

Relatório Final de Iniciação Científica

PIBIC/CNPq - Janeiro a Julho de 2007

Investigação da Camada de Mistura Oceânica na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo

Aluno: Ricardo Marques Amendola

Orientador: Jacyra Soares

Departamento de Ciências Atmosféricas
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

Resumo

O objetivo geral desta pesquisa foi fazer uma caracterização oceanográfica preliminar da região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo ($0^{\circ} 56' N$, $29^{\circ} 22' W$) utilizando os dados obtidos pelas bóias oceanográficas em 0° , $35^{\circ} W$ e 0° , $23^{\circ} W$, pertencentes ao Projeto PIRATA, para determinar a profundidade da Camada de Mistura Oceânica (CMO). Os valores médios diários de temperatura do mar, salinidade e densidade potencial entre os anos de 2000 e 2006 foram obtidos no portal do "Pacific Marine Environmental Laboratory". A metodologia utilizada consistiu de cinco etapas, desde a leitura dos dados e o uso do filtro de médias móveis para suavização até a comparação das profundidades médias mensais da CMO estimadas e climatológicas. Foram analisados os picos máximos e mínimos de temperatura para toda série de 1999 a 2006, como também foi observada a influência que a Zona de Convergência Inter-Tropical tem sobre a salinidade no Atlântico Equatorial. Foi possível caracterizar as profundidades médias mensais da CMO através das médias mensais de temperatura do ano de 2004 e compará-las com as profundidades médias mensais climatológicas do Atlas Oceanográfico Mundial (Levitus 94). Concluiu-se que as evoluções mensais dessas profundidades estimadas estão bem próximas das climatológicas. Os resultados obtidos neste estudo em conjunto com os resultados futuros do Projeto FluTuA fornecerão subsídios para um conhecimento mais detalhado da interação oceano-atmosfera no Oceano Atlântico Equatorial.

1. Introdução

Uma questão atual de suma importância tem preocupado os cientistas e a sociedade como um todo: a mudança climática que o planeta vem sofrendo, seja por fatores antrópicos, seja pela variabilidade natural do clima. A quantificação dos possíveis efeitos dessas mudanças no clima terrestre vem sendo feita através da simulação de diferentes cenários em modelos numéricos de sistemas climáticos. Um aspecto importante dessas simulações é a transferência de energia, massa e momento entre o oceano e a atmosfera, a qual ocorre através dos fluxos verticais turbulentos de calor, massa e momento. Esses fluxos estabelecem o acoplamento entre o oceano e a atmosfera, representando, dessa forma, processos chave no sistema climático.

As variações sazonais locais do armazenamento de calor no Oceano Atlântico Equatorial são dez vezes maiores do que as variações sazonais do ganho líquido através da interface ar-mar (Merle, 1980). Segundo Merle, tais variações não estão confinadas somente na camada de mistura oceânica superior. O ciclo anual da quantidade de calor no oceano deve-se, principalmente, aos movimentos verticais da termoclina, em resposta às variações sazonais dos ventos na superfície.

Devido à importância do armazenamento de calor na camada superior do oceano, o presente trabalho foca principalmente a profundidade da CMO, pois a quantidade de calor armazenado tem ligação direta com a espessura da CMO (De Boyer Montégut et al., 2004).

Numerosos estudos mencionam (Merle et al., 1979; Servain et al., 1985; Servain and Legler, 1986; Arnault and Cheney, 1994) a presença de eventos climáticos anormais no Oceano Atlântico Equatorial com duração variável de algumas semanas a anos. As anomalias no Oceano Atlântico de duração de meses a alguns anos estão em geral associadas principalmente às combinações de fases do Atlântico Sul ou Norte. Quando o Atlântico Sul e Norte estão fora de fase, tem-se uma situação conhecida como «dipolo», a qual apresenta uma forte componente decadal. Nesse caso a variabilidade do oceano esta associada também a variabilidade da posição da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT).

O deslocamento norte-sul anômalo da ZCIT corresponde a estações secas e chuvosas, respectivamente. Em particular, anos de secas no Nordeste estão associados ao deslocamento anômalo da ZCIT para norte da sua posição climatológica (Wainer and Soares, 1997; Hastenrath and Heller, 1977; Moura and Schukla, 1981; Servain, 1991) que por sua vez podem afetar os recursos pelágicos ao longo da costa Brasileira (Vianna et al., 1996). Dessa forma, os estudos e a eventual previsão de eventos na região do Atlântico devem constituir uma das prioridades de pesquisa pelo seu impacto sócio-econômico, análogo aos eventos associados ao fenômeno El Niño/Oscilação Sul no Oceano Pacífico.

Simulações numéricas com modelos acoplados oceano-atmosfera sugerem também que os processos físicos responsáveis pela variabilidade dos gradientes de temperatura da superfície do mar (TSM) inter-hemisféricos podem estar associados com o fluxo de calor latente. Essa interação termodinâmica entre oceano e atmosfera ocorre porque gradientes de TSM inter-hemisféricos próximos ao equador podem alterar a estrutura dos ventos alísios, de tal maneira que esses vão agir no sentido de aumentar (ou diminuir) o fluxo de calor latente no hemisfério onde a TSM estiver mais fria (ou quente), amplificando dessa forma o já existente gradiente de TSM.

Portanto, a capacidade de prever variações climáticas em diferentes escalas de tempo depende da nossa habilidade de compreender as complexas relações entre os vários processos que determinam o clima atual e sua variabilidade. Nos últimos anos cientistas têm correlacionado as oscilações atmosféricas de baixa frequência com mudanças que ocorrem nos oceanos tropicais. Os principais elementos desse forte acoplamento entre oceano e atmosfera são a relativamente rápida resposta dinâmica dos oceanos tropicais as mudanças nos ventos de superfície, as variações associadas às mudanças de vento na profundidade da camada de mistura oceânica, no conteúdo de calor e nos fluxos turbulentos que em última instância vão afetar a TSM.

Devido à ausência de dados observacionais é limitado o número de estudos de processos físicos atmosféricos e oceânicos no Atlântico Sul que contribuem para as variações encontradas nos parâmetros de superfície marinha (Wainer et al. 2003a).

O presente projeto de pesquisa de Iniciação Científica se encaixa dentro do projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico). O FluTuA tem como objetivo primeiro investigar a interação oceano-atmosfera ação oceano-atmosfera através da determinação observacional direta e contínua dos fluxos verticais turbulentos de calor sensível, calor latente e de momento sobre o oceano Atlântico. Essa investigação é feita utilizando uma torre micrometeorológica de 10 metros de altura, instrumentada com sensores de resposta rápida e lenta, em uma plataforma fixa no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado na região de mar aberto do oceano Atlântico tropical.

O ASPSP localiza-se, em mar aberto, sobre a fratura tectônica de São Paulo; é formado por um grupo de pequenas ilhas rochosas, desabitadas e desprovidas de qualquer tipo de vegetação, localizadas a cerca de 1.100 quilômetros do litoral do Estado do Rio Grande do Norte (00° 56' N e 29° 22' W), em uma região privilegiada para o desenvolvimento de pesquisas meteorológicas e oceanográficas - o oceano Atlântico Tropical (Figura 1.1).

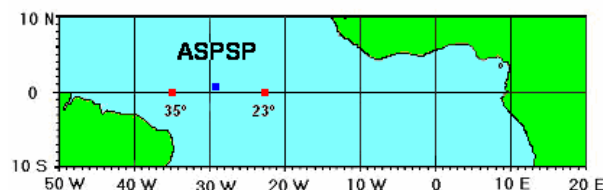


Figura 1.1 – Localização do ASPSP e das bóias do Projeto PIRATA.

