RICARDO DELFIM

**ESTUDO ESPAÇO-TEMPORAL DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS
E QUÍMICOS NO TRANSECTO 30°S DO OCEANO ATLÂNTICO SUL**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia Química e Geológica, área de Oceanografia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Elisabete de Santis
Braga da Graça Saraiva

SÃO PAULO

2012

Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico

Estudo espaço-teporal da variação dos parâmetros físicos e químicos no transecto
30°S do Oceano Atlântico Sul

Ricardo Delfim

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia Química e Geológica, área de Oceanografia Química.

Julgada em ____/____/____

Prof.(a) Dr.(a)_____

Conceito_____

Prof.(a) Dr.(a)_____

Conceito_____

Prof.(a) Dr.(a)_____

Conceito_____

Bom mesmo é ter problema na cabeça, sorriso na boca e paz no coração!

Arnaldo Jabour

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
AGRADECIMENTOS	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Histórico	12
1.1.1. World Ocean Circulation Experiment.....	12
1.1.2. Blue Earth Global Expedition (BEAGLE 2003)	15
1.1.3. Comissão Trans-Atlântico I (TAI 2009).....	16
1.1.4. Seção A10	17
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo Geral	21
2.2. Objetivos específicos	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. World Ocean Circulation Experiment (WHP- WOCE 1992/1993) e Blue Earth Global Expedition (BEAGLE 2003)	22
3.2. Comissão Trans-Atlântico I (TAI 2009)	22
3.2.1. Coleta e Análise Laboratorial.....	22
3.2.1.1. Salinidade e Temperatura.....	24
3.2.1.2. Oxigênio Dissolvido	24
3.2.1.3. Nutrientes	24
4.2.1.3.1. Silicato Dissolvido.....	25

4.2.1.3.2. Nitrato Dissolvido	25
4.2.1.3.3. Fosfato Dissolvido.....	25
3.2.2. Tratamento de dados.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Análise temporal da Seção A10: Programas WHP-WOCE (1992-1993), BEAGLE (2003) e TAI (2009)	27
4.1.1. Temperatura e Salinidade	30
4.1.2. Oxigênio Dissolvido	36
4.1.3. Nutrientes	40
4.1.3.1. Silicato	40
4.1.3.2. Nitrato	44
4.1.3.3. Fosfato.....	47
4. 2. Perfis Comparativos.....	50
4.2.1. Temperatura e Salinidade	52
4.2.2. Oxigênio Dissolvido	56
4.2.3. Nutrientes	58
4.2.3.1. Silicato dissolvido	58
4.2.4. Nitrato	60
4.2.5. Fosfato.....	62
4. 3. Sistema de Ressurgência de Angola – Benguela	64
5. CONCLUSÕES	70
6. REFERÊNCIAS bibliográficas.....	72
ANEXO.....	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Posição de todas as seções amostradas em perfis de CTD entre os anos de 1990 e 1998 pelo WHP. Fonte: Schlitzer, R., Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data Now Available, Eos Trans. AGU, 81(5), 45, 2000.....	14
Figura 2. Posição de todas as seções amostradas com perfis de coleta por amostradores Rosette no WHP entre os anos de 1990 e 1998 pelo WHP. Fonte: Schlitzer, R., Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data Now Available, Eos Trans. AGU, 81(5), 45, 2000.	14
Figura 3. Transectos reocupados pelo programa Beagle 2003, previamente estudados pelos primeiro programa WOCE. Fonte: WHP P6, A10, I3/I4 Revisit data book: Blue Earth Global Expedition 2003 (Beagle 2003) volume 1.....	15
Figura 4. Localização das estações amostradas em perfis de coleta de água e CTD durante o Projeto TAI, pernada 1, realizado em 2009.....	17
Figura 5. Disposição espacial das estações de amostragem (coleta de água e perfis de CTD) nos programas (acima) Trans- Atlântico I (TAI 2009), (meio) Blue Earth Global Experiment (BEAGLE 2003) e (abaixo) WHP-WOCE (WOCE 1992-1993).....	18
Figura 6. Diagrama esquemático das principais correntes de superfície atuantes no Atlântico Sul. Fonte: PETERSON & STRAMMA (1991).	20
Figura 7. Disposição da malha amostral dos Programas TAI 2009 (acima), BEAGLE 2003 (meio), e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).....	28
Figura 8. Área passível de comparação entre os Programas TAI 2009 (acima), BEAGLE 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo), em virtude da configuração amostral de cada Programa.	29
Figura 9. Diagramas TS, referentes às combinações globais de temperatura e salinidade referentes aos Programas (a)TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993 acompanhado pelos respectivos arranjos das densidades σ_t (Kg.m^{-3} -1000).	31

Figura 10. Distribuição da temperatura em isolinhas para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).....	33
Figura 11. Distribuição da salinidade em isolinhas para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).....	35
Figura 12. Distribuição das concentrações de oxigênio dissolvido em isolinhas, ao longo da seção A10 para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).	39
Figura 13. Distribuição das concentrações de silicato dissolvido em isolinhas, ao longo da seção A10 para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).	42
Figura 14. Concentração de silicato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S, dos valores globais de temperaturas e salinidade para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.	43
Figura 15. Concentração de silicato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.	43
Figura 16. Distribuição das concentrações de nitrato dissolvido em isolinhas, ao longo da seção A10 para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).	45
Figura 17. Concentração de nitrato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S, dos valores globais de temperaturas e salinidade para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.	46
Figura 18. Concentração de nitrato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.	46

Figura 19. Distribuição das concentrações de fosfato dissolvido em isolinhas, ao longo da seção A10 para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).	48
Figura 20. Concentração de fosfato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S, dos valores globais de temperaturas e salinidade para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.	49
Figura 21. Concentração de fosfato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.	49
Figura 22. Localização dos perfis amostrais coincidentes em latitude, longitude (imagem superior) e profundidade de amostragem (profundidade inferior em corte longitudinal) entre os Programas TAI 2009, BEAGLE 2003 e WHP-WOCE 1992/1993.	51
Figura 23. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de temperatura ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).	54
Figura 24. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de salinidade ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).	55
Figura 25. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de densidade (σ_t) ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).	57
Figura 26. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de silicato dissolvido ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).	59

- Figura 27. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três programas suas respectivas distribuições dos valores de nitrato dissolvido ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE). 61
- Figura 28. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de fosfato dissolvido ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE). 63
- Figura 29. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana. Em latitude, longitude (imagem superior), profundidade de amostral (imagem inferior e quadro sob zoom na região mais rasa da plataforma continental). 65
- Figura 30. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de temperatura. 66
- Figura 31. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de salinidade. 66
- Figura 32. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de oxigênio dissolvido..... 67
- Figura 33. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de silicato dissolvido. 68
- Figura 34. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação

à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de nitrato dissolvido.....	69
Figura 35. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de fosfato dissolvido.	
	69

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço meus pais, maiores e mais lindos altruístas, que durante toda minha trajetória guiaram meus passos com ternura e firmeza impar, e, se algum dia meu caráter for a metade dos seus, ainda assim serei o mais nobre dos homens. Ao meu irmão e melhor amigo Vinicius Delfim, cerne de humildade, trabalho e inteligência em quem procuro me espelhar sempre. Gratidão imensa à Barbara Cezar, minha “companheira de vida”, pelo apoio incondicional, conforto de seu colo e paz de seu olhar.

Deixo registrado um agradecimento especial a minha orientadora e amiga, Profa. Dra. Elisabete de Santis Braga Saraiva, por aceitar me orientar sob um ritmo maluco e por conduzir com muita paciência todo trabalho. Ao grande Victor Chiozzini pelo esforço analítico e bons conselhos sempre na hora certa. Aos companheiros do LabNut que tornaram meus dias em São Paulo mais agradáveis e intelectuais, em especial Carlos Eduardo Stein pelo esforço em campo. À minha amiga Amanda Spera, que sempre estendeu a mão quando precisei e pela sua companhia extremamente agradável.

Ao Projeto Carbothorium, no qual se insere este trabalho e também ao suporte financeiro atrelado ao Projeto em cota ao pesquisador Processo CNPq nº 557125/2009-0. Ao Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (CHM) que colaborou neste projeto assim como a toda tripulação do Navio Cruzeiro do Sul da Marinha do Brasil que participou do Projeto TAI.

RESUMO

Na década de 90 surge a primeira tentativa de gerar dados capazes de legitimar um modelo climático mundial detalhado: O Experimento de Circulação Oceânica Global (World Ocean Circulation Experiment – WOCE). Dentro dos diversos subprogramas inseridos no WOCE destaca-se o programa Hidrográfico (WHP). A JAMSTEC (Japan Marine Science and Technology Center), após cerca de uma década volta a reocupar algumas estações do WHP-WOCE, com o programa BEAGLE (Blue Earth Global Expedition), tendo como proposta detectar e quantificar alterações correspondentes ao aquecimento global. A I Comissão Oceanográfica Trans-Atlântica (TAI 2009) também constituiu um projeto de reocupação da seção A10, linha central do Oceano Atlântico Sul ($\sim 30^\circ\text{S}$), previamente amostrada pelo WHP-WOCE e BEAGLE, tendo como objetivo identificar alterações espaciais e temporais dos parâmetros oceanográficos nas últimas duas décadas. Considerando os valores de temperatura e salinidade foi evidenciada a presença de pelo menos, cinco massas d'água: i) Água Tropical de Superfície (ATS) acima da isopícnal $\sigma_0 = 26,70$ ii) Água Central do Atlântico Sul (ACAS) abaixo da isopícnal $\sigma_1 = 27,05$ iii) Água Intermediária Antártica (AIA) abaixo da isopícnal $\sigma_2 = 27,20$ (iv) Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) abaixo da isopícnal $\sigma_3 = 27,70$ v) Água Antártica de Fundo (AAF). Nas camadas superficiais dos três programas, notou-se uma proporcionalidade inversa entre as concentrações de nutrientes e oxigênio dissolvido. O Programa TAI ao longo de todo o transecto A10, apresentou as menores concentrações de nutrientes abaixo dos 1000 dbar. O WHP-WOCE foi mais aquecido que os outros programas nas camadas superficiais. Nas profundidades acima da termoclina (~ 1000 dbar), na bacia leste o Programa BEAGLE apresentou diferenciações que sugerem uma atividade mais intensa de ressurgência, para seu ano de amostragem do que nos anos dos Programas WHP-WOCE e TAI. Porém baseado nos resultados do Programa TAI, na extremidade leste da Bacia do Atlântico Sul, pode-se inferir que há afloramento da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), provinda de aproximadamente 900 dbar de profundidade, sobre a Plataforma Continental Sul Africana.

ABSTRACT

In the 90s comes the first attempt of generate data able to legitimize a comprehensive global climate model: The World Ocean Circulation Experiment (WOCE). Within various subprograms inserted into the WOCE, highlight the WOCE Hydrographic Program (WHP). The JAMSTEC (Japan Marine Science and Technology Center), after about a decade back to reoccupy some stations of WOCE-WHP, with a program called BEAGLE (Blue Earth Global Expedition), proposing to detect and quantify changes related to global warming. The 1st Trans-Atlantic Oceanographic Commission (TAI 2009) was also created as a project of A10 section reoccupation, aiming to identify spatial and temporal changes in oceanographic parameters after two decades WOCE-WHP and BEAGLE sampling. The A10 section, represents the axis of South Atlantic Ocean (~ 30°S). Considering the values of temperature and salinity the presence of at least five water masses can be inferred: i) Surface Tropical Water (ATS) above isopycnal $\sigma_0 = 26.70$, ii) South Atlantic Central Water (ACAS) below the isopycnal $\sigma_1 = 27.05$ iii) Antarctic Intermediate Water (AIA) below the isopycnal $\sigma_2 = 27.20$, (iv) North Atlantic Deep Water (APAN) below the isopycnal $\sigma_3 = 27.70$, v) Antarctic Bottom Water (AAF). On the superficial layers of the three programs, it was noted an inverse proportionality between the concentrations of nutrients and dissolved oxygen. The TAI program, throughout the A10 transect, showed the lowest concentrations of nutrients below 1000 dbar. The warmer in the superficial layers was WOCE-WHP. On the layers above the thermocline (~ 1000 dbar), the BEAGLE Program around East Basin, showed some anomalies that suggest its sampling happened during some more intense upwelling activity, for its year than in years of WHP- WOCE and TAI programs. But based on the results of the TAI Program, at the east end of the South Atlantic Basin, it's possible to infer that there is upwelling of South Atlantic Central Water (ACAS), coming from about 900 dbar depth on the South African continental shelf.

1. INTRODUÇÃO

Os oceanos exercem grande influência nos processos atmosféricos e consequentemente no clima do planeta (POLCHER & LAVAL 1994; ZENG & ELTAHIR 1997). Por sua vez, os oceanos constituem um sistema intrincado e complexo em seu todo, com destaque para a interface com a atmosfera, por onde são viabilizadas as trocas gasosas, energéticas e de momentum (Lima & Santos, 2011). Dentre as trocas energéticas incidentes na interface oceano – atmosfera, estão as transferências térmicas, que uma vez alteradas são capazes de suscetibilizar mudanças nos padrões de circulação e distribuição das massas d'água (TOMCZAK & GODFREY, 1994).

