

Relatório final de Iniciação Científica

**Estudo do balanço de radiação sobre o oceano Atlântico
Tropical na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo**

Período: Abril de 2007 a Abril de 2008

Aluno: Jean Rafael Romão Peres

Orientadora: Jacyra Soares

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas
Laboratório de Interação Ar-Mar

Abril 2008

ÍNDICE

1. Resumo	3
1.1. Abstract	3
2. Introdução	4
2.1. Região de estudo	4
2.2. Projeto FluTuA	5
3. Objetivo	6
4. Pré-pesquisa	6
5. Metodologia	8
5.1. Dados de reanálise do NCEP	8
5.2. Dados do PIRATA	8
5.3. Dados do SRB	9
6. Resultados	11
6.1. Evolução dos dados ao longo dos anos	11
6.2. Caracterização climatológica	13
7. Etapas futuras	19
8. Agradecimentos	19
9. Referências Bibliográficas	19
10. Informações extras	21
10.1. Disciplinas cursadas	21
10.1.1. Primeiro semestre de 2007	21
10.1.2. Segundo semestre de 2007	21
10.1.3. Primeiro semestre de 2008	21
10.2. Participação de eventos	21
10.3. Treinamento	22
Anexos	23
Anexo 1: Certificado do XII simpósio de IC do IAG	23
Anexo 2: Certificado do 15º SIICUSP	24
Anexo 3: Certificado do treinamento pré-arquipélago	25
Anexo 4: Gráficos que não entraram na discussão deste trabalho	26
Anexo 5: Programa que calcula a média horária de cada mês	29
Anexo 6: Programa que calcula o albedo	34

1. RESUMO

No âmbito do projeto FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico) este trabalho tem como objetivo estudar o balanço de radiação na região do ASPSP (Arquipélago de São Pedro e São Paulo), bem como comparar os diferentes dados de radiação obtidos por fontes distintas. Neste trabalho constam dados de bóias oceanográficas do programa PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic), de reanálise do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) e de modelos usados no projeto SRB (Surface Radiation Budget) pertencente a NASA (National Aeronautics and Space Administration). Com estas três fontes de dados, pôde-se verificar o quão difícil é obter valores confiáveis de radiação nesta região, já que os resultados apresentados possuem diferenças significativas entre si ao longo do ano.

1. ABSTRACT

Under the Project FluTuA (Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico) this work has as object to study the radiation balance of the region of the ASPSP (Arquipélago de São Pedro e São Paulo), as well to compare the different radiation data of distinct projects. This work include data of oceanographical buoys of the PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic) program, reanalysis data of NCEP (National Centers for Environmental Prediction) and used models in SRB (Surface Radiation Budget) project of NASA (National Aeronautics and Space Administration). With this three datasets, it was verified how difficult it is to obtain accurate values of radiation in this region because the datasets are different along the year.

Palavras-Chave: FluTuA, Arquipélago de São Pedro e São Paulo, radiação e albedo.

2. INTRODUÇÃO

Estudos sobre mudanças climáticas levantaram o problema da pouca informação existente sobre a interação ar-mar em micro escala. As discrepâncias entre os resultados de modelos numéricos climáticos são conhecidas em todo o mundo e são particularmente importantes sobre as regiões tropicais e subtropicais do oceano Atlântico no hemisfério sul (Wainer *et al.*, 2003). Nessa região, os modelos climáticos divergem inclusive sobre a intensidade das componentes do balanço de radiação (WGASF, 2000). Para avaliar a incerteza dos valores climáticos e melhorar o conhecimento da climatologia da interação oceano-atmosfera é necessário dados de medidas *in situ*. Entretanto, há poucas medidas sobre o oceano Atlântico Tropical em mar aberto.

De acordo com MacWhorter and Weller (1991) medidas de radiação solar sobre o oceano realizadas em navios ou bóias, contém muitos erros devido ao movimento da plataforma. Este projeto pretende investigar o balanço de radiação sobre o oceano Atlântico Tropical, usando as observações realizadas em um local fixo, no âmbito do projeto FluTuA (Fluxos turbulentos sobre o Atlântico) na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP).

2.1 Região de estudo

Distante cerca de 950 km do litoral do Rio Grande do Norte, o ASPSP (00° 56'N, 29° 22'W) constitui um conjunto de ilhas rochosas desabitadas e é desprovido de praia, água potável e qualquer tipo de vegetação.

Sua constituição geológica, extremamente rara, é decorrência do Arquipélago constituir de um afloramento do manto sub-oceânico que se eleva de profundidades abissais, em torno dos 4.000m até poucos metros acima da superfície, sendo o mesmo resultante de uma falha tectônica (*Figura 1*). Devido a essas características e sua localização (em mar aberto) a região é privilegiada para o desenvolvimento de pesquisas.

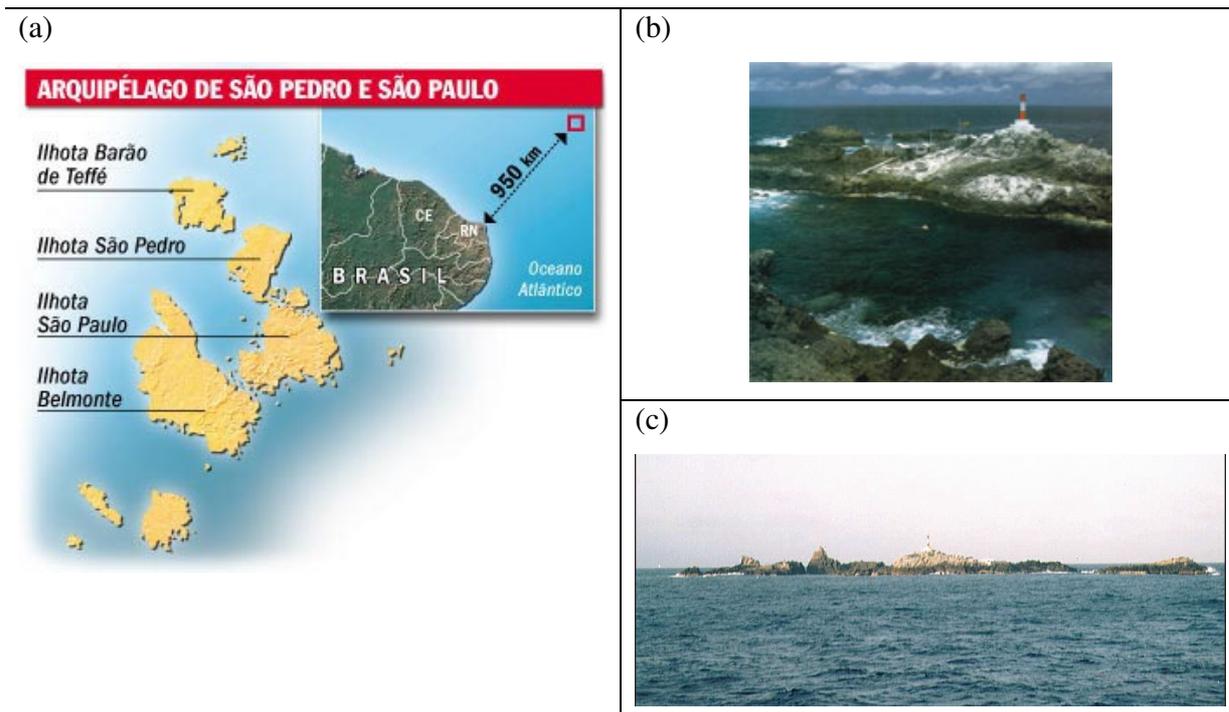


Figura 1: Arquipélago de São Pedro e São Paulo. (a) Mapa e posição geográfica do ASPSP. (b) e (c) Imagens do ASPSP

O ASPSP está sob controle da Marinha Brasileira, mais especificamente da Secretaria da Comissão Interministerial para Recursos do Mar (SECIRM), que mantém o Programa Arquipélago viabilizando a ida de pesquisadores que desejam estudar aspectos geológicos, pesqueiros, biológicos ou meteorológicos.

2.2 Projeto FluTuA

O projeto FluTuA (Soares *et al.*, 2004), que tem como principal objetivo investigar a interação oceano-atmosfera através da determinação observacional de parâmetros meteorológicos e oceanográficos na região do oceano Atlântico Tropical.

Essa investigação tem como base uma torre de 10 metros de altura instalada no lado sudeste da Ilha Belmonte do ASPSP (Figura 1a). Esta torre será munida de equipamentos de resposta rápida e lenta que fará a aquisição dos dados e armazenará em um datalogger que também ficará no arquipélago.

Os instrumentos que serão instalados na torre são: anemômetro sônico, anemômetro (velocidade e intensidade), termo-higrômetro, higrômetro, piranômetro, pirgeômetro e net

radiômetro; sendo que os três últimos serão os de maior foco para realização deste trabalho de iniciação científica.

3. OBJETIVO

O objetivo geral deste projeto de iniciação científica (IC) é verificar o comportamento das componentes do balanço de radiação, bem como os parâmetros radiométricos estimados por diferentes fontes de dados, na região de estudo. Serão investigados dados obtidos pelo:

- PIRATA (Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic);
- Reanálise do NCEP (National Centers for Environmental Prediction);
- Projeto SRB (Surface Radiation Budget) pertencente a NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Como objetivos específicos pode-se citar:

- Investigar a evolução temporal do balanço de radiação;
- Analisar a climatologia do balanço de radiação.
- Estimar as propriedades radiométricas (emissividade e albedo) da região.
- Comparação dos diferentes resultados.

4. PRÉ-PESQUISA

Antes de fazer qualquer levantamento de dados ou qualquer busca por informações de projetos que continham os dados necessários para este trabalho, foi feito um estudo sobre as componentes do balanço de radiação e quais instrumentos farão esta coleta de dados no projeto FluTuA. A *Figura 2* mostra de forma esquemática o balanço de radiação solar.

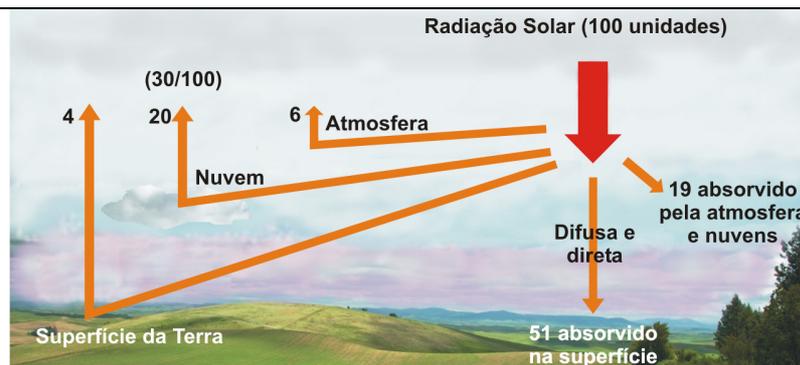


Figura 2: Esquema da distribuição de radiação de onda curta (proveniente do sol) na atmosfera e na superfície terrestre.

