

Relatório final de atividades de pesquisa de
iniciação científica/PIBIC

**Estudo do fluxo turbulento de calor sensível na
região da Estação Antártica Brasileira Comandante
Ferraz**

Aluna: Paola Gimenes Bueno
E-mail: paola.bueno@usp.br

Orientadora: Jacyra Soares

Agência Financiadora: CNPq
Processo: 157406/2012-1

Período: Setembro de 2012 a Agosto de 2013

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
(IAG-USP)
Departamento de Ciências Atmosféricas

Agosto de 2013

Índice

1. Introdução	3
2. Objetivo	4
3. Região e dados de estudo	4
4. Metodologia	6
5. Resultados e discussão	7
6. Conclusões finais	12
7. Referências	13
8. Agradecimentos	13
9. Outras atividades acadêmicas desenvolvidas no período	14
9.1 Disciplinas cursadas	
9.2 Participação em Simpósio	
Anexo I - Resumo	15
Anexo II - Comprovante	16

1. Introdução

O continente Antártico possui características peculiares que fazem com que este seja o principal regulador térmico do planeta, controlando as circulações atmosféricas e oceânicas e afetando o clima global (Vihmaet al., 2009). Estas mesmas características tornam a região a mais sensível às variações climáticas, permitindo que se detecte, precocemente, a resposta do meio ambiente às mudanças climáticas globais.

A região da península Antártica tem recebido maior atenção mundial devido ao fato de estar apresentando mudanças nos sistemas climatológicos e glaciais, com a desintegração de plataformas de gelo em ambos os lados da península (Braun et al, 2004). A costa oeste da península, principalmente, tem apresentado esta tendência de aquecimento de uma forma mais acentuada do que o resto do continente (Ferronet al.,2004), nesta região está localizada a Ilha Rei George, onde está instalada a Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF).

Por estes fatos, as pesquisas realizadas na Ilha Rei George tem tido grande valor na compreensão das mudanças ambientais, principalmente aquelas com séries temporais longas, que por sua vez, reduzem as incertezas dos modelos de previsão, além de permitirem a avaliação mais acurada de implicações futuras. Um dos aspectos importantes abordados nestas pesquisas é a transferência de energia entre a superfície e a atmosfera adjacente (Smith, 1989). De acordo com Arya (2001) existem, basicamente, quatro tipos de fluxos de energia em uma superfície ideal: (i) o fluxo de radiação líquida na superfície, (ii) fluxo de calor sensível, (iii) fluxo de calor latente, e (iv) fluxo de calor no solo.

O fluxo de calor sensível surge como resultado da diferença das temperaturas da superfície e da camada de ar acima desta. Este fluxo normalmente é direcionado no sentido superfície-atmosfera durante o dia, quando a superfície está mais quente que o ar acima, e o contrário ocorre durante a noite. Portanto, o fluxo de calor é proporcional ao gradiente de temperatura na mesma direção, mas em sentidos opostos (Arya, 2001).

Este projeto de iniciação científica se encaixa dentro do projeto “Estudo da Turbulência na Antártica” (ETA), coordenado pela Professora Doutora Jacyra Soares, pertencente ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais (INCT – APA).

2. Objetivo

O principal objetivo deste trabalho foi analisar a evolução média horária, mensal e anual de uma década de dados da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (2000-2010), para então, estimar e analisar os fluxos turbulentos de calor sensível na região, dando ênfase na investigação das mudanças climáticas

Para a efetivação do presente projeto de pesquisa, foram realizadas as seguintes etapas:

- Realizar um levantamento bibliográfico relativo à região Antártica. Através desse levantamento foi possível conhecer melhor a região de estudo.
- Obter nos bancos de dados meteorológicos disponíveis - principalmente na Internet – dados de vento, temperatura do ar e da superfície na região Antártica.
- Realizar o tratamento dos dados obtidos.
- Calcular as médias horárias, mensais e anuais da velocidade do vento, temperaturas do ar e da superfície, para a obtenção do fluxo de calor sensível da região.
- Comparar a evolução diurna do fluxo turbulento de calor com outros estudos semelhantes disponíveis na literatura.

3. Região e dados de estudo

A Estação Antártica Comandante Ferraz (62°05' 07''S, 58°24' 33''W) foi inaugurada no dia 6 de fevereiro de 1984 na Península Antártica, na Baía do Almirantado, da Ilha Rei George, arquipélago das Ilhas Shetland do Sul.

A Ilha Rei George, possui uma calota de gelo permanente que cobre cerca de 92% da ilha (Braun et al., 2004) e está localizada a cerca de 840 km do ponto mais ao sul da América do Sul (Cabo Horns). Nesta ilha estão instaladas nove estações científicas permanentes, a maioria delas com observações meteorológicas regulares, entre elas a EACF.

Os dados meteorológicos utilizados neste trabalho foram obtidos pelo projeto “Meteorologia na EACF” (<http://antartica.cptec.inpe.br/>), que iniciou suas atividades no verão de 1984/85 na EACF. Os dados disponíveis são das seguintes variáveis meteorológicas: pressão, temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade do vento, direção do vento, precipitação, rajadas de vento, temperaturas mínimas e máximas, umidade relativa, radiação de onda curta incidente, cobertura de

nuvens, temperatura da superfície, temperatura a 5 cm de profundidade do solo, a 10cm de profundidade e a 20cm. Todos com uma resolução temporal de uma hora.