Em virtude das propriedades físicas e químicas que a água marinha possui, como elevado calor específico e alta densidade, torna-a capaz de armazenar, e distribuir calor ao longo do planeta. Os padrões naturais de circulação e transporte foram estabelecidos desde a formação do planeta devido ao balanço termohalino, e pela importância que este mecanismo apresenta, o seu minucioso conhecimento se faz necessário para as previsões dos futuros quadros climáticos, frente às rápidas alterações proporcionadas pelo homem. Desde 1988, com a criação do IPCC há um alerta quanto às alterações climáticas a nível global, que tem por definição: “Qualquer variação estatisticamente significativa em um parâmetro climático médio ou sua variabilidade, persistindo um período extenso (tipicamente décadas ou mais). Devido a processos naturais, forças externas ou mudanças persistentes causadas pela ação do homem na composição da atmosfera e/ou do uso da terra” (IPCC, 2012).

Atualmente, há um esforço bastante relevante no tratamento da definição “clima” de uma maneira mais generalista (PEIXOTO & OORD, 1992). Em outras palavras, o sistema climático é tratado não apenas como o meio abiótico (atmosfera, hidrosfera, criosfera e litosfera), mas também engloba a biosfera (CLAUSSEN, 2001; HENDERSON SELLERS *et al.*, 1995; HOUGHTON *et al.*, 1987). O conhecimento sistemático da circulação, distribuição de parâmetros conservativos dos oceanos, especialmente do Atlântico Sul era bastante escasso

até o início do Programa WOCE, que durante a década de 90 passou a cobrir todos os hiatos de conhecimento no Oceano Atlântico Sul, com uma malha amostral sem precedentes.

Em linhas gerais, alterações temporais significativas das propriedades conservativas (e.g. temperatura e salinidade) em massas d'águas intermediárias, profundas e de fundo, bem como seu padrão de distribuição são improváveis (EMERY, 2003), porém, propriedades não conservativas (e.g. nutrientes, micronutrientes e traços), devido sua mutabilidade, estão sujeitas à variação temporal (em especial nas camadas superficiais, dentro da zona eufótica). Parâmetros conservativos tradicionais são classicamente utilizados como identificadores de massas d'água, e abaixo da camada eufótica nutrientes e alguns elementos traço, mesmo se tratando de parâmetros não-conservativos, podem contribuir à identificação destas massas de água, uma vez que nestas profundidades adquirem comportamentos conservativos (OUDOT *et al.*, 1999; ANDRIÉ *et al.*, 1998).

Portanto, considerando a fragilidade do sistema oceânico e partindo da premissa de alterações climáticas globais sugeridas pelos relatórios do IPCC (IPCC 1992, 1995, 2001, 2007), baseia-se o objeto do presente estudo: Revisar as séries de dados referentes ao transecto A10 do programa WHP-WOCE frente aos dados obtidos pelo Projeto BEAGLE e TAI, que reocuparam as estações amostrais em intervalos aproximadamente decadais, visando oferecer um quadro de avaliação temporal dos parâmetros conservativos e não-conservativos no Oceano Atlântico Sul.

1.1. Histórico

1.1.1. World Ocean Circulation Experiment

Na década de 90 (entre os anos de 1990 e 1998), surge a primeira tentativa de gerar dados capazes de legitimar um modelo climático mundial detalhado: O Experimento de Circulação Oceânica Global (World Ocean Circulation Experiment – WOCE) como parte do Programa de Pesquisa do Clima

Global (World Climate Research Program – WCRP). Aproximadamente 30 países, inclusive o Brasil, contribuíram com recursos para estabelecer uma série, sem precedência, de observações de satélite e in-situ dos oceanos do planeta.

Dentro dos diversos subprogramas inseridos no WOCE, destaca-se o programa Hidrográfico (WOCE Hydrographic Program – WHP). Neste subprograma foram realizadas, a bordo de navios de pesquisa de diversas nacionalidades, uma gama de medições físicas e químicas como perfis de condutividade, temperatura e pressão (CTD) além de amostragem de água (utilizando amostradores tipo garrafas de Niskin dispostos em Rosette com CTD acoplado) de modo a oferecer uma cobertura global de informações de alta qualidade (Fig. 1 e 2), no que diz respeito à temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, nutrientes, CO₂ (em seus diversos estados), CFCs, entre outros parâmetros.

O Programa WHP-WOCE teve como objetivos gerais: (1) propor e desenvolver modelos úteis para a previsão de mudanças climáticas e coletar dados necessários para testá-los; e (2) determinar a representatividade da série de dados WOCE (isoladamente) no comportamento em longo prazo dos oceanos, e definir métodos para determinação de alterações em longo prazo na circulação oceânica.

Junto aos objetivos gerais, em âmbito específico, o Programa pretendeu determinar e entender sob uma base global: (1.1) Fluxos de calor e de água doce em larga escala, suas divergências ao longo de cinco anos, suas variações anuais e interanuais. (1.2) O balanço dinâmico da circulação oceânica global e sua resposta frente à mudança dos fluxos superficiais. (1.3) Componentes da variabilidade dos oceanos de meses a anos, de escala local a global, e as estatísticas sob menor escala. (4) As taxas e a natureza das formações, ventilação e circulação das massas d'água que influenciam o sistema climático em escalas desde decadais até seculares.

Também pontualmente, houve proposta de (2.1) testar especificamente a representatividade da série de dados WOCE, (2.2) identificar os parâmetros oceanográficos, índices e campos essenciais à manutenção do monitoramento

contínuo do sistema de observações climáticas em escala decadal. (3.2) Desenvolver técnicas de bom custo-benefício que sejam compatíveis com o sistema de observações climáticas em curso.

Figura 1. Posição de todas as seções amostradas em perfis de CTD entre os anos de 1990 e 1998 pelo WHP. Fonte: Schlitzer, R., Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data Now Available, Eos Trans. AGU, 81(5), 45, 2000.

Figura 2. Posição de todas as seções amostradas com perfis de coleta por amostradores Rosette no WHP entre os anos de 1990 e 1998 pelo WHP. Fonte: Schlitzer, R., Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data Now Available, Eos Trans. AGU, 81(5), 45, 2000.

1.1.2. Blue Earth Global Expedition (BEAGLE 2003)

Como parte da comemoração do trigésimo aniversário da JAMSTEC (Japan Marine Science and Technology Center), entre agosto de 2003 e fevereiro de 2004, a bordo do R/V Mirai, foi realizado um cruzeiro oceanográfico em torno do hemisfério sul (Fig. 3). Com a cooperação da Austrália (CSIRO, ACE-CRC) Chile, Brasil e África do Sul, 493 estações de amostragem foram estabelecidas ao longo das seções previamente estudadas pelos cruzeiros (WCRP/WHP) WHPI03, WHPI04, WHPP06 e WHPA10 do programa WOCE (Fig. 1 e 2). Esta reocupação foi denominada BEAGLE (Blue Earth Global Expedition) e todos os levantamentos que foram produzidos durante o cruzeiro serviram de monitoramento à base de dados do programa WOCE (Fig. 3).

Figura 3. Transectos reocupados pelo programa Beagle 2003, previamente estudados pelos primeiro programa WOCE. Fonte: WHP P6, A10, I3/I4 Revisit data book: Blue Earth Global Expedition 2003 (Beagle 2003) volume 1.

A principal proposta deste cruzeiro foi detectar e quantificar alterações temporais no sistema de giro Antártico correspondentes ao aquecimento global e

consequentemente do Oceano Austral, durante a última década (decorrida após o WHP) sob um conjunto de observações de alta qualidade com alta densidade de pontos amostrais. As Avaliações científicas prioritárias que foram levadas em questão foram: (1) Mudanças nos inventários de calor e água doce, (2) Alterações nas taxas de produtividade e nas vias de produção, (3) transporte de carbono e nutrientes, (4) base de dados para validação dos modelos WOCE (5) calibração dos sensores ARGO (global array of temperature/salinity profiling floats).

Outras propostas a serem atendidas pelo programa BEAGLE 2003 foram (1) amostrar os parâmetros meteorológicos e hidrológicos da interface ar/água para confecção de um conjunto básico de dados empregados na meteorologia e oceanografia, (2) lançar as bóias ARGO a fim de monitorar as oscilações sub-superficiais de temperatura e salinidade, (3) registrar a distribuição dos gases estufa, (4) observar a topografia, gravimetria e campos magnéticos do leito marinho ao longo das seções navegadas, no intuito de compreender a dinâmica das placas tectônicas oceânicas e manter o acompanhamento das atividades geofísicas, (5) obter informações da distribuição global dos aerossóis e das características ópticas e cobertura de nuvens, para a climatologia e o para o estudo da viabilidade de observações por satélite, (6) construir um modelo de previsão de produtividade, baseado em observações por satélite e (7) registrar as formações de nevoeiro que implicam nas observações por satélite.

1.1.3. Comissão Trans-Atlântico I (TAI 209)

A I Comissão Oceanográfica Trans-Atlântica (TAI) constituiu um projeto de colaboração e esforço da comunidade científica acadêmica brasileira, Ministério da Ciência e Tecnologia e a Marinha do Brasil. A primeira pernada do Cruzeiro ocorreu entre o Rio de Janeiro e a África do Sul (Fig.4), durante período de 19 de outubro a 23 de novembro de 2009, a bordo do Navio da Hidroceanográfico Cruzeiro do Sul, da Marinha do Brasil. O estudo atual desenvolveu-se no âmbito do Projeto Traçadores Químicos e as Mudanças Globais no Atlântico Sul, sob a

responsabilidade da Profa. Dra. Elisabete de Santis Braga, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo com a colaboração do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Este projeto teve por objetivo acompanhar as alterações nas propriedades físicas e químicas das massas de água no Atlântico Sul com base em estudos pretéritos realizados na mesma área, a exemplo do Programa WHP- WOCE (entre dezembro 1992 e janeiro 1993) e Projeto BEAGLE (entre novembro e dezembro de 2003). Uma das seções reocupadas pela I Comissão Oceanográfica Trans-Atlântica, e foco deste estudo foi a seção A10.

Figura 4. Localização das estações amostradas em perfis de coleta de água e CTD durante o Projeto TAI, pernada 1, realizado em 2009.

1.1.4. Seção A10

Dentre as seções do programa WHP - WOCE, a seção A10 é a que marca a linha central do Oceano Atlântico Sul ($\sim 30^{\circ}\text{S}$), uma vez que os limites oriental e ocidental do Oceano Atlântico Sul são respectivamente os continentes da África e América do Sul, e os limites setentrional e meridional se dão pela linha do Equador (0°) e o Oceano Austral ($\sim 60^{\circ}\text{S}$). Na figura 5, a representação gráfica da primeira

ocupação a bordo do Navio Oceanográfico Meteor, durante o programa WHP-
 WOCE (entre dezembro de 1992 e janeiro de 1993), a reocupação entre
 novembro e dezembro de 2003 a bordo do Navio R/V Mirai pelo programa
 BEAGLE (Pernada 4), e a segunda reocupação pelo programa TAI (Pernada 1) a
 bordo do Navio Hidroceanonográfico Cruzeiro do Sul da Marinha do Brasil, entre
 outubro e novembro de 2009.

Figura 5. Disposição espacial das estações de amostragem (coleta de água e perfis de CTD) nos programas (acima) Trans- Atlântico I (TAI 2009), (meio) Blue Earth Global Experiment (BEAGLE 2003) e (abaixo) WHP-WOCE (WOCE 1992-1993).

Nesta porção do Oceano Atlântico Sul, a circulação em grande escala, é basicamente regida por um giro anti-ciclônico denominado Giro Subtropical do Atlântico Sul (Fig. 6). Na formação do Giro Subtropical do Atlântico Sul, atuam diretamente as Correntes do Brasil, de Benguela, do Atlântico Sul, Sul Equatorial, e como coadjuvantes as Correntes das Malvinas, das Agulhas e a Circumpolar Antártica (PETERSON & STRAMMA, 1991; STRAMMA & ENGLAND, 1999).

Carreando massas d'água salinas e quentes para o sul, a Corrente do Brasil margeia a costa brasileira e conflui com a Corrente das Malvinas, provindas do contorno sul do continente sul-americano entre 34°S e 46°S/43°W e 60°S. A região onde ocorre esta confluência é denominada Zona de Confluência Brasil-Malvinas e é considerada uma das regiões mais energéticas do mundo, pela estrutura frontal e cadeias de vórtices formadas (CHELTON *et al.*, 1990; GORDON, 1989). Contornando a porção leste do Giro subtropical do Atlântico Sul, se encontra a Corrente de Benguela, que flui em direção ao norte, ao longo da costa africana até aproximadamente 30°S, quando altera seu trajeto para noroeste afastando-se do continente. A Corrente do Atlântico Sul também colabora com a dinâmica da Corrente de Benguela aportando nela parte de suas águas, correntes estas que ainda se fundem com a Corrente Sul Equatorial, e sob a influência dos ventos alísios migram em direção ao continente americano crescendo, em virtude da alta taxa de evaporação, em salinidade e temperatura ao longo do trajeto (KAMSTRA, 1985).