Há poucas referências, na literatura, de observações meteorológicas e oceanográficas efetuadas diretamente no ASPSP (Soares e Oliveira, 2001; Soares et al., 2001; Oliveira et al., 2003; Soares et al., 2004). Existem, entretanto vários resultados de modelos numéricos sobre a região em estudo, o Atlântico tropical (Wainer et al., 2003b).

2. Definições

2.1. Camada de Mistura Oceânica

Pode-se definir a camada de mistura oceânica como sendo a camada do oceano em que as propriedades físicas da água (tais como temperatura, salinidade e densidade) não variam na direção vertical. Segundo Pickard (Pickard and Emery, 1990), esta definição não é a mais apropriada, pois a camada de mistura quase nunca se apresenta totalmente misturada.

Os processos turbulentos que ocorrem na camada superficial dos oceanos têm papel fundamental na homogeneização das águas oceânicas próximas à superfície. A mistura pode ocorrer de várias maneiras: (1) pela quebra de ondas na superfície, ocorrendo mistura logo nos primeiros metros. (2) pela ação dos ventos (figuras 2.1a,b), que pelo atrito com a superfície oceânica gera movimento (máximo na superfície e que decresce com a profundidade), ou seja, com cisalhamento vertical na velocidade. Quando o cisalhamento é suficientemente grande, gera-se turbulência que promove a mistura na camada. (3) Pelo ganho ou perda de calor através da superfície. As figuras 2.1(c-e) mostram que a espessura da CMO aumenta conforme o oceano perde calor para a atmosfera. Com evaporação ou perda de calor há um aumento na densidade no topo da camada superior, e a água mais densa afunda, aumentando a CMO. Já as figuras 2.1(f-h) mostram o processo de redução da espessura da CMO. Com o ganho de calor, há uma diminuição na densidade no topo da camada e, conseqüentemente, uma camada mais estratificada e, portanto, mais estável.

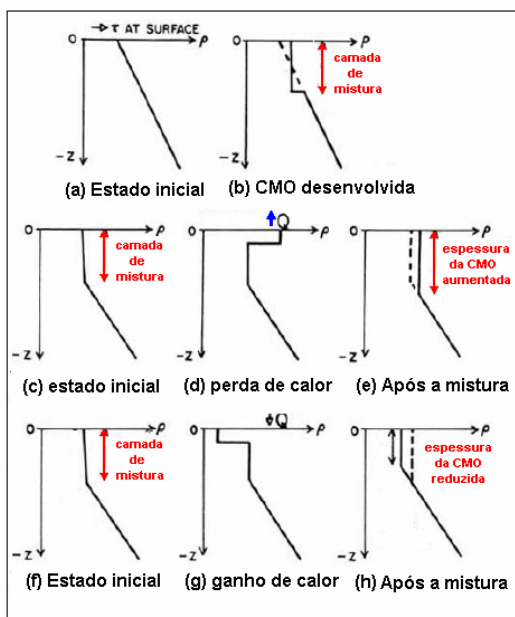


Figura 2.1 - Diferentes diagramas esquemáticos que retratam a camada de mistura em situações distintas (modificado de Pickard and Emery, 1990).

De maneira geral, a camada de mistura oceânica é mais profunda no inverno e mais rasa no verão. Isto ocorre porque no verão a radiação solar incidente na superfície do oceano aumenta levando a uma densidade de estratificação mais estável, diminuindo a mistura.

2.2. Média Móvel

Muitas vezes, quando se trabalha com gráficos de séries temporais, as curvas que representam a série temporal podem apresentar ruídos. Com o intuito de eliminar tais ruídos, ou

muitas vezes somente atenuá-los, faz-se uso da suavização através de um filtro de médias móveis (Spiegel, 1985). Assim, um filtro de média móvel nada mais é do que um filtro linear que transforma uma série Z_t na série Z_t^* .

Dadas as observações Z_1, \dots, Z_N , o filtro comumente utilizado é da forma:

$$Z_t^* = \sum_{j=-n}^n c_j Z_{t+j}, \quad t = n+1, \dots, N-n \quad (2.1)$$

onde

$$c_j = \frac{1}{2n+1} \quad (2.2)$$

Substituindo 2.1 em 2.2 obtém-se o filtro na forma:

$$Z_t^* = \frac{1}{2n+1} \sum_{j=-n}^n Z_{t+j} \quad (2.3)$$

Sendo assim, adaptando a fórmula (2.3) na linguagem de programação Fortran 90 foi possível gerar séries temporais filtradas para a geração de gráficos com suavização.

3. Metodologia e fonte de dados

O objetivo principal deste projeto de iniciação científica foi fazer uma caracterização oceanográfica preliminar da região do ASPSP, que consistiu na localização e determinação da profundidade da CMO em duas regiões do Atlântico Tropical, onde estão localizadas as bóias oceanográficas em $0^\circ 35^\circ W$ e $0^\circ 23^\circ W$ (figura 1.1), pertencentes ao Projeto PIRATA.

3.1. Fonte de dados

Foram utilizados dados do Projeto PIRATA, obtidos no portal do "Pacific Marine Environmental Laboratory" ⁽¹⁾, e do Atlas Oceanográfico Mundial Levitus 94 ⁽²⁾. Do Projeto PIRATA foram utilizados os valores médios diários de temperatura do mar, salinidade e densidade, de 1999 a 2007, distribuídos conforme mostram as tabelas 3.1 e 3.2.

Os dados do Atlas Oceanográfico Mundial (WOA) foram encontrados nos arquivos do NODC (*National Oceanographic Data Center*), um centro de dados mantido por um programa da NOAA, chamado "*Climate and Global Change Program*". O WOA consiste de campos climatológicos, dos mais variados parâmetros físicos oceanográficos, gerados com dados "*in situ*" globais do oceano, provenientes de diversas fontes do mundo todo.

[1] http://www.pmel.noaa.gov/tao/data_deliv/deliv-nojava.html

[2] <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/LEVITUS94/>

| | Bóia em 0° 23°W | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| | Temperatura (°C) | Salinidade (psu) | Densidade (kg m ⁻³) |
| Quantidade de arquivos | 1 | 1 | 1 |
| Formato | ascii | ascii | ascii |
| Período | 01/01/1999 a 01/01/2007 | 01/01/1999 a 01/01/2007 | 01/01/1999 a 01/01/2007 |
| Quantidade de Profundidades | 14 | 7 | 7 |
| Blocos | 3 | 4 | 4 |

Tabela 3.1 – Especificações das características encontradas nos arquivos contendo os dados de temperatura, salinidade e densidade referentes à bóia na localidade 0° 23°W (Projeto PIRATA).

| | Bóia em 0° 35°W | | |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| | Temperatura (°C) | Salinidade (psu) | Densidade (kg m ⁻³) |
| Quantidade de arquivos | 1 | 1 | 1 |
| Formato | ascii | ascii | ascii |
| Período | 01/01/1999 a 01/01/2007 | 01/01/1999 a 01/01/2007 | 01/01/1999 a 01/01/2007 |
| Quantidade de Profundidades | 11 | 5 | 5 |
| Blocos | 1 | 8 | 8 |

Tabela 3.2 – Especificações das características encontradas nos arquivos contendo os dados de temperatura, salinidade e densidade referentes à bóia SAMBA (Projeto PIRATA).

