



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

Investigação da altura da camada limite planetária na região da Estação Brasileira na Antártica

Rafael dos Reis Pereira

Orientadora: Profa. Dra. Jacyra Soares

Grupo de Micrometeorologia
Laboratório de Interação Ar-Mar

Relatório de atividades do mestrado
Abril - Setembro 2015



Sumário

1. Resumo	3
2. Objetivos	3
3. Região de estudo e dados utilizados	4
4. Estimativa da altura da CLP	5
5. Resultados preliminares	6
6. Conclusões preliminares	8
7. Referências Bibliográficas	8
8. Demais atividades	9
8.1. Disciplinas cursadas	9
8.2. Treinamento Pré-Antártico	9
8.3. Preparação para a viagem a EACF	9
8.4. Cronograma de atividades futuras	9



1. Resumo

O conhecimento dos fluxos turbulentos sobre diferentes superfícies é de grande importância para o estudo da dinâmica da camada limite planetária (CLP) e para simulações numéricas não só de micrometeorologia mas também de meso e grande escalas. Tão importante quanto o estudo da CLP é a estimativa da sua altura (Cheng et al., 2002), que é definida como extensão vertical máxima em que os efeitos de superfície ainda são percebidos e possui dimensões verticais abaixo dos 500m durante a noite (estável/neutra) e acima dos 1000m durante o dia (instável) (Yamada, 1978). De acordo com a condição de instabilidade ou estabilidade, a altura da CLP influencia na difusão e nos transportes verticais, sendo assim a altura (H) da CLP se torna um parâmetro importante para descrição da turbulência em modelos atmosféricos e para a mistura de poluentes (Vogelezang and Holtslag, 1996).

Entretanto, não existe uma maneira única de estimar essa altura, mesmo para regimes específicos de estabilidade da atmosfera (Busch *et al.*, 1977; Vogelezang and Holtslag, 1996, entre outros).

O objetivo geral deste projeto é investigar a altura da camada limite planetária utilizando diferentes fontes de informações disponíveis na Ilha Rei George tais como medidas pontuais de turbulência atmosférica, perfis verticais obtidos por radiossondagens (caso existam), estimativas realizadas por satélite e algorítmicos de estimativa da altura. Medidas pontuais das propriedades da CLP estão sendo realizadas na Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF) pelo projeto ETA (Estudo da Turbulência na Antártica, processo CNPq 407137/2013-0).

2. Objetivos

O objetivo deste projeto é obter a altura da CLP na região da estação brasileira na Antártica através de dados coletados próximos à superfície. Seguindo as etapas descritas abaixo:

- Analisar os dados observacionais disponíveis coletados pelo Projeto ETA;
- Buscar estimativas de altura da camada sob condições de estabilidade, neutralidade e instabilidade atmosférica;
- Implementar as rotinas em linguagem Fortran usando diferentes parametrizações para o cálculo da altura da CLP sobre a região da Base Brasileira;



- Determinar a evolução temporal da estrutura dinâmica e termodinâmica da camada limite planetária.

3. Região de estudo e dados utilizados

A Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF) está localizada na Península Keller, no interior da Baía do Almirantado, Ilha Rei George (Figura 1), no Arquipélago das Shetland do Sul, na Península Antártica ($62^{\circ}05'07''$ S, $58^{\circ}23'33''$ W) e está a 20 m acima do nível médio do mar (Fig. 1). O arquipélago está situado a 130 km do continente Antártico e a 849 km do ponto mais ao sul do continente americano (Cabo de Hornos).