A Corrente Sul Equatorial, após ser parcialmente alimentada pela Corrente de Benguela atravessa o Oceano Atlântico até a costa sul-americana (bifurcando-se no Cabo de São Roque) e dá origem à duas outras correntes: Corrente do Brasil e Corrente do Norte do Brasil. Ao nível da radial A10 é possível identificar as águas de superfície, águas intermediárias, profundas e de fundo das bacias leste e oeste, bem como as alterações nas propriedades da água na ressurgência junto à Bacia Leste.

A comparação com dados pretéritos permite a observação de alterações que podem estar associadas às mudanças climáticas, sobretudo ligadas ao aquecimento global, com conseqüências na circulação termoahalina. Após quase

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Identificar alterações espaciais e temporais dos parâmetros oceanográficos nas últimas duas décadas, utilizando como base os bancos de dados WOCE (seção A10/1992 – 1993) e BEAGLE (2003), e também os dados obtidos no Projeto TAI (2009) pela equipe LABNUT/IOUSP em parceria com a o CHM, avaliando os possíveis reflexos das alterações climáticas nas distribuições das propriedades termohalinas e de nutrientes.

2.2. Objetivos específicos

- Com base em parâmetros hidrológicos e hidroquímicos obtidos no Programa WOCE, nas Expedições BEAGLE e TAI, reconhecer as massas d'água ao longo da seção A10 segundo as características termohalinas e com o uso de traçadores químicos (oxigênio dissolvido e nutrientes);
- Reconhecer possíveis variações nas características termohalinas e tróficas nas massas de água identificadas em cada cenário, considerando as escalas espacial e temporal;
- Caracterizar o processo de ressurgência junto ao extremo leste da seção amostrada pelo programa TAI;
- Reconhecer as estações com posições coincidentes nos três projetos e proceder a avaliação em perfil vertical da distribuição das propriedades de modo a observar alguma evolução temporal importante;
- Considerando o quadro climático de cada período de amostragem, observar qual o grau de associação das diferenças observadas com o padrão natural de distribuição das propriedades na região de estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. World Ocean Circulation Experiment (WHP- WOCE 1992/1993) e Blue Earth Global Expedition (BEAGLE 2003)

Todos os dados, relativos aos programas WHP-WOCE e BEAGLE, representados neste estudo foram recuperados respectivamente dos bancos online:

www.ewoce.org/data/index.html

www.jamstec.go.jp/iorgc/ocorp/data/beagle2003/index.html

Foi ainda empregado na ordenação e exportação dos dados do banco de dados WHP-WOCE, o software Ocean Data View V.4.1.1® (SCHLITZER, 2010): <http://odv.awi.de>.

As informações em sua totalidade, incluindo a metodologia envolvida na coleta, análise laboratorial, calibração de métodos e equipamentos dos programas WOCE e BEAGLE, estão descritas respectivamente nos relatórios dos cruzeiros sob os endereços:

http://woce.nodc.noaa.gov/woce_v3/wocedata_1/whp/data/onetime/atlantic/a10/a10do.pdf

<http://www.jamstec.go.jp/iorgc/ocorp/data/beagle2003/book/index.html>

3.2. Comissão Trans-Atlântico I (TAI 2009)

3.2.1. Coleta e Análise Laboratorial

Inserido no Projeto “Traçadores Químicos e as Mudanças Globais no Atlântico Sul”, coordenado pela Profa. Dra. Elisabete de S. Braga (Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – IOUSP) e com a colaboração do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (CHM), este estudo foi conduzido a partir dos dados obtidos durante a primeira pernada (Brasil – África) do cruzeiro oceanográfico Trans Atlântico I (TAI), a bordo do NHo “Cruzeiro do Sul” (Marinha do Brasil). A I Comissão Oceanográfica Trans-Atlântica constituiu um projeto de

colaboração e esforço da comunidade científica acadêmica brasileira, Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e Marinha do Brasil.

A campanha TAI pernada I foi realizada entre 19 de outubro a 23 de novembro de 2009, com auxílio de um sistema de garrafa tipo “Niskin” acomodadas em suporte múltiplo (Rosette). Durante a subida do conjunto, em cada nível clássico de profundidade foi coletada amostra de água para análise da salinidade, oxigênio dissolvido e nutrientes. Associado à Rosette havia um CTD plus N/S 08899v realizando a perfilagem dos registros de temperatura, salinidade e profundidade (pressão). Foram realizadas 55 estações de amostragem (enumeradas de #31 a #86), sendo que as estações #64 e #66 passaram por problemas técnicos (Tab. 1 e Fig. 4).

Tabela 1. Localização das estações em graus e graus decimais (G°, GD) realizadas no Projeto TAI.

#Estação	Latitude (G,GD°)	Longitude (G,GD°)	#Estação	Latitude (G,GD°)	Longitude (G,GD°)
#31	29,99°S	33,80°W	#59	29,65°S	1,65°E
#32	30,00°S	32,92°W	#60	29,34°S	2,33°E
#33	29,99°S	32,07°W	#61	29,04°S	3,14°E
#34	29,99°S	31,20°W	#62	29,97°S	4,52°E
#35	30°S	30,35°W	#63	29,97°S	6,25°E
#36	29,99°S	29,50°W	#64	-	-
#37	30,00°S	28,65°W	#65	29,99°S	8,00°E
#38	30,00°S	27,84°W	#66	-	-
#39	30,00°S	26,98°W	#67	30,00°S	9,67°E
#40	30,00°S	25,78°W	#68	29,99°S	10,54°E
#41	29,99°S	24,62°W	#69	29,99°S	11,43°E
#42	29,99°S	22,08°W	#70	29,99°S	12,15°E
#43	29,99°S	20,32°W	#71	29,99°S	12,55°E
#44	29,99°S	18,62°W	#72	29,99°S	12,95°E
#45	30,00°S	16,89°W	#73	29,98°S	13,33°E
#46	29,99°S	15,17°W	#74	29,98°S	13,70°E
#47	30,02°S	14,33°W	#75	30,00°S	14,08°E
#48	30,00°S	13,50°W	#76	29,97°S	14,30°E
#49	29,97°S	12,92°W	#77	29,97°S	14,49°E
#50	30,00°S	11,83°W	#78	29,98°S	14,65°E
#51	30,00°S	11,17°W	#79	29,98°S	14,85°E
#52	29,99°S	8,40°W	#80	29,98°S	15,05°E
#53	30,00°S	6,68°W	#81	29,98°S	15,23°E
#54	29,99°S	5,04°W	#82	29,98°S	15,25°E
#55	29,99°S	3,34°W	#83	29,98°S	16,00°E
#56	29,99°S	1,68°W	#84	29,98°S	16,00°E
#57	30,00°S	0,00°E	#85	29,98°S	16,38°E
#58	29,99°S	0,82°E	#86	30,00°S	16,77°E

3.2.1.1. Salinidade e Temperatura

Os valores de temperatura e salinidade foram obtidos com o uso de CTD 9 plus, N/S 0899v acoplado à Rosette. Os dados tratados e tabulados foram cedidos pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Para cálculos de densidade, baseado nas combinações de temperatura e salinidade (T-S), foi empregado o algoritmo “sw_dens0” (em anexo) de MORGAN (1992) com modificações propostas por PENDER (1999; 2003).

3.2.1.2. Oxigênio Dissolvido

As amostras para análise de oxigênio dissolvido foram as primeiras a serem retiradas das garrafas coletoras, sendo utilizado um redutor de saída de água para evitar a formação de bolhas. As alíquotas ($\pm 120\text{mL}$) para análise foram coletadas em frascos tipo erlenmeyer calibrados (volume conhecido) contendo tampas “mergulhadoras” que permitem a titulação no próprio frasco. A adição dos dois reagentes fixadores foi realizada logo após a coleta e também foi tomada a temperatura da amostra. O equipamento utilizado para as determinações potenciométricas de oxigênio dissolvido foi o titulador potenciométrico automático Metrohm Titrando® 836 com Touch Control. O conjunto analítico permite a realização da titulação com reconhecimento automático do ponto de equivalência e/ou a titulação com pré-seleção dos pontos finais da titulação quando o potencial de equivalência é conhecido, além de aplicações diferenciadas quando alteradas as configurações. O eletrodo utilizado na aplicação do método para determinação de teores de oxigênio dissolvido é o eletrodo redox combinado de platina e ouro. A análise foi realizada antes de completar 8 horas de coleta. A determinação seguiu o princípio de WINKLER (1888), como apresentada por GRASSHOFF *et al.*, (1983). O método apresenta precisão de $\pm 0,02 \text{ cm}^3.\text{dm}^{-3}$ para teores de $2 \text{ cm}^3.\text{dm}^{-3}$ e $\pm 0,04 \text{ cm}^3.\text{dm}^{-3}$ para teores superiores.

3.2.1.3. Nutrientes

As amostras para análise de nutrientes foram coletadas a partir das garrafas amostradoras da Rosette, em frascos de polietileno de 250 mL, que

foram ambientadas com a água da própria amostra e logo em seguida armazenadas em freezer (-20°C) para posterior processamento no Laboratório de Nutrientes, Micronutrientes e Traços nos Oceanos do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (LABNUT – IOUSP).

O AutoAnalyzer II-Bran-Luebbe® foi utilizado para análise dos nutrientes como nos trabalhos do WOCE e similar aos métodos automáticos utilizados no BEAGLE, seguindo o mesmo protocolo recomendado pela WHP. Os métodos analíticos são basicamente colorimétricos e encontram-se descritos em GRASSHOFF *et al.*, 1983; TREGUER ET LE CORRE, 1975 e BRAGA, 1997. Para o fosfato e silicato foi utilizado o espectrofotômetro Genesis 2 da Baush & Lomb®.

4.2.1.3.1. Silicato Dissolvido

O método aplicado foi o descrito em GRASSHOFF *et al.* (1983) o qual baseia-se na utilização de um redutor: o ácido ascórbico. O ácido oxálico é também utilizado para reduzir o excesso de molibdato presente na água e para reduzir a interferência causada pela presença de íons fosfato na amostra. Para a análise foi utilizada cubeta de 5 cm e a leitura da absorbância feita em comprimento de onda de 810 nm, em espectrofotômetro digital (citado no item 3.2.1.3.). Esse método apresenta precisão de $0,02 \mu\text{mol.L}^{-1} \text{ Si- Si(OH)}_4$.

4.2.1.3.2. Nitrato Dissolvido

As análises de nitrato foram realizadas segundo o método descrito (GRASSHOFF *et al.*, 1983; TRÉGUER ET LE CORRE (1975) com modificações de BRAGA, 2000), utilizando-se equipamento automático AutoAnalyser II – Bran-Luebbe®. Segundo o método citado, o teor de nitrato é obtido através da redução de nitrato a nitrito, seguida pela medição da diferença entre o nitrito inicial e final. A precisão oferecida pelo método é de $\pm 0,10 \mu\text{M.N-NO}^{3-}$.

4.2.1.3.3. Fosfato Dissolvido

O método aplicado para análise de fosfato também descrito por GRASSHOFF *et al.*(1983) baseia-se na reação dos íons fosfato com o íon molibdato em meio ácido, formando o complexo fosfomolibdato, que é reduzido a

um composto de coloração azul pelo ácido ascórbico e cuja leitura será realizada em comprimento de onda de 880 nm, em cuba de cinco 5 cm de caminho ótico, em um espectrofotômetro digital supracitado. Esse método apresenta precisão de 0,02 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de P-PO_4^{3-} .

3.2.2. Tratamento de dados

Para todos os programas WOCE, BEAGLE e TAI, foram aplicados os mesmos métodos de tabulação e análise estatística. Os dados foram tabulados utilizando o Programa Excell 2007 e as análises estatísticas, mapas e interpolações foram desenvolvidas com o auxílio do Programa Surfer 9.2.