3.2. Metodologia

Etapa 1 - Leitura dos dados

Todos os dados utilizados neste projeto são médias diárias de temperatura, salinidade e densidade, pertencentes ao Projeto PIRATA. Os dados foram disponibilizados numa matriz irregular (excetuando os dados de temperatura da localidade 0° 35°W, que contém somente 1 bloco). Entretanto, esta forma de dispor os dados não é a mais adequada para se trabalhar com os dados. O ideal seria disponibilizá-los num formato regular, como mostra a figura 3.1. Assim, as profundidades do primeiro bloco devem encaixar com as profundidades do segundo bloco, que deverão encaixar com as do terceiro, e assim sucessivamente.

Como pode ser visto nas tabelas 3.1 e 3.2, os dados estão disponibilizados nos arquivos em blocos. Cada bloco diferencia-se um do outro pela quantidade de profundidades existentes neles. Só para exemplificar, os dados do arquivo com os dados de temperatura da bóia JAZZ contém 3 blocos. O primeiro bloco contém temperaturas para 11 profundidades diferentes (1, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 180, 300 e 500 m). Já o segundo bloco contém dados de temperatura para todas as profundidades do bloco 1, além das profundidades de 10 e 13 m. Para sanar esta dificuldade, foram desenvolvidos 6 programas na linguagem de programação Fortran 90 para a leitura dos dados.

Etapa 2 - Obtenção dos primeiros gráficos

Após a leitura dos dados, 12 gráficos foram gerados no aplicativo "Origin 7.5" e são analisados na seção 4. Destes 12, os seis primeiros foram feitos usando-se a série completa de 1999 a 2007,

para as variáveis temperatura, salinidade e densidade, um para cada localidade, para mostrar o perfil das séries temporais e poder avaliar o conjunto das séries como um todo. Após uma cuidadosa análise dos gráficos das séries completas, um ano entre os sete foi escolhido. O critério para a escolha do ano de 2004 foi baseado em fatores como a disponibilidade contínua dos dados para as duas localidades (0° 35°W e 0° 23°W) e o ano de 2004 foi o que mais apresentou uma quantidade maior de dados contínuos para as duas localidades. Feito isto, outros seis gráficos foram gerados, considerando-se, então, somente o ano de 2004.

Etapa 3 - Suavização das curvas nos gráficos

O filtro de média móvel foi aplicado em todas as séries temporais de temperatura, salinidade e densidade. Desta maneira, as curvas dos gráficos do ano de 2004 ficaram mais suaves.

Etapa 4 – Obtenção de médias mensais de Temperatura

Para facilitar o processo de estimar as profundidades das CMOs, foram calculadas as médias mensais da série de 2004 e dois gráficos foram gerados, um para cada localidade.

Etapa 5 – Comparando médias mensais de 2004 com o Levitus 94

Para efeito de comparação com as médias mensais de 2004, foram gerados 12 gráficos representativos da profundidade média mensal da CMO com os dados disponíveis em <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94/>. Estes gráficos mostram a evolução mensal da profundidade da CMO na região do ASPSP.

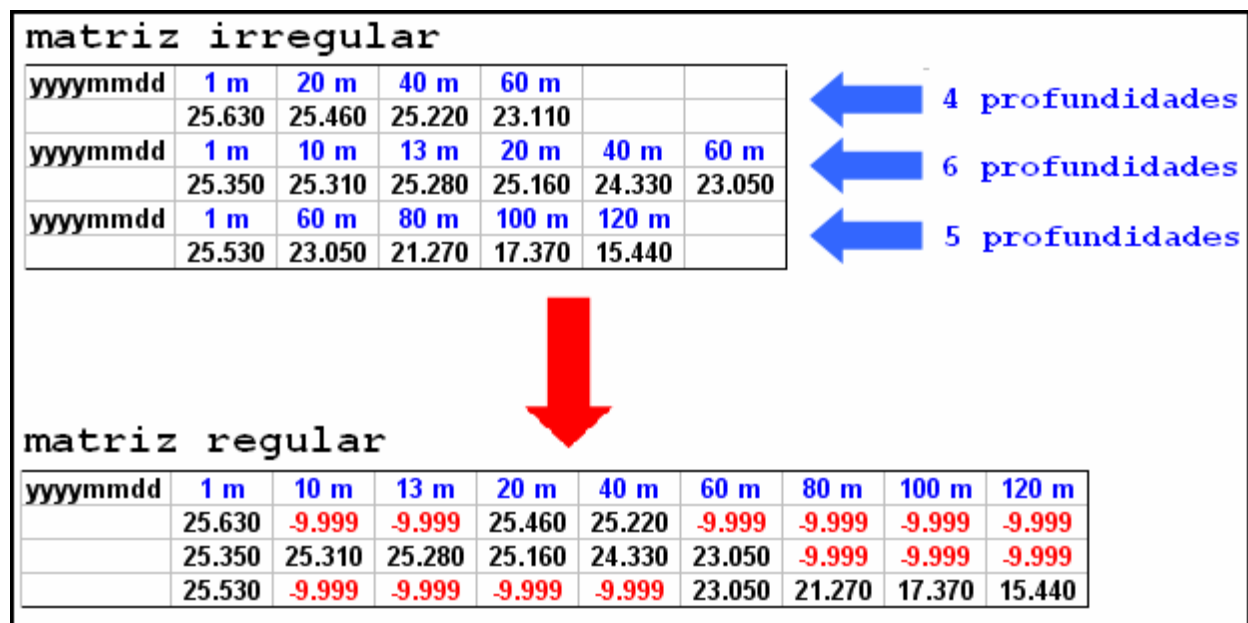


Figura 3.1 – A tabela exemplifica como os dados são disponibilizados na Internet, na forma de uma matriz irregular. A tabela de baixo mostra como ficam os dados após a execução do programa. Cada profundidade passa a ter sua própria coluna.

4. Resultados e Discussões

4.1. Comparação das séries completas

4.1.1. Temperatura

Analisando as séries completas de temperatura para as duas localidades no Atlântico Equatorial (figura 4.1), pode-se observar alguns padrões. Para as águas mais rasas, entre 1 e 40 m de profundidade, os picos máximos de temperatura, para todos os anos, ocorrem entre os meses de Abril e Maio, enquanto que os picos mínimos ocorrem entre Agosto e setembro. As

águas mais profundas, entre 60 e 120 m, apresentam seus picos de máxima temperatura coincidindo com os picos de mínima das águas mais rasas; seus picos de mínima também coincidem com os picos de máxima temperatura das águas rasas.

Para a localidade $0^{\circ} 35^{\circ}W$ (figura 4.1a), a amplitude das oscilações de temperatura das águas rasas é bem menor se comparada com as águas rasas da localidade $0^{\circ} 23^{\circ}W$ (figura 4.1b). Por outro lado, o contrário acontece para as águas mais profundas; a amplitude das oscilações de temperatura é maior para a localidade $0^{\circ} 35^{\circ}W$ do que para localidade $0^{\circ} 23^{\circ}W$.