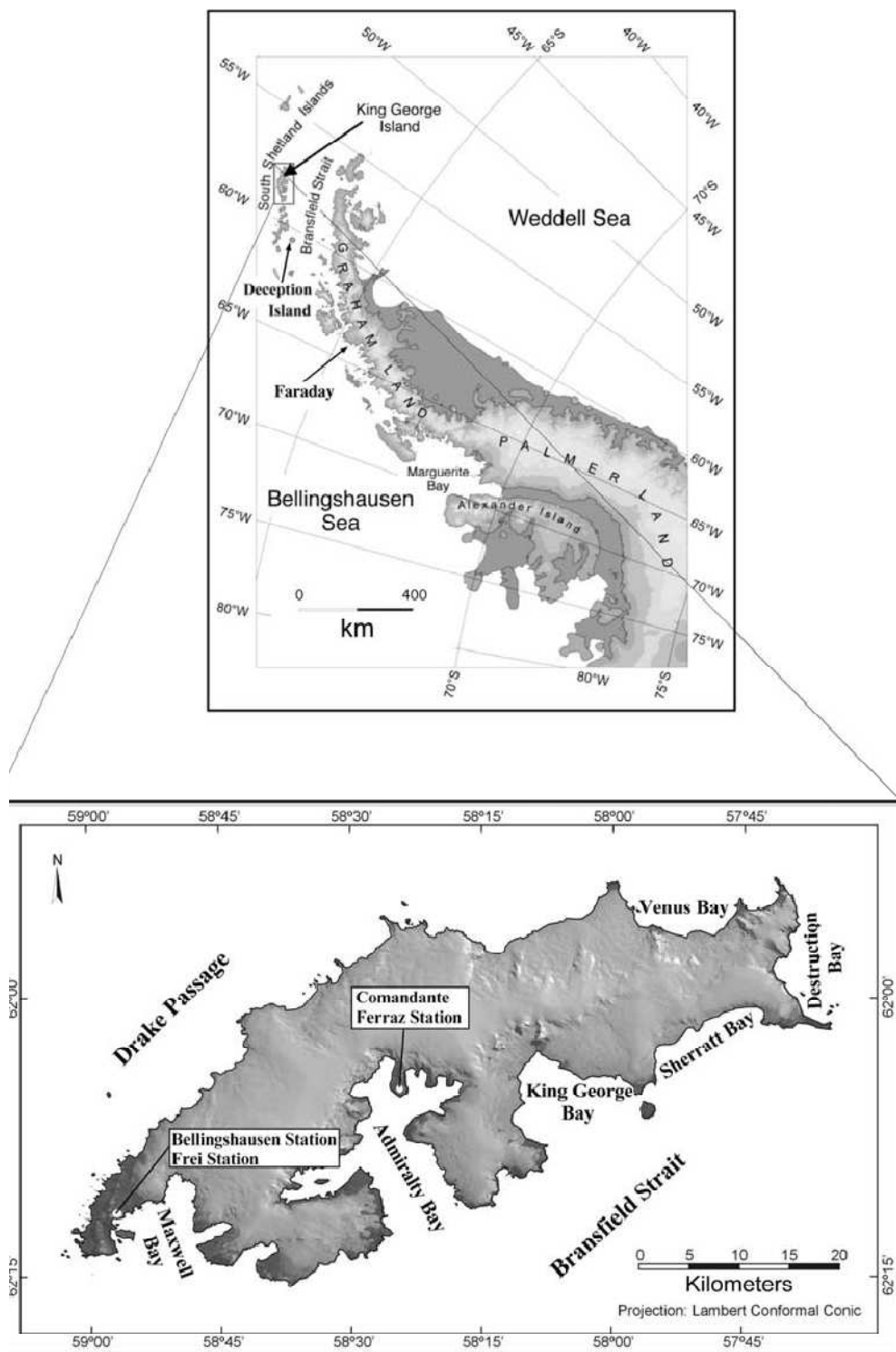


Figura 1: Mapa e localização da Península Antártica; e localização da EACF na Ilha Rei George.

4. Metodologia

Com a utilização da linguagem Fortran, foi criado um programa para o tratamento dos dados coletados entre os anos 2000 e 2010, criando um formato de arquivo padrão selecionando as variáveis de interesse para este projeto. Através deste programa de tratamento de dados foi possível excluir alguns dados que apresentavam valores incompatíveis, principalmente por falhas dos instrumentos de medição. Por estes motivos, o ano de 2003 foi excluído dos cálculos e análises feitas.

Como a estimativa do fluxo de calor sensível depende, entre outros parâmetros, da temperatura do ar, temperatura da superfície e da velocidade do vento, foram feitas as médias aritméticas horárias destas variáveis e também as médias aritméticas para os doze meses do ano, todas para a década estudada. As médias anuais dessas variáveis também foram calculadas para analisar a evolução destas durante esta década de dados.