As interpolações utilizadas na confecção dos diagramas de isolinhas foram calculadas pelo método Inverso da Potência da Distancia também denominado Inverso da Distancia Ponderado (IDW – Inverse Distance Weighting), recebe esta nomenclatura, por se tratar de um método que utiliza a média ponderada dos pontos de valores conhecidos em uma malha (nós), para determinar os valores em pontos de valores não conhecidos (KECKLER, 1995; TOMCZAK & MCCORQUODALE, 1997), onde a influência de um ponto em relação ao outro declina ou aumenta de acordo com a distância e com os valores de cada um. As equações que descrevem o método são:

$$\check{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}}$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2}$$

Onde:

h_{ij} : distancia efetiva de separação entre o ponto j e o ponto i mais próximo da malha;

$\check{Z}_j$: valor interpolado para o ponto j da malha;
 Z_i : valor do ponto mais próximo;
 d_{ij} : distância entre o ponto j e o ponto i mais próximo;
 β : potência ponderada (parâmetro da potência);
 δ : parâmetro de suavização (no presente estudo, $\delta = 0$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise temporal da Seção A10: Programas WHP-WOCE (1992-1993), BEAGLE (2003) e TAI (2009)

Considerando-se a posição sazonal das amostragens dos três Programas, deve-se registrar que há diferença no período amostral, das coletas realizadas no Programa TAI que ocorreram de 19 de outubro a 23 de novembro de 2009, coincidindo praticamente com o final do período de primavera austral, o que deve ter reflexo nas observações das águas superficiais, enquanto as amostragens dos Programas BEAGLE (de 06 de novembro a 05 de dezembro de 2003) e WHP-WOCE (entre 27 de dezembro de 1992 e 31 de janeiro de 1993) ocorreram mais alocadas durante o período de verão austral.

No aspecto espacial, duas diferenças relevantes devem ser consideradas: i) a densidade da malha amostral, quanto a quantidade e profundidade dos perfis no tocante ao Programa TAI e os demais e (Fig. 7), ii) e a posição, das estações de amostragem, que configura um trecho comum para estudo mostram algumas diferenças nos limites da área abrangida e nas coincidências dos pontos de amostragem (Fig. 8). Assim, o Programa TAI 2009, tem uma seção mais curta, a qual se inicia em 33,8°W, atingindo 12,2°E e apresenta menor densidade de pontos e profundidades amostradas, sendo relativamente, a mais distinta dos três conjuntos de dados, sobretudo quanto ao período sazonal de amostragem e aos limites extremos da original seção A10. Estes detalhes serão considerados ao longo das discussões.

Figura 7. Disposição da malha amostral dos Programas TAI 2009 (acima), BEAGLE 2003 (meio), e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).

Figura 8. Área passível de comparação entre os Programas TAI 2009 (acima), BEAGLE 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo), em virtude da configuração amostral de cada Programa.

4.1.1. Temperatura e Salinidade

Considerando os valores de temperatura e salinidade obtidos nos três programas e seus respectivos espalhamentos em diagramas T-S (Fig. 9), foi evidenciada a presença de pelo menos, cinco diferentes massas d'água: i) Água Tropical de Superfície (ATS) acima da isopícnal $\sigma_0 = 26,70$ (KATSUMATA & FUKUSAWA, 2011) também proposto por; REVERDIN (1996), acima da isopícnal $\sigma_0 = 26,56$; ii) Água Central do Atlântico Sul (ACAS) abaixo da isopícnal $\sigma_1 = 27,05$ (KATSUMATA & FUKUSAWA, 2011; BRAGA & MULLER, 1998; TSHUIYA *et al.*, 1994), compondo as combinações T-S propostas por STRAMMA & ENGLAND (1999) de 5 - 20°C e 34,3 – 36,0 ou as combinações T-S de 5 - 18°C e 34,3 – 35,8 propostas por EMERY (2003); iii) Água Intermediária Antártica (AIA) abaixo da isopícnal $\sigma_2 = 27,20$ (STRAMMA & ENGLAND, 1999; OUDOT *et al.*, 1999) entre as combinações T-S de 1 - 3°C e 34,7 – 34,9 também mencionadas por EMERY (2003); iv) Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) abaixo da isopícnal $\sigma_3 = 27,70$ (KATSUMATA & FUKUSAWA, 2011) e das combinações T-S 2 - 6°C e 33,8 – 34,8 (STRAMMA & ENGLAND 1999); v) Água Antártica de Fundo (AAF) em uma faixa de densidade muito próxima à APAN, porém sob a composição T-S de -0,9 – 1,7°C e 34,64 – 34,72 (EMERY, 2003). O diagrama T-S referente ao Programa BEAGLE 2003 (Figs. 9a e 9b), em comparação com o Programa TAI 2009, apresenta uma contribuição maior da massa d'água superficial, a qual se encontra ainda mais pronunciada no diagrama T-S do Programa WHP-WOCE 1992/1993 (Fig. 9c).

As diferenças encontradas entre o Programa TAI 2009 e os demais programas, quanto à contribuição dos valores correspondentes à massa d'água ATS, se deve majoritariamente à quantidade de amostras na porção oeste da Bacia Atlântica (próximo à costa do Brasil), sob maior influência de águas tropicais provindas da região equatorial, que praticamente não foram amostradas pelo Programa TAI 2009. Ainda quando compara-se o diagrama T-S do Programa WHP-WOCE 1992/1993 (Fig. 9c), com os demais, é possível observar

combinações mais difusas nos valores correspondentes à massa ATS, provavelmente em virtude período de sua amostragem, que dos três programas é a mais situada no verão austral, o que propicia a formação de uma termoclina mais marcante, e torna a influência atmosférica mais importante do que a influência exercida pela massa d'água imediatamente abaixo (ACAS), que tem um arranjo bastante linear (TOMCZAK & GODFREY, 1994).

Os registros de temperatura e as medidas de salinidade ao longo do transecto A10 (30°S), durante o Programa TAI 2009, quando apresentados em isolinhas verticais (Figs. 10 e 11), de um modo geral, apresentam feições semelhantes àsquelas obtidas nos Programas BEAGLE 2003 E WHP-WOCE 1992/1993. Nestes, o extremo oeste do Atlântico Sul, apresenta em sua superfície, águas mais quentes e salinas, em virtude das correntes do Brasil e Sul Equatorial trazerem das adjacências do Equador uma assembleia de águas com estas características (TOMCZAK & GODFREY, 1994). Essas águas ao atingirem a porção noroeste do Oceano Atlântico Sul, segundo STRAMMA & ENGLAND (1999), se misturam e formam a massa d'água denominada Água Tropical de Superfície (ATS). Nos diagramas de isolinhas (Figs. 10 e 11) nota-se a presença desta massa d'água desde as imediações da costa brasileira até aproximadamente 35°W e atingindo 200 dbar de profundidade.

Figura 9. Diagramas TS, referentes às combinações globais de temperatura e salinidade referentes aos Programas (a)TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993 acompanhado pelos respectivos arranjos das densidades σ_t ($\text{Kg.m}^{-3} - 1000$).

Seguindo na camada de 0 a 600 dbar de profundidade, e dos 35°W até próximo à costa africana, observou-se a presença da massa de Água Central do Atlântico Sul – ACAS, a qual possui propriedades termohalinas que definem um diagrama T-S bastante característico (Fig. 9), descrevendo uma distribuição quase linear entre as combinações 5°C : 34,3 e 20°C : 36,0 (STRAMMA & ENGLAND, 1999). De acordo com TOMCZAK & GODFREY (1994), por se tratar virtualmente da mesma massa de Água Central do Índico (ACI), parte da ACAS é originária da intrusão da ACI via Corrente das Agulhas e Corrente de Benguela. Durante a sua intrusão poucas alterações são impressas à ACI, dentre elas, em destaque está um aumento da contribuição das massas d'água com temperaturas próximas aos 13°C (TSUCHIYA, 1986).

Há uma pequena diferença de posicionamento dos pontos amostrados entre os três Programas o que tange a extremidade leste da seção A10, mas genericamente, na distribuição da temperatura na seção A10 (Fig. 10) observa-se que os maiores registros são encontradas nas águas mais superficiais, entre 0 – 200 dbar sendo que na extremidade leste (plataforma continental africana) é observada a subida da termoclina em resposta ao fenômeno de ressurgência que ocorre neste setor (no sistema de ressurgência Angola-Benguela), visível na faixa até os 400 dbar de profundidade. Abaixo dos 600 dbar de profundidade (até cerca de 1000 - 1200 dbar) nota-se, um declínio da temperatura, que chega atingir 3°C no centro. Nos Programas WHP-WOCE e BEAGLE os valores de 3°C, na bacia oeste atingem profundidades maiores que 2.000 dbar. Este perfil não foi observado no Programa TAI, devido ao desenho amostral iniciar-se em 34°W. As águas profundas mostram uma faixa de variação com valores até 3°C e as águas de fundo são as águas mais frias presentes na distribuição térmica em todos os Programas (<2°C). As águas de superfície e subsuperfície no Programa TAI estão mais frias que as demais considerando o trecho em comum e também considerando que o período de amostragem foi o mais adiantado dos três.

Figura 10. Distribuição da temperatura em isolinhas para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).

Os registros de salinidade dos três programas (Fig. 11) mostram valores mais elevados ($>36,0$) nas águas superficiais da Bacia Oeste do Atlântico Sul, devido aos processos, supramencionados descritos também por TOMCZAC & GODFREY (1994) e STRAMMA & ENGLAND (1999). Nos Programas BEAGLE 2003 e TAI 2009 (que tem início de sua abrangência em $33,8^{\circ}\text{W}$), os valores de salinidade próximos a $36,0$ podem ser observados em águas de até 100 dbar de profundidade, desde as imediações da costa brasileira até próximo de $34,0^{\circ}\text{W}$ (primeira estação de amostragem do TAI 2009). O Programa WHP-WOCE 1992/1993, por sua vez mostra que estes valores de salinidade são atingidos próximo dos 30°W , provavelmente por ser a amostragem mais alocada no período de verão austral que os outros dois programas, de modo a ter amostrado uma camada superficial sob maior influência da evaporação do que da precipitação.

Figura 11. Distribuição da salinidade em isolinhas para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).

4.1.2. Oxigênio Dissolvido

Os registros de oxigênio dissolvido, nos três programas (Fig. 12) apontam a incidência de pelo menos duas camadas de baixo oxigênio dissolvido, mais espessas junto às extremidades leste e oeste do Atlântico Sul e menos pronunciadas na porção central. Esta característica deve-se ao fato de que, próximo às regiões costeiras a atividade biológica é aumentada devido aos aportes de nutrientes de origem continentais, e no caso da extremidade leste que apresenta a camada de mínimo de oxigênio dissolvido muito mais pronunciadas que na porção oeste deve-se à influência do processo de ressurgência (ROSSI *et al.*, 2008).

A primeira e mais superficial das duas camadas de baixo oxigênio, se faz presente praticamente ao longo de todo o transecto A10, marca a linha de base da ACAS (STRAMMA & SCHOTT, 1996), apresentando concentrações que variam de 190 a 210 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$. Observa-se nos registros dos Programas WHP-WOCE e BEAGLE que se estendem desde a costa brasileira (oeste) até próximo dos 34°W de longitude, para o Programa TAI, pode-se observar os mesmos valores ainda que sua amostragem tenha sido iniciada nos 33,8°W de longitude (Fig. 12). A profundidade na porção oeste da bacia do Atlântico Sul (47°W - 40°W) em que esta primeira camada ocorre, é entre os 100 e 600 dbar nos Programas BEAGLE 2003 e WHP-WOCE 1992/193.

Na seção central (40°W - 5°E), os três programas apresentam uma variação de profundidade bastante semelhante para a primeira zona de baixo oxigênio, com concentrações de oxigênio variando entre 190 a 210 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$, que ocorre entre os 400 e 650 dbar. Ao se aproximar da costa africana (extremo leste), esta camada de mínimo oxigênio mais superficial começa a sofrer um aumento e passa a ocupar a faixa de profundidade que vai de aproximadamente 150 a 600 dbar nos registros dos Programas WHP-WOCE e TAI (e a ter uma baixa na faixa de variação dos teores de oxigênio 170 – 210 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$), chegando até mesmo a

se fundir com a camada mais profunda nos registros do Programa BEAGLE 2003 formando uma só camada de mínimo oxigênio na região da ressurgência africana (atingindo aproximadamente a faixa de profundidade entre os 150 – 2000 dbar).

Abaixo da ACAS com baixos valores de salinidade e concentrações de oxigênio dissolvido baixas e altos teores de nutrientes como descrito por PATTERSON & WHITWORTH (1990) e SCHMIDT *et al.*, (2000), nota-se a intrusão da AIA, oriunda da Frente Polar Antártica atinge a seção A10 majoritariamente via Corrente das Malvinas. De maneira geral, a segunda ocorrência de camada de mínimo oxigênio apresenta, para os três programas, concentrações menores quando comparada com a camada de mínimo oxigênio mais superficial: 170 – 200 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ e a faixa de profundidade que ocorre, também de maneira geral, é mais linear ao longo do transecto A10, aproximadamente entre 1000 e 2000 dbar do extremo oeste da bacia até os 4°E (Fig. 12). A partir dos 4°E de longitude até atingir a costa africana, em todos os projetos, observou-se que a parte superior da segunda camada de mínimo oxigênio começa galgar gradativamente menores profundidade (alcançando os 600 dbar nos Programas WHP-WOCE e TAI), e até, como observado pelo Programa BEAGLE chegou a se fundir com a camada superior (sugerindo assim uma influência maior do processo de ressurgência naquele ano em relação aos anos de realização dos Programas WHP-WOCE e TAI).