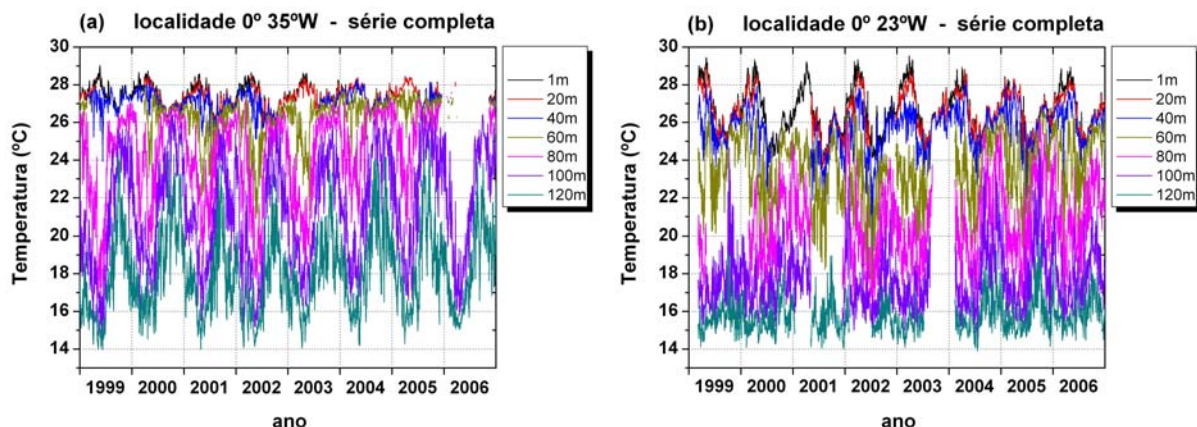


Figura 4.1 – Gráficos das séries temporais da temperatura do oceano, entre os anos de 1999 a 2006, para as profundidades de 1, 20, 40, 60, 80, 100 e 120 m, em (a) $0^{\circ} 35^{\circ}W$ e (b) $0^{\circ} 23^{\circ}W$.

4.1.2. Salinidade e densidade

Para melhor analisar a série temporal completa da salinidade é preciso mostrar como se mostrou o regime de chuvas no Atlântico Equatorial para o mesmo período (1999 a 2006). Analisando as profundidades de 1 m na figura 4.2,

pode-se observar um forte decréscimo (de janeiro a Abril) nos valores da salinidade. Observando os gráficos da figura 4.4, percebe-se que esses decréscimos coincidem com os períodos de chuvas no Atlântico Equatorial. Sabe-se que a ZCIT tem grande influência na precipitação no Atlântico Equatorial, e ela atinge a região do

ASPSP entre março e abril, período em que ela se encontra mais ao sul. As séries temporais da densidade podem ser analisadas na figura 4.3. A análise para a densidade é a mesma feita para a

salinidade. O decréscimo nos valores da densidade, entre Janeiro e Abril, coincide com a presença da ZCIT na região do ASPSP.

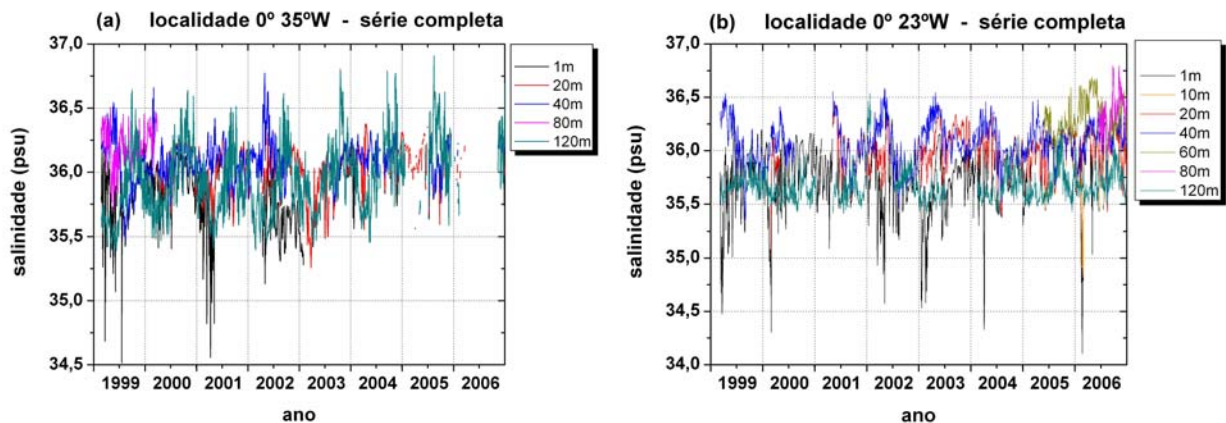


Figura 4.2 – Gráficos das séries temporais da salinidade no Atlântico Equatorial, entre os anos de 1999 a 2006, para várias profundidade, em (a) 0° 35°W e (b) 0° 23°W.

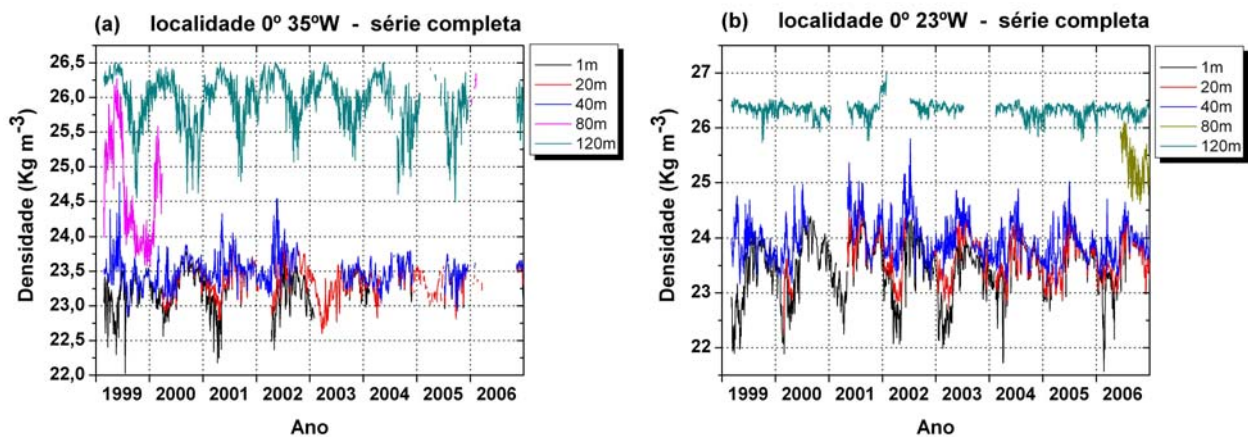


Figura 4.3 – Gráficos das séries temporais da densidade no Atlântico Equatorial, entre os anos de 1999 a 2006, para as profundidades de 1, 20, 40, 80 e 120 m, em (a) 0° 35°W e (b) 0° 23°W.

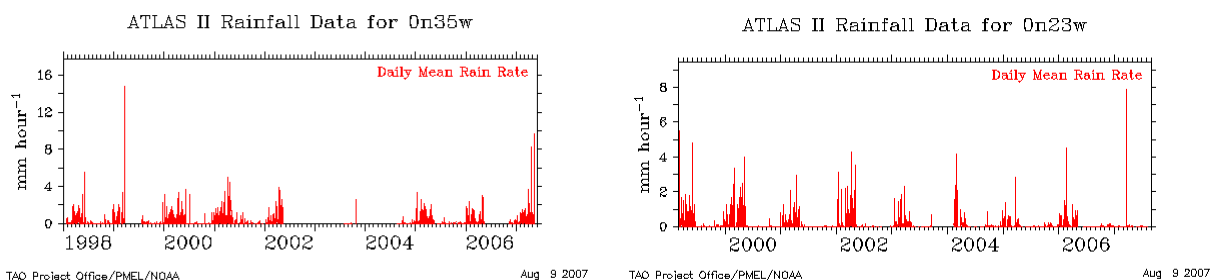


Figura 4.4 – Gráficos das séries temporais de precipitação no Atlântico Equatorial, entre os anos de 1998 a meados de 2007. (a) refere-se à precipitação em 0° 35°W (<http://www.pmel.noaa.gov/pirata/0n35w.html>); e (b) refere-se à precipitação em 0° 23°W (<http://www.pmel.noaa.gov/pirata/0n23w.html>).