Utilizando as médias obtidas, foi possível calcular a evolução diurna do fluxo de calor sensível da superfície (H_0) para os períodos de verão (meses de dezembro, janeiro e fevereiro) e inverno (meses de junho, julho e agosto), e também as médias anuais dos fluxos para todos os anos, a partir da equação tipo Bulk (equação 1) (Stull, 1988):

$$H_0 = -\rho_0 c_p C_H u (T_{ar} - T_{superfície}) \quad (1)$$

Onde, ρ_0 é a densidade do ar ($1,2 \text{ kg m}^{-3}$), c_p é o calor específico do ar a pressão constante ($1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), C_H é o coeficiente aerodinâmico de transferência (Smith, 1989), u é a velocidade do vento (m s^{-1}), T_{ar} e $T_{superfície}$ ($^{\circ}\text{C}$) representam, respectivamente, a temperatura do ar e da superfície. O valor do coeficiente aerodinâmico de transferência (C_H) adotado neste projeto foi de 0,00109; valor considerado apropriado para as características físicas e meteorológicas da Antártica (Andreas and Ackley, 1981). Com o desenvolvimento do projeto ETA será possível identificar valores mais corretos para C_H .

5. Resultados e discussão

Para as variáveis investigadas, foram feitas as evoluções diurnas para os períodos de verão e inverno, a variação média mensal e a variação média anual do período estudado, apresentadas a seguir. Todos os gráficos de evolução diurna estão com hora UTC, tendo esta três horas a mais que a hora local da região.

No verão, a temperatura da superfície atinge valores mais altos que a do ar (Figura 2), isso devido a maior incidência de radiação solar neste período, cerca de 163 W/m^2 (Ruman, 2013), por um maior intervalo de tempo, ou seja, apresentando dias mais longos. Já no período de inverno, a incidência de radiação solar é bem menor, pois a estação está localizada em uma região de alta latitude próxima ao círculo polar antártico, portanto a incidência de onda curta pela radiação solar é pequena, porém não nula. Como a energia incidente não é o suficiente para aquecer a superfície, a temperatura do ar possui valores maiores que a da superfície neste período (Figura 2).

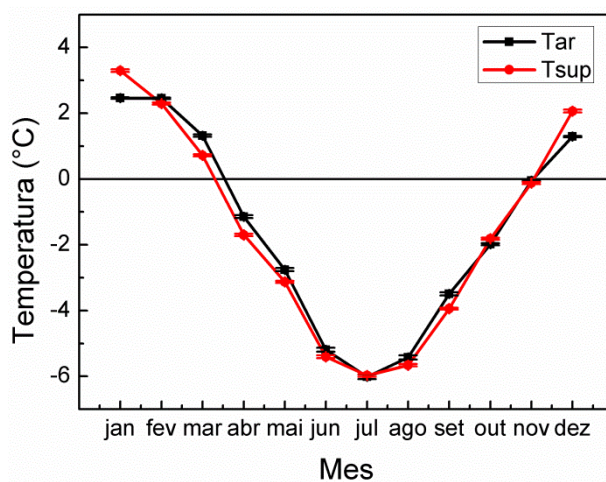


Figura 2: Variação temporal dos valores médios mensais das temperaturas do ar (preto) e da superfície (vermelho). As barras verticais correspondem ao erro estatístico.

No ciclo diurno do verão (Figura 3), pode-se observar que a temperatura máxima da superfície é atingida normalmente no horário da tarde, entre as 15 e 18 horas UTC, ou seja, entre as 12 e 15 horas local. De acordo com Arya (2001), a temperatura máxima da superfície é atingida, tipicamente, uma ou duas horas após a hora de máxima insolação, enquanto a temperatura mínima é atingida no início do dia. Enquanto a temperatura da superfície apresenta uma grande amplitude de variação durante o dia, a temperatura do ar não varia muito (Figura 3a).

Após o nascer do sol a superfície começa a esquentar, conforme ela esquenta, o fluxo de calor sensível passa a remover o excesso de calor da superfície e o transfere para a camada de ar mais próxima, assim esta camada também começa a aquecer (Stull, 1988). Portanto, quando a superfície atinge temperaturas mais altas que o ar, o fluxo de calor sensível é direcionado da superfície para o ar, assumindo valores positivos, isso

ocorre durante a tarde. Durante a noite e a manhã, o fluxo atinge seus valores mínimos, que coincidem com as temperaturas mínimas do ar. Este é direcionado do ar para a superfície durante este período, devido ao balanço de radiação negativo (Vihma et al., 2009).

Durante os meses de verão, a direção do fluxo é bem variável (Figura 3b), isso ocorre devido a inversão do gradiente de temperatura entre a superfície e a atmosfera no decorrer do dia (Vihma et al., 2009).