Abaixo da AIA, foi possível evidenciar a advecção da APAN (Fig. 12) que ocupa em torno de 1500 – 4000 dbar, bastante característica por apresentar teores de oxigênio dissolvido e de salinidade relativamente maiores que a AIA (VANICEK & SIEDLER, 2002). Nas distribuições das isolinhas de oxigênio dissolvido dos três projetos pode-se verificar que as maiores concentrações (220 – 270 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$) estiveram vinculadas a esta massa (e a uma pequena faixa superficial próxima à costa africana, que devido à fertilização que ocorre via ressurgência proporciona uma alta taxa de produção primária e um consequente aumento na queda de material orgânico sob oxidação). Após uma pequena baixa nas concentrações de oxigênio da APAN sentido ao assoalho do Atlântico sul, a

última massa do perfil de isolinhas AAF, volta a apresentar uma característica alta nos valores (PATTERSON & WHITWORTH, 1990).

Figura 12. Distribuição das concentrações de oxigênio dissolvido em isolinhas, ao longo da seção A10 para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).

4.1.3. Nutrientes

Desde o Programa WHP-WOCE o uso de traçadores geoquímicos (e.g. oxigênio e nutrientes dissolvidos) e/ou antropogênicos (e.g. CO₂ e CFCs), associados a parâmetros hidrológicos, na identificação e caracterização de massas d'água vem aumentando (ANDRIÉ *et al.*, 1998; ARHAN *et al.*, 1998; OUDOT *et al.*, 1998). A utilização desses traçadores químicos é ainda mais eficiente, quando aplicada a massas d'água abaixo da camada eufótica onde os nutrientes, devido à diminuição da atividade biológica, adquirem um caráter bastante conservativo (ANDRIÉ *et al.*, 1998).

4.1.3.1. Silicato

Nas camadas superficiais dos três programas (TAI 2009, BEAGLE 2003 e WHP-WOCE 1992/1993), foi possível notar uma proporcionalidade inversa entre as concentrações de silicato e oxigênio dissolvido (Figs. 13, 14 e 15). Na superfície ao longo de todo o transecto A10, as concentrações de silicato dissolvido se apresentaram praticamente exauridas e, sendo o local onde estão as maiores concentrações de oxigênio dissolvido (Fig. 15), fornecido tanto pela assembleia de produtores primários (que consome o nutriente) como via difusão atmosférica (DIAZ & ROSENBERG; 2008). As primeiras concentrações acima de 10,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ foram encontradas abaixo da base da ACAS (aproximadamente 600 dbar nos extremos oeste e leste do Atlântico Sul, e 800 dbar na porção central), ou seja, imediatamente abaixo da primeira camada de mínimo oxigênio (Fig. 13), resultado da regeneração do nutriente para coluna d'água pela remineralização do falling de matéria orgânica proveniente da superfície (DIAZ & ROSENBERG, 2008).

Na distribuição de isolinhas correspondentes aos Programas BEAGLE 2003 e WHP-WOCE 1992/1993, logo abaixo da ACAS, até aproximadamente a linha de 1500 dbar de profundidade, notou-se um acréscimo nas concentrações de

silicato que chegam até $50 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$. O acréscimo nas concentrações de silicato dissolvido associado à baixa nos valores de oxigênio é explicada pela presença da AIA, formada no Oceano Austral, que por vários autores (SMITH & NELSON 1985; MITCHELL *et al.*, 1991; DE BAAR *et al.*, 2005; CASTRO *et al.*, 2002) é denominada como área *HNLC* (*Hight Nutrient Low Chrolophyll*) alta concentração de nutrientes e baixo teor de clorofila. Os valores relativamente maiores de temperatura, salinidade e concentração de oxigênio dissolvido (Fig. 12) para na faixa de profundidade que vai dos 1500 aos 4000 dbar (Figs. 13 e 14), mostram a intrusão da APAN (LARQUÉ *et al.*, 1997), que chega ao Atlântico Sul, bastante salina e ventilada, porém sob baixa concentração de nutrientes. Esses teores elevados de oxigênio devem-se às altas taxas de produtividade primária na região de formação desta massa, e em consequência, a torna acentuadamente oligotrófica (VANICEK & SIEDLER, 2001).

Os maiores valores de silicato (entre 60 e $100 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$), foram registrados pelos Programas WHP-WOCE e BEAGLE 2003, e foram encontrados associados à camada de fundo, na AAF (abaixo dos 3800 dbar), na mesma região as isolinhas do Programa TAI 2009 acusaram valores entre 50 e $70 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ (provavelmente subestimadas). As altas concentrações encontradas pelos Programas WHP-WOCE e BEGLE (Figs. 13, 14 e 15) são explicadas em função da formação das águas austrais se darem através da mistura de águas profundas, enriquecidas e ventiladas (CASTRO *et al.*, 2002), somado ao fato de que a AFF ao longo de toda sua circulação contato estreito com o assoalho marinho que contém dióxido de silício, componente mais abundante da crosta terrestre (SiAl).

Figura 13. Distribuição das concentrações de silicato dissolvido em isolinhas, ao longo da seção A10 para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).

Figura 14. Concentração de silicato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S, dos valores globais de temperaturas e salinidade para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.

Figura 15. Concentração de silicato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.

4.1.3.2. Nitrato

De maneira geral a distribuição espacial das concentrações de nitrato do Programa TAI, para o transecto A10, se mostraram bastante condizentes com o padrão observado na literatura no que tange à proporção trófica entre as massas (BRAGA & MULLER, 1998) porém as concentrações quando comparadas com os Programas WOCE e BEAGLE, abaixo dos 600 dbar sempre estiveram menores.

A feição de isolinhas de concentração do nitrato (Fig. 16) nos Programas WHP-WOCE e BEAGLE apresentaram as menores concentrações (entre 0,0 – 22,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$) junto à superfície até a base da ACAS (enquanto que para o Programa TAI as concentrações para esta porção estiveram limitadas a 20,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$), aproximadamente aos 600 dbar de profundidade, sendo que as dentro desta faixa de concentração as concentrações entre 12,0 e 22,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ ocorreram dentro da zona de mínimo oxigênio mais superficial, crescendo em concentração com o aumento da profundidade dentro da camada de mínimo oxigênio, chegando a atingir na zona de mistura entre a ACAS e a AIA, o valor de 26,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ (Fig. 17 e 18). Em sentido ao fundo (entre os 600 e 1800 dbar), nota-se um aumento bastante importante nas concentrações do nutriente, na camada d'água que corresponde à água intermediária Antártica (AIA), chegando a atingir as maiores concentrações observadas (entre 26,0 e 32,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$), na linhas dos 1000 dbar (fig. 18) junto a camada de mínimo oxigênio.

Entre os 1800 e 4000 dbar, especialmente próximo à extremidade oeste da bacia do Atlântico Sul, junto com a intrusão da APAN via Corrente do Brasil (OUDOT *et al.*, 1999) as concentrações de nitrato dissolvido voltaram a decair, chegando a atingir os 20,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ para o Programa BEAGLE, 22,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ para o WOCE e 18,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$ para o TAI. Abaixo dos 4000 dbar, notou-se novamente um aumento das concentrações de nitrato (atingindo novamente 32,0 $\mu\text{mol.Kg}^{-1}$), junto a AAF, exceto para o Programa TAI 2009 (Fig. 18).

Figura 16. Distribuição das concentrações de nitrato dissolvido em isolinhas, ao longo da seção A10 para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).

Figura 17. Concentração de nitrato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S, dos valores globais de temperaturas e salinidade para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.

Figura 18. Concentração de nitrato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.

4.1.3.3. Fosfato

As feições descritas pela distribuição em isolinhas das concentrações de fosfato (Fig. 19), como dos outros nutrientes supramencionados, apresentaram as menores concentrações vinculadas à porção superficial (Fig. 20) que ocupa a massa d'água ATS ($0,0$ e $0,8 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$) e sofre um acréscimo gradativo, até atingir $2,0 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ em sentido à base da ACAS, que coincide com a base da primeira camada de mínimo oxigênio, em torno dos 600 dbar na extremidade oeste e 400 dbar na extremidade leste (Fig. 21). Na segunda zona de mínimo oxigênio (~ 1000 dbar), que corresponde à AIA, foram registradas as maiores concentrações (até $2,4 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ nos Programas BEAGLE e WHP-WOCE e $1,8 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ no Programa TAI). A camada correspondente à AIA se mostrou mais espessa (consequentemente mais enriquecida) no Programa WHP-WOCE que nos Programas BEAGLE e TAI (que estiveram sempre com as menores concentrações). No entanto, os dados do Programa WHP-WOCE mostraram, na camada imediatamente inferior (APAN) concentrações relativamente menores que aquelas do Programa BEAGLE (Fig. 20), e também uma influência destas baixas concentrações mais evidentes na borda leste da bacia do Atlântico Sul (Fig. 19).

A influência das águas austrais, com altas concentrações de fosfato ($2,0 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ nos Programas BEAGLE e WHP-WOCE) pode ser observada novamente adjacente ao assoalho (abaixo dos 4000 dbar), com a presença da AAF, que como a AIA carrega para esta porção do Atlântico Sul as maiores concentrações de nutrientes, porém com valores superiores de oxigênio (Fig. 21).

Figura 19. Distribuição das concentrações de fosfato dissolvido em isolinhas, ao longo da seção A10 para os Programas, TAI 2009 (acima); BEAGLE, 2003 (meio) e WHP-WOCE 1992/1993 (abaixo).

Figura 20. Concentração de fosfato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão em diagrama T-S, dos valores globais de temperaturas e salinidade para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.

Figura 21. Concentração de fosfato dissolvido (em escala de cor) para cada combinação da dispersão dos valores globais de oxigênio dissolvido (eixo x) e profundidade (eixo y) para os Programas (a) TAI 2009, (b) BEAGLE 2003 e (c) WHP-WOCE 1992/1993.

4. 2. Perfis Comparativos

O Programa TAI ao longo de todo o transecto A10, nos diagramas de isolinhas apresentou as menores concentrações de nutrientes abaixo dos 1000 dbar em relação aos outros programas. Isso provavelmente seja explicado pela malha amostral, a qual é muito menos densa que a dos Programas WHP-WOCE e BEAGLE, proporcionando um detalhamento menor.

No intuito de se observar alguma evolução temporal importante e estabelecer uma avaliação vertical e pontual entre os três programas, ao longo do transecto A10, foram estabelecidas nove perfis comparativos, sendo eles, para a bacia oeste do Atlântico Sul: BW1, BW2 e BW3; para o setor sobre a Cordilheira Meso-Atlântica: MA1, MA2 e MA3; e para a bacia leste: BE1, BE2 e BE3. Estes perfis foram determinados segundo o maior grau de semelhança no posicionamento e abrangência da profundidade de trabalho, nos três programas. As nomenclaturas, os posicionamentos e as profundidades de trabalho dos perfis empregados nesta análise estão sumarizados na tabela 2 e figura 22.

Tabela 2. Número da estação perfilada, profundidade de trabalho, latitude e longitude (em graus e décimo de graus - G°, DG) das estações dos Programas TAI 2009, BEAGLE 2003 e WHP-WOCE 1992/1993 que compõem os perfis comparativos.

		Bacia Oeste (BW)			C. Meso- Atlântica (MA)			Bacia Leste (BE)		
		BW1	BW2	BW3	MA1	MA2	MA3	BE1	BE2	BE3
TAI 2009	Perfil	#33	#36	#40	#45	#46	#49	#56	#59	#60
	Lat. (G°,DG)	29,99°S	29,99°S	30,00°S	30,00°S	29,99°S	29,97°S	29,99°S	29,65°S	29,34°S
	Long. (G°,DG)	32,07°W	29,50°W	25,78°W	16,89°W	15,17°W	12,92°W	1,69°W	1,65°E	2,33°E
	Prof. (dbar)	3725	2150	4752	3540	3525	3025	4205	3300	2200
BEAGLE 2003	Perfil	#29	#34	#39	#50	#54	#56	#71	#76	#77
	Lat. (G°,DG)	30,00°S	29,99°S	29,99°S	29,99°W	29,99°S	30,00°S	30,00°S	29,60°S	29,47°S
	Long. (G°,DG)	32,00°W	29,50°W	25,86°W	17,01°W	14,33°W	12,99°W	1,49°W	1,70°E	2,27°E
	Prof. (dbar)	3503	2249	4501	3744	2886	3137	4789	3689	2737
WHP- WOCE 1992/1993	Perfil	#29	#34	#39	#50	#54	#56	#71	#76	#77
	Lat. (G°,DG)	30,00°S	30,00°W	30,00°W	30,00°W	30,01°W	30,01°W	30,00°W	29,60°W	29,47°W
	Long. (G°,DG)	32,02°W	29,51°W	25,89°W	17,01°W	14,33°W	12,99°W	1,53°W	1,70°E	2,25°E
	Prof. (dbar)	3889	2255	4569	3653	2808	3119	4840	3686	2731

Figura 22. Localização dos perfis amostrais coincidentes em latitude, longitude (imagem superior) e profundidade de amostragem (profundidade inferior em corte longitudinal) entre os Programas TAI 2009, BEAGLE 2003 e WHP-WOCE 1992/1993.

