

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E ECOLOGIA

RICARDO NOGUEIRA SERVINO

**VARIABILIDADE INTERANUAL DAS PROPRIEDADES DINÂMICAS  
DA CORRENTE DO BRASIL E SUA RELAÇÃO COM O ENSO**

VITÓRIA  
2011

RICARDO NOGUEIRA SERVINO



## **VARIABILIDADE INTERANUAL DAS PROPRIEDADES DINÂMICAS DA CORRENTE DO BRASIL E SUA RELAÇÃO COM O ENSO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Oceanografia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Oceanógrafo.

Orientador: Dr. Renato David Ghisolfi.

VITÓRIA  
2011



VARIABILIDADE INTERANUAL DAS PROPRIEDADES DINÂMICAS DA  
CORRENTE DO BRASIL E SUA RELAÇÃO COM O ENSO

por

Ricardo Nogueira Servino

Submetido como requisito parcial para a obtenção de grau de  
Oceanógrafo

na

Universidade Federal do Espírito Santo

Novembro de 2011

© Ricardo Nogueira Servino

Por meio deste, o autor confere ao Colegiado do Curso de Oceanografia e ao Departamento de Oceanografia e Ecologia da UFES permissão para reproduzir e distribuir cópias parciais ou totais deste Trabalho de Conclusão de Curso para fins não comerciais

Assinatura do autor.....

Curso de graduação em Oceanografia  
Universidade Federal do Espírito Santo  
9 de Dezembro de 2011

Certificado por .....

Renato David Ghisolfi  
Dr. / Orientador

Certificado por.....

Alexandre Braga  
Dr./ Examinador externo  
CEPEMAR

Certificado por.....

Ângelo Fraga Bernardino  
Prof. Adjunto / Examinador interno / Coordenador do Curso de Oceanografia  
Universidade Federal do Espírito Santo  
CCHN/DOC/UFES

RICARDO NOGUEIRA SERVINO

VARIABILIDADE INTERANUAL DAS PROPRIEDADES DINÂMICAS DA  
CORRENTE DO BRASIL E SUA RELAÇÃO COM O ENSO

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Renato David Ghisolfi  
Orientador – DOC/UFES

---

Prof. Dr. Ângelo Bernardino  
Examinador – DOC/UFES

---

Dr. Alexandre Braga  
Examinador – CEPEMAR

VITÓRIA (ES), \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

# Sumário

**Agradecimentos**

**Resumo**

**Lista de Abreviações**

**Lista de Figuras**

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	p. 4
<b>2 OBJETIVOS</b>	p. 6
2.1 OBJETIVO GERAL . . . . .	p. 6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS . . . . .	p. 6
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	p. 7
3.1 EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL . . . . .	p. 7
3.2 CORRENTE DO BRASIL . . . . .	p. 12
3.3 VARIABILIDADE METEOCEANOGRÁFICA DO ATLÂNTICO SUL . . . . .	p. 16
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	p. 18
4.1 OBTENÇÃO DE DADOS . . . . .	p. 18
4.1.1 O Modelo SODA . . . . .	p. 19
4.2 MANIPULAÇÃO DOS DADOS . . . . .	p. 20
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	p. 24
5.1 VALIDAÇÃO . . . . .	p. 24
5.2 TRANSPORTE DE VOLUME . . . . .	p. 25

5.3	FFTs . . . . .	p.30
5.4	CORRELAÇÕES CRUZADAS . . . . .	p.34
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>p.37</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>p.38</b>

# ***Agradecimentos***

Primeiramente a minha família. A meus pais por proporcionarem a estrutura necessária e diversas conveniências que eles mesmos não tiveram na época de sua educação. E ao meu irmão, pelo companheirismo e apoio de sempre.

A todos os professores que contribuíram para a construção de conhecimento até o fim deste curso, pela dedicação ao trabalho e preocupação com a qualidade das disciplinas.

Ao meu orientador, Professor Dr. Renato David Ghisolfi, pela confiança, tempo dedicado e entrosamento com este trabalho.

Aos secretários Caetano e Wallace pela disponibilidade e atendimento atencioso.

Aos colegas do curso, pelo bom convívio dentro e fora de sala de aula durante estes anos de graduação, em especial: Felipe Mantuan, Leonardo Carvalho, Bárbara Shignorelli, Felipe Thomaz e Marlom Mazzini.

Aos colegas do Laboratório Poseidon, pelo acompanhamento do trabalho e por dividir parte da experiência adquirida por cada um.

Ao grupo de pesquisa SODA/TAMU por disponibilizar gratuitamente dados de inúmeros experimentos de modelagem global, que tornaram este trabalho possível.

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), pelo apoio financeiro.

# **Resumo**

As propriedades dinâmicas da Corrente do Brasil (CB) estão diretamente ligadas aos padrões atmosféricos do Atlântico Sul. A variabilidade da incidência de ventos somada à disposição espacial dos centros de alta pressão no Atlântico induzem modificações na dinâmica da CB. Conhecer a variabilidade desta corrente é essencial para a viabilização e redução de riscos de atividades *offshore*, como as realizadas pela indústria petrolífera.

A variabilidade da dinâmica da CB na escala sazonal é bem entendida, no entanto pouco se conhece para a escala interanual. Provavelmente, o fenômeno interanual mais bem estudado, devido aos seus intensos impactos, é o El Niño Oscilação Sul (ENSO), composto pelos eventos quentes, de El Niño, e frios, de La Niña. Apesar de ocorrer no Pacífico Equatorial, o ENSO promove modificações atmosféricas indiretas no Atlântico.

Assim, o presente trabalho pretende avaliar a variabilidade interanual da dinâmica da CB, a partir da análise de seu transporte de volume, com ênfase aos efeitos derivados do ENSO. Para alcançar este objetivo, foram utilizados resultados do modelo assimilado SODA, que, após uma etapa de pré-processamento, compuseram uma série de 51 anos de transporte em três transectos perpendiculares ao longo da costa brasileira.

As séries foram analisadas no domínio da frequência, através da aplicação de FFTs, e ainda relacionadas ao ENSO a partir de correlações cruzadas. Um sinal intenso do ENSO é identificado para toda a extensão da CB, que juntamente com uma oscilação de menor frequência encontrada, o *Pacific Decadal Oscillation*, caracterizam os principais modos de variabilidade interanual da dinâmica da CB.



# ***Lista de Abreviações***

<b>ACAS</b>	Água Central do Atlântico Sul
<b>ACI</b>	Água Circumpolar Inferior
<b>ACS</b>	Água Circumpolar Superior
<b>AIA</b>	Água Intermediária Antártica
<b>APAN</b>	Água Profunda do Atlântico Norte
<b>AT</b>	Água Tropical
<b>CB</b>	Corrente do Brasil
<b>CCO</b>	Corrente de Contorno Oeste
<b>CSE</b>	Corrente Sul Equatorial
<b>CT</b>	Cold Tongue
<b>ENSO</b>	El Niño Oscilação Sul
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform
<b>ONI</b>	Oceanic Niño Index
<b>PDO</b>	Pacific Decadal Oscillation
<b>SODA</b>	Simple Ocean Data Assimilation
<b>SOI</b>	Southern Oscillation Index
<b>TSM</b>	Temperatura da Superfície do Mar
<b>WP</b>	Warm Pool

# ***Lista de Figuras***

1	Efeitos do El Niño no Pacífico Equatorial . . . . .	p. 8
2	Séries temporais dos índices SOI e ONI (área) . . . . .	p. 9
3	Alterações das teleconexões atmosféricas . . . . .	p. 11
4	Giro Subtropical do Atlântico Sul . . . . .	p. 13
5	Comparação - Corrente do Brasil e Corrente do Golfo . . . . .	p. 14
6	Esquema para o transporte de volume . . . . .	p. 21
7	Fluxograma Metodologia . . . . .	p. 23
8	Índices ONI: SODA x NOAA . . . . .	p. 24
9	Séries Temporais de Transporte de Volume . . . . .	p. 26
10	Picos de Transporte x ONI . . . . .	p. 27
11	Picos de Transporte x Outros Índices . . . . .	p. 28
12	Comparação - Variabilidade de Transporte e PDO . . . . .	p. 30
13	Climatologias de transporte . . . . .	p. 31
14	Séries Temporais Normalizadas . . . . .	p. 32
15	Periodogramas . . . . .	p. 33

# 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a principal importância do conhecimento sobre as correntes marinhas foi na redução de custos de expedições e na viabilização de rotas comerciais. Porém com o passar dos séculos, seu conhecimento foi também se tornando essencial para a instalação de estruturas submarinas e para o entendimento do clima, uma vez que elas são responsáveis por parte da distribuição de calor para regiões de alta latitude, além de outras funções. Em relação aos organismos marinhos, as correntes são o principal meio de dispersão de muitas espécies, e, em algumas situações, são responsáveis pelo aumento da produtividade primária através da ressuspensão de nutrientes, como o fenômeno conhecido como ressurgência.

Com o crescimento da demanda por biocombustíveis, a exploração e produção de petróleo e gás natural estão cada vez mais se dirigindo em direção ao oceano profundo, e o conhecimento do padrão de circulação das correntes oceânicas é a base para a viabilização e redução de riscos das atividades realizadas por esta indústria. Dentre os impactos causados pelas correntes às estruturas, podemos destacar o deslocamento espacial de plataformas, dobramento estrutural e *stress* nos componentes das plataformas, ocorrência de ângulos excessivos dos *risers*, além de dificultar operações de mergulhadores ou ROVs (*Remotely Operated Vehicles*), instalação de dutos e ancoragem (CROUT, 2008). Portanto, é essencial o conhecimento do padrão de correntes da região e de sua variabilidade antes da instalação de qualquer estrutura.

A Corrente do Brasil (CB) é um jato relativamente intenso que flui acima da quebra de plataforma ao longo da costa brasileira, numa região onde é crescente o interesse da indústria petrolífera nas bacias brasileiras, ainda mais com a recente possibilidade de produção de óleo na camada do pré-sal. Sua variabilidade sazonal é conhecida e muito importante para a instalação e manutenção das estruturas de produção de óleo, porém sua variabilidade na escala interanual é pouco estudada. Alguns estudos (HAMEED *et al.*, 1993, ENFIELD *et al.*, 1997) mostram que a CB e o Giro Subtropical do

Atlântico Sul como um todo sofrem alterações consideráveis, como um deslocamento meridional do Giro como um todo, devido aos eventos de El Niño e La Niña, que juntos compõem o ENSO (El Niño Oscilação Sul).

Sendo considerada a mais forte variabilidade climática interanual no globo (PHILANDER, 1990 *apud* LATIF *et al.*, 2000), o ENSO consiste em uma oscilação anômala da temperatura da superfície do mar (TSM) no oceano Pacífico equatorial leste durante aproximadamente um ano. Este fenômeno está ligado a interações de larga escala entre o oceano e a atmosfera, e é intimamente relacionado às variações no regime de ventos equatoriais no Pacífico e nos demais oceanos através de teleconexões atmosféricas (DIJKSTRA, 2000).

O ENSO não é o único sistema de oscilação que influencia a variabilidade interanual do Atlântico Sul, e alguns autores, como VENEGAS *et al.* (1996), ainda mostram que este não é o mais forte no acoplamento oceano-atmosfera desta região. Oscilações de períodos quasi-bienais até multidecadais já foram identificados, e seu entendimento é importante para a previsão de quadros de possíveis alterações climáticas.

Partindo da hipótese de que o transporte de volume da CB pode ser influenciado pelo ENSO, o presente trabalho pretende identificar e quantificar, através de ferramentas estatísticas e uma extensa série temporal, a variabilidade interanual da dinâmica desta corrente associada aos eventos de El Niño e La Niña, conhecidos por alterarem o regime de ventos em escala global.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a variabilidade interanual de transporte de volume da Corrente do Brasil (CB), associando-a aos diferentes modos de oscilação climática regionais ou globais, com ênfase aos efeitos derivados do ENSO.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar os principais modos de variabilidade no transporte de volume da CB em termos de sua intensidade e frequência de oscilação;
2. Correlacionar a variabilidade do transporte de volume da CB com os eventos do ENSO.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL**

Uma vez a cada cerca de quatro anos uma condição climática anômala ocorre, na qual a temperatura da superfície do mar (TSM) no oceano Pacífico equatorial leste aumenta por alguns graus durante aproximadamente um ano. Este fenômeno é chamado de El Niño, nome dado referente ao menino Jesus, uma vez que seu máximo ocorre entre dezembro e janeiro, por volta do natal. Apesar de seu período médio ser de cerca de quatro anos, existe uma variabilidade considerável em suas ocorrências, sendo observados em intervalos de 2 a 7 anos (BROWN *et al.*, 2001).

Estes eventos não são restritos apenas a variações de TSM no Pacífico equatorial leste, mas estão ligados a interações de larga escala entre o oceano e a atmosfera, estando intimamente relacionados a variações no regime de ventos equatoriais. Em condições normais, os ventos alísios sopram de leste para oeste sobre o Pacífico equatorial, devido ao natural gradiente de pressão atmosférica entre o Pacífico leste (alta pressão) e oeste (baixa pressão), gerando uma inclinação da superfície do mar, o qual fica mais elevado na região oeste e menos elevado no leste. Associado a este sistema, é observada ressurgência na costa da América do Sul, responsável pela alta produtividade pesqueira da região, já que a água mais ao fundo, rica em nutrientes, sobe para preencher a água superficial que é deslocada em sentido offshore. No entanto, durante um evento de El Niño, a pressão no Pacífico leste se encontra abaixo do normal e no oeste acima, reduzindo ou até mesmo em casos extremos invertendo a direção dos alísios, diminuindo consideravelmente a ressurgência na costa peruana e chilena e a consequente produção pesqueira durante estes períodos, como ilustrado na Figura 1 (DIJKSTRA, 2000).