4.2. Comparação das séries de 2004, com e sem média móvel

Para todos os gráficos nesta seção foi aplicado o filtro de média móvel de cinco pontos

para suavização das curvas dos gráficos. Este número de pontos foi a escolha mais adequada, pois um número maior de pontos foi testado e, apesar de as curvas ficarem mais suaves, a série começava a perder suas características.

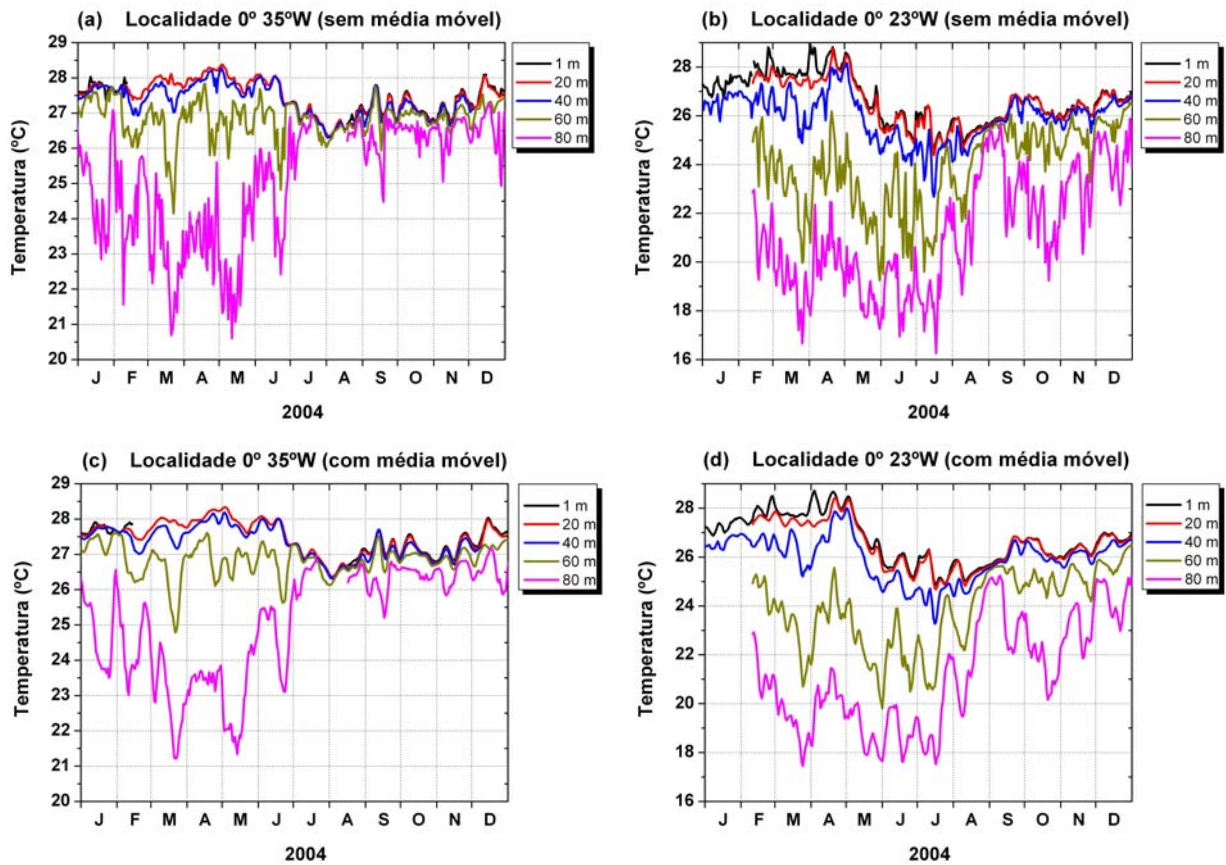


Figura 4.5 – Gráficos da temperatura do oceano da série temporal do ano de 2004 para cinco profundidades (1, 20, 40, 60 e 80 m). (a) 0° 35°W sem média móvel; (b) 0° 23°W sem média móvel; (c) 0° 35°W com média móvel; e (d) 0° 23°W com média móvel.

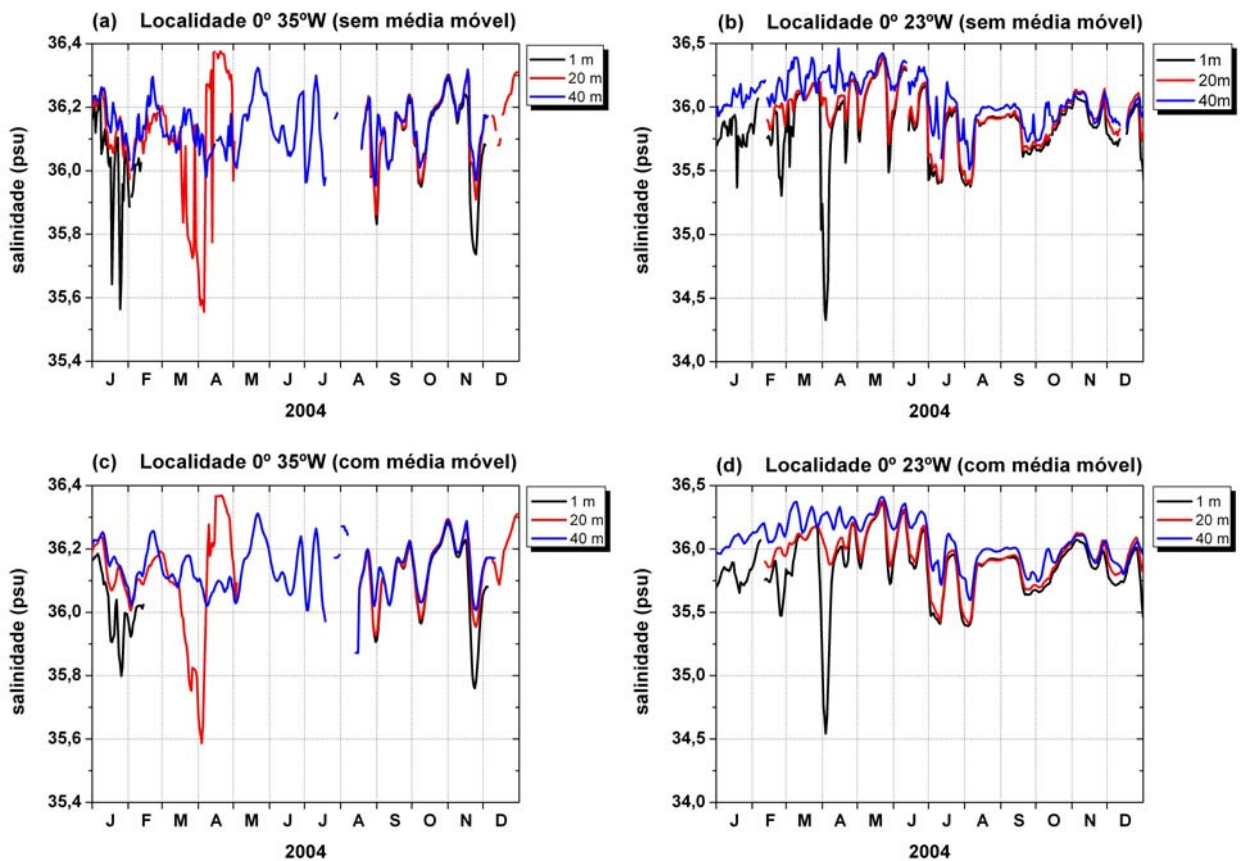


Figura 4.6 – Gráficos da salinidade do oceano da série temporal do ano de 2004 para três profundidades (1, 20 e 40 m). (a) 0° 35°W sem média móvel; (b) 0° 23°W sem média móvel; (c) 0° 35°W com média móvel; e (d) 0° 23°W com média móvel.