Verão

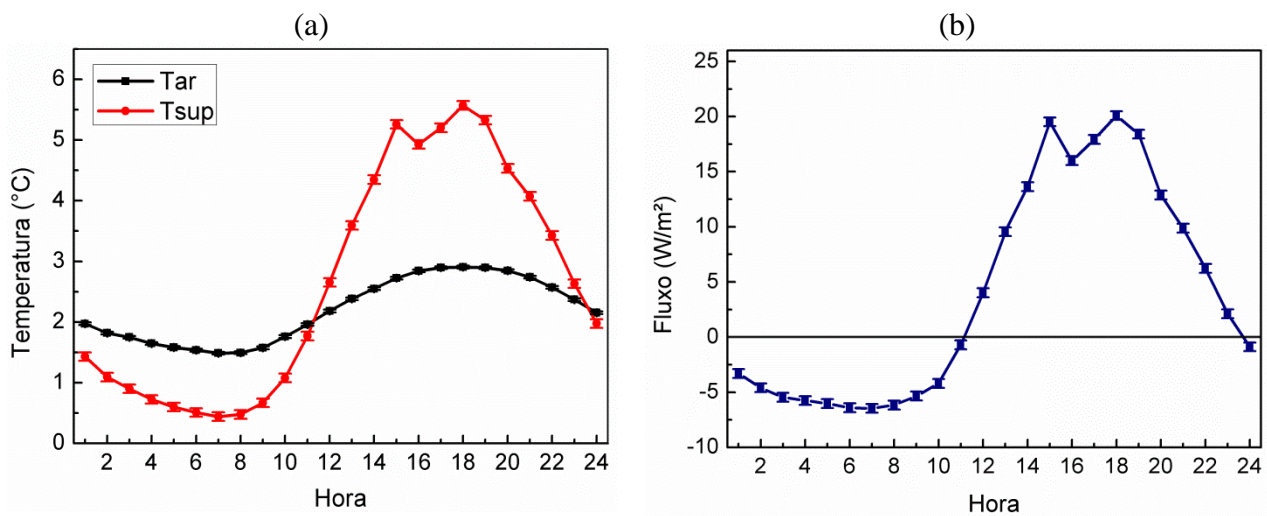


Figura 3: Ciclo diurno médio das (a) temperaturas do ar (preto) e da superfície (vermelho) e (b) do fluxo de calor sensível da superfície (azul) durante o verão.

Já no inverno, ambas as temperaturas não variam muito, e a temperatura do ar permanece maior que a da superfície durante todo o dia (Figura 4a). Entre as 14 e 19 horas UTC, a temperatura do ar atinge seus valores máximos devido a pequena incidência de radiação solar durante um curto intervalo de tempo, essa radiação é de cerca de 15 W/m² (Ruman, 2013), esta não é suficiente para aquecer a superfície.

Como a temperatura do ar é sempre maior, o fluxo de calor sensível é direcionado do ar para a superfície durante todo o dia, além de apresentar uma menor magnitude devido à pequena diferença entre as temperaturas (Figura 4b).

Inverno

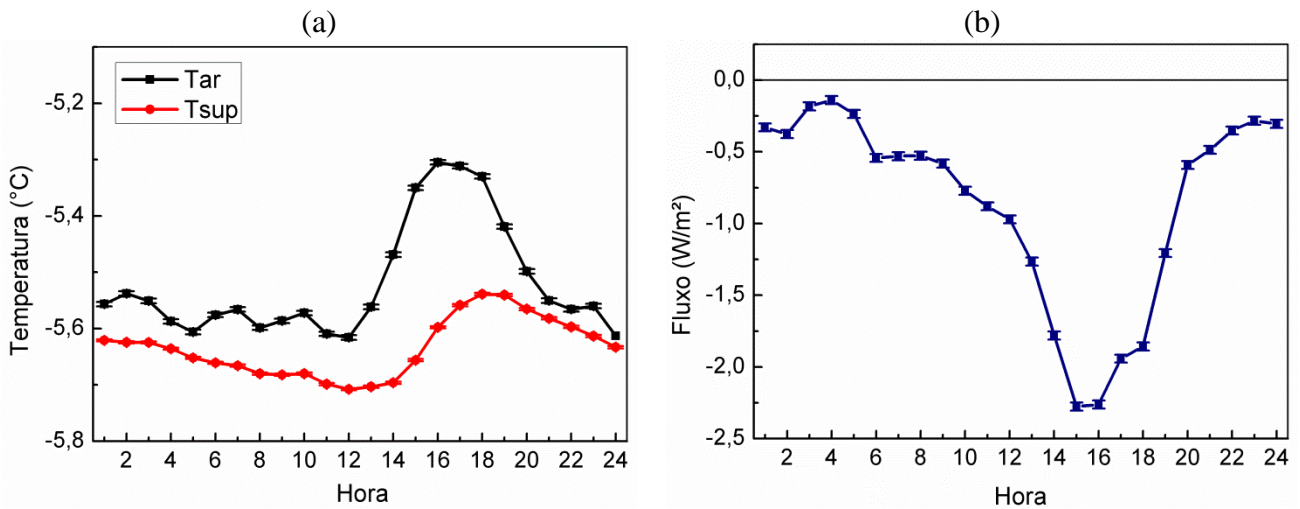


Figura 4: Ciclo diurno médio das (a) temperaturas do ar (preto) e da superfície (vermelho) e (b) do fluxo de calor sensível da superfície (azul) durante o inverno.