Foi importante para a pesquisa investigar quais os instrumentos que serão instalados no ASPSP para descobrir como e com quais instrumentos (Tabela 1) serão coletados os dados, e quais valores de comprimento de onda correspondem cada uma das radiações.

Tabela 1: Descrição dos equipamentos que serão utilizados no projeto FluTuA.

	Modelo	Componente do balanço de radiação	Marca	Variação espectral	Tempo de resposta	Altura fixa na torre
Piranômetro	CMP11	Onda curta	Kipp & Zonen	0,31-2,8 μ m	5s	5m
Pirgeômetro	CGR3	Onda longa	Kipp & Zonen	4,5-42 μ m	18s	5m
Net radiômetro (constituído de dois piranômetros e dois pirgeômetros)	CNR1(net)	Onda curta e onda longa		xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx		
	CM3 (piranômetro)	Onda curta	Kipp & Zonen	0,3-3 μ m	18s	8m
	CG3 (pirgeômetro)	Onda longa		4,5-42 μ m	18s	

Alguns dos manuais destes instrumentos são fornecidos pela Campbell Scientific, vendedora dos instrumentos Kipp & Zonen (Figura 3), e podem ser encontrados no seguinte site: <http://www.campbellsci.co.uk/index.cfm?id=324>.

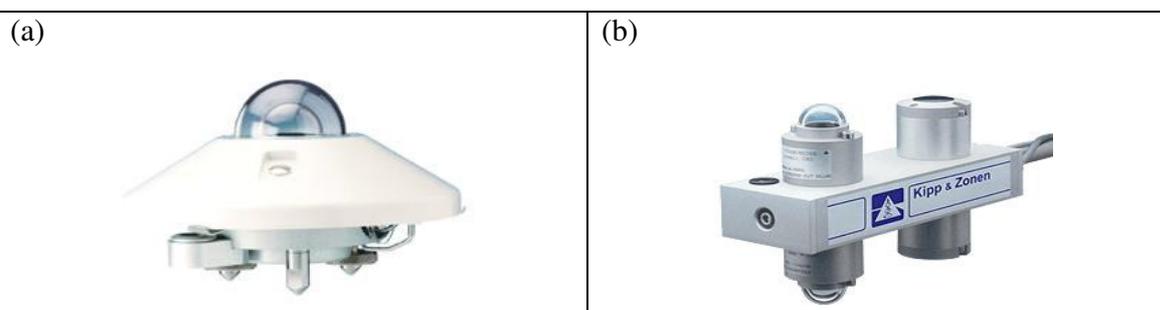


Figura 3: Imagens dos instrumentos da Kipp & Zonen. (a) Piranômetro e (b) Net radiômetro.

5. METODOLOGIA

Para a execução deste estudo foram utilizadas três fontes que possuem diferentes métodos de obtenção de dados. Além de verificar a evolução dos parâmetros radiométricos e das componentes do balanço de radiação, estas fontes também foram comparadas entre si, a fim de verificar se possuem características semelhantes ao longo do ano para a região do ASPSP.

Neste trabalho, as componentes do balanço de radiação são consideradas positivas quando dirigidas para a atmosfera e negativa na direção inversa.

Todos os dados obtidos estavam em horário GMT (Greenwich Mean Time) e dessa forma, os dados correspondentes ao tempo foram atrasados em duas horas para obedecer ao fuso horário da região (hora local).

5.1. Dados de reanálise do NCEP

O NCEP serve como ponto de partida para muitas das previsões meteorológicas realizadas, tendo disponível no endereço '<http://www.ncep.noaa.gov/>' uma grande variedade de dados de variáveis meteorológicas e oceanográficas para longo espaço de tempo. Estes dados são inclusive frequentemente utilizados pela comunidade científica meteorológica.

Foram utilizados dados na localização 0°N e 30°W (posição geográfica), com resolução temporal de seis em seis horas começando as zero hora em GMT e possuindo quatro dados ao longo do dia, durante sessenta anos (1948-2007). O método de obtenção dos dados é de reanálise (programas de pesquisa que estimam variáveis utilizando diferentes algoritmos).

O arquivo possuía extensão “.nc”, e dessa forma teve que ser aberto no grads e transformado em arquivo “texto”, posteriormente foi trabalhado em um programa de linguagem Fortran e transformado em “.dat” para ser plotado em gráficos do Origin e Surfer.

5.2. Dados do PIRATA

Programa em atividade desde 1997, realizado no âmbito internacional entre Brasil, França e EUA, que tem como objetivo a aquisição de dados oceanográficos e meteorológicos utilizando uma rede de quinze bóias oceanográficas espalhada pelo oceano Atlântico Tropical.

Nessas bóias estão instalados diversos instrumentos, a maioria realizando medidas de alta resolução (10 minutos).

Para este trabalho foram escolhidas as duas bóias oceanográficas mais próximas do ASPSP: a bóia B35W localizada em 0°N e 35°W e a bóia B23W localizada em 0°N e 23°W. Ambas as bóias amostram seis dados por hora de radiação de onda curta e trinta dados por hora de temperatura da superfície do mar. Elas situam-se, respectivamente, a 714 e 635 quilômetros aproximados de distância do ASPSP. A *Figura 4* é um exemplo de bóia PIRATA utilizada para a aquisição dos dados:



Figura 4: Bóia PIRATA utilizada na aquisição das variáveis meteorológicas e oceanográficas.

Das fontes de dados utilizadas neste trabalho, o PIRATA é o único que realmente faz medidas *in situ*. Os dados estão disponíveis no endereço '<http://www.pmel.noaa.gov/pirata/>'.

Os dados do PIRATA são disponibilizados em formato 'ASCII', e foram transformados em arquivo texto e separados para uma melhor análise.

5.3. Dados do SRB (NASA)

Os dados do SRB são obtidos através de modelos numéricos pertencentes a NASA. Estes dados estão disponíveis em uma resolução de oito dados por dia e o período utilizado foi de cinco anos e meio (jan/2000-jun/2005). Foram extraídos dois pontos de grade do modelo: 1°N, 30°W e 1°N e 29°W, como mostra a *Figura 5*.

Para extrair os dados, a NASA exige que o usuário possua um IP real em seu computador. Antes de solicitar os dados, é necessário fazer um cadastro para, posteriormente, obter os dados no site 'http://eosweb.larc.nasa.gov/HPDOCS/projects/rad_budg.html'.

Apesar de serem trabalhados da mesma forma, os dados do SRB são obtidos na forma binária e com coordenadas geográficas de todo o mundo, portanto antes de serem manuseados,

teve-se que transformar os dados em arquivo ‘ASCII’ (através de programas em Fortran) e separar a região desejada para, posteriormente, realizar as médias necessárias.

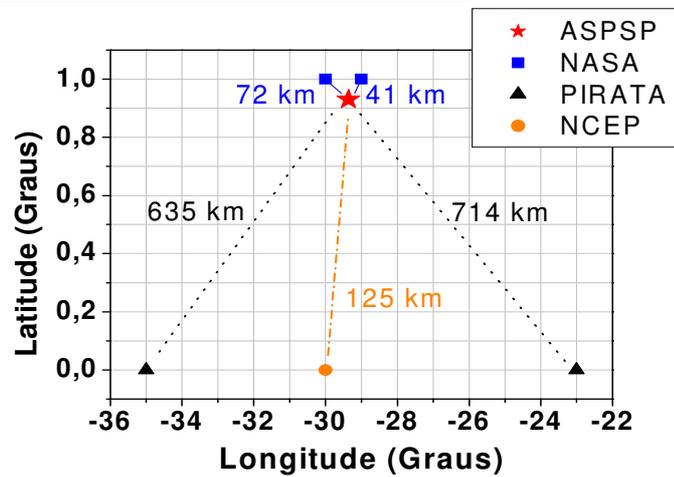


Figura 5: Localização geográfica dos dados utilizados no trabalho. NASA (azul), PIRATA (cinza) e NCEP (laranja) e suas respectivas distâncias do ASPSP (vermelho).

A Tabela 2 indica os dados obtidos das três fontes. Alguns dados apresentam interrupções por problemas instrumentais.

Tabela 2: Dados utilizados no trabalho com suas fontes e coordenadas geográficas.

Parâmetro	Símbolo	Projeto	Posição geográfica	Período
Onda longa emitida pela atmosfera.	O L ↓	NCEP	0°N e 30°W	1948-2007
		NASA	1°N e 29°W / 1°N e 30°W	2000-2005
Onda longa emitida pela superfície.	O L ↑	NCEP	0°N e 30°W	1948-2007
		NASA	1°N e 29°W / 1°N e 30°W	2000-2005
		PIRATA	0°N e 23°W / 0°N e 35°W	1999-2007
Onda curta incidente.	O C ↓	NCEP	0°N e 30°W	1948-2007
		NASA	1°N e 29°W / 1°N e 30°W	2000-20005
		NCEP	0°N e 30°W	1948-2007
Onda curta refletida.	O C ↑	NASA	1°N e 29°W / 1°N e 30°W	2000-2005
		PIRATA	0°N e 23°W / 0°N e 35°W	1999-2006
Temperatura da superfície	TSM	NCEP	0°N e 30°W	1948-2007
Radiação líquida*	R N	NCEP	0°N e 30°W	1948-2007
		NASA	1°N e 29°W / 1°N e 30°W	2000-2005
Albedo da superfície*	ALB	NCEP	0°N e 30°W	1948-2007
		NASA	1°N e 29°W / 1°N e 30°W	2000-2005
Emissividade*	ϵ	NCEP	0°N e 30°W	1948-2007

* Valores obtidos por cálculos realizados a partir de outras variáveis disponíveis da mesma fonte.

6. RESULTADOS

Os resultados deste trabalho estão divididos em duas etapas: evolução dos dados ao longo dos anos e caracterização climatológica. Na primeira etapa foram utilizados os dados do NCEP e PIRATA e na segunda etapa foram utilizados os dados da NASA, NCEP e PIRATA.

6.1. Evolução dos dados ao longo dos anos

Esta etapa serviu para avaliar o comportamento dos dados ao longo dos anos e verificar se os dados do NCEP e do PIRATA possuíam características semelhantes nesta evolução temporal.

A comparação entre as duas fontes só foi possível com os dados de temperatura na superfície do mar, onda curta incidente e onda longa emitida pela superfície.