4.2.1. Temperatura e Salinidade

Os valores de temperatura observados nos três programas (WHP-WOCE, BEAGLE e TAI) apresentaram em todos os perfis comparativos ao longo do transecto A10, a presença de uma termoclina permanente com valor de término próximo aos 1000m de profundidade (devido a influência da AIA), abaixo desta linha, não houve variações significativas (Fig. 23 a, b e c). Nas águas superficiais (>100 dbar), os valores de temperatura se mostraram entre 1 e 3°C maiores no Programa WHP-WOCE, realizado no período mais avançado do verão austral, do que nos outros programas. Temperaturas superficiais maiores que 20°C e menores que 5°C a partir de 1000m é uma constante nas 3 estações estudadas, também descritas por SPRINTALL & TOMCZAK (1993) para as águas do Atlântico Sul entre as latitude de 30 e 45°S.

Na bacia leste os perfis comparativos BE1 e BE2 (sobretudo no perfil BE1) mostraram valores de temperatura ligeiramente diferenciados junto à termoclina no Programa BEAGLE 2003 (Fig. 23c). Estes valores de temperatura menores são fruto da influência da variação sazonal sistema de ressurgência Angola – Benguela (KOSTIANOY & LUTJEHARMS, 1999) que para o ano de 2003 (em comparação com os anos 1992/1993 do Programa WHP-WOCE e 2009 do Programa TAI) se mostrou mais eficaz na quebra da termoclina próxima à costa africana, como pode ser notado nas figuras 10 e 12. Influenciado pelo sistema Anticiclônico do Atlântico Sul (SAS), o sistema de ressurgência Angola-Benguela no sudeste do Atlântico subtropical é objeto de flutuações anuais dramáticas, que por muitos autores é denominado “El Niño de Benguela” (FEISTEL & HAGEN 2003).

Entre os perfis comparativos da bacia oeste (BW) os três programas se comportaram de maneira bastante semelhante, e não apresentaram nenhuma anomalia significativa (Fig. 24a). Os maiores valores de salinidade registrados foram em torno de 36 e estão associados à ATS na camada superficial, os valores mínimos acompanharam a linha logo abaixo da termoclina e estão vinculados a AIA. Sob a Cordilheira Meso-Atlântica, nos perfis MA1 e MA2 o Programa

BEAGLE apresenta os valores ligeiramente maiores ($<0,2$) de salinidade na linha superficial (<100 dbar), porém abaixo desta camada os valores dos três programas voltam a se comportar sob o mesmo regime de variação, o que não denuncia nenhuma alteração termohalina, ao menos nestas localidades do transecto (Fig. 24b).

Na bacia leste (BE), a anomalia térmica observada para o Programa BEAGLE no perfil comparativo BE1 (Fig. 23c) é acompanhada por uma anomalia halina, sugerindo a quebra da termoclina e subida da AIA naquela região durante a amostragem do Programa BEAGLE 2003 (Fig. 24c). Uma vez que as combinações T-S para a faixa até os 1000 dbar do Programa BEAGLE estão entre $3,13 - 18,32^{\circ}\text{C}$ e $34,50 - 35,84$, e as combinações T-S dos Programas WHP-WOCE e TAI estão entre $3,77 - 24,07^{\circ}\text{C}$ e $34,35 - 35,84$.

Figura 23. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de temperatura ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).

Figura 24. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de salinidade ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).

4.2.2. Oxigênio Dissolvido

O perfil vertical de oxigênio pode ser explicado segundo o modelo de advectivo, onde duas fontes de OD são consideradas, uma fonte de águas profundas e outra de águas superficiais. A circulação de fundo, normalmente transporta oxigênio, no caso do Atlântico Sul do Oceano Antártico para as camadas profundas via água antártica circumpolar (AAC) e regiões onde ocorre a ressurgência há um transporte em direção à superfície. Este transporte é delineado por um perfil vertical onde a diminui gradualmente do fundo para a superfície (IMASATO *et al.*, 2000).

De maneira geral, a distribuição do oxigênio dissolvido nos perfis comparativos mostra a presença (como supracitado no item 4.1.2) de dois pontos de mínimo de oxigênio em todo o transecto (Fig. 25a, b e c). O primeiro mais superficial, entre os 600 e 800 dbar de profundidade corresponde à oxidação da matéria orgânica em queda na zona eufótica, e o segundo mínimo de oxigênio mais pronunciado, entre 1000 e 1500 dbar de profundidade representa como descrito por ANDRIÉ *et al.*, (1999), a ocorrência da “água tipo” antártica (AIA). Os perfis da bacia oeste (BW) e sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) seguem este padrão, porém na bacia leste (BE) quanto mais avança no sentido à extremidade da bacia, gradativamente os perfis BE1, BE2 e BE3 (Fig. 25c) mostram uma quebra da camada de mínimo oxigênio mais superficial e uma junção das duas camadas de mínimo oxigênio em uma mais espessa.

Este espessamento na faixa de mínimo oxigênio, próximo à extremidade leste da bacia do Atlântico Sul, mesmo sem uma alteração pronunciada da termoclina e da haloclina deve-se ao fato do aumento considerável da carga trófica, que resulta em um aumento de matéria orgânica, que ao ser oxidada demanda uma quantidade maior de oxigênio.

Figura 25. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de densidade (σ_t) ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).

4.2.3. Nutrientes

4.2.3.1. Silicato dissolvido

O silicato é um excelente identificador de águas intermediárias e de fundo, de modo a ser utilizado por diversos estudos, que consideram seu máximo de concentração como indicativo da presença da AIA (METCALF, 1969; MANN *et al.*, 1973; TSUCHIYA *et al.*, 1992). No Atlântico Sul, a máxima concentração de silicato se dá em torno dos 1000dbar de pressão (REID, 1989). Observando os perfis comparativos de distribuição vertical de silicato na bacia oeste (BW) e nas estações sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) (Fig.26a e b), nota-se que as maiores concentrações de nitrato estão associadas à faixa de profundidade de ocorrência das Águas Intermediárias Antárticas (AIA).

Quando comparados os três programas, especialmente para a bacia oeste, nota-se uma diferença no perfil de silicato, não em águas superficiais, mas sim junto da camada de mínimo de oxigênio até a água de fundo. A diferença mais acentuada no Programa TAI poderia estar associada a um pequeno desvio analítico, porém não foi confirmado pelos dados de nitrato e fosfato, que também revelaram diferenças no perfil de água profunda provavelmente em virtude da variação temporal no período sazonal. As características hidrológicas e geoquímicas das massas de água erodem à medida que as águas de origem austral se deslocam em direção norte (OUDOT *et al.*, 1999), mas informações relativas são mantidas, e permitem sua identificação ao longo do trajeto.

Pequenas distinções entre a identificação das massas de água podem ocorrer como, o exemplo, descrito por TSUCHIYA *et al.* (1994), como considerar para base da AIA os valores mínimos de temperatura associados ao máximo de silicato acima da latitude 21°S ao invés de se considerar como uma extensão do silicato máximo da Água Circumpolar Profunda Superior (ACPS).

Figura 26. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de silicato dissolvido ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).

4.2.4. Nitrato

A demanda bioquímica de nitrato dissolvido na camada eufótica é bastante elevada, o que o torna suas concentrações bastante exauridas nestas camadas (REID, 1989). As massas d'água enriquecidas por nitrato são as intermediárias (AIA) e a concentração do nutriente atinge seu máximo, associado às mínimas temperaturas, nas massas que ocupam as camadas de fundo (AAF e/ou ACP).

Observando os perfis comparativos de concentração de nitrato, verifica-se uma coincidência entre os valores de registrados nos Programas WOCE e BEAGLE na bacia oeste (Fig. 27a), ao longo de todo o perfil vertical há uma diferença em relação aos valores referentes ao Programa TAI, que, contudo mantém a proporcionalidade das concentrações do nutriente entre as massas d'água. Em todos os perfis, as concentrações de nitrato aparecem esgotadas nas águas superficiais com menos de 400 dbar (ATS) e gradativamente, até alcançar a base da ACAS (~600 dbar), alcançam concentrações entre 10 e 22 $\mu\text{mol. Kg}^{-1}$. Em direção aos 1000m de profundidade, caminhando em direção à camada de mínimo de oxigênio (no meio da faixa de profundidade ocupada pela AIA), observa-se a formação da nitratoclina.

Nos perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica e bacia leste também se pode observar uma diferença praticamente constante entre as concentrações do Programa TAI com a dos outros programas abaixo dos 600 dbar, provavelmente explicadas pela diferença sazonal de amostragem, uma vez que as proporções entre as concentrações das massas d'água componentes dos perfis se mantém (Fig. 27b e c).

Figura 27. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três programas suas respectivas distribuições dos valores de nitrato dissolvido ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).

4.2.5. Fosfato

A distribuição vertical dos valores de fosfato nos perfis comparativos de todas as seções (Fig. 28) também mostraram esgotamento do nutriente nas águas de superfície, com aumento gradativo dos valores até atingir concentrações próximas a $2,4 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$ ao nível dos 1000 dbar. Na bacia oeste (BW), especificamente no perfil BW1, as concentrações de fosfato, na camada de fundo (AAF) chegaram a valores muito parecidos (Fig. 28a) com os valores de concentração das águas intermediárias (AIA).

Sobre a Cordilheira Meso-Atlântica, assim como em todos os outros perfis, os valores de concentração entre os Programas BEAGLE e WHP-WOCE estiveram bastante semelhantes, e a constante diferença com os valores do Programa TAI também foi notada (Fig.28b). Esta diferença constante sugere ser ocasionada pela influencia da sazonalidade do período amostral, uma vez que as proporções relativas das concentrações entre as massas d'água se mantiveram constantes, mantendo possível o emprego dos traçadores geoquímicos na identificação das massas d'água.

Na bacia leste (BE) as anomalias T-S no perfil BE, para o Programa BEAGLE devido à quebra da termoclina, puderam também ser notadas quanto ao nível trófico, ou seja, nas distribuição de silicato (Fig. 26c), nitrato (Fig. 27c) e fosfato (Fig 28c), confirmando o uso auxiliar de traçadores geoquímicos na identificação de massas d'água. O Programa TAI apesar de sempre ter registrado as menores concentrações de nutrientes nos perfis comparativos, manteve a mesma proporcionalidade vista nos demais programas. Isso provavelmente devido às propriedades químicas impressas na coluna d'água no final do outono e início de verão austral.

Figura 28. Localização dos perfis de amostragem coincidentes para os três Programas suas respectivas distribuições dos valores de fosfato dissolvido ao longo da profundidade nos: (a) perfis na bacia oeste (BW), (b) perfis sobre a Cordilheira Meso-Atlântica (MA) e (c) perfis na bacia leste (BE).

4. 3. Sistema de Ressurgência de Angola – Benguela

O sistema de ressurgência Angola – Benguela se estende desde o extremo sul África do Sul até a Frente Angola – Benguela (FAB), que oscila entre os 16°S durante o inverno e 17,5°S durante o verão austral (SHANNON & NELSON, 1996; MEEUWIS & LUTJEHARMS, 1990), e marca a divisão entre a água quentes provindas do sudeste tropical do Atlântico e a água fria provinda da ressurgência (VEITCH *et al.*, 2006) (Fig. 6). Tornando-a intensidade da ressurgência assim como sua zona de ocorrência variável tanto em regime sazonal como interanual (KOSTIANOY & LUTJEHARMS, 1999).

No intuito de entender as variações dos parâmetros físicos e químicos associado ao sistema de ressurgência Angola-Benguela, durante o Programa TAI 2009, foi estabelecido um foco sobre os perfis amostrais 71, 78 e 86. O perfil 71 (Lat. 29,99°S, Long. 12,53°E) amostrou até 3480 dbar de profundidade, o perfil 78 (Lat. 29,99°S, Long. 14,65°E) teve amostras coletadas até os 458 dbar e o perfil 86 (Lat. 30,00°S, Long. 16,77°E) teve como profundidade máxima amostrada 140dbar. Estes perfis estão posicionados respectivamente: no início da planície abissal africana, na quebra do talude e sobre a plataforma continental, no ponto amostrado mais próximo à costa Sul Africana (Fig. 29).

A variação da temperatura ao longo da plataforma continental Sul africana, durante o Programa TAI 2009, é ilustrada pela figura 30. O perfil 71 apresentou, devido a sua profundidade de cobertura, a maior variação nas combinações T-S, 17,59°C – 35,62 na superfície e 1,91°C - 34,84 aos 3480 dbar. Na quebra do talude, no perfil 78, a combinação T-S aos 458 dbar foi de 7,83°C - 34,56, e o perfil 86, sobre a plataforma continental teve como combinação T-S, 9,38°C - 34,73 na profundidade de 140 dbar (Fig. 30 e 31).