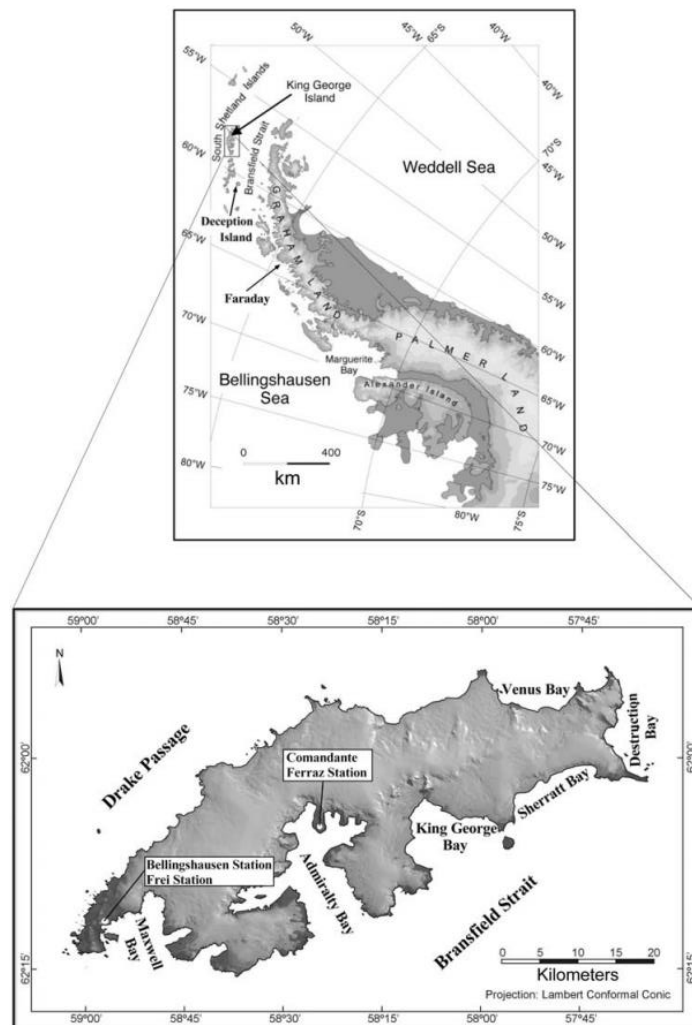


Figura 1. Ilha Rei George e localização da EACF. Adaptado de Ferron et. al., 2004.



Os dados observacionais foram obtidos, pelo Projeto ETA, com sensores instalados em uma torre e conectados a um sistema de aquisição de dados e transferidos a um notebook instalado na Estação Antártica Comandante Ferraz (Codato *et al*, 2013).

Durante dezembro de 2014 e janeiro de 2015 foram realizadas medidas de alta frequência de flutuação de vento, temperatura e densidade de vapor d'água. Estes dados foram filtrados e organizados em médias a cada 30 minutos pelo Laboratório de Interação Ar-Mar (LIAM), do Grupo de Micrometeorologia, do Departamento de Ciências Atmosféricas da USP.

4. Estimativa da altura da CLP

A classificação dos períodos de atmosfera estável, neutra ou instável é necessária para escolha da formulação ideal para o cálculo da altura da camada limite, visto que existem formulações distintas para cada situação.

A fim de obter a classificação da atmosfera quanto à estabilidade, os dados foram classificados utilizando o parâmetro de estabilidade dado por $\zeta = \frac{z}{L}$, onde z é a altura do sensor e L é o comprimento de Obukhov. Tabela 1 mostra os valores do parâmetro de estabilidade para diferentes as condições atmosféricas (Hogstrom *et. al.*, 1988; Oncley *et. al.*, 1996).

Tabela 1. Condições de estabilidade.

$\zeta < -1,0$	Instável
$-1,0 < \zeta < 1,0$	Neutra
$\zeta > 1,0$	Estável

Em geral, estimativas para altura de equilíbrio da camada limite estável ou neutra utilizam fluxos de superfície, que requerem dados dos fluxos de calor e momento na superfície. Considerando a velocidade de superfície e a influência da rotação da Terra na CLP, Rossby e Montgomery (1935) propuseram a seguinte equação para a altura da camada limite:

$$H = C_n \frac{u_*}{|f|} \quad (1)$$



Onde:

H - Altura da camada limite estável (m);

u_* - Escala de velocidade do vento (ms^{-1});

$|f|$ - Valor absoluto do parâmetro de Coriolis (s^{-1});

C_n - Coeficiente adimensional.