Como o PIRATA não possui onda longa emitida pela superfície, foi necessário estimá-la a partir da temperatura da superfície. Para isso, além dos dados de temperatura, utilizou-se a lei de Stefan-Boltzmann (equação 1),

$$OL\uparrow = \varepsilon \sigma TSM^4 \quad (1)$$

- Sendo que $OL\uparrow$ é a onda longa emitida pela superfície.
- O valor adotado para a emissividade (ε) foi 0,97 (Soares et al. 2004).
- $5,67 \cdot 10^{-8}$ foi o valor adotado para a constante de Stefan-Boltzmann (σ).
- E TSM é a temperatura da superfície do mar de cada fonte.

É possível verificar que a TSM apresenta ciclos anuais bem definidos e seus valores oscilam em torno do valor médio de 299,5 K para os dados do PIRATA e de 300,5 K para o NCEP (*Figura 6a*). Os valores de onda longa emitida pela atmosfera apresentam oscilações em torno de um valor médio de 445 W m^{-2} para o PIRATA e de 465 W m^{-2} para o NCEP (*Figura 6b*). Na *Figura 6c* é possível verificar a intensidade da radiação de onda longa emitida pela atmosfera. Os valores máximos de onda curta refletida variam em torno de 110 W m^{-2} (*Figura 6d*). Os valores máximos de onda curta incidente, do NCEP, estão em torno de 900 W m^{-2} enquanto os dados do PIRATA estão em torno de 1000 W m^{-2} (*Figura 6e*).

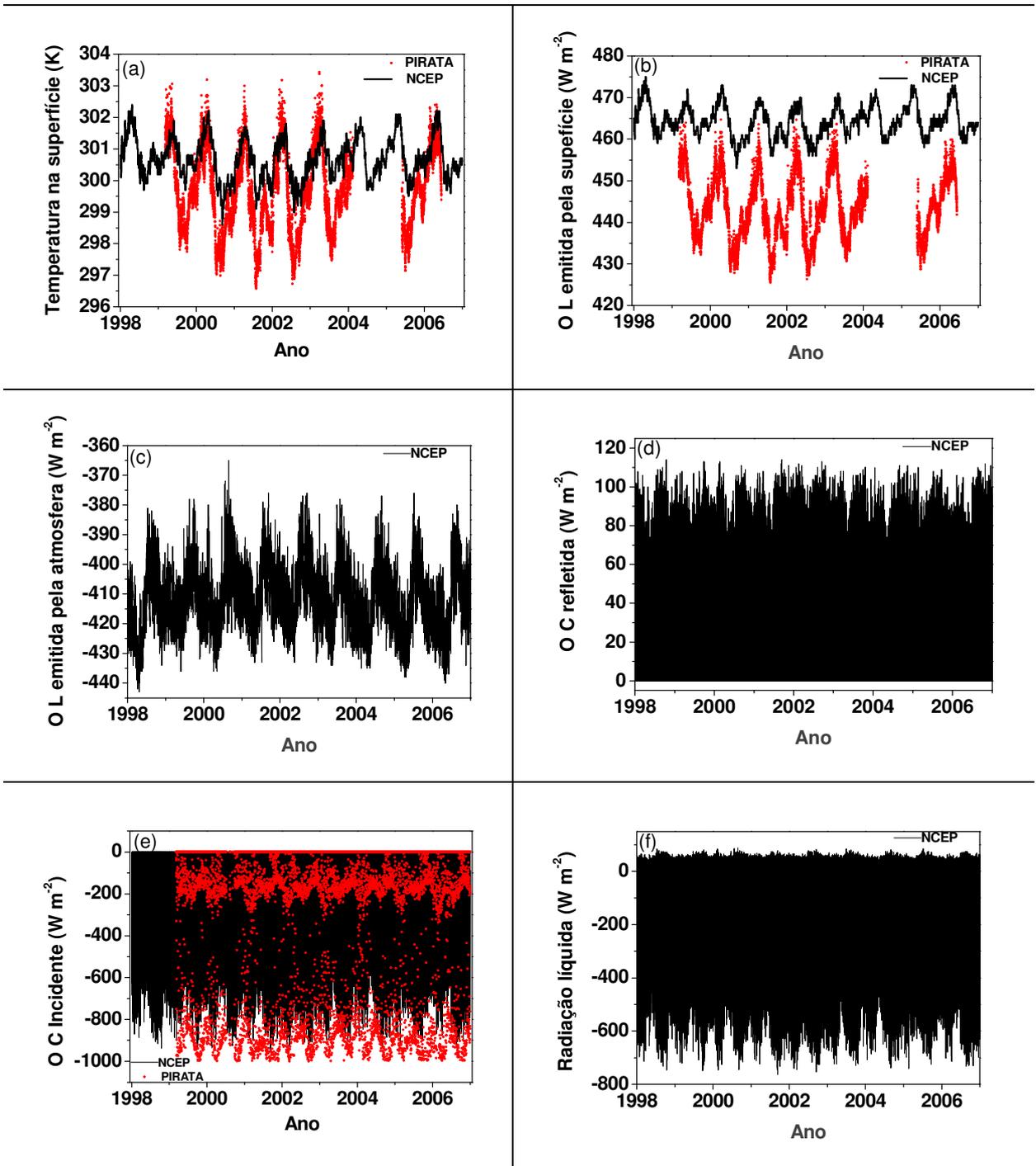


Figura 6: Evolução temporal da (a) temperatura da superfície do mar, (b) onda longa emitida pela superfície, (c) onda longa emitida pela atmosfera, (d) onda curta refletida, (e) onda curta incidente e (f) radiação líquida.

Analisando os valores de radiação líquida (*Figura 6f*) obtidos pela expressão 2, verifica-se que a maior influência, durante o dia, é dada, como esperado, pela radiação de onda curta incidente (*Figura 6e*).

Comparando os dados de onda longa emitida pela superfície (*Figura 6b*) e onda curta incidente (*Figura 6e*) para as duas fontes de dados, percebe-se que em ambos, o PIRATA possui uma maior variação durante o ano. Entretanto os valores do NCEP são de maiores intensidades para $OL\uparrow$ e de menores intensidades para $OC\downarrow$.

Os valores de Radiação líquida (RN) foram obtidos com a expressão abaixo:

$$RN = OL\downarrow + OL\uparrow + OC\downarrow + OC\uparrow \quad (2)$$

Durante a noite, o valor máximo da radiação líquida é 84 W m^{-2} , em 2000, e durante o dia, a maior intensidade é de 749 W m^{-2} , no fim de 1999 (*Figura 6f*).

Observa-se que a radiação líquida estimada na região é negativa durante o dia (*figura 6e*), ou seja, o sentido de RN é da atmosfera para a superfície. A noite a RN tem menor intensidade e seu sentido é do oceano para a atmosfera.

Baseado nas figuras obtidas pode-se afirmar que os dados de radiação na região do oceano Atlântico Tropical possuem divergências importantes.

O valor da emissividade do oceano (ϵ) foi obtido utilizando a equação (1). Entretanto, o valor médio encontrado foi maior que 1 (*Figura 7*), o que indica a existência de erros ou nos dados de $OL\uparrow$ ou na TSM no conjunto de dados do NCEP.

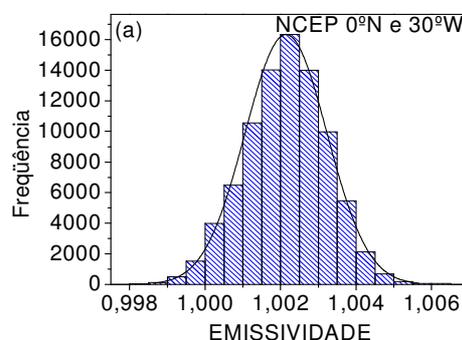


Figura 7: Histograma de emissividade do NCEP obtido pela Lei de Stefan-Boltzmann.

6.2 Caracterização climatológica

Nesta etapa, foram feitas médias horárias por mês, a fim de avaliar a característica da evolução diurna das componentes do balanço de radiação em cada mês. As componentes em comum de cada fonte também foram comparadas entre si.

A *Figura 8* apresenta a evolução da média horária mensal de onda curta incidente obtida com os dados do PIRATA, NASA e do NCEP.