A isopicnal ($\sigma_t = 27,85$) e a combinação T-S, sugerem que a amostragem mais profunda do perfil 71 (3480 dbar) se deu sobre a APAN (KATSUMATA & FUKUSAWA, 2011, BRAGA *et al.*, 2004). Porém no perfil 71, entre os 800 e 900 dbar de profundidade são observadas águas que variam sua combinação T-S entre 4,25°C – 34,34 e 5,18°C – 34,31 que segundo a descrição de TSHUIYA

(1994) e de KATSUMATA & FUKUSAWA (2011) provém da ACAS. Igualmente observado no perfil 78 aos 458 dbar, e aos 140 dbar na estação 86 (Fig.30). Em outras palavras, pode-se, baseado na variação destas combinações T-S ao longo das estações 71, 78 e 86 inferir que houve a subida da ACAS na plataforma continental Sul Africana (que sai dos 900 dbar aos 12,53°E, e atinge os 140 dbar de profundidade aos 16,77°E), durante o Programa TAI 2009 (Fig. 30 e 31).

Figura 29. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana. Em latitude, longitude (imagem superior), profundidade de amostral (imagem inferior e quadro sob zoom na região mais rasa da plataforma continental).

Figura 30. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de temperatura.

Figura 31. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de salinidade.

A subida da ACAS dede os 900 dbar até aos níveis superficiais da quebra do talude e sobre a Plataforma Continental Sul Africana, indicado pelos parâmetros hidrológicos, significa em um transporte à camada fótica de águas mais enriquecidas em nutrientes (BRAGA & MULLER, 1998). Esse aporte de

nutrientes na camada fótica é traduzido pelo aumento na fotossíntese, que por sua vez reflete em um aumento das concentrações de oxigênio. Nos perfis 78 e 86 as concentrações atingiram $280 \mu\text{mol. Kg}^{-1}$ nas camadas superficiais (Fig. 32), notavelmente superiores às concentrações máximas observadas na superfície do perfil 71 ($240 \mu\text{mol. Kg}^{-1}$). A alta concentração de oxigênio dissolvido na superfície dos perfis 78 e 86, não pode ser observada nas camadas inferiores, que em sentido ao fundo mostram uma diminuição vertiginosa (chegando as concentrações de $210 \mu\text{mol. Kg}^{-1}$ no perfil 78 e $96 \mu\text{mol. Kg}^{-1}$ no perfil 86). Esta diminuição é explicada pelo consumo da assembleia decompositora, na oxidação da matéria orgânica provinda da superfície (Fig. 32).

Figura 32. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de oxigênio dissolvido.

A distribuição de nutrientes apresentou, para o perfil 71 as maiores concentrações vinculadas à zona de mínimo oxigênio (entre os 1000 e 1500 dbar). Nos perfis 78 e 86 as maiores concentrações de nutrientes dissolvidos foram próximas ao fundo, diminuindo acentuadamente em direção à superfície até ao quase esgotamento (Figs. 33, 34 e 35). As concentrações de silicato dissolvido observadas nos 900 dbar do perfil 71 ($9,11 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$) são praticamente as

mesmas registradas nos 458 dbar do perfil 78 ($9,52 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$) e nos 140 dbar do perfil 86 ($9,20 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$).

Figura 33. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de silicato dissolvido.

A distribuição das concentrações de nitrato dissolvido mostra um padrão diferente ao observado pela distribuição das concentrações de silicato e fosfato dissolvido. As concentrações de silicato e fosfato dissolvido, no perfil 71 em torno dos 900 dbar de profundidade, são praticamente as mesmas observadas junto ao assoalho marinho na posição dos perfis 78 e 86 (Figs. 33 e 35). Porém para o nitrato dissolvido, os valores de concentração junto ao assoalho nas estações 78 ($16,84 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$) e 86 ($6,01 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$) são consideravelmente menores às observadas no perfil 71 aos 900 dbar ($25,04 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$).

Essa diferenciação certamente deve-se ao alto grau de enriquecimento da camada sobre a plataforma continental (via ressurgência), o que resulta em uma chuva de matéria orgânica que excede à capacidade de oxidação junto ao fundo (CONLEY *et al.*, 2009), explicados pelas menores concentrações de oxigênio encontradas em todo o programa TAI 2009 estarem vinculadas aos 140 dbar do perfil 86 ($96,06 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$) e muito próximas das descritas por DIAZ & ROSENBERG (2008) para um ambiente hipóxico ($86,95 \mu\text{mol.Kg}^{-1}$). A oxidação

desta matéria orgânica resulta em um ambiente redutor (próximo da hipóxia), que acaba por inserir o nitrato no processo diagenético, reduzindo-o à outras formas menos estáveis de nitrogênio dissolvido (BEROUNSKY & NIXON, 1990).

Figura 34. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de nitrato dissolvido.

Figura 35. Localização dos perfis amostrais do Programa TAI2009 utilizados na caracterização do sistema de ressurgência Angola - Benguela em relação à plataforma continental Sul Africana e seus respectivos registros de fosfato dissolvido.

5. CONCLUSÕES

- A identificação de massas d'água baseado tanto em parâmetros hidrológicos como geoquímicos possibilitou observar nos três Programas (WHP-WOCE, BEAGLE e TAI) a ocorrência e distribuição das principais massas do Atlântico Sul, descritas pela bibliografia. Diferenças entre o posicionamento dos perfis de amostragem e a densidade da malha amostral, conferiram ao Programa TAI uma visualização menos detalhada, em relação aos Programas WHP-WOCE e BEAGLE, das características de algumas massas de água.
- De modo geral o perfil de distribuição dos parâmetros físicos e químicos, nos perfis comparativos entre os três programas foi bastante similar, porém algumas nuances foram observadas: O programa WHP-WOCE, ao longo de todo transecto A10 se mostrou mais aquecido que os outros programas nas camadas superficiais; Nas profundidades acima da termoclina (~1000 dbar), na bacia leste o Programa BEAGLE apresentou diferenciações tanto hidrológicas como hidroquímicas, que sugerem uma atividade mais intensa de ressurgência, para o ano de amostragem do Programa BEAGLE 2003 do que nos anos dos Programas WHP-WOCE e TAI; Abaixo da termoclina (~1000 dbar), as concentrações de todos os nutrientes do Programa TAI estiveram sempre abaixo dos demais, provavelmente explicada pela variação tanto anual quanto sazonal, uma vez que a amostragem dos outros programas estavam mais alocadas no verão austral enquanto as amostragens do TAI foram no final da primavera.
- Dos três programas, o que apresenta para o setor extremo leste da Bacia do Oceano Atlântico Sul a maior influência do processo de ressurgência é o programa BEAGLE. Provavelmente em virtude de que durante o ano de 2003, o Sistema de Ressurgência Angola – Benguela se encontrou sob

uma maior ação de frentes frias, que mantiveram a Frente Angola – Benguela (FAB) em menores latitudes. Explicado também pelos menores valores de temperatura registrados para esta região durante o Programa BEAGLE 2003.

- Com base no foco empregado aos perfis amostrais do Programa TAI, no sopé da Plataforma Continental Sul Africana (71), na quebra do talude (78) e sobre a Plataforma Continental Sul Africana (86), pode-se inferir que há afloramento sobre a Plataforma Continental (na isobata de 140 dbar) da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), provinda de aproximadamente 900 dbar de profundidade. O enriquecimento provocado pelo afloramento da ACAS promove um aumento na produtividade primária, que devido aos valores de oxigênio e nitrogênio próximos ao assoalho da plataforma continental (~150 dbar) excedem a capacidade de oxidação da matéria orgânica pela assembleia aeróbia (sugerindo um quadro de hipoxia próximo à costa Sul Africana).
- Genericamente, os traçadores hidrológicos (T-S) mostraram nos três programas, valores com as mesmas tendências de distribuição. No caso dos traçadores geoquímicos, especialmente do programa TAI 2009, pequenas variações ao nível das “clinis” foram notadas, que podem estar associadas tanto à variações no estágio temporal da amostragem (sazonalidade) como alterações de maior escala. Os dados de traçadores geoquímicos são indicativos funcionais de alteração nos processos de circulação de águas profundas e intermediárias, podendo ser utilizados com o propósito de monitorar efeitos oceânicos provenientes de alterações climáticas globais. Porém, não se pode afirmar que houve algum registro de alteração climática de grande escala, baseado na comparação dos valores dos três programas, uma vez que a densidade da malha amostral do Programa TAI não teve o mesmo detalhamento dos programas pretéritos.

- Como consideração final deste estudo, sugere-se a continuação dos trabalhos de monitoramento periódico da radial 30°S (WHP-WOCE A10), uma vez que existem bancos de dados pretéritos robustos, capazes de gerar comparação temporal de quaisquer alterações impressas aos parâmetros amostrados. Parâmetros estes, que servem de indicativo à alterações climáticas em escala local e/ou global. Porém há de ressaltar a importância de se buscar o mesmo detalhamento proposto pelos programas pretéritos, a fim de se gerar comparativos de alta representatividade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIÉ, C., TERNON, J.F., BOULÈS, GOURIOU, Y., OUDOT, C. 1999. Tracer distributions and deep circulation in the western tropical Atlantic during CITHER 1 and TAMBOT cruises (1993-1996), *J. Geophys Res.* 14(C9): 21195-21215p.
- ANDRIÉ, C., TERNON, J.F., MESSIAS, M.J., MEMERY, L., BOURLES, B. 1998. Chlorofluoromethanes distributions in the deep equatorial Atlantic during January-March 1993, *Deep Sea Res. Part I*, 45: 903-930p.
- ARHAN, M., MERCIER, H., BOURLES, B., GOURIOU, Y. 1998. Two hydrographic sections across the Atlantic at 7°30N and 4°30S. *Deep Sea Res., Part I*, 45: 829-872p.
- BEROUNSKY, V. M. & NIXON, S. W. 1990. Temperature and the annual cycle of nitrification in waters of Narragansett Bay. *Limnology and Oceanography*. 35 (7):1610-1617p.

- BRAGA, E. S. & MULLER, T., 1998. Observation of regeneration of nitrate, phosphate and silicate during upwelling off Ubatuba, Brazil. *Continental Shelf Research*. 18(8):915-922.
- BRAGA, E. S., BONETTI FILHO, J., BONETTI, C., 1997. Eutrophication signals due to industrial wastes at Baixada Santista Estuarine System.VII COLACMAR: Congresso Latino-americano sobre Ciências do Mar, 22-26 de setembro de 1997, Santos, São Paulo. Abstract, *Abstract book*: 106-107p.
- BRAGA, E. S., BONETTI, C., BURONE, L., BONETTI FILHO, J. 2000. Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic waste at Baixada Santista estuarine system. *Mar. Pollut. Bull.* 40(2): 165-173p.
- BRAGA, E.S.; ANDRIÉ, C.; BOURLÉS, B.; VANGRIESHEIM, A.; BAURAND, F. & CHUCHLA, R. 2004. Congo River signature and deep circulation in the eastern Guinea Basin. *Deep Sea Res. Part 1*(51):1057-1073p.
- CASTRO, C. G.; RÍOS, A. F.; DOVAL, M. D. & PÉREZ, F. F. 2002. Nutrient utilization and chlorophyll distribution in the Atlantic sector of the Southern Ocean during austral summer 1995-96. *Deep Sea Res.* 2(49): 623-641p.
- CHELTON, D. B., SCHLAX, M. G., WITTER D. L., RICHMAN, J. G. 1990. GEOSAT Altimeter Observations of the Surface Circulation of the Southern Oceans. *J. Geophys. Res.* 95: 17877-17903p.
- CLAUSSEN, M. 2001. Biogeophysical feedbacks and the dynamics of climate. 61-69p. *in*: Schulze, E. D., Heiman, M., Harrison, S., Holland, E., Lloyd, J. Prentice, I. C., Schimel, D. 2001. *Global Biogeochemical cycles in the climate system*. 345p.
- CONLEY, D. J., CARSTENSEN, J., VAQUER-SUNYER R., DUARTE. C. (2009). Ecosystem Thresholds with Hypoxia. *Hydrobiologia*. 629: 21-29p.