Medições de pressão atmosférica em ambas as bordas do oceano Pacífico foram historicamente realizadas em Taiti (Pacífico leste) e Darwin (Pacífico oeste), e as flu-

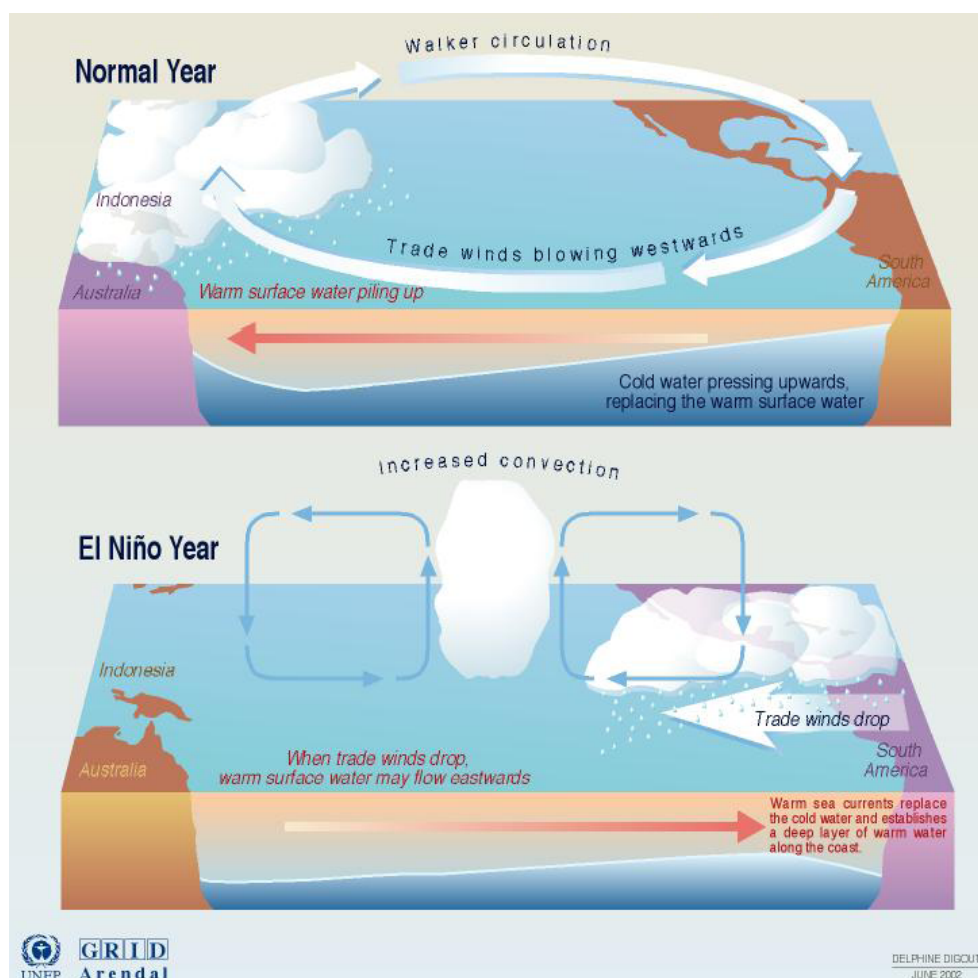


Figura 1: Efeitos do El Niño no Pacífico Equatorial: condição normal (acima) e durante El Niño (abaixo). Observar modificação nos ventos alísios, célula de Walker, TSM e profundidade da termoclina. Fonte: Climate Prediction Center-NCEP; NOAA.

tuações das diferenças entre estas duas são calculadas para se gerar o índice da oscilação sul (SOI *Southern Oscillation Index*) como uma forma de se identificar a componente atmosférica associada a eventos de El Niño ou La Niña (condição inversa ao El Niño, com fortalecimento dos alísios e esfriamento anômalo do Pacífico leste). Em relação à componente oceânica destes eventos, utiliza-se amplamente o índice ONI (*Oceanic Niño Index*) para identificação e previsão destes eventos. Este índice baseia-se na anomalia média de TSM em uma área específica do oceano Pacífico (Niño3.4 - Figura 2(c)) que sofre intensamente com a variabilidade dos ventos alísios, compreendida entre as longitudes de 170° e 120°O e latitudes 5°S e 5°N (DIJKSTRA, 2000). A Figura 2 mostra os índices ONI e SOI e sua correlação negativa, assim como as áreas para os cálculos dos diferentes índices de anomalia de TSM no Pacífico equatorial.

Visto que os sistemas atmosférico e oceânico estão intimamente conectados, o con-

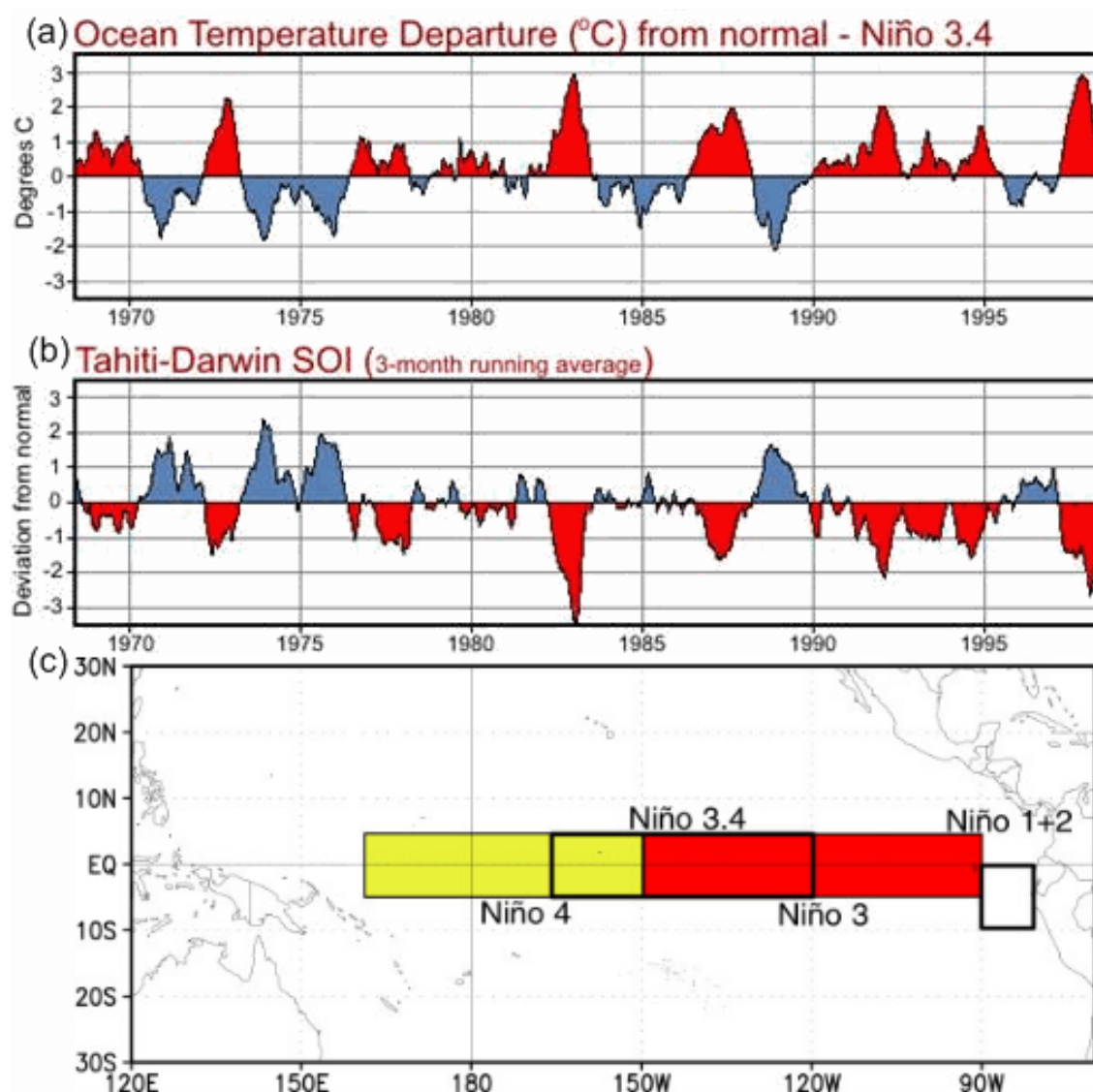


Figura 2: Séries temporais dos índices (a)ONI e (b)SOI (nota-se alta correlação negativa entre os dois). Em (c) apresentam-se as áreas para cálculo de anomalia de TSM para gerar os índices. Adaptado de CLIMATE WATCH (2011)

junto entre as oscilações interanuais de ambos no Pacífico equatorial é chamado de El Niño Oscilação Sul (ENSO - *El Niño Southern Oscillation*), e tal conectividade entre os sistemas é evidente uma vez que se observa a forte correlação negativa entre os dois índices supracitados. Valores baixos para o SOI e altos para o ONI estão associados a eventos quentes (El Niño), e valores altos para o SOI e baixos para o ONI a eventos frios (La Niña).

No Pacífico equatorial, é reconhecida uma célula de circulação atmosférica, descrita primeiramente por BJERKNES (CLARKE, 2008), relacionada às diferenças de temperatura superficial entre o Pacífico oeste e leste. Nesta circulação, ar frio e seco de altas altitudes descende sobre o oceano na borda leste do Pacífico de águas frias e



então se dirige a oeste, paralelo ao equador, até as águas quentes da borda oeste do Pacífico, onde aquece e ganha umidade. Logo, este ar ascende e move-se em direção leste, fechando o ciclo denominado de Circulação de Walker.

Dentro da Circulação de Walker, BJERKNES teorizou um mecanismo de retroalimentação entre o oceano e a atmosfera. Caso a circulação se intensifique, ventos alísios mais fortes ocorrem, provocando uma maior ressurgência na borda leste do Pacífico, aumentando a diferença de TSM entre a borda oeste e leste do Pacífico, intensificando ainda mais a Circulação de Walker. Caso contrário, ventos alísios mais fracos reduzem a ressurgência na costa da América do Sul, diminuindo a diferença de TSM entre as bordas do Pacífico, enfraquecendo a Circulação de Walker. Este mecanismo explica as tendências de intensificação ou redução da Circulação de Walker, porém o sistema que causaria alternâncias entre as tendências e uma explicação da oscilação climática deve levar em conta a propagação de ondas equatoriais (CLARKE, 2008).

Como resposta ao abrupto colapso dos ventos alísios no Pacífico oeste durante um El Niño, um aprofundamento da termoclina acompanhado de uma elevação sutil do nível do mar se deslocam em direção leste, na forma de um ou vários pulsos de ondas de Kelvin. As ondas de Kelvin possibilitam uma rápida propagação destes distúrbios pelo equador ou bordas dos continentes, onde se aprisionam, transmitindo-os a regiões distantes sem haver muita dispersão de energia no processo (BROWN *et al.*, 2001).

Devido à natureza de larga escala e alta intensidade dos eventos do ENSO, seus efeitos são observados globalmente. Dentre os parâmetros afetados, talvez o mais estudado seja a pluviosidade, onde se estabelecem fortes secas e inundações em regiões de todos os continentes decorrentes de eventos quentes ou frios e suas alterações nas teleconexões atmosféricas (Figura 3). Como exemplos, em eventos quentes se observam secas na Indonésia, Austrália e no Nordeste brasileiro, e chuvas acima do normal são registradas no Peru, Equador, ilhas do Pacífico central e leste, Uruguai, norte da Argentina e no Sul e Sudeste do Brasil (ARAGÃO, 1998). MOURA e SHUKLA (1981 *apud* HAMEED *et al.*, 1993) mostram que as intensas secas que ocorrem no Nordeste durante períodos de El Niño estão associadas a um aumento na diferença de TSM entre o Atlântico tropical norte (mais quente) e o Atlântico tropical sul (mais frio), e um deslocamento ao norte da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical). Outro autor (NICHOLSON, 1997) aponta a variabilidade interanual do regime de chuvas no continente africano como uma resposta às alterações nas TSMs dos oceanos Atlântico e Índico consequentes de eventos quentes e frios do ENSO.

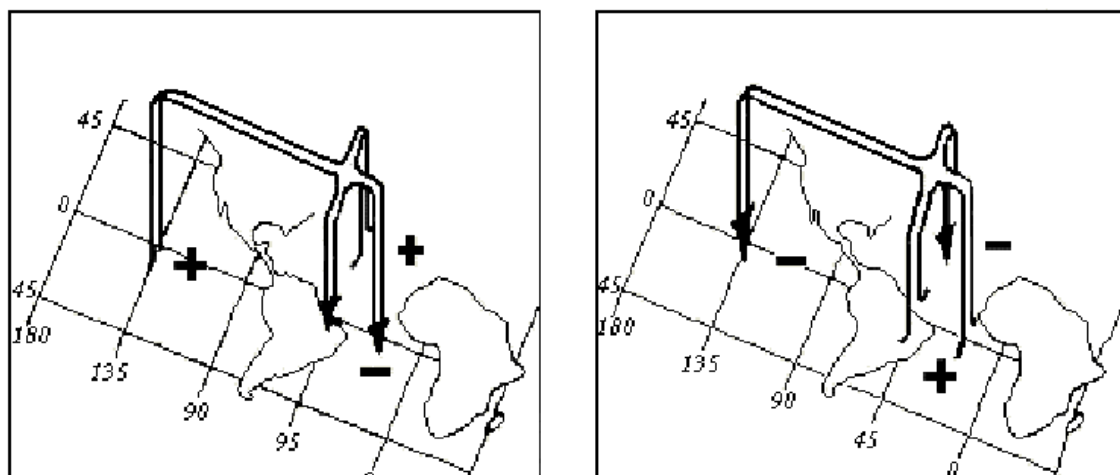


Figura 3: Alterações das teleconexões atmosféricas e das circulações de Hadley e Walker em eventos (a) quentes e (b) frios do ENSO. Sinais positivos ou negativos representam anomalias de TSM. Retirado de ARAGÃO *et al.* (1996 *apud* ARAGÃO 1998).