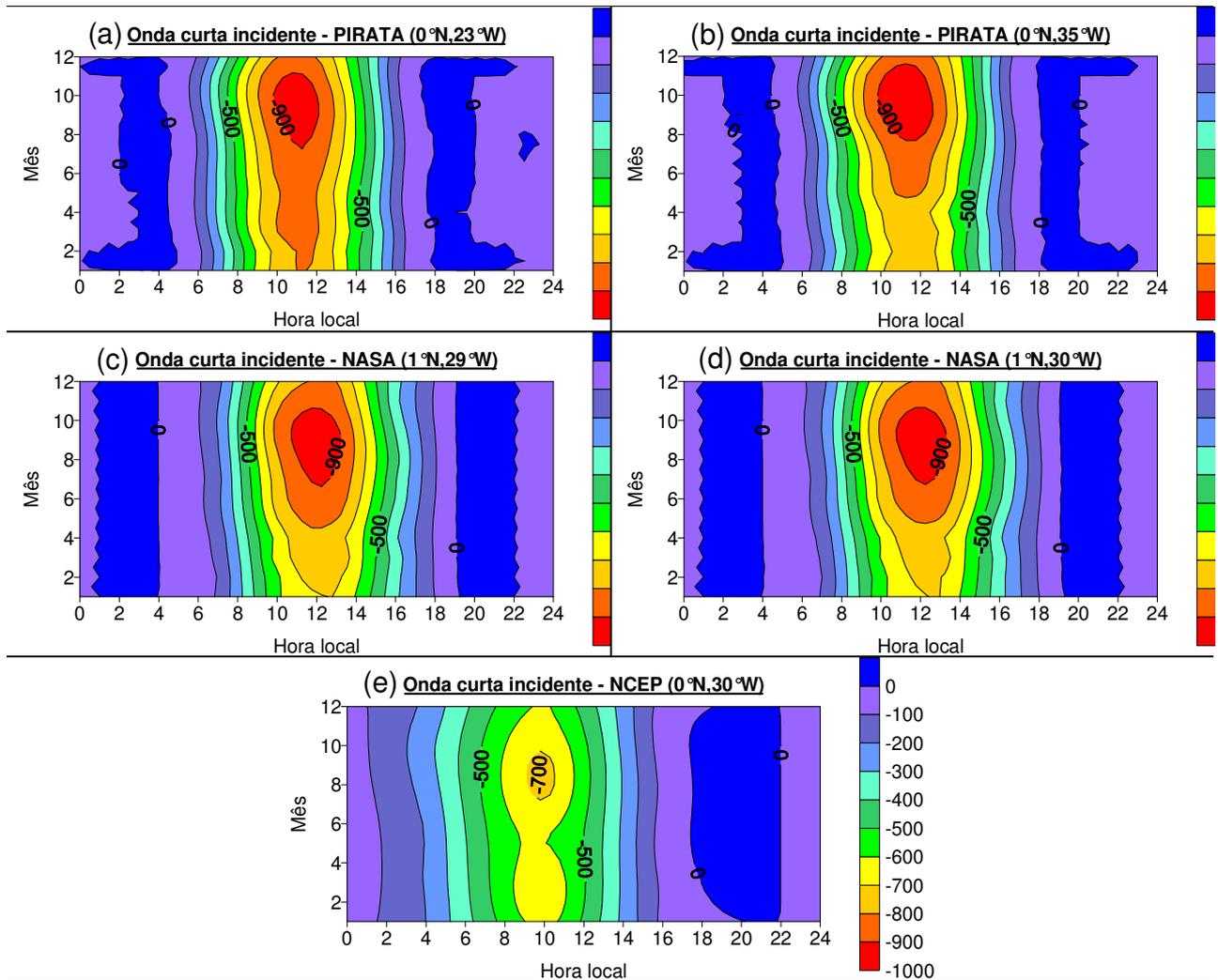


Figura 8: Evolução temporal da média horária de $OC\downarrow$ ($W\ m^{-2}$) para cada mês do ano com os dados do (a) PIRATA (bóia B23W), (b) PIRATA (bóia B35W), (c) NASA (1°N, 29°W), (d) NASA (1°N, 30°W) e (e) NCEP (0°N, 30°W).

Com os gráficos da *Figura 8* verifica-se que a resolução (ou frequência) dos dados é um fator significativo na análise da evolução de $OC\downarrow$. Nota-se que o gráfico do NCEP (que possui

menor resolução), obteve seus valores máximos às 10h, enquanto os dados com maior resolução concentraram sua intensidade máxima próximo ao meio dia, como esperado.

Outro fator importante é em relação à intensidade de radiação. Os dados de maior resolução possuem valores máximos de pico em torno de 900 a 1000 W m⁻², já os dados do NCEP, de menor resolução, apresentaram pico entre 700 e 800 W m⁻². Essa diferença de intensidade acontece devido a não existência ao meio dia local de dados do NCEP. Caso houvesse esse horário provavelmente esse valor de pico seria maior.

Analisando o conjunto de gráficos de OC↓, nota-se que ao longo do ano há uma maior intensidade desta componente no segundo semestre quando a zona de convergência intertropical não se encontra sobre a região, e dessa forma a nebulosidade é menor. Este fato é melhor observado nos gráficos da NASA e NCEP, já que a diferença de intensidade de radiação entre o primeiro semestre e o segundo é maior.

Isto é comprovado pelo fato de haver mais de nuvens no primeiro semestre como mostra o gráfico da *Figura 9* (Skielka, 2006), já que a precipitação é mais intensa neste período.

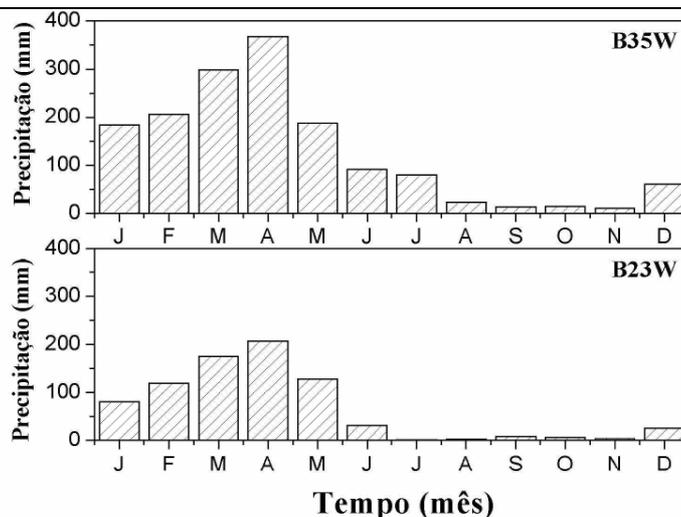


Figura 9: Gráfico de precipitação para as bóias B35W e B23W do PIRATA (Skielka 2006).

A *Figura 10* apresenta a evolução média horária mensal da onda longa emitida pela superfície. É importante notar que todos os gráficos estão na mesma escala.

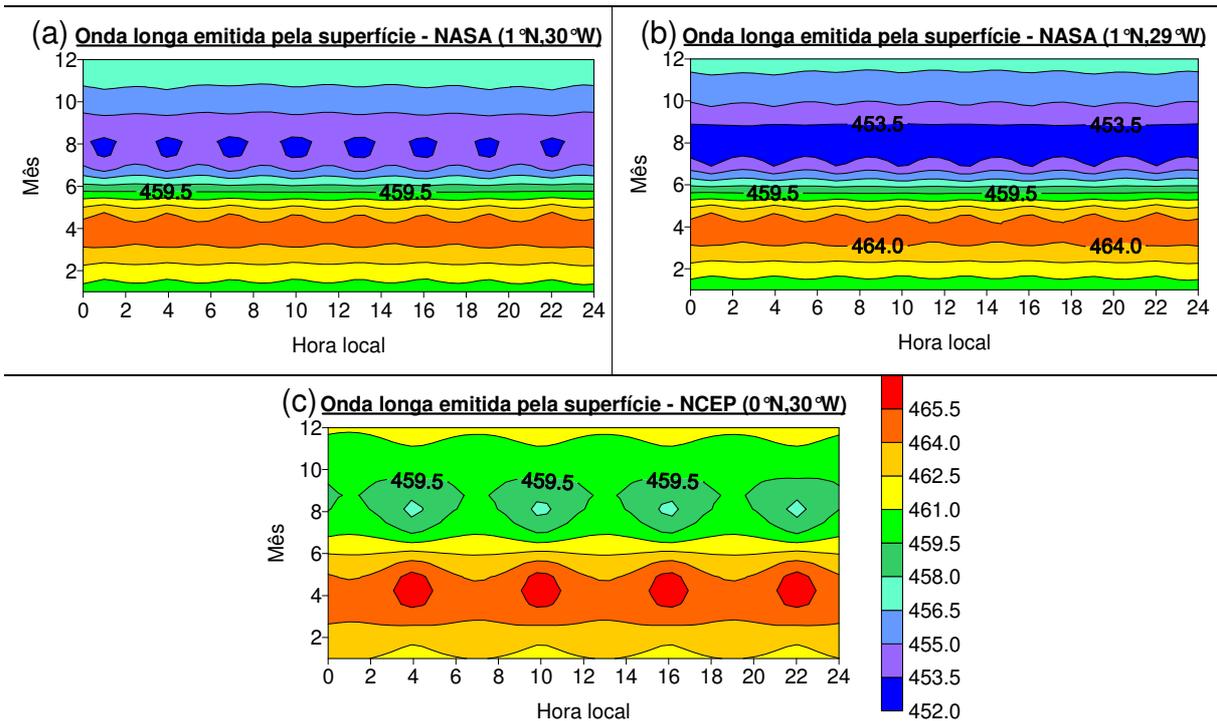


Figura 10: Evolução diurna média horária de $OL\uparrow$ ($W\ m^{-2}$) para cada mês do ano com os dados da (a) NASA ($1^{\circ}N, 30^{\circ}W$), (b) NASA ($1^{\circ}N, 29^{\circ}W$) e (c) NCEP ($0^{\circ}N, 30^{\circ}W$).

Nos gráficos da Figura 10 também é possível verificar que a intensidade da radiação de onda longa emitida pela superfície é maior para a fonte NCEP em relação aos da NASA.

Verifica-se também que a intensidade de $OL\uparrow$ é maior no primeiro semestre do ano. Isso se deve, entre outros motivos, à maior presença de nuvens no primeiro semestre, já que a molécula de água faz parte do efeito estufa (Figura 11), fazendo com que no primeiro semestre a temperatura da superfície do mar seja maior que no segundo semestre.

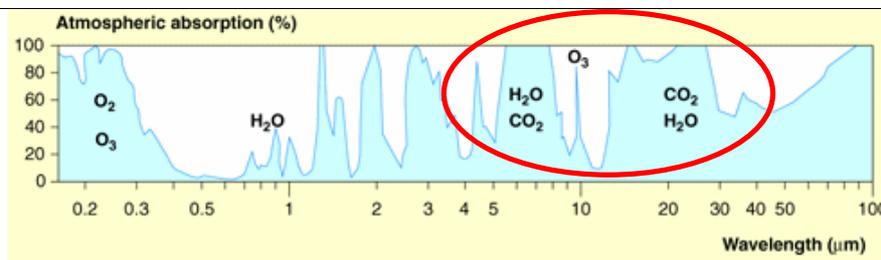


Figura 11: Gráfico da absorção atmosférica em função do comprimento de onda. O círculo vermelho mostra a grande interação da molécula de água com a radiação de onda longa, causando o efeito estufa.

A *Figura 12* apresenta a evolução média horária mensal da RN, que calculada apenas com dados da NASA e do NCEP, já que o PIRATA não possui todas as componentes necessárias para este cálculo ($O L \downarrow$, $O L \uparrow$, $O C \downarrow$ e $O C \uparrow$).