Nas figuras a seguir estão representados os ciclos diurnos das temperaturas, separadamente, para os períodos de verão (Figura 5) e inverno (Figura 6) de todos os anos estudados, para então, ser realizada uma comparação entre estes anos.

Todos os anos apresentaram uma semelhança no comportamento diurno de ambas as temperaturas, para o verão. Para a temperatura do ar o ano de 2006 obteve as maiores temperaturas registradas, e 2010 as menores temperaturas (Figura 5a). Para a temperatura da superfície, os anos de 2006, 2007 e 2009 apresentaram as maiores temperaturas registradas, enquanto que os anos de 2004 e 2005 apresentaram as menores (Figura 5b).

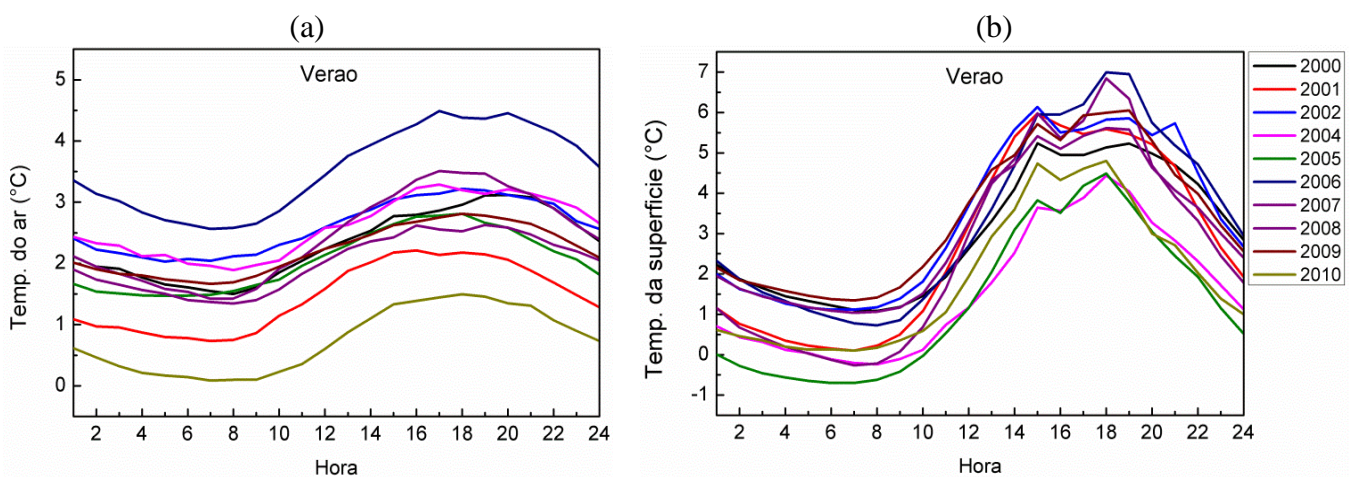


Figura 5: Ciclo diurno médio das (a) temperaturas do ar e (b) da superfície de todos os anos, para o verão.

Nas comparações dos ciclos diurnos do inverno, observa-se uma maior variação entre os ciclos médios anuais. O ano de 2010 apresentou os maiores valores de temperatura do ar e da superfície, enquanto os anos de 2007 e 2009 apresentaram os menores valores da temperatura do ar e os anos de 2002 e 2005, os menores da temperatura de superfície.

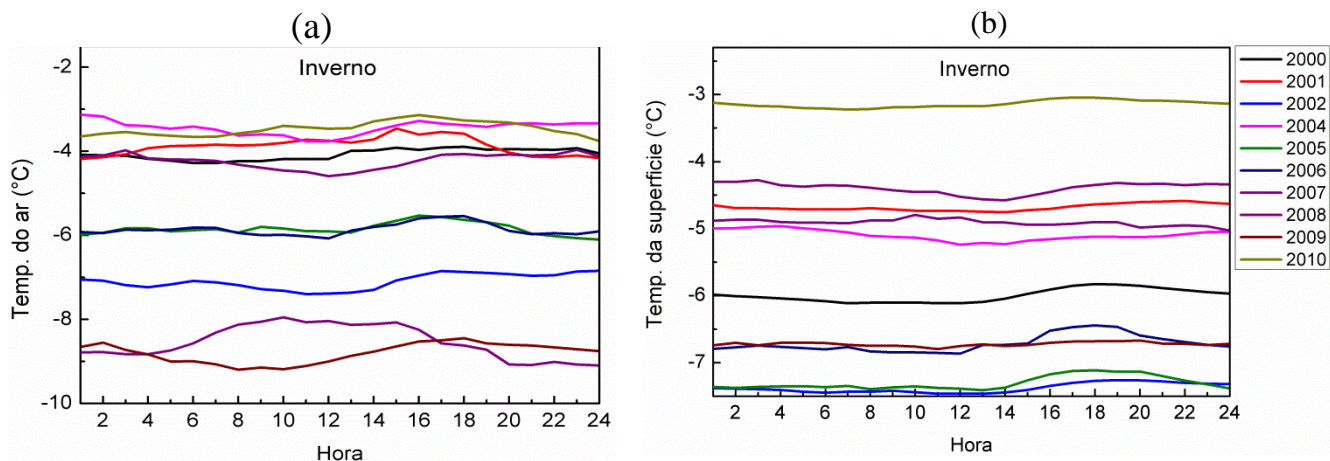


Figura 6: Ciclo diurno médio das (a) temperaturas do ar e (b) da superfície de todos os anos, para o inverno.