Até este ponto podemos perceber a grande conectividade entre a termodinâmica da camada superficial dos oceanos e o regime de ventos e pluviosidade. Em vista disto, muitos trabalhos foram realizados visando observar as variações de TSM em resposta aos eventos do ENSO. Para o Atlântico tropical, ENFIELD *et al.* (1997) demonstraram, através da análise de dados *in situ* de uma longa série temporal derivada do COADS (*Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*), que algumas regiões têm a TSM mais afetada pelos eventos do ENSO. Segundo estes autores, a área mais afetada se encontra no Atlântico tropical norte, à oeste de  $40^{\circ}\text{W}$  entre  $10^{\circ}\text{N}$  e  $20^{\circ}\text{N}$ . Até 80% da variabilidade anômala de TSM nesta região está associada ao ENSO, com *lag* (atraso) de 4 a 5 meses após o máximo de aquecimento no Pacífico. Uma análise dos campos de fluxo de superfície do mesmo banco de dados mostrou que esta variação ocorre devido ao enfraquecimento dos ventos alísios de NE na região, acarretando em uma redução na perda de calor latente, calor sensível e perda de calor por entranhamento. Em seguida a este aquecimento, os autores detectaram um fortalecimento dos alísios de SE no Atlântico tropical sul, que, além de descolar a ZCIT para norte, após alguns meses pode levar a uma anomalia negativa de TSM na costa da Angola e positiva ao longo da costa brasileira até em torno de  $30^{\circ}\text{S}$ .

Utilizando modelos globais acoplados, LATIF e BARNETT (1995, *apud* ENFIELD *et al.*, 1997) também encontraram anomalias positivas de ventos de leste sobre o oceano próximo ao Nordeste brasileiro em resposta a eventos quentes. Este achado é consistente com um sistema de teleconexão atmosférica, onde um aquecimento do Pacífico leste força uma intensificação de ventos de leste no Atlântico equatorial.

Por fim, tanto HAMEED *et al.*, 1993 como ENFIELD *et al.*, 1997 encontraram em seus resultados um fortalecimento geral do giro subtropical do Atlântico sul em resposta a eventos quentes do ENSO.

## 3.2 CORRENTE DO BRASIL

Nas bacias oceânicas, se identificam os giros subtropicais, que são conjuntos de correntes superficiais que fecham um ciclo que gira em sentido horário (anti-horário) no hemisfério norte (sul). O sentido de giro é resultado da interação do vento com a superfície do oceano ao longo de diferentes latitudes. Esta interação é a transferência de *momentum* da atmosfera para o oceano, resultando em um transporte de água com um desvio de 90 graus à esquerda do sentido do vento no hemisfério sul, conhecido como Transporte de Ekman (BROWN *et al.*, 2001).

Logo, uma vez que os ventos Alísios sopram de leste em baixas latitudes e os Westerlies sopram de oeste em latitudes médias, o Transporte de Ekman é tal que forma um giro, com uma tendência ao transporte de água para o centro deste giro, onde neste se observa subsidência de água, devido à convergência de massa (MCCLAIN *et al.*, 2002).

SVERDRUP (1947) sugeriu um modelo de circulação oceânica global baseado na interação entre a Força Gradiente de Pressão, Força de Coriolis e o *stress* do vento. Assim, devido à variação do rotacional do *stress* do vento entre as baixas e altas latitudes, foi possível identificar os giros oceânicos através desta relação geostrófica, bem condizentes com a circulação existente nos oceanos.

Dentre as correntes marinhas que formam os giros subtropicais, destacam-se as correntes de contorno oeste (CCO), que fecham estes giros em sua borda oeste. Estas são diferenciadas por apresentar fluxos intensos, estreitos e bem definidos, fluindo ao largo de margens continentais, tendendo a seguir por cima da quebra de plataforma e início do talude (SILVEIRA *et al.*, 2000). A intensificação destas correntes é resultado simplesmente da variação do efeito de rotação da Terra com a variação da latitude, proporcionando esta assimetria entre as correntes da borda oeste e leste dentro das bacias oceânicas. STOMMEL (1948) foi o primeiro a demonstrar este fenômeno em seu modelo de circulação oceânica dirigida pelo vento, o qual partiu do modelo de SVERDRUP (1947), passando a considerar o efeito de rotação do planeta variando com a latitude em suas equações de movimento.

A Corrente do Brasil (CB) é a CCO que fecha o giro subtropical do Atlântico sul (Figura 4), fluindo ao longo da costa brasileira de nordeste a sudoeste. Como em qualquer corrente de superfície, suas propriedades dinâmicas, como sua velocidade máxima e transporte de volume, estão diretamente ligadas ao regime de ventos no Atlântico Sul. Uma vez que este regime apresenta variações anuais e interanuais consideráveis, é de se esperar, como consequência, variações de mesmas frequências na própria corrente.

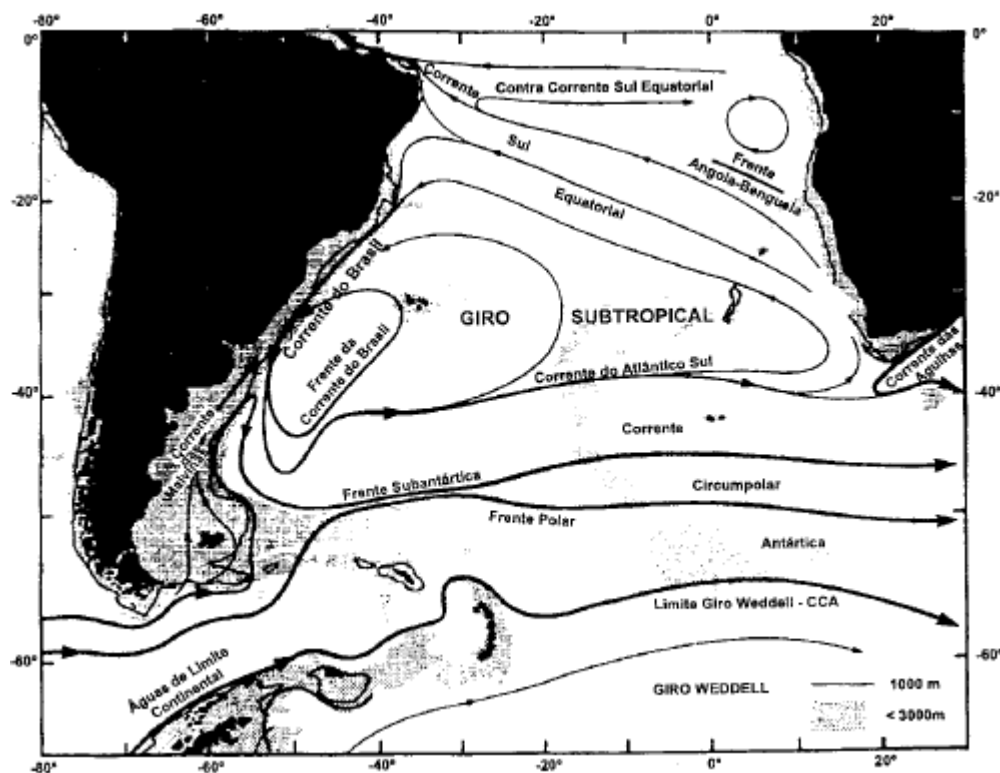


Figura 4: Giro Subtropical do Atlântico Sul. Modificado de PETERSON e STRAMMA (1991)

A formação da CB se dá a partir da porção sul da Corrente Sul Equatorial (CSE), que ao chegar próximo à costa leste da América do Sul, bifurca-se em torno de 10° S, formando uma parcela da Corrente Norte do Brasil, que flui para noroeste, e a CB, que se move ao largo da costa leste brasileira até 33 a 38° S, onde se encontra com a Corrente das Malvinas e desprende-se da costa dando origem à Corrente do Atlântico Sul (STRAMMA, 1991; SILVEIRA *et al.*, 1994 *apud* SILVEIRA *et al.*, 2000).

De acordo com SILVEIRA (2007), dentro da bacia oceânica do Atlântico Sul identificam-se as massas d'água: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), e a Água Circumpolar Inferior (ACI). Discute-se, dentre estas massas d'água, quais são transportadas pela CB ao longo da costa brasileira.

Nas latitudes baixas, próximas à formação da CB, esta possui uma extensão vertical pequena, transportando apenas AT em direção sul com profundidades inferiores a 200m. À medida que flui para sul, uma maior porção da coluna superficial da água é transportada junto à corrente. A partir de aproximadamente 20° S, a ACAS se incorpora ao transporte sul, vinda da bifurcação da CSE de profundidade picnoclínica, aumentando a espessura da CB a até cerca de 500-600 m. Ao sul de 25° S, com a bifurcação da CSE de profundidade intermediária, a AIA passa a fluir para sul. Como a APAN também flui nesta direção, se a CB for considerada o conjunto de massas d'água que se deslocam para sul na borda oeste do Atlântico Sul, ao sul deste ponto ela apresenta espessura de até 3000m (SILVEIRA, 2000).

A CB apresenta valores típicos de transporte de volume em torno de 4-10 Sv (1 Sv =  $10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) (SILVEIRA, 2007) crescendo em direção às altas latitudes devido à incorporação das massas d'água em seu fluxo. É considerada uma CCO relativamente fraca, se comparada com suas primas, a Corrente do Golfo e a Corrente de Kuroshio. STOMMEL (1965) tentou explicar tal característica a partir da proposição de que este baixo transporte seria resultado das interações entre as parcelas de transporte baroclínico (termohalina) e barotrópico (gerada pelo vento), que, diferentemente das correntes do Golfo e de Kuroshio, estas parcelas estariam em sentidos opostos, conforme mostra a Figura 5.

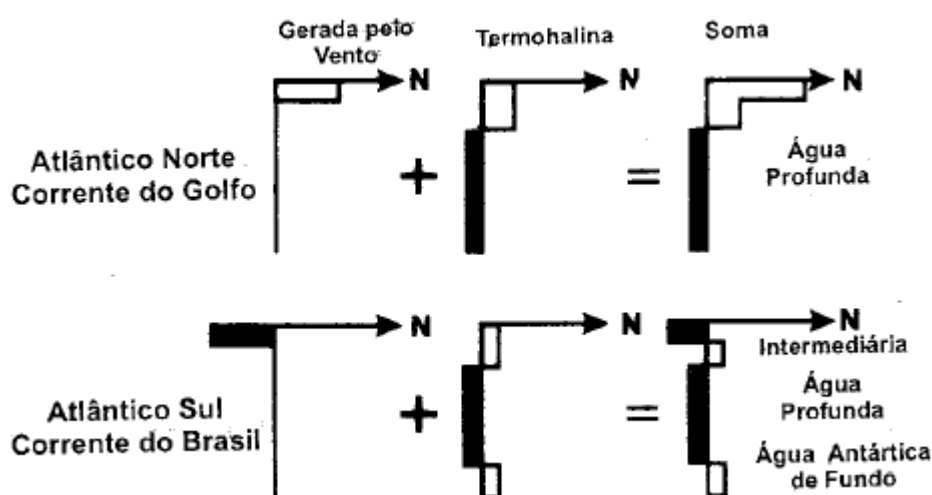


Figura 5: Hipótese de Stommel quanto à diferença de transporte de volume das correntes do Brasil e do Golfo. Fonte: STOMMEL, 1965 (apud SILVEIRA *et al*, 2000).

Poucas foram as estimativas para o valor absoluto de transporte de volume da CB ao longo da costa brasileira, e algumas destas foram organizadas por CIRANO *et al.* (2006) para a região de enfoque neste estudo, mostradas na Tabela 1. Muitos dos

Tabela 1: Estimativas de diversos autores para os valores de transporte de volume da CB. Organizado por CIRANO *et al.* (2006).

Latitude (S)	Profundidade de Referência (m)	Transporte de Volume (Sv)	Referência Bibliográfica
9°-13°	390-510	4,1	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
15°	470-530	6,0	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
19°	500	6,5	MIRANDA & CASTRO (1981)
19°	500	5,3	EVANS <i>et al.</i> (1983)
19°25'	470-640	5,7	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
20°03'	590-630	1,6	STRAMMA <i>et al.</i> (1990)
20°28'	500/1000	3,8/6,8	EVANS <i>et al.</i> (1983)
21°40'	500	4,4	EVANS <i>et al.</i> (1983)
22°	500-1300	5,2	SIGNORINI (1978)
23°	500-1300	4,4	SIGNORINI (1978)
23°	500	2,2/2,7	MIRANDA & CASTRO (1979)
23°	Pegasus	11	EVANS & SIGNORINI (1985)
23°	Pegasus	6	GARFIELD (1990)
23°	Pegasus	5,4	SILVEIRA <i>et al.</i> (2004)
23°	600/1300	10,1/10,9	STRAMMA (1989)
23°30'	500-1300	8,0	SIGNORINI (1978)
24°	1300	7,5	FISHER (1964)
24°	500-1300	14	SIGNORINI (1978)
24°	500/1000	4,1/7,8	EVANS <i>et al.</i> (1983)
24°	600/1300	9,4/10,1	STRAMMA (1989)
24°30'	500-1300	13,2	SIGNORINI (1978)
25°	750	7,3	CAMPOS <i>et al.</i> (1995)
28°-30°	1550-1660	11,4	FISHER (1964)
31°	Pegasus	18	GARFIELD (1990)

autores utilizaram profundidade de referência entre 500 e 600 metros para a estimativa do transporte de volume da CB nesta região. No entanto, para as latitudes de 23° e 24° S, já começa-se a considerar níveis de referência a 1300 metros devido à adição da AIA ao transporte sul.