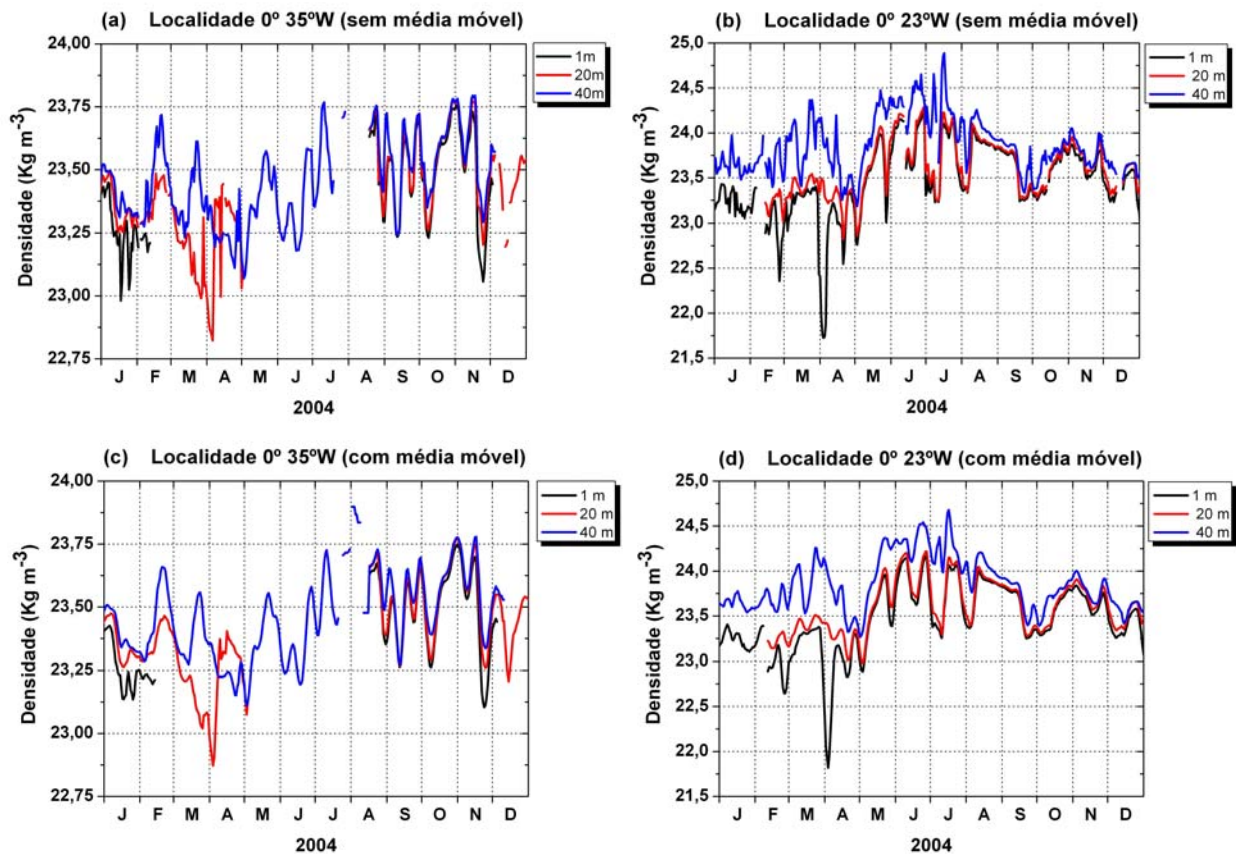


Figura 4.7 – Gráficos da densidade do oceano da série temporal do ano de 2004 para três profundidades (1, 20 e 40 m). (a) 0° 35°W sem média móvel; (b) 0° 23°W sem média móvel; (c) 0° 35°W com média móvel; e (d) 0° 23°W com média móvel.

A figura 4.5 apresenta as séries temporais de 2004, com e sem média móvel, da temperatura do oceano para diversas profundidades, para as localidades 0° 35° W e 0° 23° W. Pôde-se analisar, inicialmente, que os gráficos com média móvel (4.5c,d) apresentam curvas mais suaves se comparadas com as curvas dos gráficos sem média móvel (4.5a,b). O ano de 2004 foi escolhido para a análise porque era o ano em que se tinham séries mais completas de temperatura das 3 primeiras profundidades. As primeiras profundidades são importantes, pois sem elas não daria para analisar a profundidade da CMO de Janeiro a Junho, período em que a CMO encontra-se menos profunda, com cerca de 15 a 40 m.

Fazendo um comparativo entre os gráficos 4.5 (c,d), dá pra se concluir que a CMO é mais profunda em 0° 35° W do que em 0° 23° W. A temperatura da água nos primeiros 40 m é mais fria em 0° 23° W (variando, em média, de 23 a 28,5°C ao longo do ano) do que em 0° 35° W (onde a variação vai de 26,5 a 28,5°C).

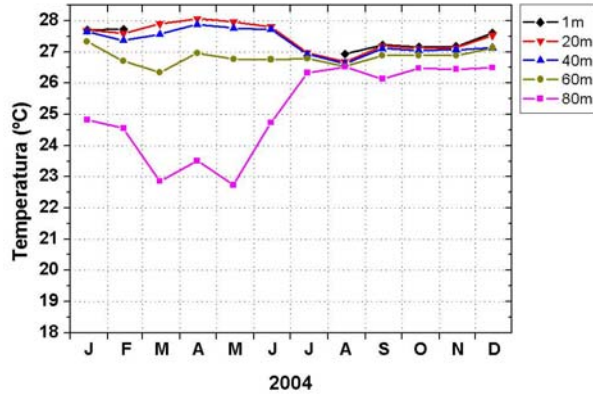
As figuras 4.6 e 4.7 mostram os gráficos de salinidade e densidade, respectivamente, nas profundidades de 1, 20 e 40 m, para as

localidades 0° 35°W e 0° 23°W, durante o ano de 2004. Observando estes gráficos percebe-se que estão faltando dados de salinidade e densidade, para a profundidade de 1 m, entre fevereiro e agosto de 2004; para a profundidade de 20 m faltam dados entre maio e agosto. Por esta razão decidiu-se, como próximo passo neste projeto de pesquisa, optar por uma investigação climatológica da salinidade e densidade ao invés de usar somente as séries de 2004 para estes dados.

Os gráficos de salinidade e densidade mostrados na figura 4.6 e 4.7 não serão analisados na determinação da profundidade da CMO por causa da falta de dados.