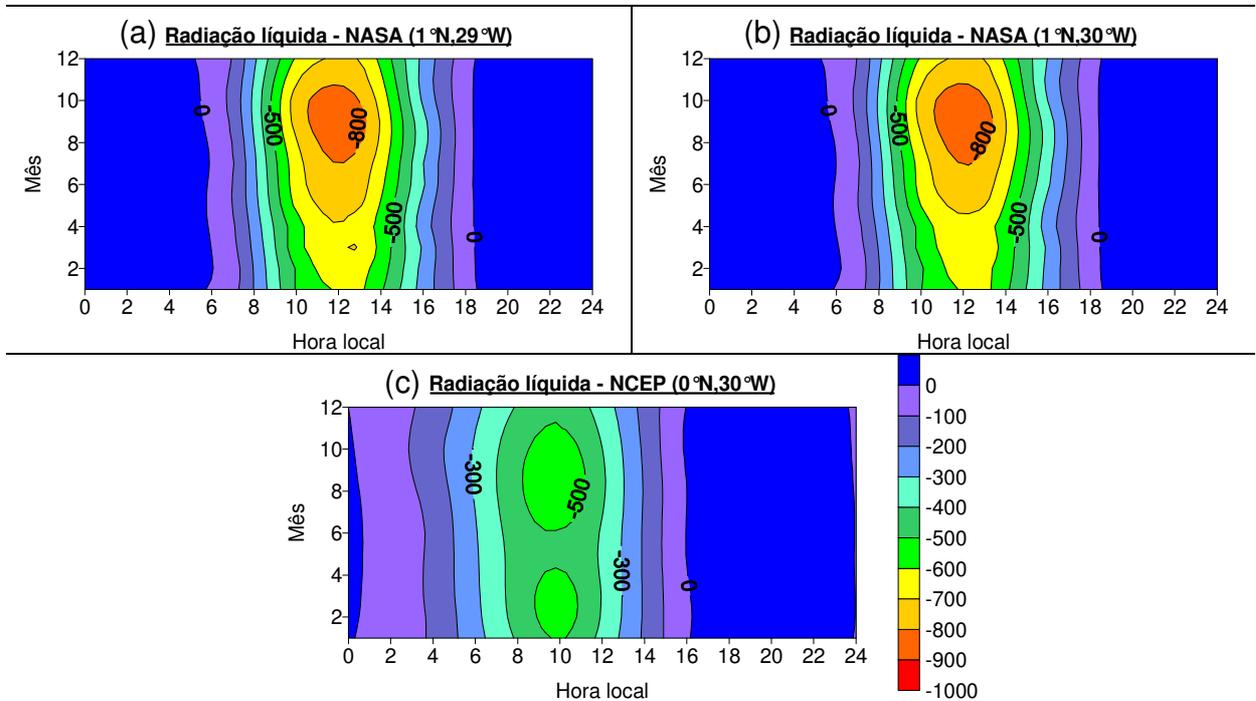


Figura 12: Evolução diurna média horária de RN ($W m^{-2}$) para cada mês do ano com os dados da (a) NASA ($1^{\circ}N, 29^{\circ}W$), (b) NASA ($1^{\circ}N, 30^{\circ}W$) e (c) NCEP ($0^{\circ}N, 30^{\circ}W$).

Na *Figura 12*, os gráficos da evolução de RN apresentam características semelhantes aos gráficos da evolução de $OC \downarrow$ (*Figura 8*). Os últimos meses do ano apresentaram valores maiores tanto para $OC \downarrow$ quanto para RN.

É possível verificar na *Figura 12c* o mesmo problema da *Figura 8e*, devido a baixa resolução dos dados do NCEP. Isso ocorre pois a RN, durante o dia, é mais influenciada pela componente $OC \downarrow$.

O albedo da superfície foi calculado como a razão entre a onda curta refletida e a onda curta incidente, como mostra a equação 3.

$$ALB = - OC \uparrow / OC \downarrow \quad (3)$$

Os histogramas da *Figura 4a-c* mostram a distribuição do albedo estimado, respectivamente, para as localizações $0^{\circ}N, 30^{\circ}W$ do NCEP, $1^{\circ}N, 30^{\circ}W$ da NASA e $1^{\circ}N, 29^{\circ}W$ da NASA

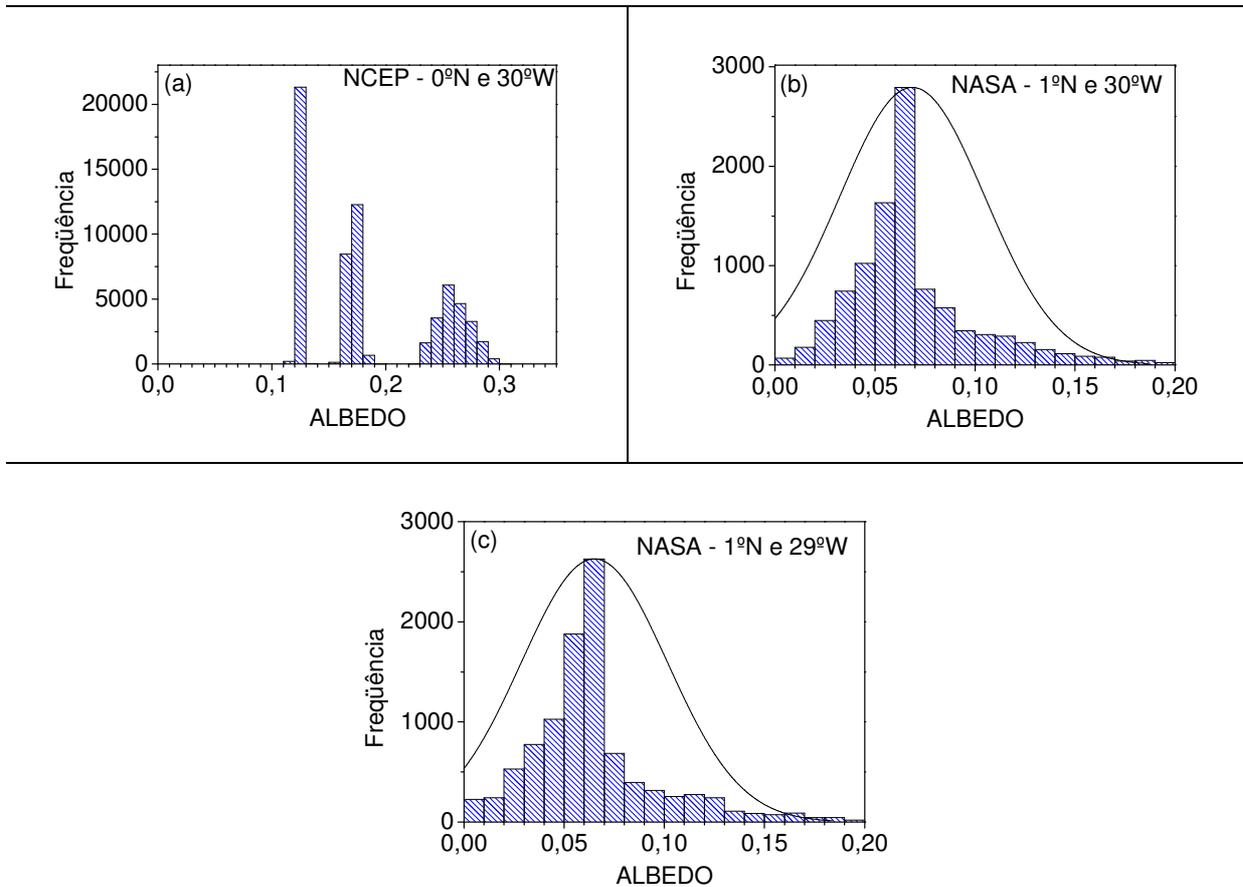


Figura 13: Histogramas do albedo calculado com os dados existentes nos períodos utilizados do (a) NCEP (0°N,30°W), (b) NASA (1°N,30°W) e (c) NASA (1°N,29°W).

Nos histogramas do albedo estimado (*Figura 13*) é visível a diferença entre os resultados obtidos pela NASA e pelo NCEP. Os dados da NASA apresentaram uma distribuição em torno de um valor representativo durante os cinco anos e meio estudados, enquanto os dados do NCEP produziram distribuições em torno de três valores significativos. Isso ocorre, pois dos quatro dados diários desta fonte, um deles corresponde ao período da noite, restando apenas três outros horários para o cálculo do albedo. Como estes três horários possuem intervalo de seis horas, o resultado do histograma apresenta três diferentes intensidades para o albedo (*Figura 13a*). Se houvesse dados com menor intervalo de tempo, a distribuição do albedo seria mais próxima a uma Gaussiana. Vale lembrar que o albedo varia com relação à posição do sol (próximo ao zênite os valores são baixos e longe do zênite os valores são altos).

Os valores estimados para o albedo pelos histogramas das *Figuras 13b e 13c* (NASA) foram de 0.061, enquanto pelo histograma da *Figura 13a* (NCEP) não é possível determinar um

único valor. Os albedos obtidos pela NASA são compatíveis com a literatura (Arya, 2001), cujos valores de albedo na superfície do mar variam de 0,03-0,1 para ângulos perto do zênite e 0,1- 1,0 para ângulos longes do zênite.

Com os resultados apresentados aqui pode-se concluir que das três fontes de dados utilizadas neste trabalho, os dados do NCEP não se mostraram adequados ao estudo efetuado devido a sua baixa resolução.

Comparando os gráficos da caracterização climatológica do PIRATA e da NASA, observou-se que os resultados obtidos são compatíveis não só entre si mas também com outras variáveis meteorológicas, como por exemplo, a precipitação.

7. ETAPAS FUTURAS

A principal etapa a ser realizada é a comparação dos dados já trabalhados com os que serão obtidos com o projeto FluTuA.

Também será realizada a comparação dos resultados obtidos com a teoria existente na literatura. Por exemplo, a comparação da evolução diurna das propriedades radiométricas da atmosfera e da superfície testadas para condições oceânicas abertas em latitudes tropicais (WGASF, 200) com dados medidos *in situ* do projeto FluTuA.

8. AGRADECIMENTOS

Todos os agradecimentos são dedicados ao CNPq, a agência financiadora do projeto de iniciação científica e a FAPESP.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arya, S. P. 2001. *Introduction to Micrometeorology*. 2ª Edition, Academic press.
- MacWhorter, M. A. and Weller R. A. 1991. Error in Measurements of Incoming Shortwave Radiation Made from Ships and Buoys; *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **8**, 108-117.
- 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, Em CD.
- Skielka, U. T. ,2006. *Estudo das condições meteorológicas e oceanográficas no arquipélago de São Pedro e São Paulo*. Relatório parcial de iniciação científica.PIBIC, CNPq. Março

Wainer I, Taschetto A, Soares J, Oliveira AP, Otto-Bliesner B, Brady E. 2003. Intercomparison of heat fluxes in the South Atlantic. Part 1, The Seasonal Cycle. *J. Climate*. **16**: 706-714.

WGASF, 2000. *Intercomparison and validation of ocean-atmosphere energy flux fields*. Final report of joint WCRP/SCOR Working Group on Air-Sea fluxes (SCOR working group 110).

10. INFORMAÇÕES EXTRAS

A seguir, outras atividades realizadas pelo aluno em conjunto com o trabalho de IC.