### 3.3 VARIABILIDADE METEOCEANOGRÁFICA DO ATLÂNTICO SUL

O Oceano Atlântico é, sem dúvida, a bacia oceânica mais estudada no mundo, consequência do grande investimento dado aos cientistas da América do Norte e Europa para estudar suas características e variabilidade. No entanto, existe grande diferença entre o conhecimento do Atlântico Norte e do Sul, este último sendo considerado menos subsidiado aos esforços acadêmicos, de forma geral, pelos tomadores de decisões. Apesar disso, conhecem-se satisfatoriamente os padrões de maior escala dos ventos e correntes (principalmente as superficiais) no Atlântico Sul. O entendimento destas componentes é essencial no estudo e na previsão climática. A seguir é dada uma revisão sobre o regime de ventos e de correntes neste oceano.

Segundo TOMCZACK (2001), os ventos no Atlântico Sul apresentam baixa variabilidade sazonal se comparados com o Atlântico Norte devido à menor quantidade de área continental no Sul. Ainda assim, este autor ressalta que nos dois hemisférios deste oceano existe uma sazonalidade nos ventos alísios, onde os alísios de NE se apresentam mais fortes durante o inverno boreal, e os alísios de SE são mais fortes durante o inverno austral.

Já PETERSON e STRAMMA (1991) apontam um deslocamento sazonal de até 5° de latitude da linha de rotacional do stress do vento zero no Atlântico subtropical devido a uma movimentação ao norte do sistema de altas pressões durante o inverno austral. Juntamente é conhecida a variabilidade da latitude do ponto de separação da CB da costa na Confluência Brasil-Malvinas, entre 33°S (inverno) e 38°S (verão), e da posição da Corrente Sul Equatorial ao atingir a costa brasileira (mais ao norte no verão e mais ao sul no inverno).

Na escala interanual, VENEGAS *et al.* (1996) apontam os principais sistemas de oscilação do clima no Atlântico Sul. Eles identificaram, como o principal modo de variabilidade no acoplamento oceano-atmosfera, uma oscilação no período de 14 a 16 anos de fortalecimento/enfraquecimento do Giro Subtropical do Atlântico Sul, associada a uma variabilidade global de TSM e pressão atmosférica no nível do mar. O segundo modo identificado por eles, de período de 6 a 7 anos, corresponde a uma movimentação zonal do centro do Giro em resposta a variações de TSM no Atlântico Equatorial Leste. O terceiro modo, de período aproximado de 4 anos, representa a oscilação em resposta ao ENSO, associada a deslocamentos meridionais do Giro.

Latif *et al.* (2000) mostram também um sistema semelhante ao ENSO, ocorrente no Atlântico Equatorial. Segundo eles, 20% da variância total da variabilidade de TSM desta região está associada à este fenômeno, que chamam de Oscilação do Atlântico Equatorial (*Equatorial Atlantic Oscillation*), que apresenta período centrado em uma escala quasi-bienal, de aproximadamente 30 meses.

Cada um destes sistemas de oscilação contribui na variabilidade total de TSM, pressão atmosférica, ventos, e conseqüentemente nas correntes superficiais do Giro Subtropical do Atlântico Sul, e conhecer separadamente como se dá o funcionamento de cada uma delas é necessário para se prever o comportamento da CB ou qualquer outra feição superficial do Atlântico Sul.



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 OBTENÇÃO DE DADOS

Uma vez que os eventos de variação climática associados à ENSO ocorrem tipicamente em períodos de 2 a 7 anos, qualquer estudo que deseje identificar suas características e/ou consequências deverá se dispor de uma extensa série temporal de amostragens para representar de maneira satisfatória tais fenômenos. Realizar estas amostragens *in situ* exige grande investimento de tempo e dinheiro, e dependendo das condições de amostragens passadas, como por exemplo uma ausência de uma série completa o suficiente, esta ferramenta deve ser complementada de outras formas.

Por estes motivos, cada vez mais se utiliza a ferramenta de modelagem numérica como uma forma de baixo custo para a obtenção de estimativas de parâmetros físicos, principalmente, dos oceanos. O desafio na modelagem numérica oceânica é conseguir representar de maneira ideal, através de equações governantes e dados de entrada, a variabilidade dos parâmetros conservativos e dinâmicos do oceano real em resposta à sua interação com a atmosfera, continentes e a radiação solar.

Com o modelo preparado, é possível realizar experimentos de previsões futuras do comportamento dos oceanos (*forecasts*) ou de simulações pretéritas (*hindcasts*). A importância de se realizar *hindcasts* pode ser resumida no aprendizado do funcionamento de fenômenos que ocorrem no sistema oceano-atmosfera, para com isso, poder realizar *forecasts* mais precisos. A vantagem para a qualidade dos experimentos de *hindcast* é a possibilidade de utilizar dados observados *in situ* para um direcionamento do modelo, através de algoritmos de assimilação.

### 4.1.1 O Modelo SODA

O modelo numérico utilizado para obtenção de dados neste trabalho é o modelo de assimilação SODA (*Simple Ocean Data Assimilation*), desenvolvido e atualmente gerenciado por grupos de pesquisadores da Texas AM University e University of Maryland (SODA, 2011). Este modelo é utilizado na literatura como ferramenta para descrever fenômenos oceânicos ou atmosféricos de larga escala associados ao ENSO, como no caso de BRACCO *et al.* (2006), que buscam relacionar a variabilidade interanual das monções asiáticas com o ENSO, ou até mesmo simplesmente por identificar a variabilidade do El Niño em épocas das quais se têm poucos registros, como em GIESE *et al.* (2011), onde os autores descrevem a evolução das características do El Niño durante um longo período (1871-2008).

O modelo SODA combina a implementação do modelo oceânico POP (*Parallel Ocean Program*) com um método de assimilação sequencial de dados, descrito em CARTON *et al.* (2005). A versão utilizada neste trabalho é a SODA 2.1.6, um dos mais recentes experimentos que engloba uma série temporal satisfatoriamente longa (1958-2008), cujos dados de saída estão disponíveis por um servidor OpenDAP ou via FTP no site oficial do SODA (<http://soda.tamu.edu>) em médias mensais globais para o mesmo período supracitado. Nesta versão, os pontos da grade estão uniformemente distribuídos em uma resolução de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ \times 40$ -níveis. Este experimento é forçado com resultados de stress do vento provenientes do ERA-40 para o período de 1958-2001 e do ERA-interim de 2002-2008. Para a assimilação, utilizam-se todos os dados disponíveis de estações hidrográficas, XBTs e boias. As observações hidrográficas provêm do WOD09 (*World Ocean Database 2009*), realizando as devidas correções para o *fall-rate error* (CZESCHEL *et al.*, 2010).

Toda a série de dados foi então obtida via FTP em médias mensais, totalizando 612 arquivos NetCDF (*Network Common Data Form*), um formato flexível de arquivo binário designado para armazenar vetores de dados científicos, com metadados para a descrição das variáveis, dimensões e unidades (CAM, 2011). Cada arquivo contendo as variáveis 3D: temperatura ( $^\circ\text{C}$ ), salinidade (g/kg), velocidade zonal (m/s) e velocidade meridional (m/s); e as variáveis 2D: *stress* do vento zonal ( $\text{N/m}^2$ ), *stress* do vento meridional ( $\text{N/m}^2$ ) e altura do nível do mar *ssh* (m).

## 4.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para a maior parte do processamento e visualização dos dados, foram utilizados os programas computacionais Matlab 7.8.0 e Ferret v6.51. O Matlab é um ambiente de computação técnica integrada que combina computação numérica, gráficos e visualização avançados, e uma linguagem de programação de alto nível (MATHWORKS, 2011). Já o Ferret consiste em um ambiente computacional interativo de visualização e análise designado para atender as necessidades de oceanógrafos e meteorologistas ao analisar grandes e complexos bancos de dados em grades (FERRET, 2011).

Como o modelo SODA não disponibiliza valores de transporte de volume em seus dados de saída e uma vez que este parâmetro é essencial no entendimento das correntes oceânicas, criou-se uma função que o calcula a partir de um transecto zonal de velocidades obedecendo à equação simples de transporte de volume:

$$Q = \sum V \times A$$

Onde  $Q$  é o transporte de volume, em  $\text{m}^3/\text{s}$ , para um fluido que se movimenta à velocidade de  $V$ , em  $\text{m}/\text{s}$ , em uma seção de área  $A$ , em  $\text{m}^2$ .

Uma vez que o modelo fornece resultados de velocidade em pontos discretos, foi necessário atribuir uma área perpendicular à velocidade a cada ponto, onde nesta o fluido estaria se movimentando como um todo à mesma velocidade de seu ponto representante. A Figura 6, abaixo, representa esquematicamente a solução encontrada para se estimar esta área, baseada nas distâncias horizontais e verticais entre os pontos.

A distância horizontal  $C$  entre os pontos de um mesmo transecto é constante, já que a grade do modelo está espaçada longitudinalmente de  $0,5^\circ$  em  $0,5^\circ$ , e esta é obtida em metros através da função *dist.m*, disponível online pelo Instituto Oceanográfico Woods Hole, que calcula a distância entre dois pontos da superfície da Terra, dadas as latitudes e longitudes iniciais e finais (SEA-MAT, 2011).

Por outro lado, a distância vertical entre os pontos da grade do modelo não é uniforme, aumentando à medida que as camadas se aprofundam, até pela própria necessidade de uma maior resolução das camadas superficiais. Para tratar da distância vertical, vamos considerar a seguinte nomenclatura:  $D_i$  é a profundidade da camada onde se encontra o ponto em questão,  $D_{i-1}$  é a profundidade da camada acima e  $D_{i+1}$  da

camada abaixo.

Logo, a área atribuída ao ponto, representada em vermelho na Figura 6, será a área do retângulo cujo lado horizontal é igual a  $C$  e o lado vertical é uma combinação das diferenças entre as profundidades  $D_i$  e  $D_{i-1}$ , e  $D_i$  e  $D_{i+1}$ , como se observa na fórmula abaixo:

$$A = C \times \left( \frac{D_i - D_{i-1}}{2} + \frac{D_{i+1} - D_i}{2} \right)$$

Para a primeira e última camada, o tratamento teve de ser diferenciado, uma vez que não existem camadas superiores e inferiores a estas, respectivamente.

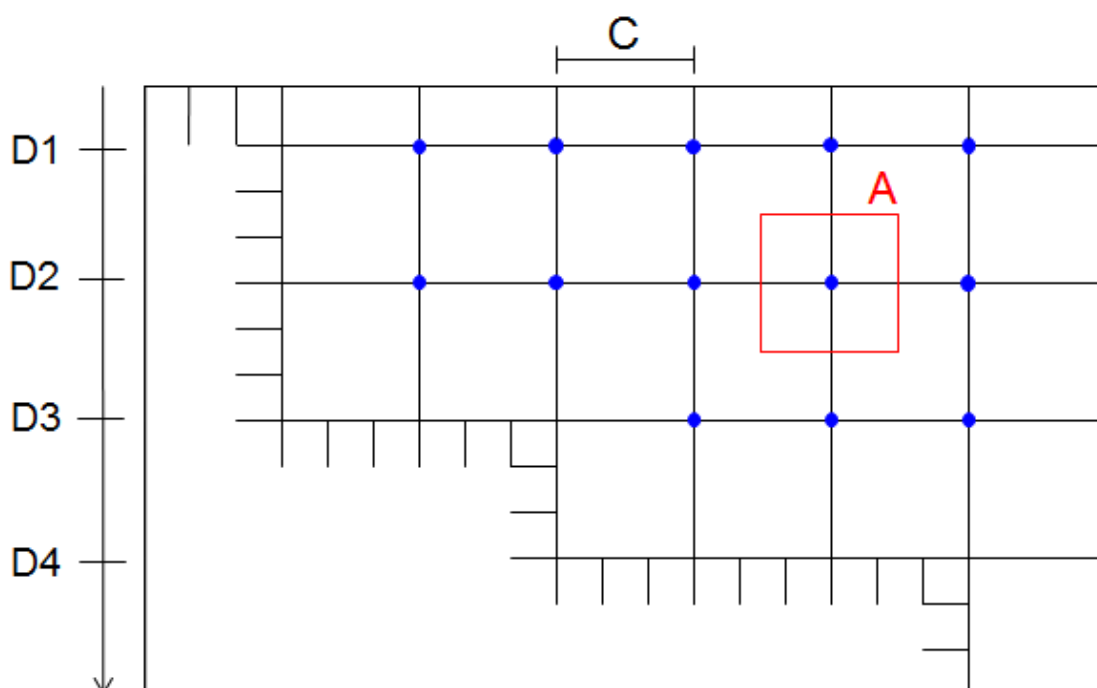


Figura 6: Representação esquemática da solução encontrada para a estimativa do transporte de volume pela CB. Os pontos em azul representam os pontos da grade de um perfil vertical dos dados de velocidade,  $C$  é a distância longitudinal entre dois pontos, e o eixo à esquerda mostra valores de profundidade  $D_i$  ( $D1$  a  $D4$ ). O retângulo em vermelho  $A$  representa a área para o cálculo de transporte.

Desta forma, foi possível estimar o transporte de volume associado a CB em um transecto genérico como sendo o somatório dos transportes de cada área-ponto cuja velocidade meridional fosse inferior a  $-0,02$  m/s, e que estivesse em uma profundidade acima de uma profundidade limite estipulada, caracterizando o fluxo da CB.