Com o intuito de facilitar a determinação da evolução da profundidade da CMO, foram obtidas as médias mensais de temperatura para 2004, representadas nos dois gráficos da figura 4.8, que serão comparados com os gráficos do Levitus 94 das médias mensais da profundidade da CMO, mostradas na figura 4.9. A figura 4.10 mostra os valores estimados (da figura 4.8) da profundidade da CMO pelas médias mensais de temperatura e também os valores da profundidade da CMO observados nos gráficos do Levitus 94 (figura 4.9)

(a) Médias Mensais de Temperatura - 0° 35°W



(b) Médias Mensais de Temperatura - 0° 23°W

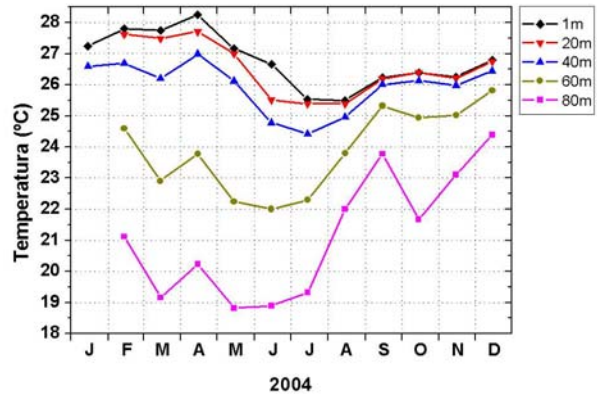


Figura 4.8 – Médias mensais de temperatura do ano de 2004, para a localidade 0° 35°W (gráfico a) e para a localidade 0° 23°W (gráfico b).

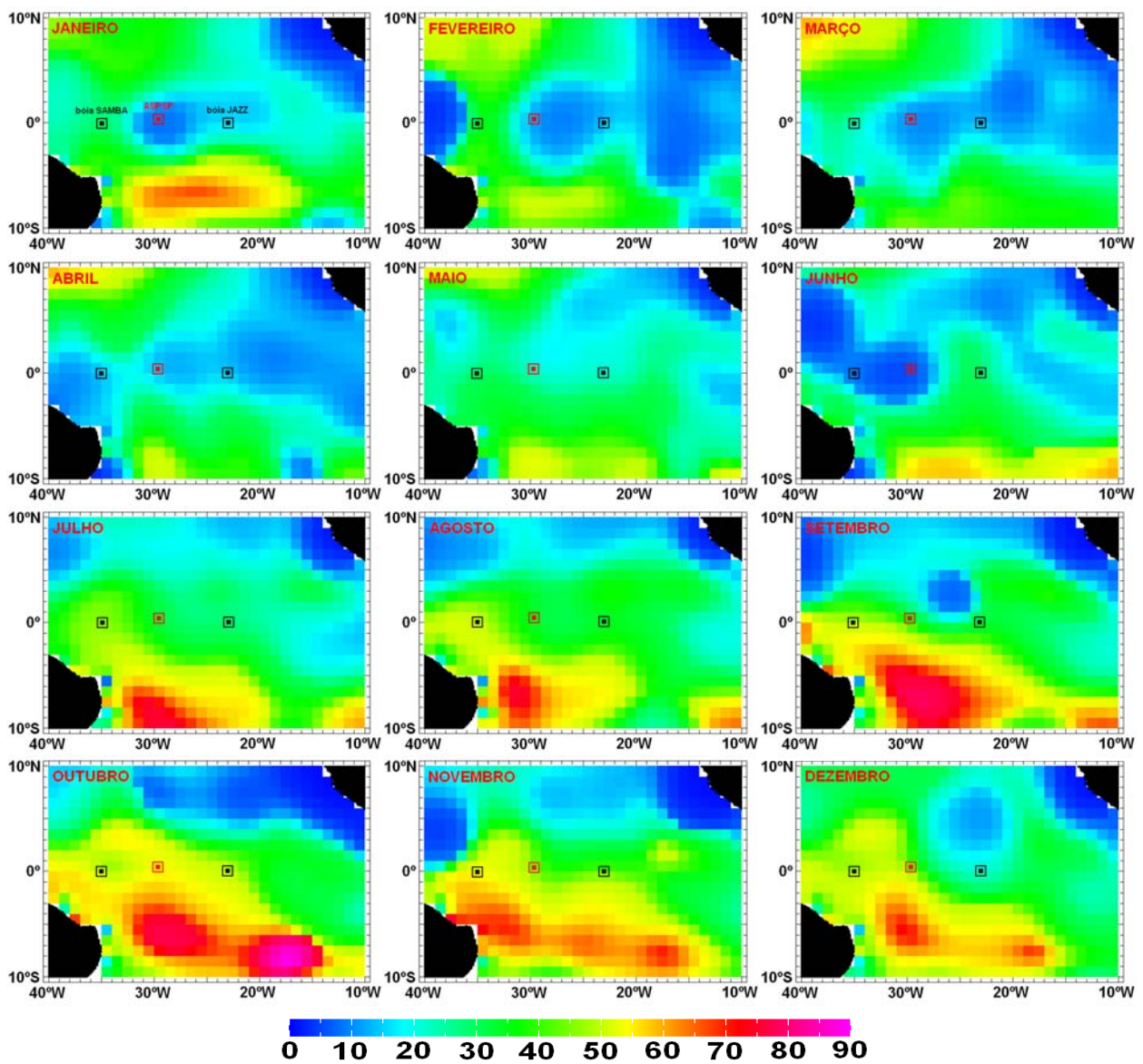


Figura 4.9 – Profundidade média mensal da CMO do Atlas Oceanográfico Mundial (Levitus 94).

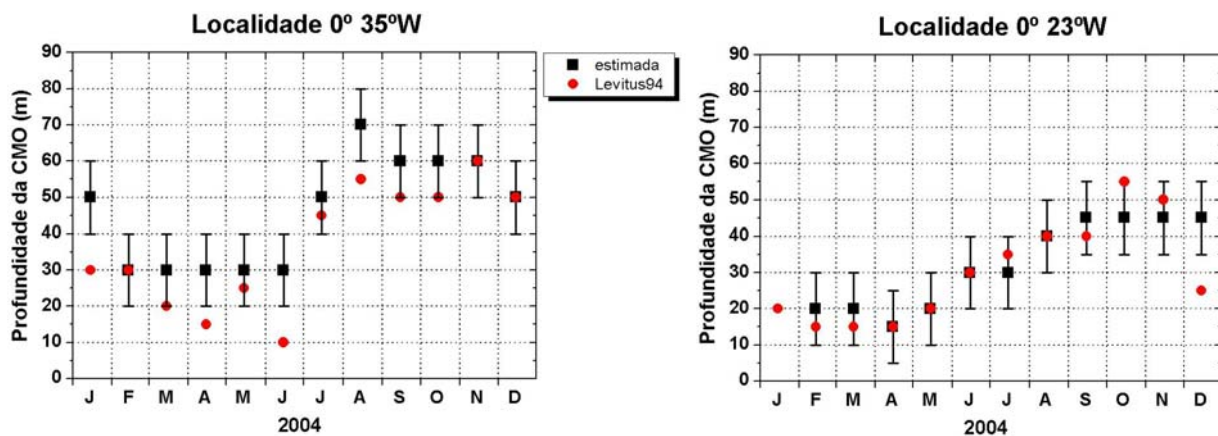


Figura 4.10 – Gráficos das profundidades da CMO, tanto as estimadas pelas médias mensais de temperatura (da figura 4.8) como também as obtidas do Levitus 94 (da figura 4.9), para as localidades 0° 35°W e 0° 23°W.