O fluxo de calor sensível predominante sobre a superfície da Antártica é direcionado da atmosfera para a superfície, entretanto pode-se ver que na região estudada do continente, este comportamento tem sido alterado (Vihma et al, 2009), pois alguns dos anos apresentaram um fluxo médio anual orientado no sentido superfície-atmosfera (Figura 7b). Essa inversão do sentido do fluxo de calor sensível pode ser justificada pelo gráfico da evolução anual das temperaturas, que mostra o aumento da temperatura da superfície a partir do ano de 2006, e a partir do ano de 2007 o aumento desta em relação à temperatura do ar (Figura 7a), isso fez com que os fluxos assumissem valores positivos.

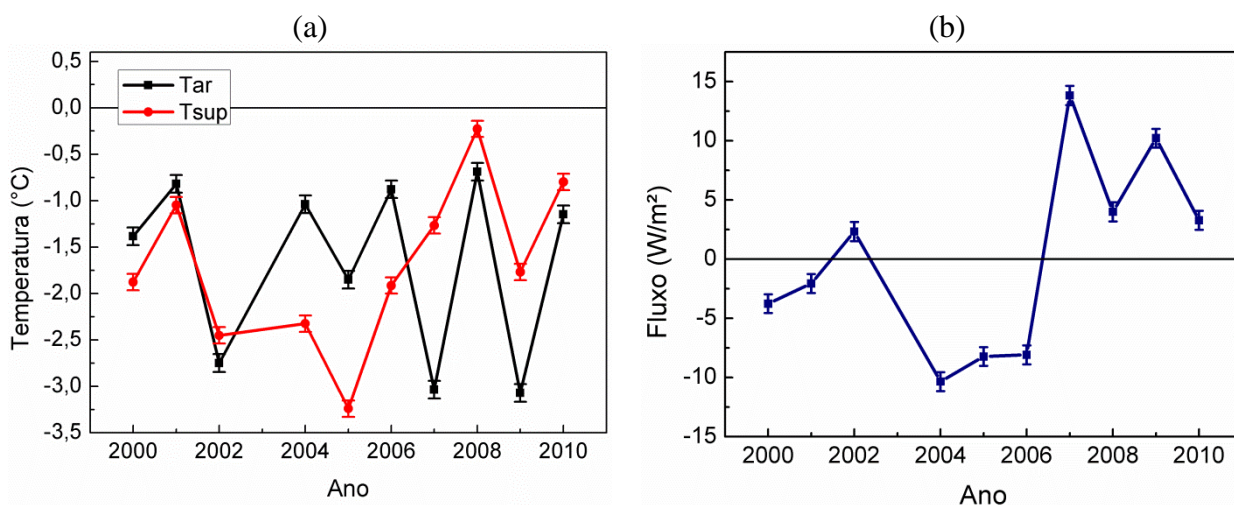


Figura 7: Variação das médias anuais das (a) temperaturas do ar e da superfície e dos (b) fluxos de calor sensível.

A velocidade do vento na região da estação possui valores menores comparados aos do resto do continente antártico, isso devido à topografia da região. A velocidade do vento varia mais durante os dias de verão, tendo uma amplitude de aproximadamente 0,8 m/s (Figura 8a). Nos dias de inverno a amplitude é menor, mas os valores de velocidade são maiores, a amplitude é de aproximadamente 0,3 m/s (Figura 8b). O valor médio de velocidade do vento calculado para a década estudada foi de 6,1 m/s, com um valor mínimo registrado em 2005 (4,5 m/s) e um máximo em 2010 (7,2 m/s) (Figura 8c).