Para observar se o modelo representava minimamente a realidade dos eventos do ENSO, realizou-se uma etapa de validação. Como visto na seção anterior, os índices são ótimas ferramentas para identificação dos eventos, e consistem em representações da oscilação do ENSO em números. Portanto, a validação consistiu na comparação do índice ONI (Figura 2(c)) gerado a partir deste resultado do modelo SODA,

com o mesmo índice, gerado pelo NOAA, a partir de dados *in situ*, disponível em seu website (CLIMATE WATCH, 2011). A comparação foi feita buscando definir a similaridade entre os dois índices, através de sobreposição de gráficos e determinação do erro médio quadrático entre eles, disponíveis na próxima seção.

Para a análise da variabilidade de transporte, escolheu-se três transectos em diferentes porções da CB. O primeiro transecto ao Norte, em 16,25°S, próximo à região de formação da CB. Um central, na latitude de 21,75°S, próximo ao Cabo de São Tomé, RJ, por ser uma região onde a CB já se encontra bem organizada e por ser uma área que possui grande estudo desta corrente para efeitos de comparação de resultados. E um ao Sul, em 29,75°S, próximo à confluência Brasil-Malvinas.

A extensão longitudinal dos transectos foi determinada de forma a conseguir englobar, para qualquer período, todo o jato que representa a CB, estimada através da análise dos campos superficiais de velocidade meridional e perfis verticais de todos os meses e anos de dados. Já a extensão vertical da CB em cada transecto foi determinada através de perfis verticais de velocidade meridional e embasamento em bibliografia.

A análise da variabilidade de transporte de volume consiste em duas etapas principais: primeiro a realização de uma FFT (*Fast Fourier Transform*) em toda a série temporal dos transectos, com o intuito de se identificar as frequências que apresentam maior amplitude dentro do espectro de variância do transporte, comparando-as com a frequência de ocorrência de eventos do ENSO; e segundo a aplicação de correlação cruzada entre a série temporal e índices que representem os eventos do ENSO, como o SOI (*Southern Oscillation Index*) e o ONI (*Oceanic Niño Index*), com o objetivo de se obter a correlação da variabilidade interanual de transporte de volume com estes eventos, e seu respectivo atraso (*lag*).

Para a realização correta de uma FFT, necessita-se remover da série temporal sua média e tendência, ou caso contrário ocorre a distorção das baixas frequências (EMERY *et al.*, 2001). No caso em questão, deve-se remover a tendência e a média climatológica mensal da série, uma vez que ao longo do ano existe a diferenciação nas estações do ano dos diversos parâmetros que influenciam o transporte de volume.

O índice a ser correlacionado com a série temporal será aquele criado a partir dos próprios dados do modelo SODA, para que desta forma compare-se como a CB no modelo é alterada frente a fenômenos do próprio modelo que representam os fenômenos do ENSO. Caso se utilize o índice criado a partir de dados *in situ*, a correlação pode apresentar valores incorretos, uma vez que o modelo não necessariamente re-

presenta os fenômenos perfeitamente.

O conjunto das etapas da metodologia deste trabalho foi compilado em um fluxograma, a seguir.

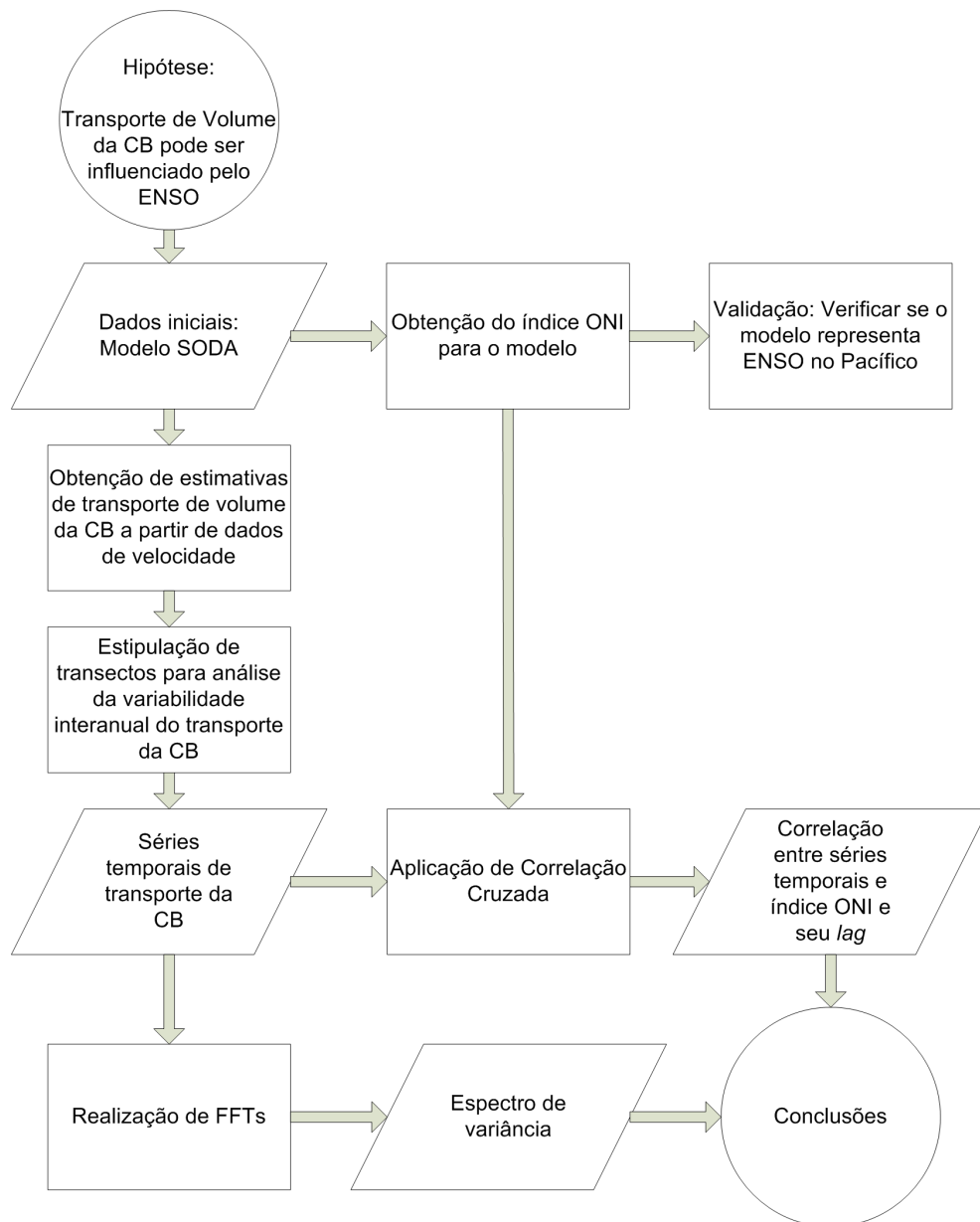


Figura 7: Fluxograma representando as etapas metodológicas deste trabalho.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho foram divididos em 4 subseções. Primeiramente será mostrada e discutida a etapa de validação. Em seguida, todo o processo de construção das séries temporais de transporte de volume da CB. Na terceira subseção estão os resultados da aplicação de FFT. E por fim, na última estão os resultados das Correlações Cruzadas.

### 5.1 VALIDAÇÃO

Para a etapa de validação, foi gerado o índice ONI para o modelo SODA, ou seja, a série temporal de médias de anomalias de temperatura da superfície do mar na região NINO3.4 (entre as longitudes de 170° e 120°O e latitudes 5°S e 5°N) para o período de 1958-2008. Comparou-se este índice (ONI SODA) ao índice gerado pelo centro de previsão do clima do NOAA (ONI NOAA) no mesmo período. A sobreposição dos gráficos pode ser observado na Figura 8.

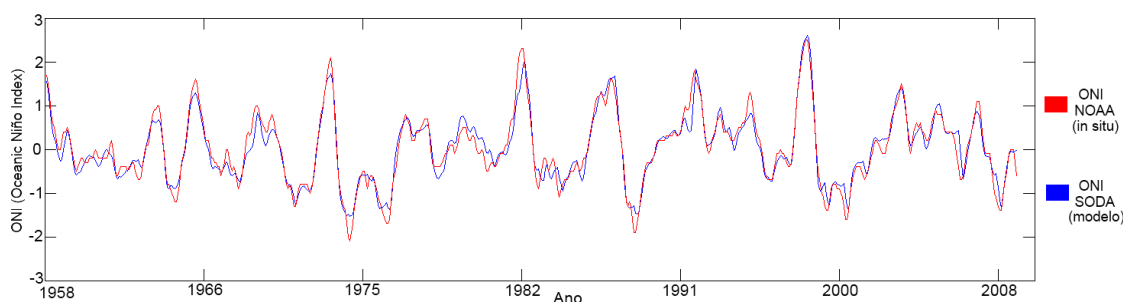


Figura 8: Comparação entre os índices ONI do modelo (ONI SODA - em azul) e gerado a partir de dados *in situ* (ONI NOAA - em vermelho).

Visivelmente o índice gerado com os dados do modelo está muito semelhante ao gerado pelo NOAA. Ainda assim, realizou-se o cálculo da correlação e erro médio quadrático entre as duas séries, obtendo 0,9650 para a correlação e 0,0231 para o erro médio quadrático, indicando uma alta similaridade entre ambas. Este resultado mos-

tra que o modelo representa adequadamente o ENSO no Pacífico Equatorial, resta investigar a influência deste fenômeno no Atlântico Sul e na CB.

## 5.2 TRANSPORTE DE VOLUME

Como especificado na seção 4, foram definidos três transectos ao longo da costa brasileira onde foi analisado o transporte de volume da CB e sua variabilidade interanual. Um transecto Norte (16,25°S), um Central (21,75°S) e um Sul (29,75°S).

A extensão longitudinal dos transectos foi estabelecida de forma a englobar sempre o jato da CB. Para o transecto Norte, necessitou-se determinar 9° de longitude a partir da costa, uma vez que nesta região a CB apresenta-se pouco organizada, mostrando grande variação interanual na latitude de bifurcação da Corrente Sul Equatorial e disposição espacial da corrente. Já para o transecto Central, o valor de 4,5° de longitude a partir da linha de costa se mostrou suficiente. No transecto Sul, determinou-se 7° de longitude, onde a CB já se mostrou mais alargada e começando a sofrer influências da confluência Brasil-Malvinas.

A determinação das profundidades limite para consideração de transporte pela CB nos transectos foi feita baseada em CIRANO *et al.* (2006). Estes autores descreveram tentativas de diversos autores de estimar o transporte da corrente em diferentes latitudes, destacando as profundidades de referência delas, levando em conta a movimentação das massas d'água do Atlântico Sul.

Assim, com base nestes trabalhos, foi estipulado o valor de 200 metros para a profundidade limite no transecto Norte, visto que a CB está confinada apenas à movimentação de Água Tropical (AT). Para o transecto Central, selecionou-se 600 metros como sendo representativo, uma vez que a partir de cerca de 20°S, Água Central do Atlântico Sul (ACAS) é incorporada ao transporte sul. Por fim, para o transecto Sul utilizou-se o valor de 1000 metros, já que em maiores latitudes a ACAS ocupa maiores profundidades, além de que a partir de cerca de 25°S Água Intermediária Antártica é também incorporada ao fluxo sul.

Calculou-se então o transporte de volume da CB para os três transectos para o período de 1958-2008, gerando assim três séries temporais (Figura 9) com valores de transporte médio mensal durante este período, totalizando 612 pontos em cada série.

O transecto Norte apresentou valor médio de transporte de volume de 3,19 Sv, com



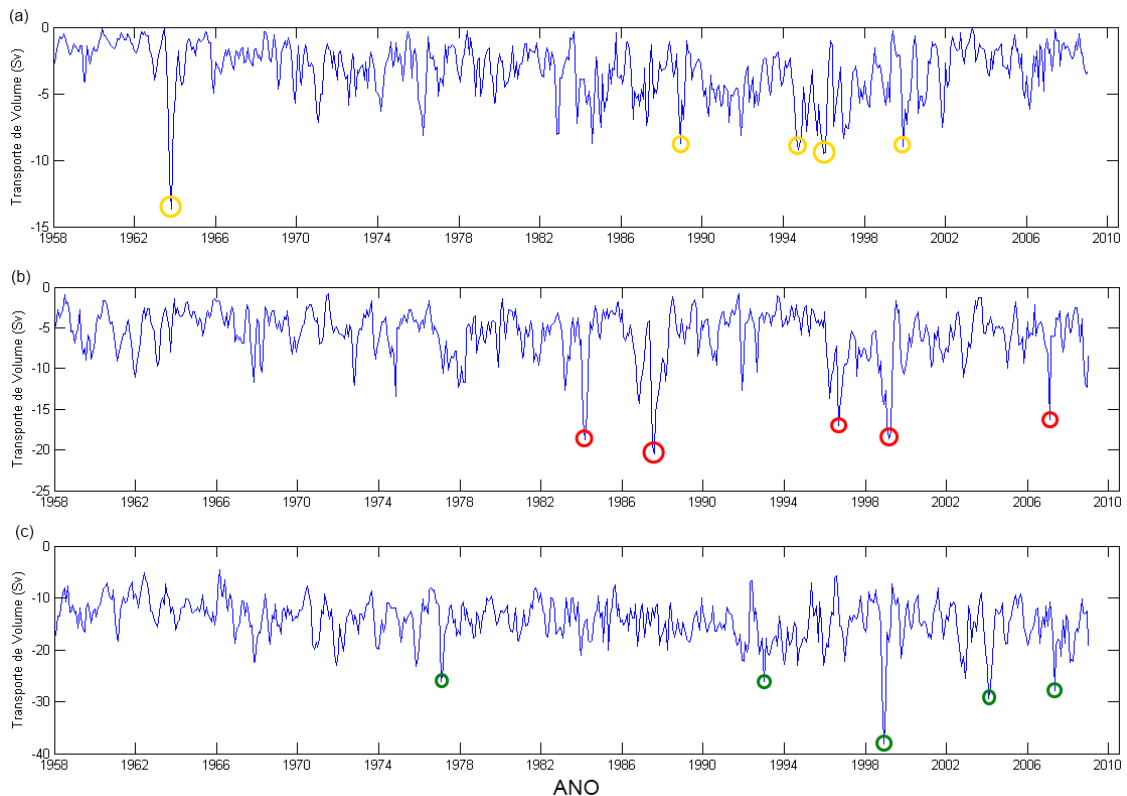


Figura 9: Séries Temporais de Transporte de Volume geradas para os transectos: (a) Norte, (b) Central e (c) Sul. Circulados em colorido estão os 5 maiores picos de transporte para cada transecto. Valores negativos representam transporte no sentido Sul.

mínimo valor de 0,06 Sv e máximo de 13,69 Sv. O Central apresentou média em 5,77 Sv, mínimo em 0,79 Sv e máximo em 20,52 Sv. Já o Sul apresentou média em 14,30 Sv, mínimo em 4,52 Sv e máximo em 38,20 Sv. Este incremento de transporte em direção sul está de acordo com o conhecido sobre as correntes de contorno oeste, que aumentam seu fluxo devido às células de recirculação, incorporação de massas d'água e consequente aumento da profundidade limite.