Com o auxílio da figura 4.10 pode-se comparar as profundidades estimadas pelos gráficos das médias mensais da figura 4.8 e as obtidas pelos gráficos da climatologia da figura 4.9. As profundidades analisadas na figura 4.8 foram 1, 20, 40, 60 e 80 m. Como não há dados em profundidades intermediárias, tais como 10, 30, 50 e 70 m, foi necessário estimar as profundidades da CMO dentro de intervalos, pois para alguns meses não se sabe ao certo em que profundidade a CMO realmente se encontra. Analisando a figura 4.10(a), pode-se verificar que as profundidades estimadas estão, em grande parte, de acordo com o Levitus 94, excetuando os meses de Janeiro, Abril, Junho e Agosto. Na figura 4.10(b) pode-se observar que as profundidades estimadas também estão de acordo com o Levitus 94, excetuando Janeiro e Dezembro. Algumas características podem ser observadas comparando-se as figuras 4.10(a,b). As CMOs são menos espessas de Janeiro a Junho se comparadas com Julho a Dezembro. Além disso, a CMO é menos profunda em 0° 23°W do que em 0° 35°W. Estas características também estão de acordo com o Levitus 94 (figura 4.9).

5. Discussão

A realização deste trabalho de pesquisa foi bastante satisfatória, pois permitiu o estudo de alguns conceitos não muito aprofundados na graduação, tais como o conceito de camada de mistura oceânica e filtros de suavização por médias móveis, bastante úteis e interessantes. Esta iniciação científica foi importante para o aprendizado e uso de ferramentas de pesquisa fundamentais tais como a linguagem de programação *Fortran* e o aplicativo *Origin 7.5*. As maiores dificuldades encontradas neste projeto foram a leitura dos arquivos usando o *Fortran* e a determinação da CMO sem ter a climatologia da série completa de temperatura, salinidade e densidade. A primeira dificuldade foi completamente superada. Como melhoria para

este projeto de pesquisa, deve ser feita uma climatologia com as séries completas de temperatura, salinidade e densidade para então se fazer uma nova comparação com o Levitus 94.

6. Conclusão

Este projeto de pesquisa envolveu várias etapas de trabalho. Desde a o uso da linguagem de programação para leitura de arquivos e cálculos de médias móveis ao uso de médias mensais para comparação com dados climatológicos. Neste trabalho foram obtidos vários resultados interessantes. Foi possível perceber alguns padrões entre as localidades 0° 35°W e 0° 23°W. Para as águas mais rasas (1 a 40 m) os picos máximos de temperatura ocorrem entre os meses de Abril e Maio, enquanto que os picos mínimos ocorrem entre Agosto e setembro. Nas águas mais profundas (60 a 120 m), os picos de máxima temperatura coincidiram com os picos de mínima das águas mais rasas; seus picos de mínima também coincidiram com os picos de máxima temperatura das águas rasas.

Comparando-se as amplitudes das oscilações de temperatura das águas rasas entre as localidades 0° 35°W (figura 4.1a) e 0° 23°W (figura 4.1b), verificou-se que em 0° 35°W ela é bem menor que em 0° 23°W. O contrário ocorreu para as águas mais profundas; as amplitudes das oscilações de temperatura é maior para a localidade 0° 35°W do que para localidade 0° 23°W.

Outra característica importante observada foi a influência da ZCIT na salinidade do Oceano Atlântico Equatorial. Quando a ZCIT está mais ao sul, por volta de março e abril, há mais chuvas na região do ASPSP e, conseqüentemente, uma diminuição na salinidade nestas regiões, já que está havendo mais precipitação do que evaporação na região.

Foram determinadas as profundidades médias mensais da CMO, estimadas através das médias mensais de temperatura e comparadas com as profundidades médias mensais do Levitus 94.

Mesmo não sendo dados climatológicos, grande parte das profundidades médias mensais estimadas ficaram, para ambas as localidades, próximas da climatologia.

7. Outras Atividades

- 14^o Siicusp - Estudo das Condições Oceanográficas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. 2006.
- XII Simpósio de Iniciação Científica do IAG - Determinação da Profundidade da Camada de Mistura Oceânica na Região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. 2007.

8. Referências Bibliográficas

- Arnault S. and R.E. Cheney, 1994, Tropical Atlantic sea level variability from GEOSAT (1985-1989). *J. Geophys. Res.*, 99, C9, 18207-18224.
- De Boyer Montégut, C., G. Madec, A. S. Fischer, A. Lazar, and D. Iudicone (2004), Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology, *J. Geophys. Res.*, 109, C12003, 1-20
- Hastenrath S. and L. Heller, 1977: Dynamics of climate hazards in northeast Brazil. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 103, 77-92.
- Merle J., 1980: Seasonal heat budget in the equatorial Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 10, 464-469.
- Merle J., M. Fieux, P. Hisard, 1979: Annual signal and interannual anomalies of Sea Surface Temperature in the eastern equatorial Atlantic. *Gate Sup II, Deep Sea Res.*, 26, 77-101.
- Moura A.D. and J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, 38, 2653-2675.
- Oliveira A.P., J. Soares, S. A. Bacellar, A.J. Machado, A.M. Espinosa, 2003: Energy balance over the Tropical Atlantic Ocean. *Proceedings of 12th Conference on Interactions of the Sea and Atmosphere* (12ISA), Long Beach, CA, USA.
- Pickard, G.L. and W.J. Emery, 1992: Descriptive Physical Oceanography, 6th edition, Pergamon Press, Oxford, England, 241 pp.
- Servain J., 1991: Simple climatic indices for the tropical Atlantic ocean and some applications. *J. Geophys. Res.*, 96, 15137-15146.
- Servain J. and D.M. Legler, 1986: Empirical orthogonal function analysis of tropical Atlantic sea surface temperature and wind stress: 1964-1979. *J. Geophys. Res.*, 91, 14181-14191.
- Servain J., J. Picaut, A.J. Busalacchi, 1985: Interannual and seasonal variability of the tropical Atlantic ocean depicted by 16 years of sea surface temperature and wind stress. *Coupled ocean-atmosphere models*, J.C.J. Nihoul ed., Elsevier, 211-235.
- Soares, J.; Oliveira, A.P.; Servain, J.; Bacellar, S.A., 2004: Resultados preliminares do balanço de energia sobre o oceano Atlântico tropical (PROJETO FluTuA). In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Fortaleza, Ceará. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia (CD).
- Soares, J. e A.P.Oliveira, 2001: *FluTuA – Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico*. I Workshop Científico/Ambiental do programa Arquipélago. Natal-RN. Março. Pág 23.
- Soares, J.; Oliveira, A. P.; Wainer, I.; Servain, J., 2001:Turbulent fluxes over the tropical Atlantic Ocean. In: WCRP/SCOR WORKSHOP INTERCOMPARISON AND VALIDATION OF OCEAN-ATMOSPHERE FLUX FIELDS, Potomac, MD, USA.. Proceedings of Intercomparison and validation of Ocean-Atmosphere Flux Fields. Geneva, Switzerland: WMO, 2001. v. WCRP, p. 334-337.
- Spiegel, Murray Ralph, 1985: Estatística – 2^a ed., São Paulo: McGraw-Hill do Brasil
- Vianna M., G.H.J. Pedras and J. Servain, 1996: Climatic driving and prediction of spiny lobster catches in Northeast Brazil. Submetido a *Oceanologica Acta*.
- Wainer, I. and J. Soares, 1997: North Northeast Brazil rainfall and its decadal - scale relationship to wind stress and sea surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 24, 277-280.
- Wainer, I., G.Clauzet, J.Servain, J.Soares, 2003a: Time Scales of Upper Ocean temperature Variability Inferred from the PIRATA data (1997-2000). *Geophysical Research Letters*. 30 (5), 8004.
- Wainer, I., A.Taschetto, J.Soares, A.P.Oliveira, B.Otto-Bliesner, E.Brady, 2003b: Intercomparison of heat fluxes in the South Atlantic. Part I: The seasonal cycle. *Journal of Climate*. 16 (4), 706-714.