10.1 Disciplinas cursadas.

10.1.1. Primeiro semestre de 2007.

✓	Climatologia I	8,5
✓	Meteorologia física II	7,4
✓	Física II	5,1
✓	Cálculo diferencial e integral III	10,0

10.1.2. Segundo semestre de 2007.

✓	Física III	6,4
✓	Física experimental III	7,8
✓	Cálculo diferencial e integral IV	6,0
✓	Introdução às equações diferenciais ordinárias e aplicações.	8,4
✓	Meteorologia física I	9,1

10.1.3. Primeiro semestre de 2008.

✓	Física IV	
✓	Física experimental IV	
✓	Elementos de astronomia	
✓	Fundamentos de oceanografia física	
✓	Tópicos de matemática aplicada	
✓	Meteorologia ambiental	

10.2 Participação de eventos.

Os resultados deste trabalho de IC foi possível apresentar trabalhos em três eventos:

- ✓ XII Simpósio de iniciação científica do IAG, com apresentação de painel e com o conteúdo correspondente a pré-pesquisa deste trabalho.(*anexo 1*)
- ✓ 15º SIICUSP, com apresentação de painel e com o conteúdo correspondente ao item da evolução dos dados ao longo dos anos. (*anexo 2*)

- ✓ XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, com apresentação de painel e com o conteúdo correspondente do item caracterização climatológica.

10.3 Treinamento.

- ✓ Participação no 26º Treinamento pré-arquipélago. (*Anexo 3*).

O treinamento pré-arquipélago é um dos requisitos necessários para quem planeja ir para o arquipélago. Este treinamento ocorre durante uma semana, é feito na Base Naval de Natal e é coordenado pela Marinha do Brasil.

Neste treinamento o pesquisador é submetido a uma bateria de exames médicos, é informado dos perigos existentes no arquipélago e convive com algumas situações que possam ocorrer, tais como o treinamento de naufrágio (24hs a deriva sem comida e bebida) e aprender a desvirar bote, habilidade necessária caso as ondas aumentem na estadia do pesquisador no ASPSP, como vemos na *Figura 14*.

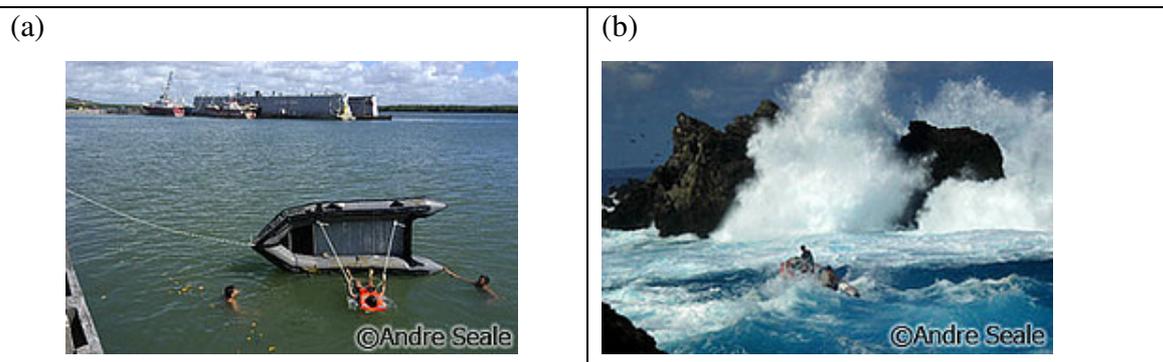
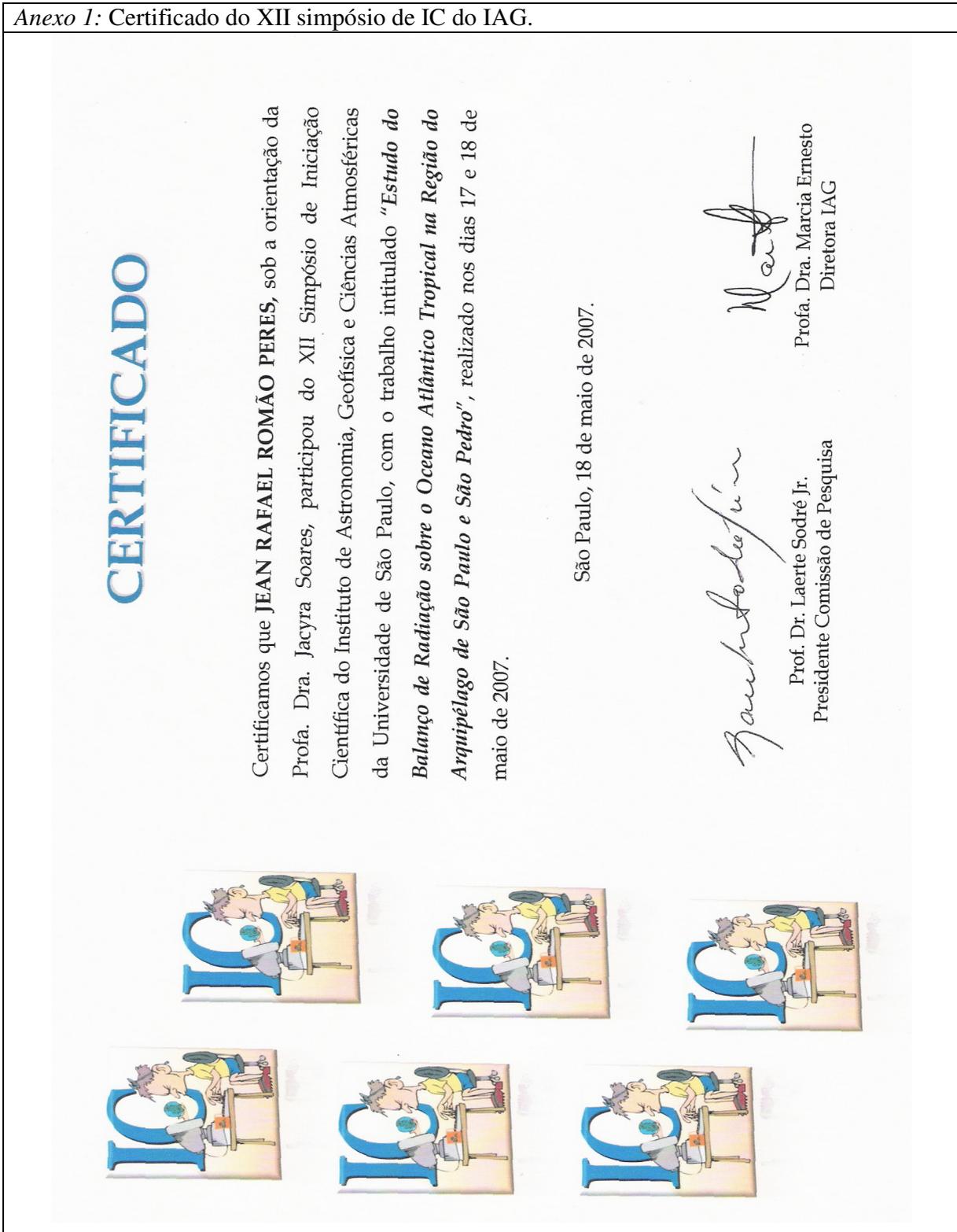


Figura 14: Treinamento pré-arquipélago. (a) Pesquisador aprendendo a virar o bote. (b) imagem de uma possível condição das ondas no arquipélago.

No blog: '<http://www.interney.net/blogs/malla/2008/03/17/aspsp/>' são disponibilizadas maiores informações sobre o treinamento e o arquipélago São Pedro e São Paulo, além de fotos tiradas do local.

ANEXOS

Anexo 1: Certificado do XII simpósio de IC do IAG.



CERTIFICADO

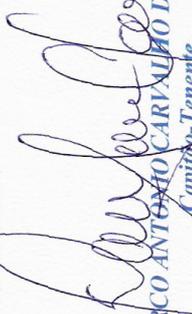


SECRETARIA DA COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR

PROGRAMA ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO

A Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar confere o presente Certificado ao pesquisador **JEAN RAFAEL ROMÃO PERES**, pela participação no 26º Treinamento Pré-Arquipélago, realizado no período de 23 a 30 de setembro de 2007, na Base Naval de Natal.

Brasília - DF, em 30 de setembro de 2007.


MARCO ANTONIO CARVALHO DE SOUZA
Capitão-Tenente
Encarregado da Divisão de Apoio ao PROARQUIPÉLAGO

Anexo 4: Gráficos que não entraram na discussão deste trabalho.