Nota-se a presença de picos extremos de transporte de volume nos três transectos. Não é esperado que a variabilidade interanual seja responsável por tamanha variação em um sistema desfavorável a rápidas modificações, como é o oceano e o fluxo de suas correntes. Portanto, não podemos desconsiderar a possibilidade do modelo apresentar erros, ou estar exagerando as modificações causadas pelo ENSO ou qualquer outro sistema de oscilação. No entanto, estes picos podem estar relacionados a uma combinação de vários processos coincidentes, onde cada um estaria contribuindo separadamente para o aumento do transporte, como em interferências construtivas de ondas.

Assim, percebe-se, de forma geral, uma grande variabilidade no transporte de volume

desta corrente, que pode ser vista analisando os valores de mínimos e máximos. O valor muito baixo para o mínimo no Norte provavelmente está relacionado a um posicionamento anormalmente ao sul da Bifurcação da Corrente Sul Equatorial, onde assim a CB ainda estaria se formando nesta latitude.

Uma relação direta entre os picos de máximo transporte (destacados na Figura 9) e eventos do ENSO pode ser visualizada na Figura 10, a seguir.

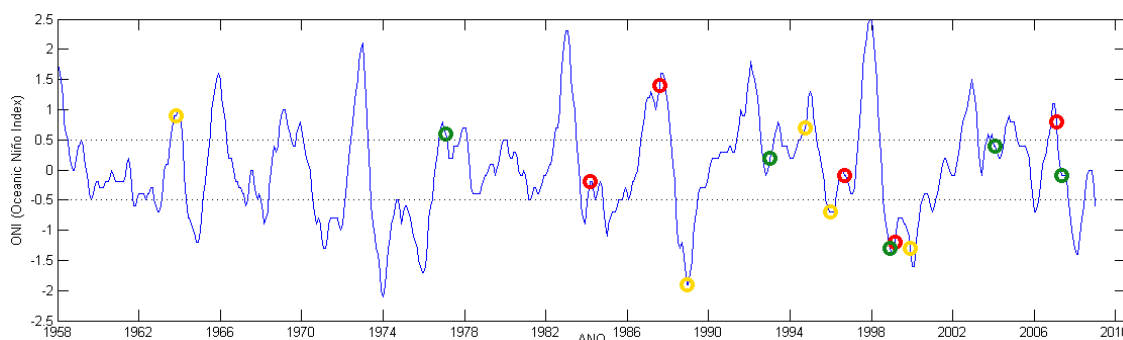


Figura 10: Relação direta entre os picos de transporte de volume e ONI. Em colorido estão destacados os valores do ONI para as datas de máximo transporte em cada transecto: Norte (amarelo), Central (vermelho) e Sul (Verde).

Como descrito na seção 3.1, o índice ONI é uma forma de se identificar, mensurar e prever eventos do ENSO, através da análise na anomalia média de temperatura no Pacífico Equatorial Central. Episódios quentes ou frios do ENSO são identificados por um valor de mais ou menos  $0,5^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, de anomalia de temperatura nesta área (CLIMATE WATCH, 2011).

A partir da Figura 10, podemos destacar que 5 picos encontram-se acima da linha de  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , outros 5 picos estão entre  $+0,5^{\circ}\text{C}$  e  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , e 5 estão abaixo de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Esta distribuição mostra que não existe uma relação instantânea entre os picos de transporte ao longo da CB e a fase atual do ciclo do ENSO, descrito pelo ONI. Mas se olharmos com cautela, podemos perceber algumas situações onde, logo após eventos fortes do ENSO, aparecem os picos, como por exemplo após os eventos de 1983 e 1998.

Ainda, é importante notar que todos os 5 picos do transecto Norte (amarelo) estão localizados acima de  $0,5^{\circ}\text{C}$  ou abaixo de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Isto sugere que tanto os eventos quentes e frios estariam contribuindo para o aumento de transporte nesta localização da CB, ou que a defasagem entre a ocorrência de um evento quente e a representação deste sinal no transporte pode ser grande, o que aparenta ser mais plausível observando a baixa relação para os picos dos transectos Central e Sul. Outra característica

que se destaca é que não existe uma relação direta entre a intensidade do índice ONI e o transporte da CB.

Existem outros índices para se identificar eventos do ENSO a partir da anomalia de TSM, e estes apresentam algumas diferenças entre si, devido à existência de tipos diferentes de eventos do ENSO, tais como os eventos de *Warm Pool* (WP) e *Cold Tongue* (CT). Segundo KIM *et al.* (2011), os eventos de WP estão relacionados a anomalias de TSM mais intensas na região conhecida como piscina quente, no Pacífico Oeste. Já os eventos de CT, segundo os mesmos autores, são ligados a anomalias maiores na área da língua fria, próximo à América do Sul.

Logo, é interessante investigar se a variabilidade de transporte de volume da CB está mais relacionada a algum destes diferentes tipos de ENSO. Para conseguir tal relação, basta compararmos a variabilidade de transporte a outros índices, gerados em outras regiões do Pacífico Equatorial, tais como as regiões Niño1+2, Niño3 e Niño4 (Figura 2 (c)).

A relação direta entre os picos de máximo transporte e eventos do ENSO utilizando-se outros índices pode ser visualizada na Figura 11.

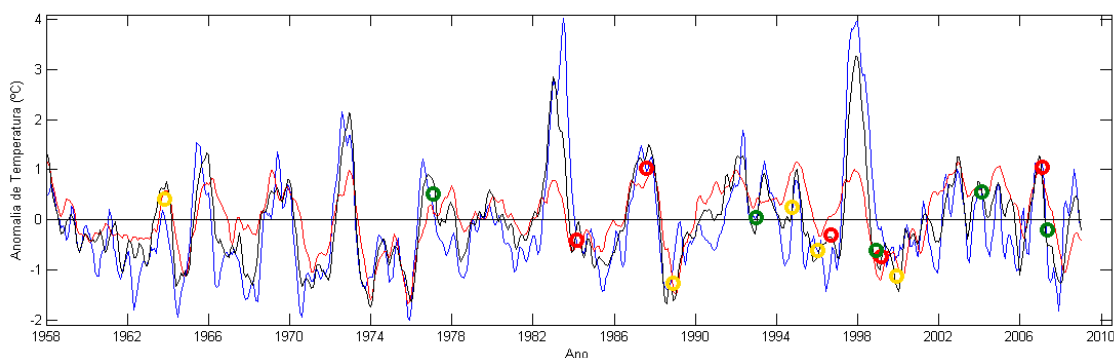


Figura 11: Relação direta entre os picos de transporte de volume e índices para as regiões: Niño1+2 (linha azul); Niño3 (linha preta); e Niño4 (linha vermelha). Em círculos coloridos estão destacados os valores para as datas de máximo transporte em cada transecto: Norte (amarelo), Central (vermelho) e Sul (Verde).

Os índices apresentam uma pequena defasagem entre si e uma considerável diferença em amplitude, no entanto todos evidenciam os principais eventos do ENSO. A relação entre os picos de transporte e a fase do ENSO não se destaca em nenhum dos índices da Figura 11, que, juntamente com as observação da Figura 10, evidenciam esta baixa relação instantânea.

Além disso, o transporte de volume das correntes oceânicas superficiais está muito associado não só a altas intensidades, mas também ao tempo de incidência dos ven-

tos e recorrência de eventos que aumentem este padrão. Assim, provavelmente uma combinação de elevados índices do ENSO por um longo período de tempo acarretaria em um aumento considerável no transporte.

Mesmo apesar da baixa relação instantânea, o índice ONI aparentemente se encontra mais relacionado aos picos de transporte do que os demais índices, uma vez que este pelo menos apresentou uma relação considerável com os picos do transecto Norte.

Decidiu-se investigar também a relação entre a variabilidade do transporte e o *Pacific Decadal Oscillation* (PDO), uma oscilação semelhante ao ENSO que ocorre em períodos maiores, na escala interdecadal a multidecadal. O PDO também é caracterizado por uma fase quente e uma fria, no entanto se destaca devido a sua maior abrangência em área, onde ocorre um aquecimento (esfriamento) generalizado do Oceano Pacífico Norte em sua fase quente (fria) (MANTUA, 2011).

Similarmente à comparação com os índices do ENSO, foi realizada a relação entre o índice PDO, que é a anomalia média de TSM em toda a área do Pacífico ao norte de 20°N, com as séries de anomalia de transporte da CB (Figura 12). As séries mostradas na Figura 12 foram filtradas com um filtro de média móvel com período de 13 meses, com o objetivo de suavizar as principais características das séries temporais.

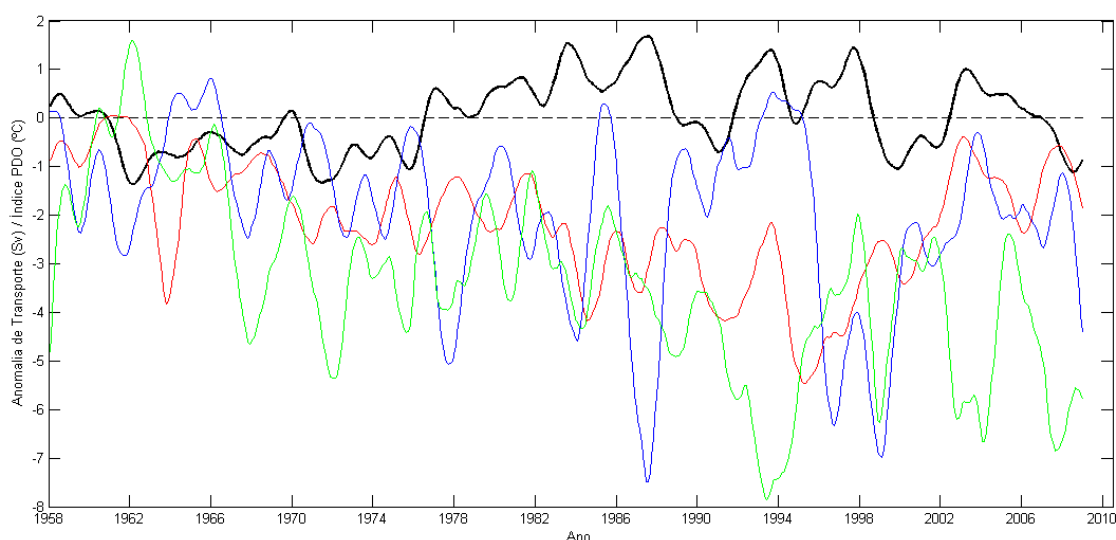


Figura 12: Comparação entre a variabilidade de transporte de volume da CB e o índice PDO (linha preta). As linhas coloridas representam anomalia de transporte para os transectos Norte (vermelho), Central (azul) e Sul (verde).

Como o transporte sul é representado negativamente, é visualmente evidente uma relação negativa entre o PDO e a variabilidade de transporte da CB. O período de 1958 a 2008 é caracterizado pela existência de duas situações principais: uma fase fria entre 1958 a 1976, e uma quente a partir de 1976 até o final do século XX. Nota-

se justamente uma tendência a valores menores (negativamente mais intensos) de transporte durante a fase quente do PDO, e valores maiores (menos intensos) durante a fase fria, principalmente em relação ao transecto Norte (vermelho) e Central (azul).

A Tabela 2 mostra os valores obtidos para os coeficientes de correlação R e valores de P (probabilidade desta correlação ser conseguida ao acaso, aleatoriamente).

Tabela 2: Correlação entre o índice PDO e anomalia de transporte de volume da CB para cada transecto.

	Norte	Central	Sul
R	-0,26	-0,29	-0,23
P	0,0000	0,0000	0,0000

Estes dados mostram que de fato existe uma relação não-aleatória entre o índice e as séries de anomalia de transporte. Esta relação é mais intensa para o transecto Central, seguida do Norte, e por fim do Sul, que apresenta uma baixa relação, mas ainda existente.

Para analisar mais detalhadamente as séries temporais e sua relação com o ENSO e o PDO, aplicou-se as técnicas de FFT (*Fast Fourier Transform*) e Correlação Cruzada, cujos resultados estão disponíveis nas seguintes subseções.

## 5.3 FFTs

Antes das aplicações de FFT, alguns pré-processamentos necessitaram ser realizados. Como esta é uma ferramenta para análise de variabilidade temporal no domínio da frequência, estamos apenas interessados nas anomalias do sistema. Assim, retirou-se a média das séries temporais de transporte de volume. No entanto, devido à existência das estações do ano, e da sua influência nas propriedades físicas dos oceanos, necessitou-se retirar as médias climatológicas (Figura 13).