A escala de velocidade u_* é estimada pela raiz quadrada do fluxo de momento na superfície ($u_* = (\overline{w'u'})^{\frac{1}{2}}$) e f é o parâmetro de Coriolis. O coeficiente C_n é encontrado na literatura variando entre 0,1 e 0,35 (Tabela I em Zilintinkevich, 1989).

5. Resultados preliminares

A estabilidade da atmosfera durante o período de estudo foi analisada pelo parâmetro ζ seguindo as condições descritas na Tabela 1. A Figura 2 apresenta os valores de ζ durante o período estudado, as linhas tracejadas em vermelho indicam os diferentes regimes de estabilidade atmosférica. O regime estável está acima das linhas vermelhas, neutralidade se encontra entre as linhas e instável abaixo das linhas. Verificou-se que durante cerca de 97% do tempo a atmosfera é neutra, 1% é estável e 2% é instável.

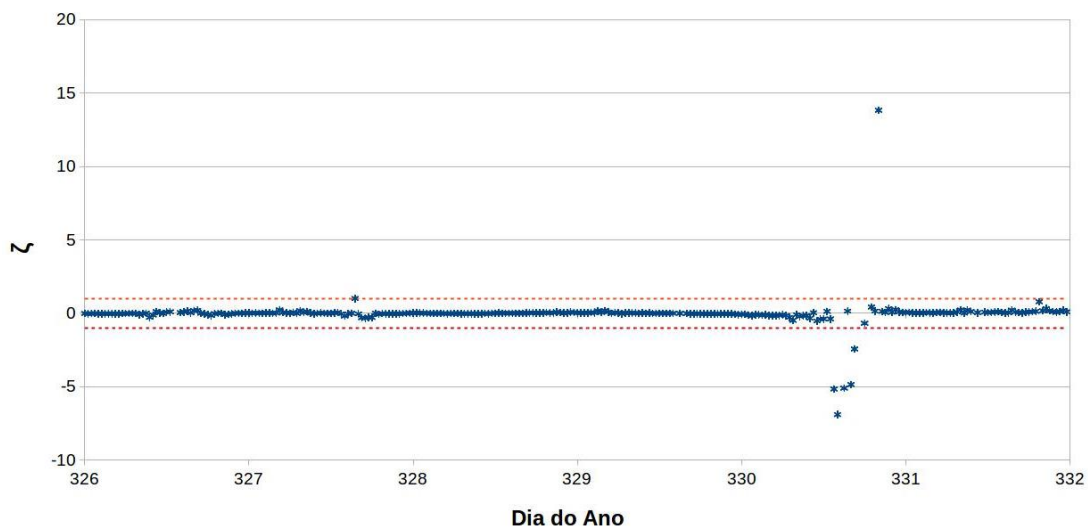


Figura 2. Escala de estabilidade, ζ , para o período de dados.

Durante o período de estudo a escala de velocidade, u_* , oscilou entre o valor mínimo de $0,44 \text{ ms}^{-1}$ e o valor máximo de $0,94 \text{ ms}^{-1}$ (Figura 3), com média de $0,37 \text{ ms}^{-1}$. Sabendo que a equação 1 é diretamente proporcional a u_* , valores elevados deste parâmetro irá gerar grandes valores de altura da camada.