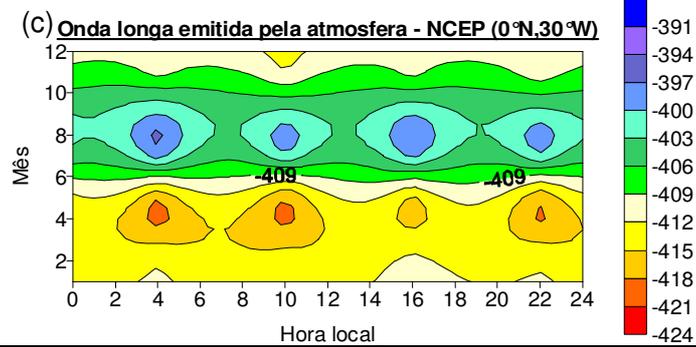
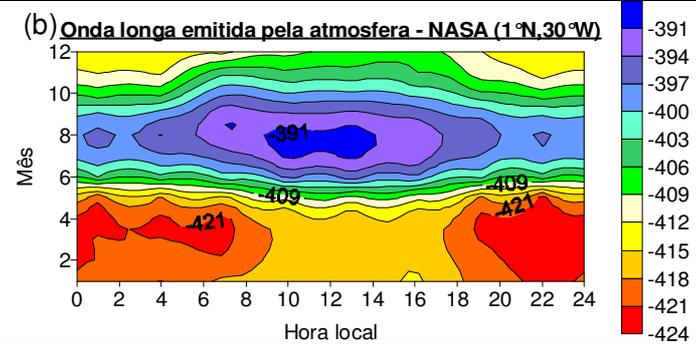
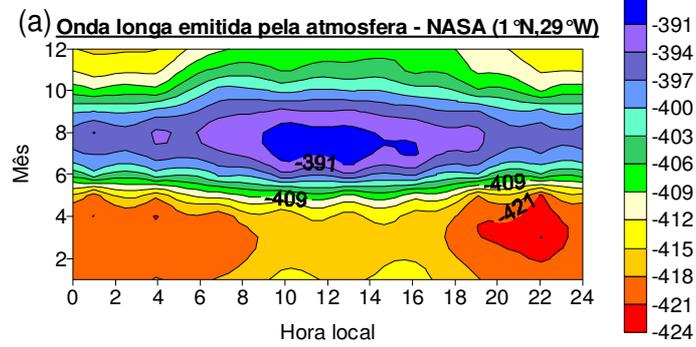
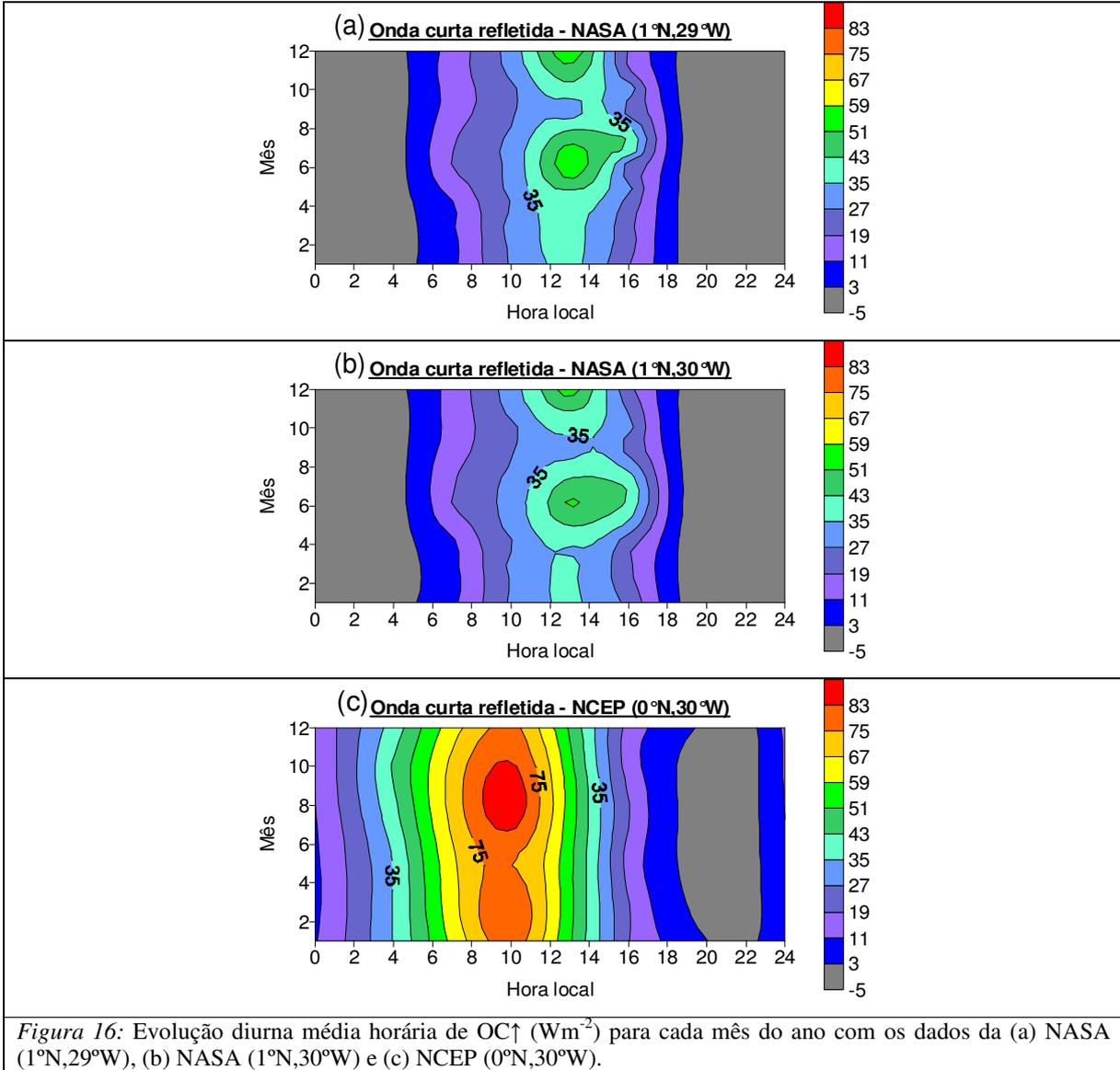


Figura 15: Evolução diurna média horária de OL_{\downarrow} (Wm^{-2}) para cada mês do ano com os dados da (a) NASA (1°N,29°W), (b) NASA (1°N,30°W) e (c) NCEP (0°N,30°W).



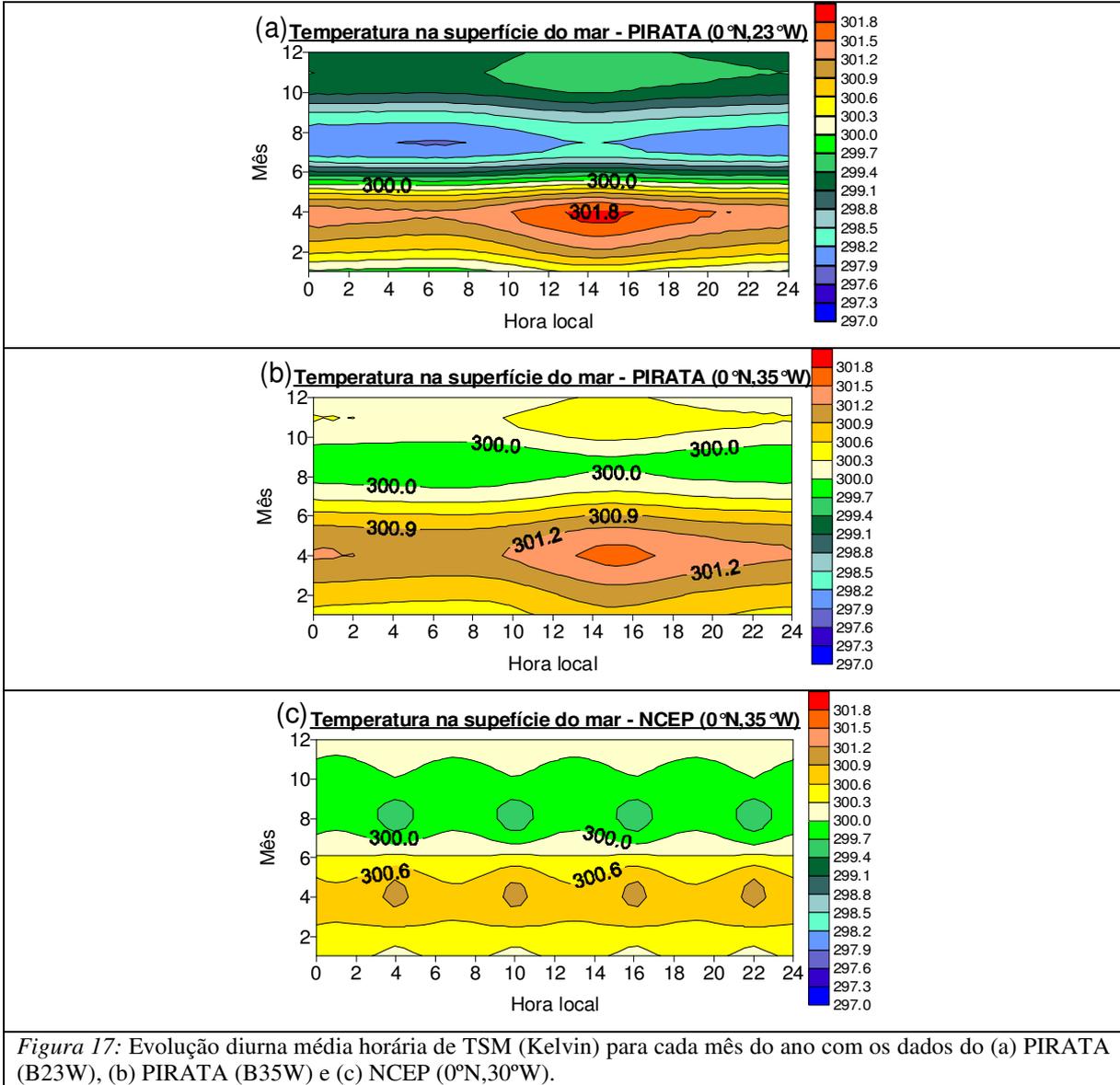


Figura 17: Evolução diurna média horária de TSM (Kelvin) para cada mês do ano com os dados do (a) PIRATA (B23W), (b) PIRATA (B35W) e (c) NCEP (0°N,30°W).

A seguir exemplos de programas feitos para a análise de dados.

Anexo 5: Programa que calcula a média horária de cada mês.

```

PROGRAM MEDIA_HORA_MES
!
!   DECLARA AS VARIÁVEIS DE LEITURA
INTEGER DJ(150000),ANO(150000),MES(150000),DIA(150000),
&HORA(150000), MM,w,i,j,a,N

REAL*8 SW(150000)

!   DECLARA AS VARIÁVEIS MÉDIA
REAL*8 MEDIA1,MEDIA2,MEDIA3,MEDIA4,MEDIA5,
&MEDIA6,MEDIA7,MEDIA8,MEDIA9,MEDIA10,MEDIA11,MEDIA12,MEDIA13,
&MEDIA14,MEDIA15,MEDIA16,MEDIA17,MEDIA18,MEDIA19,MEDIA20,MEDIA21,
&MEDIA22,MEDIA23,MEDIA0

!   DECLARA AS VARIÁVEIS SOMA
REAL*8SOMA1,SOMA2,SOMA3,SOMA4,SOMA5,SOMA6,SOMA7,SOMA8,SOMA9,SOMA
10,SOMA11,SOMA12,SOMA13,SOMA14,SOMA15,SOMA16,SOMA17,SOMA18,SOMA19,SOMA20,SOMA21,
SOMA22,SOMA23,SOMA0

!   DECLARA AS VARIÁVEIS DIVISÃO
REAL*8div1,div2,div3,div4,div5,div6,div7,div8,div9,div10,div11,div12,div13,div14,div15,div16,
div17,div18,div19,div20,div21,div22,div23,div0

SOMA1=0
SOMA2=0
div1=0
div2=0

!   ABRE O ARQUIVO DE ENTRADA
OPEN(UNIT=1,FILE='tudo junto.txt',STATUS='OLD')
!   ABRE O ARQUIVO DE SAÍDA
OPEN(UNIT=2,FILE='mdia_hh_01jan_B35W_SW.dat',STATUS='UNKNOWN')

!   FORMATOS DO CABEÇALHO DO ARQUIVO DE SAÍDA
100  FORMAT(\)
101  FORMAT(1x,I5)
200  FORMAT('COORDENADAS: 23°W,0°N')
201  FORMAT('Média Horária dos dados disponíveis no site do Projeto PIRATA, para o mês ',I2)
102  FORMAT(1x,I4,1x,I2,1x,I2,3x,I2,2x,f8.3,1x,I3)
202  FORMAT('De ',I4,' até ',I4)
203  FORMAT(2x,'HORA',5x,'MédiaH')

!   PULA UMA LINHA NO ARQUIVO DE ENTRADA E LÊ O NÚMERO DE DADOS
READ(1,100)
READ(1,101)N

WRITE(2,200)

!   LÊ AS VARIÁVEIS DO ARQUIVO DE ENTRADA
DO i = 1, N
READ(1,102)ANO(i),MES(i),DIA(i),HORA(i),SW(i),DJ(i)
END DO