As médias climatológicas foram geradas a partir dos próprios dados de transporte de volume de cada série temporal. Realizou-se a média de todos os valores de transporte de cada mês separadamente, assim ficando com as climatologias mensais de transporte de volume (ex. climatologia de janeiro, climatologia de fevereiro, etc.).

Além de retirar a média, deve-se também retirar a tendência da série para realizar a FFT adequadamente (EMERY *et al.*, 2001). O resultado final das séries normalizadas pode ser visto na Figura 14.

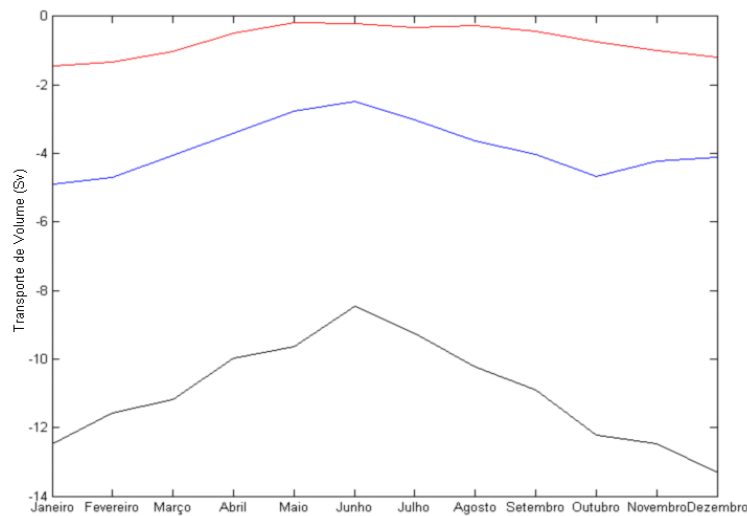


Figura 13: Climatologias de transporte de volume da CB para os transectos (vermelho) Norte, (azul) Central e (preto) Sul.

Com as séries preparadas, pôde-se aplicar as FFTs, gerando como resultados periodogramas (Figura 15) mostrando o espectro de variância do transporte de volume de cada série. Aplicou-se também FFT na série temporal do índice ONI, para assim poder compará-lo aos periodogramas das séries de transporte.

O periodograma (a) mostra o espectro de variância de TSM no Pacífico (ONI), mais precisamente na região Niño3.4, conhecida por sofrer intensa influência do ENSO. Analisando este periodograma, podemos observar que os maiores picos estão entre os períodos de 28 e 78 meses (entre as linhas vermelhas da Figura 15). Acredita-se que para o intervalo da série temporal (1958-2008), o ENSO se mostrou mais energético em três pequenas faixas de períodos (apontados em cor verde na Figura 15): 40-46 meses (1); 28-31 meses (2); e 53-75 meses (3).

Ainda assim, a região Niño3.4 também está sujeita a outros sistemas de oscilação climática. Nota-se um pico centrado em torno do período de 155 meses, que acredita-se estar relacionado ao PDO. Segundo MINOBE (1999), o PDO apresentou, no século XX, duas periodicidades, uma entre 15 e 25 anos e outra entre 50 e 70 anos. Logo, este pico descrito no periodograma provavelmente representa esta primeira periodicidade do PDO.

Em relação aos periodogramas dos transectos, a primeira observação a ser feita é a desconsideração dos sinais de baixíssima frequência (alto período), que não tiveram uma amostragem temporal grande o suficiente para proporcionar um resultado válido. Como por exemplo, para o periodograma (b) na Figura 15, ocorreu um crescimento exagerado nas baixas frequências.

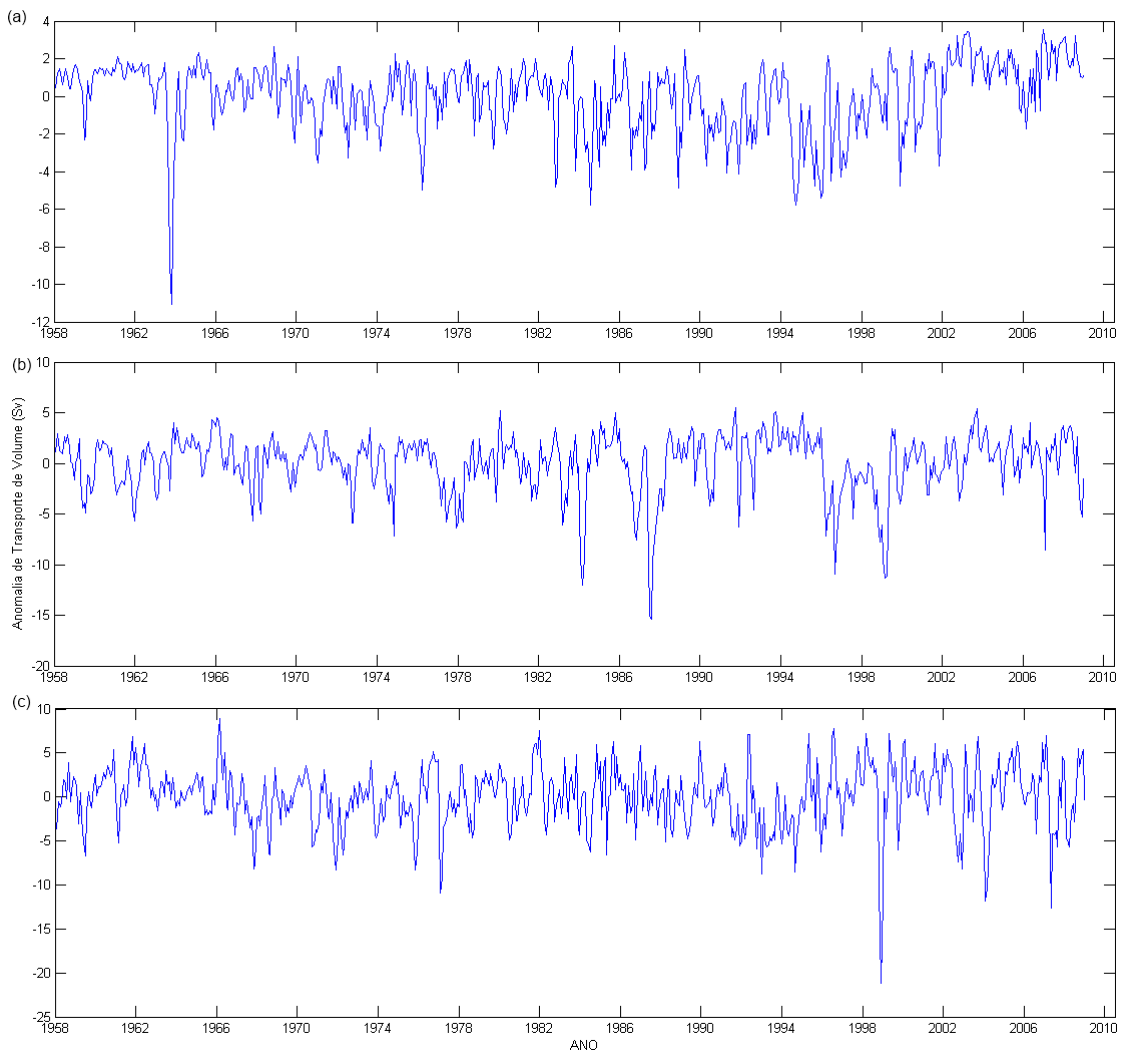


Figura 14: Séries temporais normalizadas

Nota-se a presença do sinal do ENSO (entre linhas vermelhas na Figura 15) para os três transectos, evidenciando uma influência ao longo de toda a CB por parte destes eventos. No entanto, esta influência mostra-se mais intensa no transecto Norte e menos intensa no transecto Sul, se comparada às demais oscilações climáticas presentes no espectro de variância do transporte. Este resultado está de acordo com o encontrado por ENFIELD *et al.* (1997), que sugere uma grande modificação dos ventos alísios no Atlântico em resposta aos eventos do ENSO. Assim, uma modificação mais intensa na corrente é esperada mais próximo ao equador.

Mais detalhadamente, os três transectos mostraram grande influência da periodicidade de 53-75 meses (3) do ENSO. Porém, o mesmo não pode ser dito das demais periodicidades. A periodicidade de 40-46 meses (1), que atingiu maior amplitude no espectro de variância do ONI, pode apenas ser encontrado com grande magnitude para o transecto Sul (d). Já a periodicidade de 28-31 não mostrou-se relevante em

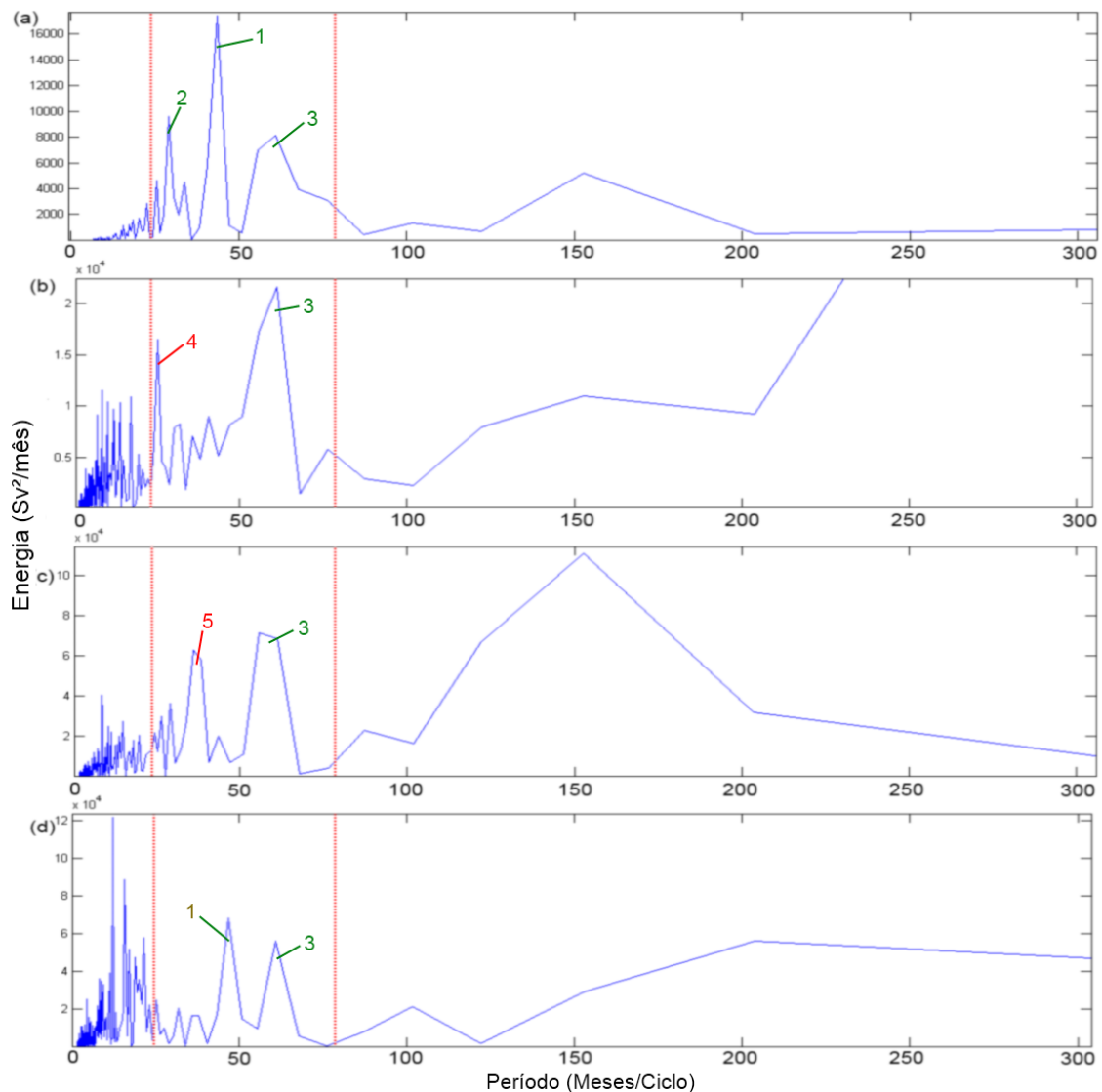


Figura 15: Periodogramas gerados a partir das FFTs para: (a) o índice ONI, e para os transectos (b) Norte, (c) Central e (d) Sul. Entre as linhas vermelhas separa-se a faixa de períodos de oscilação do ENSO, entre aproximadamente 28 e 78 meses. Apontados em verde e vermelho estão os picos mais relevantes.

nenhum transecto.

Ainda dentro da faixa de ocorrência do ENSO, identificam-se (em vermelho) os picos 4 (24-27 meses) e 5 (34-40 meses), que não se mostraram intensos para o ONI (a), porém se destacaram nos transectos Norte (b) e Central (c), respectivamente.

O sinal do PDO, identificado no espectro do ONI, também encontra-se presente nos espectros de transporte. Este sinal se destaca nos transectos Central (c) e Norte (b), mas não é muito coerente no Sul (d). O sinal é especialmente alto para o Central, o que corrobora com o resultado encontrado na subseção anterior, de que esta região é muito influenciada a esta oscilação. Ainda, é possível que o crescimento exagerado



apontado para o transecto Norte seja uma consequência da relação encontrada entre o PDO e a variabilidade de transporte neste local. Estes resultados novamente sugerem que esta oscilação tem grande influência no transporte de volume da CB.

Por fim, destaca-se a grande influência da variabilidade na escala anual para o transecto Sul. Mesmo retirando-se a média climatológica da série, as oscilações nesta escala são as que atingiram maior amplitude no espectro de variância deste transecto. Tal característica é provavelmente devido à forte influência da sazonalidade em maiores latitudes, porém não podemos descartar um possível enfraquecimento dos demais fenômenos de oscilação em outras escalas juntamente a este fortalecimento da escala anual. Além disso, esta região está sujeita a influência da Convergência Subtropical, que é altamente dinâmica na escala anual.