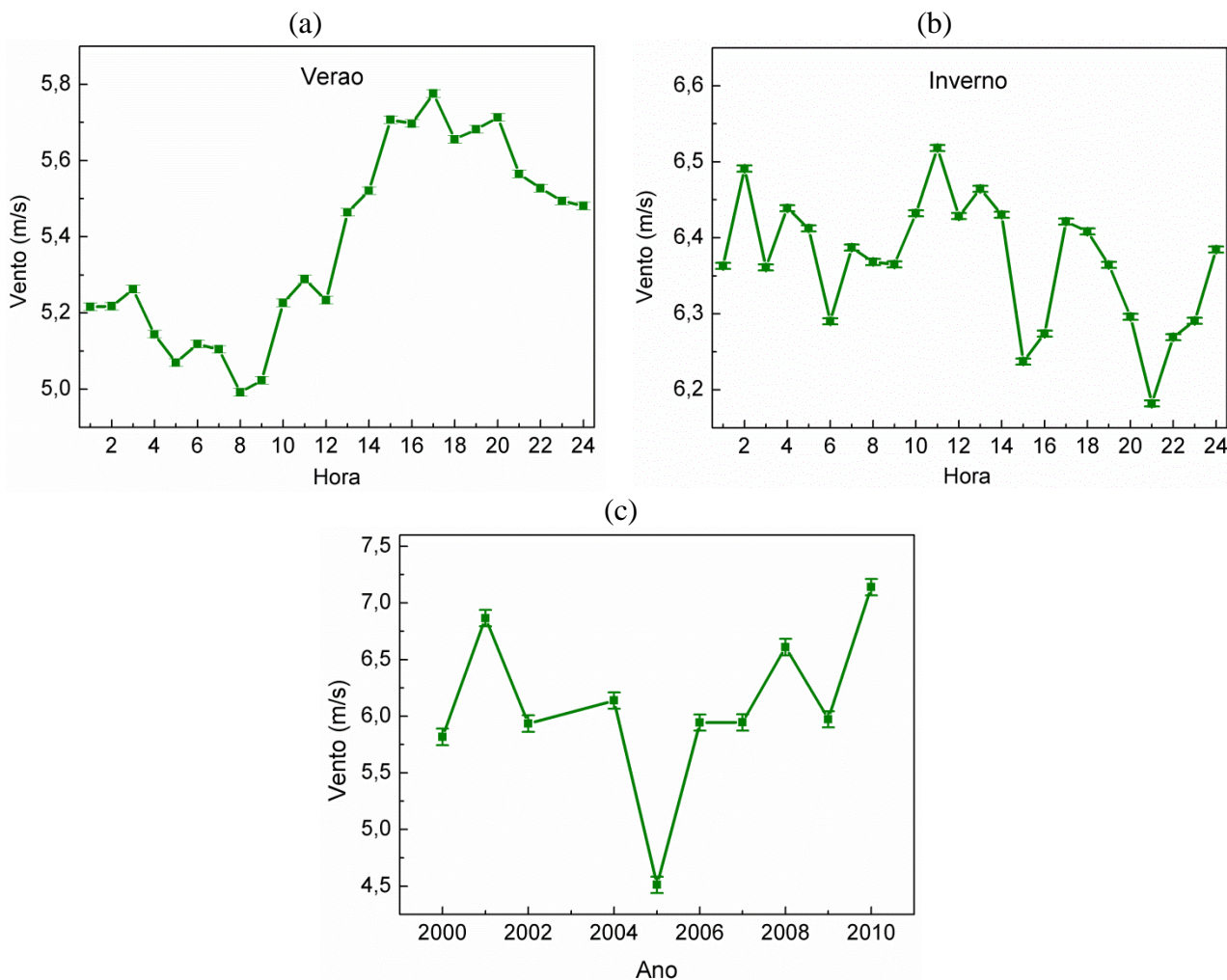


Figura 8: Ciclo diurno médio da velocidade do vento para os períodos de (a) verão e (b) inverno e (c) variação anual das médias da velocidade do vento para a década estudada.

6. Conclusão

Neste relatório final foi apresentada uma análise do comportamento do fluxo de calor sensível e das variáveis meteorológicas necessárias para o seu cálculo, para os períodos de verão e inverno da década estudada. Além disso, foi feita uma análise destes para cada ano estudado.

A convergência ou divergência do fluxo de calor sensível da superfície está associada ao aquecimento ou resfriamento do ar, respectivamente. Este fluxo é influenciado pelas altas velocidades do vento da região.

O fluxo de calor sensível predominante no continente antártico é orientado no sentido atmosfera- superfície. No entanto este fluxo é variável no período do verão, devido ao maior aquecimento da temperatura da superfície e pelo o resto do ano, principalmente no inverno, o fluxo permanece orientado da atmosfera para a superfície. Por este fato, a camada de gelo na Antártica é um dissipador de energia durante maior parte do ano (Rasmussen and Turner, 2003).

Nesta região estudada da Península Antártica tem-se observado um aumento da temperatura da superfície nos últimos anos, especialmente durante os meses de inverno (Ferron et al.,2004). Este aumento da temperatura da superfície resultou em uma inversão no sentido do fluxo médio anual da região, agora orientado no sentido superfície-atmosfera.

Apesar dessa inversão do fluxo de calor, observada nos últimos anos da década estudada, o fluxo médio desses dez anos é negativo, ou seja, indica uma transferência de calor da atmosfera para a superfície. Na Tabela 1 estão as médias das variáveis analisadas neste relatório, do ano de 2000 a 2010.

Tabela 1: Médias das temperaturas do ar e da superfície, da velocidade do vento e do fluxo de calor sensível na EACF para a década estudada.