```

```

!   SELECIONA O MES QUE SERÁ FEITO A MÉDIA HORÁRIA
    print*, 'Digite o mes que deseja fazer as medias horarias:'
    read(*,*) MM

    WRITE(2,201)MM

!   CALCULA A MÉDIA HORÁRIA
    DO j=1, N

!   SOMENTE O MES ESCOLHIDO
    IF (MES(j)==MM) then

        IF(HORA(j)==1) then
        SOMA1=SOMA1+SW(j)
        div1=div1+1
        ENDIF
        MEDIA1=SOMA1/div1

        IF(HORA(j)==2) then
        SOMA2=SOMA2+SW(j)
        div2=div2+1
        ENDIF
        MEDIA2=SOMA2/div2

        IF(HORA(j)==3) then
        SOMA3=SOMA3+SW(j)
        div3=div3+1
        ENDIF
        MEDIA3=SOMA3/div3

        IF(HORA(j)==4) then
        SOMA4=SOMA4+SW(j)
        div4=div4+1
        ENDIF
        MEDIA4=SOMA4/div4

        IF(HORA(j)==5) then
        SOMA5=SOMA5+SW(j)
        div5=div5+1
        ENDIF
        MEDIA5=SOMA5/div5

        IF(HORA(j)==6) then
        SOMA6=SOMA6+SW(j)
        div6=div6+1
        ENDIF
        MEDIA6=SOMA6/div6

        IF(HORA(j)==7) then
        SOMA7=SOMA7+SW(j)
        div7=div7+1
        ENDIF
        MEDIA7=SOMA7/div7

        IF(HORA(j)==8) then
        SOMA8=SOMA8+SW(j)

```

```

div8=div8+1
ENDIF
MEDIA8=SOMA8/div8

IF(HORA(j)==9) then
SOMA9=SOMA9+SW(j)
div9=div9+1
ENDIF
MEDIA9=SOMA9/div9

IF(HORA(j)==10) then
SOMA10=SOMA10+SW(j)
div10=div10+1
ENDIF
MEDIA10=SOMA10/div10

IF(HORA(j)==11) then
SOMA11=SOMA11+SW(j)
div11=div11+1
ENDIF
MEDIA11=SOMA11/div11

IF(HORA(j)==12) then
SOMA12=SOMA12+SW(j)
div12=div12+1
ENDIF
MEDIA12=SOMA12/div12

IF(HORA(j)==13) then
SOMA13=SOMA13+SW(j)
div13=div13+1
ENDIF
MEDIA13=SOMA13/div13

IF(HORA(j)==14) then
SOMA14=SOMA14+SW(j)
div14=div14+1
ENDIF
MEDIA14=SOMA14/div14

IF(HORA(j)==15) then
SOMA15=SOMA15+SW(j)
div15=div15+1
ENDIF
MEDIA15=SOMA15/div15

IF(HORA(j)==16) then
SOMA16=SOMA16+SW(j)
div16=div16+1
ENDIF
MEDIA16=SOMA16/div16

IF(HORA(j)==17) then
SOMA17=SOMA17+SW(j)
div17=div17+1
ENDIF
MEDIA17=SOMA17/div17

```

```
        IF(HORA(j)==18) then
SOMA18=SOMA18+SW(j)
div18=div18+1
        ENDIF
MEDIA18=SOMA18/div18
```

```
        IF(HORA(j)==19) then
SOMA19=SOMA19+SW(j)
div19=div19+1
        ENDIF
MEDIA19=SOMA19/div19
```

```
        IF(HORA(j)==20) then
SOMA20=SOMA20+SW(j)
div20=div20+1
        ENDIF
MEDIA20=SOMA20/div20
```

```
        IF(HORA(j)==21) then
SOMA21=SOMA21+SW(j)
div21=div21+1
        ENDIF
MEDIA21=SOMA21/div21
```

```
        IF(HORA(j)==22) then
SOMA22=SOMA22+SW(j)
div22=div22+1
        ENDIF
MEDIA22=SOMA22/div22
```

```
        IF(HORA(j)==23) then
SOMA23=SOMA23+SW(j)
div23=div23+1
        ENDIF
MEDIA23=SOMA23/div23
```

```
        IF(HORA(j)==0) then
SOMA0=SOMA0+SW(j)
div0=div0+1
        ENDIF
MEDIA0=SOMA0/div0
```

```
ELSEIF(MES(j).ne.MM) then
a=1
ENDIF
```

```
END DO
```

```
!   ESCREVE OS VALORES CALCULADOS NO ARQUIVO DE SAÍDA
WRITE(2,202)ANO(1),ANO(N)
WRITE(2,203)
WRITE(2,204)-1*MEDIA1
WRITE(2,205)-1*MEDIA2
WRITE(2,206)-1*MEDIA3
WRITE(2,207)-1*MEDIA4
WRITE(2,208)-1*MEDIA5
```

```
WRITE(2,209)-1*MEDIA6
WRITE(2,210)-1*MEDIA7
WRITE(2,211)-1*MEDIA8
WRITE(2,212)-1*MEDIA9
WRITE(2,213)-1*MEDIA10
WRITE(2,214)-1*MEDIA11
WRITE(2,215)-1*MEDIA12
WRITE(2,216)-1*MEDIA13
WRITE(2,217)-1*MEDIA14
WRITE(2,218)-1*MEDIA15
WRITE(2,219)-1*MEDIA16
WRITE(2,220)-1*MEDIA17
WRITE(2,221)-1*MEDIA18
WRITE(2,222)-1*MEDIA19
WRITE(2,223)-1*MEDIA20
WRITE(2,224)-1*MEDIA21
WRITE(2,225)-1*MEDIA22
WRITE(2,226)-1*MEDIA23
WRITE(2,227)-1*MEDIA0
```

```
!   FORMATOS DO ARQUIVO DE SAÍDA
```

```
204  FORMAT(3x,'01',5x,f9.4)
205  FORMAT(3x,'02',5x,f9.4)
206  FORMAT(3x,'03',5x,f9.4)
207  FORMAT(3x,'04',5x,f9.4)
208  FORMAT(3x,'05',5x,f9.4)
209  FORMAT(3x,'06',5x,f9.4)
210  FORMAT(3x,'07',5x,f9.4)
211  FORMAT(3x,'08',5x,f9.4)
212  FORMAT(3x,'09',5x,f9.4)
213  FORMAT(3x,'10',5x,f9.4)
214  FORMAT(3x,'11',5x,f9.4)
215  FORMAT(3x,'12',5x,f9.4)
216  FORMAT(3x,'13',5x,f9.4)
217  FORMAT(3x,'14',5x,f9.4)
218  FORMAT(3x,'15',5x,f9.4)
219  FORMAT(3x,'16',5x,f9.4)
220  FORMAT(3x,'17',5x,f9.4)
221  FORMAT(3x,'18',5x,f9.4)
222  FORMAT(3x,'19',5x,f9.4)
223  FORMAT(3x,'20',5x,f9.4)
224  FORMAT(3x,'21',5x,f9.4)
225  FORMAT(3x,'22',5x,f9.4)
226  FORMAT(3x,'23',5x,f9.4)
227  FORMAT(3x,'24',5x,f9.4)
```

```
!   ACABA O PROGRAMA
      END
```

Anexo 6: Programa que calcula o albedo.

```
PROGRAM ALBEDO

!   DECLARA AS VARIÁVEIS INTEIRAS
    INTEGER DIAS(1500000),HORAS(1500000)
    INTEGER ANOS(1500000),MESES(1500000), K,A,B,i
    INTEGER DIASUP(1500000),HORASUP(1500000)
    INTEGER ANOSUP(1500000),MESESUP(1500000)

!   DECLARA AS VARIÁVEIS REAIS
    REAL SW(1500000)
    REAL SWUP(1500000)
    REAL ALB(1500000)

!   ABRE OS ARQUIVOS DE ENTRADA
    OPEN(UNIT=1,FILE='TODOS_ANOS_NASA_SW_DW_29W.dat',STATUS='OLD')
    OPEN(UNIT=2,FILE='TODOS_ANOS_NASA_SW_UP_29W.dat',STATUS='OLD')
!   ABRE OS ARQUIVOS DE SAÍDA
    OPEN(UNIT=10,FILE='Albedo_NASA_29W.dat',STATUS='UNKNOWN')

!   PULA UMA LINHA NO ARQUIVO DE ENTRADA
    READ(1,700)
    READ(2,700)
700  FORMAT(\)

!   LÊ O NÚMERO DE DADOS DOS ARQUIVOS DE ENTRADA
    READ(1,100)A
    READ(2,100)B
100  FORMAT(I6)

!   COMPARA OS NÚMEROS DE DADOS DOS DOIS ARQUIVOS DE ENTRADA
    IF(A==B)then
        WRITE(*,*)'SIM'
    ENDIF

!   ESCREVE O CABEÇALHO NO ARQUIVO DE SAÍDA
    WRITE(10,200)
200  FORMAT('NASA_Albedo_29W.dat - LON=1°N, LAT=29°W')

!   ESCREVE O NÚMERO DE DADOS NO ARQUIVO DE SAÍDA
    WRITE(10,300)A
300  FORMAT(I6)

!   ESCREVE O CABEÇALHO DA TABELA
    WRITE(10,301)
301  FORMAT('AAAA MM DD HH   ALB')

!   PULA UMA LINHA NOS ARQUIVOS DE ENTRADA
    READ(1,700)
    READ(2,700)

!   ABRE O CICLO DE LEITURA
        DO i=1, A

!   LÊ AS VARIÁVEIS DOS ARQUIVOS DE ENTRADA
```

```

      READ(1,400)ANOS(i), MESES(i), DIAS(i),HORAS(i),SW(i)
      READ(2,400)ANOSUP(i), MESESUP(i), DIASUP(i),HORASUP(i),SWUP(i)
400    FORMAT(I4,2x,I2,2x,I2,2x,I2,3x,f9.3)

!      ELIMINA OS ALBEDO DE VALOR ZERO
      IF(SW(i)==0)then
        ALB(i)=0
      ELSE
!      CALCULA O ALBEDO E ESCRIBE O RESULTADO NO ARQUIVO DE SAÍDA
        ALB(i)=SWUP(i)/-SW(i)
        WRITE(10,400) ANOS(i), MESES(i), DIAS(i),HORAS(i),ALB(i)
      ENDIF

!      FECHA O CICLO DE LEITURA
      ENDDO

!      FECHA O PROGRAMA
      END

```