## 5.4 CORRELAÇÕES CRUZADAS

O motivo para utilização das Correlações Cruzadas é correlacionar matematicamente o suposto sinal do ENSO presente nas séries temporais (faixa entre linhas vermelhas da Figura 15) com o ENSO propriamente dito, representado pelo índice ONI (ONI SODA). Juntamente com a correlação, a utilização da correlação cruzada é importante para encontrar o atraso entre as duas séries, ou seja, o tempo em que a série de transporte de volume leva para se modificar perante as alterações no ONI.

Assim, primeiro separou-se o sinal do ENSO das séries temporais normalizadas de transporte, através de um filtro de passa-banda. Utilizou-se a banda de 28 a 78 meses para os três transectos, definida a partir do periodograma do ONI (Figura 15 (a)). Além disso, utilizou-se os valores de transporte sul como sendo positivos.

Altos valores de correlação positiva estariam ligados a um aumento de transporte após eventos quentes do ENSO (El Niños) e diminuição do transporte após eventos frios (La Niñas). Por outro lado, altos valores de correlação negativa estariam relacionados a uma diminuição do transporte após eventos quentes e um aumento após eventos frios.

Realizou-se então as Correlações Cruzadas entre as séries filtradas e a série do ONI. Foram desconsiderados os valores de correlação para *lags* negativos, uma vez a suposição de que haveria uma modificação no ENSO em resposta a variações do transporte da CB não é esperado. O *lag* foi determinado pelo primeiro pico positivo a partir do ponto de *lag* zero, uma vez que os demais picos, em teoria, estariam relacionados

a outros eventos do ENSO.

A Tabela 3 sintetiza os resultados encontrados para as correlações (C) em seus respectivos *lags*.

Tabela 3: Valores de correlação e *lag* encontrados entre o ONI e cada transecto separadamente.

	Norte	Central	Sul
C	0,08	0,21	0,34
Lag (Meses)	0	5	12

Este resultado mostra que a CB ajusta-se rapidamente às condições do ENSO mais próximo à região de sua formação (próximo ao equador), mas que esta influência demora a se propagar em direção sul, o que era esperado, já que seus efeitos estão relacionados a alterações no padrão dos ventos alísios, próximo ao equador.

Para o transecto Norte, a série apresentou correlação baixa no ponto em que se estimou o *lag*, talvez pela própria natureza da transferência do sinal do ENSO para o transporte da CB. É possível que o ENSO esteja muito correlacionado com a variabilidade interanual de ventos no Atlântico Equatorial e que esta variabilidade dos ventos esteja bastante correlacionada com a variabilidade de transporte da CB, e mesmo assim o ENSO não se correlacione com a variabilidade de transporte da CB.

Nos demais transectos, as correlações encontradas para os devidos *lags* (0,21 e 0,34) se mostraram relativamente altas, se considerado que as séries comparadas possuem natureza bastante diferenciada, onde além de se comparar variáveis diferentes (anomalia de TSM e anomalia de transporte de volume), estas são comparadas em oceanos distintos.

Realizou-se a mesma metodologia de correlação cruzada para o PDO, com o intuito de caracterizar também a influência desta oscilação, que até este ponto já se provou ter grande importância na variabilidade de transporte da CB.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para as correlações cruzadas entre as séries de transporte e o índice PDO, apenas filtrados pela janela móvel descrita na subseção anterior. Lembrando que para as correlações cruzadas, foram considerados os valores de transporte sul sendo positivos.

Tabela 4: Valores de correlação e *lag* encontrados entre o PDO e cada transecto separadamente.

	Norte	Central	Sul
C	0,31	0,34	0,19
Lag (Meses)	38	42	69

Os valores de correlação mostram, mais uma vez, uma menor influência deste fenômeno na região do transecto Sul. Além disso, também demonstram uma maior influência para o transecto Central do que para o Norte, o que está de acordo com o resultado da correlação direta e o obtido através da FFT, sugerindo que este fenômeno possui maior importância na variabilidade do transporte da CB nas latitudes em torno de  $21,75^{\circ}\text{S}$ .

Assim, acredita-se que a influência do PDO nas propriedades dinâmicas da CB não ocorre da mesma forma como o ENSO, que é descrita a partir de modificações no padrão dos ventos alísios, uma vez que não se observam variações mais intensas no Norte consequentes desta oscilação. Não é possível determinar os processos que determinam este padrão, mas analisando os longos períodos de reposta (*lag*) do oceano frente a esta oscilação, é provável que estejam associados a processos oceânicos de maior escala temporal, diferentemente de variações apenas nos ventos.

## 6 CONCLUSÕES

- Comparando-se os índices ONI gerado pelo modelo SODA e o disponível pelo NOAA, conclui-se que o modelo SODA representa bem a componente oceânica do ENSO no Pacífico Equatorial;
- Analisando os valores de anomalia de transporte gerados a partir dos dados do modelo, encontrou-se que a CB possui grande variabilidade na escala interanual ao longo de toda sua extensão;
- Uma relação direta e instantânea entre os máximos valores de transporte da CB e o ENSO não foi encontrada. No entanto, esta abordagem é sensível a gerar este resultado, uma vez que os fenômenos comparados ocorrem em escalas diferentes. Enquanto que os picos de transporte não perduram por mais de três meses consecutivos, sabe-se que condições de El Niño ou La Niña podem durar mais de um ano.
- O sinal do ENSO está presente em grande magnitude na variabilidade do transporte de volume da CB em toda sua extensão na periodicidade de 53 a 75 meses. Este sinal mostra-se mais intenso mais próximo ao equador;
- Diversos modos de variabilidade interanual estão presentes no padrão de transporte da CB, porém o ENSO e o PDO foram identificados por apresentar maior importância nesta variabilidade para a faixa de períodos analisada;
- Os efeitos do ENSO são rapidamente sentidos pela CB em sua região de formação (Norte), mas aparentemente demoram até mais de um ano para serem identificados na região Sul brasileira;
- Os resultados apontam que o PDO é uma oscilação cuja influência leva anos para se estabelecer na CB, sendo esta mais intensa nas latitudes próximas a 21,75°S.

## 7 REFERÊNCIAS

- AMWG. **Diagnostics Plots**. Community Earth System Model. Disponível em: <[http://www.cesm.ucar.edu/experiments/ccsm2.0/b20.007/cam2/timeseries/control\\_series.html](http://www.cesm.ucar.edu/experiments/ccsm2.0/b20.007/cam2/timeseries/control_series.html)>. Acesso em: 15 de maio de 2011.
- APDRC. **SODA v2.1.6**. School of ocean and earth science and technology. University of Hawaii. Disponível em: <[http://apdrc.soest.hawaii.edu/datadoc/soda\\_2.1.6.php](http://apdrc.soest.hawaii.edu/datadoc/soda_2.1.6.php)>. Acesso em: 22 de março de 2011.
- ARAGÃO, J. O. R. **O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil**. Bull. Inst. fr. études andines. Vol. 27(3), p. 839-844. 1998.
- BRACCO, A.; KUCHARSKI, F.; MOLTENI, F.; HAZELEGER, W.; SEVERIJNS, C. **A recipe for simulating the interannual variability of the Asian summer monsoon and its relation with ENSO**. Climate Dynamics, Springer-Verlag. 20pp. 2006.
- BROWN, E.; COLLING, A.; PARK, D.; PHILLIPS, J.; ROTHERY, D.; WRIGHT, J. **Ocean Circulation**. 2. ed. Elsevier, 2001.
- CAM. **NetCDF Binary Trajectories**. Department of Engineering. University of Cambridge. Disponível em: <<https://camtools.cam.ac.uk/access/wiki/site/5b59f819-0806-4a4d-0046-bcad6b9ac70f/netcdf.html>>. Acesso em: 23 de março de 2011.
- CARTON, J. A.; GIESE, B. S. **SODA: A Reanalysis of Ocean Climate**. Journal of Geophysical Research-Oceans. Submitted. 32pp. 2005
- CARTON, J. A.; GIESE, B. S. **A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA)**. Mon. Weather Rev. Vol. 136, p. 2999-3017. 2008.
- CIRANO, M.; MATA, M. M.; CAMPOS, E. J. D.; DEIRÓ, N. F. R. **A Circulação de Larga-Escala na Região Oeste do Atlântico Sul com Base no Modelo de Circulação Global OCCAM**. Revista Brasileira de Geofísica. Vol. 24(2), p. 209-230. 2006.
- CLARKE, A. J. **An Introduction to the Dynamics of El Niño and the Southern Os-**

**illation.** Tallahassee: Elsevier, 2008.

CLIMATE WATCH. **Climate Variability: Southern Oscillation Index.** NOAA Climate Services. Disponível em: <<http://www.climatewatch.noaa.gov/article/2009/climate-variability-southern-oscillation-index>>. Acesso em: 15 de maio de 2011.

CROUT, R. L. **Oil and Gas Platform Ocean Current Profile Data.** NOAA National Data Buoy Center. Stennis Space Center. MS, USA. 9pp. 2008.

CZESCHEL, R.; STRAMMA, L.; SCHWARZKOPF, F. U.; GIESE, B. S.; FUNK, A.; KARSTENSEN, J. **Mid-depth circulation of the eastern tropical South Pacific and its link to the oxygen minimum zone.** 44pp. 2010.

DIJKSTRA, H. A. **Nonlinear Physical Oceanography: A dynamical systems approach to the large scale ocean circulation and El Niño.** The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 2000.

EL NIÑO. **Frequently Asked Questions about El Niño and La Niña.** Disponível em: <<http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/faq.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2011.

EMERY, W. J.; THOMSON, R. E. **Data Analysis Methods in Physical Oceanography.** Elsevier B. V. 2001.

ENFIELD, D. B.; MAYER, D. A. **Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation.** Journal of Geophysical Research, American Geophysical Union. Vol. 102: n. C1, p. 929-945. 1997.

FERRET. **Data Visualization and Analysis.** NOAA PMEL. Disponível em: <<http://ferret.pmel.noaa.gov/Ferret/>>. Acesso em: 23 de março de 2011.

GIESE, B. S.; RAY, S. **El Niño variability in simple ocean data assimilation (SODA), 1871-2008.** Journal of Geophysical Research, American Geophysical Union. Vol. 116: 17pp. 2011.

HAMEED, S.; SPERBER, K. R.; MEINSTER, A. **Teleconnections of the Southern Oscillation in the Tropical Atlantic Sector in the OSU Coupled Upper Ocean-Atmosphere GCM.** Journal of Climate, American Meteorological Society. Vol. 6, p. 487-498. 1993.

KIM, W.; YEH, S.; KIM, J.; KUG, J. **The unique 2009-2010 El Niño event: A fast phase transition of warm pool El Niño to La Niña.** Geophysical Research Letters. Vol. 38: 5pp. 2011.

- LATIF, M.; GROTZNER, A. **The equatorial Atlantic Oscillation and its response to ENSO**. Climate Dynamics, Springer-Verlag. Vol. 16, p. 213-218. 2000.
- MANTUA, N. **THE PACIFIC DECADEAL OSCILLATION (PDO)**. Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Oceans. University of Washington. Disponível em: <<http://jisao.washington.edu/pdo/>>. Acesso em: 29 de novembro de 2011.
- MATHWORKS. **A Guide to MATLAB**. Department of Mathematics. University of Maryland. Disponível em: <<http://www.math.umd.edu/undergraduate/schol/matlab/>>. Acesso em: 23 de março de 2011.
- MCCLAIN, C. R.; SIGNORINI, S. R.; CHRISTIAN, J. R. **Subtropical Gyre Variability Observed by Ocean Color Satellites**. NASA Center for AeroSpace Information. Technical Memorandum. 2002.
- MINOBE, S. **Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts**. Geophysical Research Letters. Vol. 26(7), p. 855-858. 1999.
- NICHOLSON, S. E. **An Analysis of the ENSO Signal in the Tropical Atlantic and Western Indian Oceans**. International Journal of Climatology. Vol. 17, p. 345-375. 1997.
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. **Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean**. Progr. Oceanogr., 26(1):1-73. 1991.
- SEA-MAT. **Matlab Tools for Oceanographic Analysis**. Woods Hole Science Center. Woods Hole Oceanographic Institution. Disponível em: <<http://woodshole.er.usgs.gov/operations/sea-mat/>>. Acesso em: 24 de março de 2011.
- SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. **A corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira**. Rev. Bras. de Oceanogr. Vol. 48(2), p. 171-183. 2000.
- SILVEIRA, I.C.A. **O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ**. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo. 160p. 2007.
- SODA. **SODA/TAMU Research Group**. Texas A&M University. Disponível em: <<http://so da.tamu.edu/>>. Acesso em: 22 de março de 2011.
- STEWART, R. H. **Introduction to Physical Oceanography**. Department of Oceanography, Texas AM University. Disponível em: < [http://oceanworld.tamu.edu/home/course\\_book.htm](http://oceanworld.tamu.edu/home/course_book.htm)>. Acesso em: 15 de maio de 2011.

STOMMEL, H. **The Westward Intensification of Wind-Driven Ocean Currents.** Trans. Amer. Geophys. Union. Vol. 29, p. 202-206. 1948.

STOMMEL, H. **The Gulf Stream:** A physical and dynamical description. University of California Press. 1965.

SVERDRUP, H. U. **Wind-Driven Currents in a Baroclinic Ocean;** With application to the equatorial currents of the eastern Pacific. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. Vol. 33, p. 318-326. 1947.

VENEGAS, S. A.; MYSAK, L. A.; STRAUB, D. N. **Atmosphere-ocean coupled variability in the South Atlantic.** Journal of Climate. Submitted. 43pp. 1996.