- DE BAAR, H. J. W., BOYD, P. W., COALE, K. H., LANDRY, M. R., 2005. Synthesis of iron fertilization experiments: from the Iron Age in the Age of Enlightenment. *J. Geophys. Res-Oceans*. 110p.
- DIAZ, R. J. & ROSENBERG, R. 2008. Spreading Deadzones and Consequences for Marine Ecosystems. *Science*. 321:926-929p.
- EMERY, W. J. Water types and Water Masses. In: *Ocean Circulation*. Boulder, University of Colorado: 1556 1567p.
- FEISTEL, R. & HAGEN, E. 2003. Climatic changes in the subtropical Southeast Atlantic: the St. Helena Island Climate Index (1893-1999). *Progress in Oceanography*. 59: 321-337p.
- FIELD, C. B., BARROS, V., STOCKER, T. F., QIN, D., DOKKEN, D. J., EBI, K. L., MASTRANDREA, M. D., MACH, K. J., PLATTNER, G-K., ALLEN, S. K., TIGNOR, M., MIDGLEY, P. M. **IPCC, 2012**: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A *Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK e New York, NY, EUA, 582p.
- GORDON, A. 1989. Brazil-Malvinas Confluence – 1984. *Deep Sea Research – Part A*. 36(3): P359-384p.
- GRASSHOFF, K. 1976. Methods of seawater analysis. *Verlag Chemie*. 419p.
- GRASSHOLF, K., KREMLING, K., EHRHARDT, M., 1983. Methods of sea water analysis, Sec. Edition. Weinheim. *Willey-Vch Verlag*, 407 p.
- HENDERSON SELLERS, A., PITMAN, A. J., LOVE, R K., IRANNEJAD, R, CHEN, T. 1995. The project for the intercomparison of land surface parameterisation schemes (PILPS) phases 2 and 3. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 76: 489-503p.

- HOUGHTON, R. A., BOONE, R. D., FRUCI, J. R., HOBBIE, J. E., MELILLO, J. M., PALM, C. A., PETERSON, B. J., SHAVER, G. R., WOODWELL, G. M., MOORE, B., SKOLES, D. L., MYERS, N. 1987. The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux. *Tellus* 39B:122-139p.
- IMASATO, N.; KOBAYASHI, T. & FUJIO, S. 2000. Study of water motion at the dissolved minimum layer and local oxygen consumption rate from the Lagrangian viewpoint. *Journal of Oceanography*. 56. 361-377p.
- IPCC, 1992:** First Assessment Report Overview and Policymaker Summaries and 1992 IPCC Supplement. Published with the support of Australia, Canada, Germany, The Netherlands, Spain, United States of America, Austria, France, Japan, Norway and United Kingdom. Printed in Canada, 178p.
- IPCC, 1995:** IPCC Second Assessment Report on Climate Change: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University. 288p.
- KAMSTRA, F., 1985. South African Ocean Colour and Upwelling Experiment chap. Environmental features of the Southern Benguela with special reference to the Wind stress. 13-27p. *in:* Shannon, L. V., 1985. *Sea Fisheries Research Institute*, Cape Town. 398p.
- KATSUMATA, K. & FUKASAWA, M. 2011. Changes in meridional fluxes and water properties in the Southern Hemisphere subtropical oceans between 1992/1995 and 2003/2004. *Progress in Oceanography*. 89: 61-91p.
- KECKLER, D. (1995) The Surfer Manual. Golden, CO.: Golden Software, Inc.
- KOSTIANOV, A. G. & LUTJEHARMS, J. R. E. 1999. Atmospheric effects in the Angola-Benguela Frontal Zone, *J. Geophys. Res.* 104: 20963– 20970p.

- LARQUÉ, L., MAAMAATUAIAHUTAPU, K., GARÇON, V. 1997. On the intermediate and deep water flows in the South Atlantic Ocean, *J. Geophys. Res.* 102: 12425-12440p.
- LIMA, K. C., SANTOS, J. G. M. 2011. Relação entre eventos de precipitação normal e intensa e as anomalias de temperatura da superfície do mar. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*. 8(1): 151-163p.
- MANN, C. R., COOTE, A. R., GAMER, D. M. 1973. The meridional distribution of silicate in the western Atlantic ocean, *Deep Sea Res.* 20: 791-801p.
- MEEUWIS, J. M. & LUTJEHARMS, J. R. E. 1990. Surface thermal characteristic of the Angola- Benguela front, *S. Afr. J. Mar. Res.* 9 261– 279p.
- METCALF, W. G. 1969. Dissolved silicate in the deep North Atlantic, *Deep Sea Res.* 16: 139-145p.
- MITCHELL, B. G., BRODY, E. A., HOLM-HANSEN, O., MCCLAIN, C., BISHOP, J. 1991. Light limitation of phytoplankton biomass and macronutrient utilization in the Southern Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 36: 1662–1677p.
- OUDOT, C., MORIN, P., BAURAND, F., WAFAR, M., LE CORRE, P. 1998. Northern and southern water masses in the equatorial Atlantic: Distribution of nutrients in the WOCE A6 and A7 lines, *Deep Sea Res. Part I* (45): 873-902p.
- OUDOT, C., TERNON, J. F., ANDRIÉ, C., BRAGA, E. S., MORIN, P. 1999. On the crossing of the equator by intermediate water masses in the western Atlantic ocean: Identification and pathways of Antarctic Intermediate Water and Upper Circumpolar Water. *J. Geoph. Res.* 104(C9): 20911-20926p.
- PACHAURI, R. K., REISIGER, A. & the Core Writing Team. **IPCC, 2007**: Climate Change 2007: *Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II,*

and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Suíça, 104p.

- PATTERSON, S. L., WHITWORTH, T. 1990. Physical Oceanography. In: GLASBY, G. P. 1990. Antarctic Sector of the Pacific. *Elsevier Oceanography Series*. 51. Elsevier, Amsterdam. 55-93p.
- PEIXOTO, J. P. & OORD, A. H. 1992. *Physics of Climate*. American Institute of Physics, New York. 482p.
- PETERSON, R. G. & STRAMMA, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Prog. Oceanogr.* 26:1-73p.
- POLCHER, J. & LAVAL, K. 1994. The impact of African and Amazonian deforestation on tropical climate. *J. Hydrol.* 155: 389-405p.
- REID, J. L. 1994. On the total geostrophic circulation of the North Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers, and transports. *Prog. Oceanogr.* 33: 1-92p.
- REVERDIN, G. 1996. Upper ocean temperature and salinity sections in the South Atlantic in 1911. *J. Geoph. Res.* 101(C3): 6361-6376p.
- ROSSI, V., LÓPEZ, C., SUDRE, J., HERNANDEZ-GARCIA, E., GARÇON, V. 2008. Comparative study of mixing and biological activity of Benguela and Canary upwelling systems. *Geop. Res. Lett.* 35(L11602): 1-5p.
- SCHLITZER, R. 2000. Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data: Available, *Eos Trans. AGU.* 81(5):45p.
- SCHLITZER, R., 2010. Ocean Data View. Disponível em: <http://odv.awi.de>. Acesso em 12 de maio de 2012.

- SCHMIDT, M. W., HOWARD, J. S., LEA, D. 2000. Links between salinity variation in the Caribbean and North Atlantic thermohaline circulation. *Nature* 428: 160-163p.
- SHANNON, L. V. & NELSON, G. 1996. The Benguela: large scale features and processes and system variability. *In*: WEFER, G., BERGER, W. H., SIEDLER, G., WEBB, D. J. The South Atlantic: present and past circulation. Springer-Verlag, Berlin, 163– 210p.
- SMITH, W. O. & NELSON, D. M., 1985 Phytoplankton bloom produced by a receding ice edge in the Ross Sea: spatial coherence with the density field. *Science*. 227: 163–166p.
- SPRINTALL, J. & TOMCZAK, M. 1993. On the formation of Central Water and thermocline ventilation in the southern hemisphere. *Deep Sea Res.* 40(4): 827-848p.
- STRAMMA, L. & ENGLAND, M. 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res.* 104(C9): 20863-20883p.
- STRAMMA, L. & SCHOTT, F. 1996. Western equatorial circulation and interhemispheric exchange in The Warm watersphere of the North Atlantic Ocean, edited by W. KRAUSS. Gebriider Borntraeger, Berlin. 195-227p.
- TOMCZAK, M. & MCCORQUODALE, J. A. 1997. GIS Supported Mapping and Modeling of the St. Clair River Contaminated Sediments. Presented at the International Association for Great Lakes Research (IAGLR) Conference, Buffalo, NY.
- TOMCZAK, M. & GODFREY, J. S. 1994. Regional Oceanography: An Introduction, Elsevier, New York. 422p.
- TRÉGUER, P. & LE CORRE, P. 1975. Manuel d'analysis des sels nutritifs dans l'eau de mer. 2ème éd. *Brest, Université de Bretagne Occidentale*. 110p.

- TSUCHIYA, M., TALLEY, L. D., MCCARTNEY, M. S. 1992. An eastern Atlantic sectionf from Iceland southward a cross the equator. *Deep Sea Res. PartA*(39): 1885-1917p.
- TSUCHIYA, M., TALLEY, L. D., MCCARTNEY, M. S. 1994. Water-mass distributions in the western South Atlantic: A section from South Georgia Island (54°S) northward across the equator. *J. Mar. Res.* 52: 55-81p.
- TSUCHIYA, M. 1986. Thermohads and circulation in the upper layer of the Atlantic Ocean. *Prog. Oceanogr.* 16: 235-267p.
- USHIDA, H. & FUKUSAWA, M. 2005. WHP P6, A10, I3/I4 Revisit data book: Blue Earth Global Expedition 2003 (BEAGLE 2003). JAMSTEC. Kanagawa. v1. 103p.
- VANICEK, M. & SIEDLER, G. 2001. Zonal fluxes in the deep water layers of the western South Atlantic Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 32: 2205-2235p.
- VEITCH, J. A., FLORENCHIE, P., SHILINGTON, F. A. 2006. Seasonal and interannual fluctuations of the Angola–Benguela Frontal Zone (ABFZ) using 4.5 km resolution satellite imagery from 1982 to 1999. *Int. J. Rem. Sens.* 27(5). 987-998p.
- WATSON, R. T. & the Core Writing Team. **IPCC, 2001**: *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Integovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, e New York, NY, EUA, 398p.
- WINKLER, L. W. 1888. *Ber Dtsch. Chem. Ges.* 21: 2843-2855p. In: GRASSHOLF, K., KREMLING, K. & EHRHARDT, M. 1983. Determination of trace elements in: *Methods of Seawater Analysis*. 3ed. *Winhein. Willey-Vch Verlag*.: 61-72p.

ZHENG, X. & ELTHAIR, E. A. B. 1997. The response to deforestation and desertification in a model of West African monsoons. *Geophys. Res. Lett.* 24(2): 155-158p.

ANEXO

function dens = sw_dens0(S,T)

% SW_DENS0 Denisty of sea water at atmospheric pressure

%=====

=====

% SW_DENS0 \$Revision: 1.3 \$ \$Date: 1994/10/10 04:54:09 \$

% Copyright (C) CSIRO, Phil Morgan 1992

% USAGE: dens0 = sw_dens0(S,T)

% DESCRIPTION:

% Density of Sea Water at atmospheric pressure using

% UNESCO 1983 (EOS 1980) polynomial.

% INPUT: (all must have same dimensions)

% S = salinity [psu (PSS-78)]

% T = temperature [degree C (ITS-68)]

% OUTPUT:

% dens0 = density [kg/m^3] of salt water with properties S,T,

% P=0 (0 db gauge pressure)

% AUTHOR: Phil Morgan 92-11-05 (morgan@ml.csiro.au)

% DISCLAIMER:

% This software is provided "as is" without warranty of any kind.

% See the file sw_copy.m for conditions of use and licence.

% REFERENCES:

% Unesco 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of

% seawater, 1983. _Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci._, No. 44, 53 pp.

%

% Millero, F.J. and Poisson, A.

% International one-atmosphere equation of state of seawater.

% Deep-Sea Res. 1981. Vol28A(6) pp625-629.

%=====

==

% CALLER: general purpose, sw_dens.m

```

% CALLEE: sw_smow.m
%-----
% CHECK INPUT ARGUMENTS
%-----
if nargin ~=2
    error('sw_dens0.m: Must pass 2 parameters')
end %if
[mS,nS] = size(S);
[mT,nT] = size(T);
if (mS~=mT) | (nS~=nT)
    error('sw_dens0.m: S,T inputs must have the same dimensions')
end %if
Transpose = 0;
if mS == 1 % a row vector
    S = S(:);
    T = T(:);
    Transpose = 1;
end %if
%-----
% DEFINE CONSTANTS
%-----
%   UNESCO 1983 eqn(13) p17.
b0 = 8.24493e-1;
b1 = -4.0899e-3;
b2 = 7.6438e-5;
b3 = -8.2467e-7;
b4 = 5.3875e-9;
c0 = -5.72466e-3;
c1 = +1.0227e-4;
c2 = -1.6546e-6;
d0 = 4.8314e-4;

```

```

%$$$ dens = sw_smow(T) + (b0 + b1*T + b2*T.^2 + b3*T.^3 + b4*T.^4).*S ...
%$$$          + (c0 + c1*T + c2*T.^2).*S.*sqrt(S) + d0*S.^2;
dens = sw_smow(T) + (b0 + (b1 + (b2 + (b3 + b4*T).*T).*T).*T).*S ...
          + (c0 + (c1 + c2*T).*T).*S.*sqrt(S) + d0*S.^2;

if Transpose
    dens = dens';
end %if
return
%-----

```