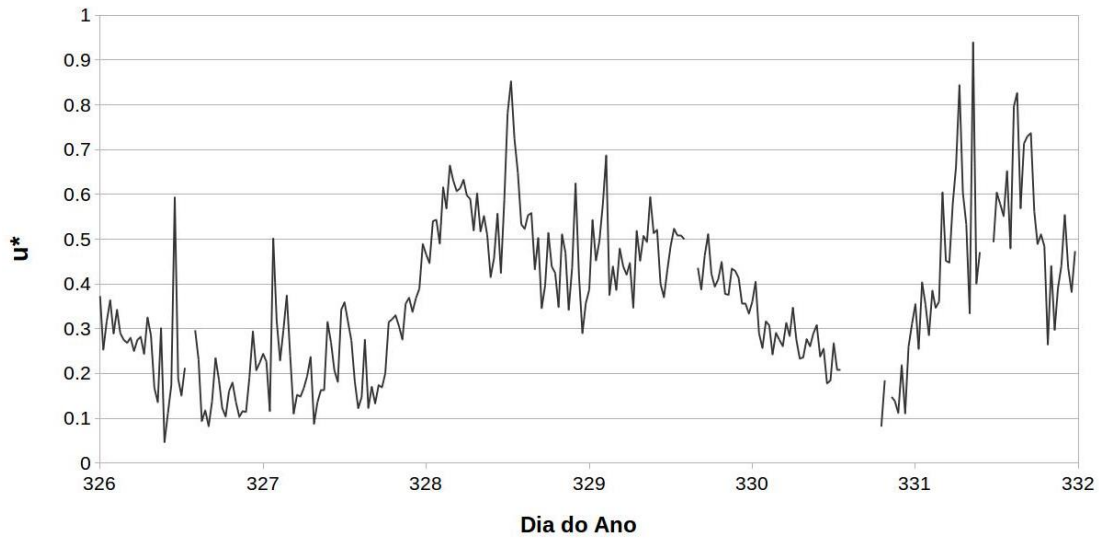


Figura 3. Escala de velocidade do vento, u^* , para o período de dados.

A estimativa de altura da camada limite dada pela expressão 1 foi aplicada apenas para os períodos de atmosfera estável ou neutra usando os coeficientes $C_n = 0.1$ e $C_n = 0.3$. A altura da camada variou entre 110m e 2339m para $C_n = 0.1$ e, entre 331m e 7019m para $C_n = 0.3$ (Figura 4), seguindo o mesmo perfil de u^* , contando apenas com a correção feita por C_n e por f . Ambas estimativas aparentam superestimar a altura da camada limite estável/neutra, visto que alturas próximas a 7000m para a região antártica é totalmente incoerente com a realidade.

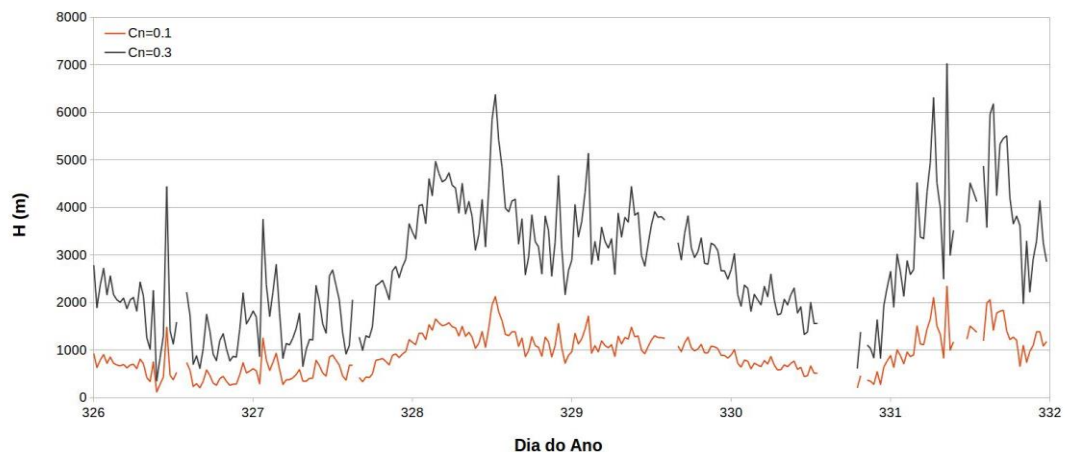


Figura 4. Variação da altura, H , da camada limite estável e neutra, pela expressão 1.



6. Conclusões preliminares

Os dados utilizados apresentam períodos com estabilidade atmosférica estável, instável e neutro com duração similares.

