
- FOSSHEIM, M.; ZHOU, M.; TANDE, K.; PEDERSEN, O.; ZHU, Y.; EDVARDSEN, A. Interactions between biological and environmental structures along the coast of northern Norway, **Marine Ecological Progress Series**, [s.l.], v.300. p.147-158, 2005.

FRONTIER, S.; PICHOD-VIALE, D.; LEPRETRE, A.; DAVOULT, D.; LUCZAK, C. **Ecosystèmes**. Paris: Dunod, Eds. 2004, p.550.

GILMAN, D.; FUGLISTER, J., MITCHELL, J. On the power spectrum of red noise, **Journal of the Atmospheric Sciences**, Washington, v.20, p.182-184, 1963.

GRADOS, D.; FABLET, R.; BALLON, M.; BEZ, N.; CASTILLO, R.; LEZAMA-OCHOCA, A.; BERTRAND, A. Multiscale characterization of spatial relationships between oxycline depth, macrozooplankton and forage fish off Peru using geostatistics, PCNMs and wavelets, **Canadian Journal Fisheries and aquatic sciences**, [s.n.;s.l.], submetido.

HAURY, L.; MCGOWAN, J.; WIEBE, P. Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. In J. H. Steele (Ed.), **Spatial Pattern in Plankton Communities**, New York, USA: Plenum Press, 1978, p.277-327.

HELLY, J.; LEVIN, L. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, Woods Hole, v.51, p.1159-1168, 2004.

HORMAZABAL, S.; SHAFFER, G.; LETH, O. Coastal transition zone off Chile, **Journal of Geophysical Research**, Woods Hole, v.109, p.1-13, 2004.

HUSSON, F.; JOSSE, J.; PAGÈS, J. **Principal component methods - hierarchical clustering - partitionnal clustering: why would we need to choose for visualizing data?**. Rennes, França. Applied Mathematics Department, 2010, 17p. relatório técnico.

KARSTENSEN, J.; STRAMMA, L.; VISBECK, M. Oxygen minimum zones in the eastern tropical Atlantic and Pacific oceans, **Progress in Oceanography**, Exeter, v.77, p.331-350, 2008.

KLEIN, P.; LAPEYRE, G. The oceanic vertical pump induced by mesoscale and submesoscale turbulence, **Marine Science**, Los Angeles, v.1, p.351-375, 2009.

MACKAS, D.; BOYD, C. Spectral analysis of zooplankton spatial heterogeneity, **Science**, [s.l.], v.204, p.62-64, 1979.

MACKAS, D.; DENMAN, K.; ABBOTT, M. Plankton patchiness: biology in the physical vernacular, **Bulletin of Marine Science**, Florida, v.37, p.652-674, 1985.

MAHADEVAN, A.; ARCHER, D. Modeling the impact of fronts and mesoscale circulation on the nutrient supply and biogeochemistry of the upper ocean, **Journal of geophysical research**, Woods Hole, v.105, p.1209-1225, 2000.

MCGILLICUDDY, D.; ANDERSON, L.; BATES, N.; BIBBY, T.; BUESSELER, K.; CARLSON, C.; DAVIS, C.; EWART, C.; FALKOWSKI, P.; GOLDTHWAIT, S.; HANSELL, D.; JENKINS, W.; JOHNSON, R.; KOSNYREV, V.; LEDWELL, J.; LI, Q.; SIEGEL, D.; STEINBERG, D. Eddy/Wind interactions stimulate extraordinary mid-ocean plankton blooms, **Science**, [s.l.], v.316, p.1021-1026, 2007.

MCGILLICUDDY, D.; JOHNSON, R.; SIEGEL, D.; MICHAELS, A.; BATES, N.; KNAP, A. Mesoscale variations of biogeochemical properties in the Sargasso Sea, **Journal of Geophysical Research**, Woods Hole, v.104, p.13381-13394, 1999.

McGILLICUDDY, D.; ROBINSON, A.; SIEGEL, D.; JANNASCH, H.; JOHNSON, R.; DICKEY, T.; McNEIL, J.; MICHAELS, A.; KNAP, A. Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea, **letters to Nature**, [s.l.], v.394, p.263-266, 1998.

MENARD, F.; MARSAC, F.; BELLIER, E.; CAZELLES, B. Climatic oscillations and tuna catch rates in the Indian ocean: a wavelets approach to time series analysis, **Fisheries Oceanography**, Berlin, v.16, p.95-104, 2007.

LAVANIEGOS, B.; JIMENEZ-PEREZ, L.; GAXIOLA-CASTRO, G. Plankton response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the southern region of the California Current, **Progress in Oceanography**, Exeter, v.54, p.33-58, 2002.

OSCHLIES, A.; GARÇON, V. Eddy-induced enhancement of primary production in a model of the North Atlantic Ocean, **letters to Nature**, [s.l.], v.394, p.266-269, 1998.

PAULMIER, A.; RUIZ-PINTO, D. Oxygen minimum zones (OMZs) in the modern ocean, **Progress in Oceanography**, Exeter, v.80, p.113-128, 2009.

ROGACHEV, K.; SALOMATIN, A.; CARMACK, C. Concentration of pelagic organisms at mesoscale fronts in the western subarctic Pacific: small fish on long waves, **Fisheries Oceanography**, Berlin, v.5, p.153-162, 1996.

RUSSEL, R.; HUNT, G.; COYLE, K.; CONNEY, R. Foraging in a fractal environment: Spatial patterns in a marine predator-prey system, **Landscape Ecology**, New York, v.7, p.195-209, 1992.

SEKI, M.; POLOVINA, J.; KOBAYASHI, D.; BIDIGARE, R.; MITCHUM, G. 2002. An oceanographic characterization of swordfish (*Xiphias gladius*) longline fishing grounds in the springtime subtropical North Pacific, **Fisheries Oceanography**, Berlin, v.11, p.251-266, 2002.

STRASS, V. Chlorophyll patchiness caused by mesoscale upwelling at fronts, **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, Woods Hole, v.39, p.75-96, 1992.

TEW-KAI, E.; ROSSI, V.; SUDRE, J.; WEIMERSKIRCH, H.; LOPEZ, C.; HERNANDEZ-GARCIA, E.; MARSAC, F.; GARÇON, V. Top marine predators track lagrangian coherent structures, **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v.106, p.8245-50, 2009.

THOMAS, A. Seasonal distributions of satellite-measured phytoplankton pigment concentration along the Chilean coast, **Journal of Geophysical Research Oceans**, [s.l.], v.104, p.877-890, 1999.

TILMAN, D.; KAREIVA, P. **Spatial ecology: the role of space in population dynamics and interspecific interactions**. New Jersey, Princenton University Press, 1997, p.365

TORRENCE, C.; COMPO, G. A practical guide to wavelet analysis, **Bulletin of the American Meteorological Society**, Washington, v.79, p.61-78, 1998.

WILLIAMS, R.; FOLLOWS, M. Physical transport of nutrients and the maintenance of biological production. In: M. J. R. Fasham (Ed.), **Ocean Biogeochemistry: The Role of the Ocean Carbon Cycle in Global Change**. New York: Springer, 2007, c.2, p.19-51.

WIEBE, P. Small-scale spatial distribution in oceanic zooplankton, **Limnology and Oceanography**, [s.l.], v.15, p.205-217, 1970.

YEBRA, L.; ALMEIDA, C.; HERNANDEZ-LEON, S. Vertical distribution of zooplankton and active flux across an anticyclonic eddy in the Canary Island waters, **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, Woods Hole, v.52, p.69-83, 2005.