	Temp. do ar	Temp. da superfície	Velocidade do vento	Fluxo de calor sensível
	(°C)	(°C)	(m/s)	(W/m ²)
Médias (2000-2010)	-1,67	-1,7	6,1	-0,2

7. Referências

- Andreas E. L. and Ackley S. F., 1981: On the differences in ablation seasons of Arctic and Antarctic Sea ice, *J. Atmospheric Sciences*, 39, 440-447.
- Arya S. P.: 2001, 'Introduction to Micrometeorology'. Academic Press. San Diego, USA.
- Braun M., Saurer H. and Gobmann H., 2004: Climate, energy fluxes and ablation rates on the ice cap of King George Island, Antarctica, Brazilian Antarctic Research.
- Ferron F. A., Simões J. C., Aquino F.E. and Setzer A.W., 2004: Air temperature time series for King George Island, Antarctica, Brazilian Antarctic Research.
- Rasmussen E. A. and Turner J., 2003: 'Polar Lows: Mesoscale weather systems in the Polar Regions'. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ruman C. J., 2013: Caracterização do verão e inverno na região da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz. Relatório final de atividades de pesquisa de iniciação científica. Fevereiro 2013.
- Stull R. B., 1988: 'An Introduction to Boundary Layer Meteor'. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Holland.
- Smith, S.D., 1989: Water vapor flux at the sea surface. *Boundary-Layer Meteor.*, 47, 277-293.
- Vihma T., Johansson M. M., and Launiainen J., 2009: Radiative and turbulent surface heat fluxes over sea ice in the western Weddell Sea in early summer, *J. Geophys.*

8. Agradecimentos:

A Bolsa PIBIC/CNPq nº 157406/2012-1 e ao INCT-APA.

9. Outras atividades acadêmicas desenvolvidas no período

A seguir são descritas outras atividades acadêmicas realizadas durante a vigência da bolsa.

9.1 Disciplinas cursadas:

Setembro 2012 a fevereiro 2013:

- Física I – 6,2
- Física experimental II – 8,9
- Introdução às Equações Diferenciais Ordinárias e Aplicações – 5,3
- Cálculo Diferencial e Integral IV – 8,9

Fevereiro a agosto de 2013:

- Física II – 5,7
- Biometeorologia – 8,4
- Meteorologia Física II – 9,0
- Introdução à Química Atmosférica – 7,7
- Tópicos de Matemática Aplicada – 6,8

9.2 Participação em Simpósio:

Bueno, P. G. e Soares, J., 2013: Estudo do fluxo turbulento de calor sensível na região da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz. XVIII Simpósio de Iniciação Científica do IAG, Agosto 2013. (Anexos I e II).

Anexo I

ESTUDO DO FLUXO TURBULENTO DE CALOR SENSÍVEL NA REGIÃO DA ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA COMANDANTE FERRAZ

Paola Gimenes Bueno
Jacyra Soares – Orientadora

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP
Departamento de Ciências Atmosféricas

A Antártica é uma das regiões mais sensíveis do planeta às variações climáticas, por isso os estudos científicos feitos na região são de extrema importância para a compreensão dessas variações (Smith, 1989). Dentre estes estudos realizados na região, destaca-se a investigação da transferência de energia entre a superfície e a atmosfera. Este trabalho tem como objetivo analisar a variação média mensal e diária das temperaturas de superfície e do ar para um período de dez anos (2000-2010) na região da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz.

Para a realização desse projeto foram utilizados dados obtidos pelo projeto "Meteorologia na EACF" (<http://antartica.cptec.inpe.br/>), na Ilha Rei George, onde está localizada a estação (62°05'S, 058° 23'W). A partir desses dados foram calculadas as médias mensais e horárias das temperaturas do ar e da superfície para os anos de 2000 a 2010 (com exceção do ano de 2003) e com isso foi investigada a evolução mensal e diurna para os meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e para os meses de inverno (junho, julho e agosto).

Através das análises feitas observa-se que a temperatura de superfície atinge valores mais altos do que a do ar no verão e o inverso ocorre no inverno, como esperado. Isso ocorre devido à variação anual de incidência de radiação solar na região Antártica onde no verão há maior incidência, portanto a superfície absorve mais dessa radiação, atingindo maiores temperaturas. Já no inverno a incidência é pequena, assim a superfície atinge menores temperaturas do que as registradas no verão (Vihma et al., 2009).

Referência bibliográfica:

Vihma, T.; M. M. Johansson; J. Launiainen, 2009: Radiative and turbulent surface heat fluxes over sea ice in the western Weddell Sea in early summer

Smith, S.D., 1989: Water vapor flux at the sea surface. *Boundary-Layer Meteor.*, 47, 277-293.

Agência Financiadora: CNPq.

Anexo II



CERTIFICAMOS QUE

Paola Gimenes Bueno,

SOB A ORIENTAÇÃO DA PROFA. DRA. JACYRA SOARES, PARTICIPOU DO XVIII SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, REALIZADO EM 22 E 23/08/2013, COM O TRABALHO INTITULADO ESTUDO DO FLUXO TURBULENTO DE CALOR SENSÍVEL NA REGIÃO DA ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA COMANDANTE FERRAZ.

SÃO PAULO, 23 DE AGOSTO DE 2013.


PROF. DR. AUGUSTO JOSÉ PEREIRA FILHO
PRESIDENTE COMISSÃO DE PESQUISA


PROF. DR. LAERTE SODRÉ JÚNIOR
DIRETOR DO IAG