A expressão utilizada para estimar a altura da CLP não apresentou resultados satisfatórios, ainda que não haja dados reais para comparação da altura. Deste modo a busca por estimativas específicas para cada condição da atmosfera, se faz necessária.

7. Referências Bibliográficas

- Bradley, E.F.; P.A.Coppin and J.S.Godfrey, 1991: Measurements of Sensible and Latent Heat Flux in the Western Equatorial Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, **96**, 3375-3389.
- Busch, N. E., S. W. Chang, and R. A. Anthes, 1976: A multi-level model of the planetary boundary layer suitable for use with mesoscale dynamic models. *J. Applied. Meteor.*, **15**, 909-919.
- Codato, G.; Soares, J.; Oliveira, A.P.; Targino, A.C.L.; Ruman, C.J., 2013: Observational Campaigns of the Project Study of Turbulence in Antarctica. INCTAPA. Annual Activity Report, **1**, 20-23.
- Cheng, Y., V. M. Canuto, and A. M. Howard, 2002: An improved model for the turbulent PBL. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 1550-1565.
- Ferron, F. A.; Simões, J. C.; Aquino, A. E.; Setzer, A. W., 2004: Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesq. Antart. Bras.*, **4**, 155-169.
- Högström, U., 1988: Non-dimensional wind and temperature profiles in the atmospheric surface layer: A re-evaluation. *Boundary-Layer Meteorology*, **42**: 55-78.
- Oncley, S. P., 1996: Surface-Layer Fluxes, profiles, and Turbulence Measurements over Uniform Terrain under Near-Neutral Conditions. *J. Atmos. Sci.*, **53**, 1029-1044.
- Rosby, C. G., and Montgomery, R. B., 1935: The Layer of Frictional Influence in Wind and Ocean Currents. *Pap. Phys. Oceanogr. Meteorol.* **3**, 1-101.
- Yamada, T., 1978: Prediction of the Nocturnal Surface Inversion Height. *J. of Applied. Meteor.*, **18**, 526-531.
- Vogelezang, D. H. P., and A. A. M. Holtslag, 1996: Evaluation and model impacts of alternative boundary-layer height formulations. *Bound.-Layer Meteor.*, **81**, 245-269.
- Zilitinkevich, S., 1989: Velocity profiles, resistance law and dissipation rate of mean flow kinetic energy in a neutrally and stably stratified planetary boundary layer. *Bound.-Layer Meteor.* **46**, 367-38



8. Demais atividades

8.1. Disciplinas cursadas

Foram cursadas e concluídas cinco disciplinas, totalizando 30 créditos obtidos dos 46 necessários. Além das cinco, outras duas disciplinas de 10 créditos estão em andamento.

Sigla	Disciplina	Créditos	Conceito	Situação
AGM5822	Radiação Atmosférica I	6	C	Concluída
AGM5713	Dinâmica da Atmosfera I	6	B	Concluída
AGM5714	Dinâmica da Atmosfera II	6	C	Concluída
AGM5716	Termodinâmica da	6	B	Concluída
AGM5706	Meteorologia Sinótica	6	A	Concluída
AGM5804	Micrometeorologia	10	-	Em Andamento
AGM5801	Modelagem Numérica da	10	-	Em Andamento

8.2. Treinamento Pré-Antártico

Durante o período de 02 a 08 de agosto foi realizado o Treinamento Pré-Antártico no Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes (CEFAN), Rio de Janeiro/RJ. O treinamento é exigência para viagem à estação brasileira na Antártica (Estação Antártica Comandante Ferraz – EACF), que será realizada nos meses de Outubro à Novembro de 2015. (ANEXO 1)

8.3. Preparação para a viagem a EACF

Suporte às atividades referentes a preparação dos equipamentos durante o período de Julho à Setembro, acompanhando o processo de montagem e inicialização (testes) dos instrumentos que serão instalados na viagem para a EACF.

8.4. Cronograma de atividades futuras

Atividade	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Conclusão das disciplinas	X	X	X		
Viagem à EACF		X	X		X
Revisão Bibliográfica	X	X	X		
Implementação das Rotinas		X	X	X	X