

# **Relatório de Pesquisa de Mestrado**

## **Ajuste topográfico do campo do vento na CLP da região da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF)**

Mariana Fadigatti Picolo

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Jacyra Soares

Relatório de Atividades

Setembro -2014/Abril-2015

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

## Sumário

<b>1. Resumo do Projeto de Pesquisa .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Resumo do Relatório Anterior .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Região de Estudo e Dados Utilizados .....</b>	<b>4</b>
<b>5. Resultados Preliminares.....</b>	<b>8</b>
5.1. Teste 1 .....	8
5.2. Teste 2 .....	9
5.3. Teste 3 .....	10
5.4. Teste 4 .....	12
5.5. Teste 5 .....	13
<b>6. Conclusão Preliminar .....</b>	<b>13</b>
<b>7. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>14</b>
<b>8. Outras Atividades Desenvolvidas no Período .....</b>	<b>14</b>
8.1. Disciplinas .....	14
8.2. Exame de Qualificação .....	15
<b>9. Atividades Futuras .....</b>	<b>15</b>

## **1. Resumo do projeto de pesquisa**

A obtenção do campo de vento, importante para vários estudos de interação superfície atmosfera e de estudos de impactos ambientais, é limitada em razão de medidas espacialmente esparsas, particularmente em regiões com relevo acidentado (Veleda, 2001). Medidas micrometeorológicas realizadas a 5 metros do nível da superfície, por exemplo, são representativas de uma área circular de raio igual a 500 metros em torno do local da medida (Oliveira, 1991). Porém, em áreas em que o terreno varia significativamente, o vento medido em um único local pode não representar adequadamente o vento na região a sua volta, pois as regiões com topografia complexa podem causar grandes modificações nos escoamentos de larga e meso escalas (Veleda, 2001).

Neste projeto serão utilizados dois modelos diagnósticos propostos por Anderson (1971) e Dickerson (1978), os quais assumem restrições físicas como conservação de massa e atmosfera incompressível, o que reduz a divergência do escoamento.

## **2. Resumo do relatório anterior**

No período anterior foram descritas as duas rotinas que serão utilizadas. Foi mostrado que ambas consideram conservação de massa e atmosfera incompressível. A rotina descrita por Anderson (1971), chamada de A71 para referência, assume um movimento vertical limitado superiormente pelo topo da CLP e inferiormente pelos contornos topográficos, nesta rotina a altura da CLP é somada à altura da topografia. A rotina descrita por Dickerson (1978), chamada D78 para referência, utiliza a técnica variacional para ajustar o escoamento, aceita limites sólidos no interior do domínio estudado, simulando condições em que a altura da CLP está abaixo de algumas elevações topográficas e assume escoamento através do topo o modelo.

## **3. Objetivos**

O objetivo geral do trabalho é estudar o escoamento do vento na região da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz para condições de verão e inverno. Para realização deste estudo serão utilizadas duas rotinas numéricas diagnósticas e bidimensionais, (Anderson, 1971 e Dickerson, 1978).

Com os resultados obtidos será feita uma discussão da geração de turbulência mecânica na região.

#### 4. Região de estudo e dados utilizados

Será investigada a região da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz (EACF) localizada na Ilha Rei George ( $62^{\circ}05'S$ ,  $058^{\circ}23'W$ ). A topografia da ilha Rei George é mostrada na figura 1 com resolução espacial de 50 m.

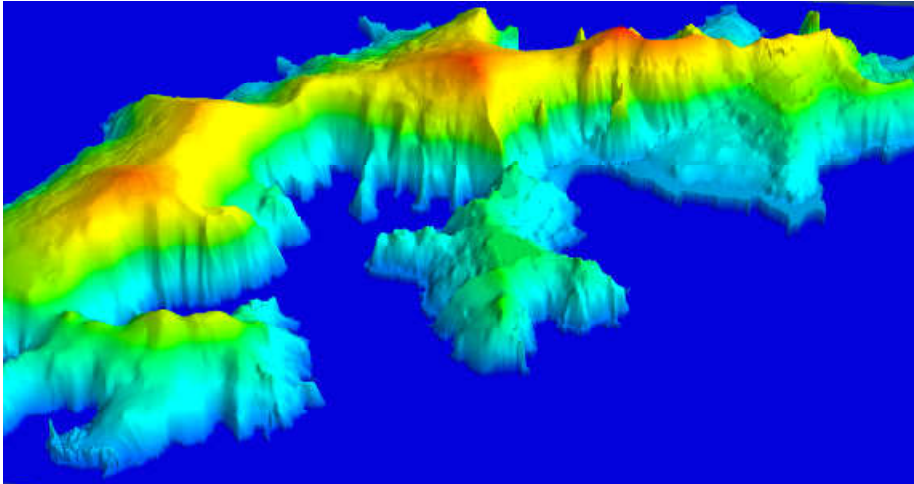


Figura 1- Topografia da ilha Rei George. Mapa adaptado do modelo digital de terreno de Braun et al. (2001).

A figura 2 mostra a topografia ao redor da EACF. A resolução espacial é de 400 m e a grade horizontal é de 20 km x 20 km. O ponto azul mostra a estação.

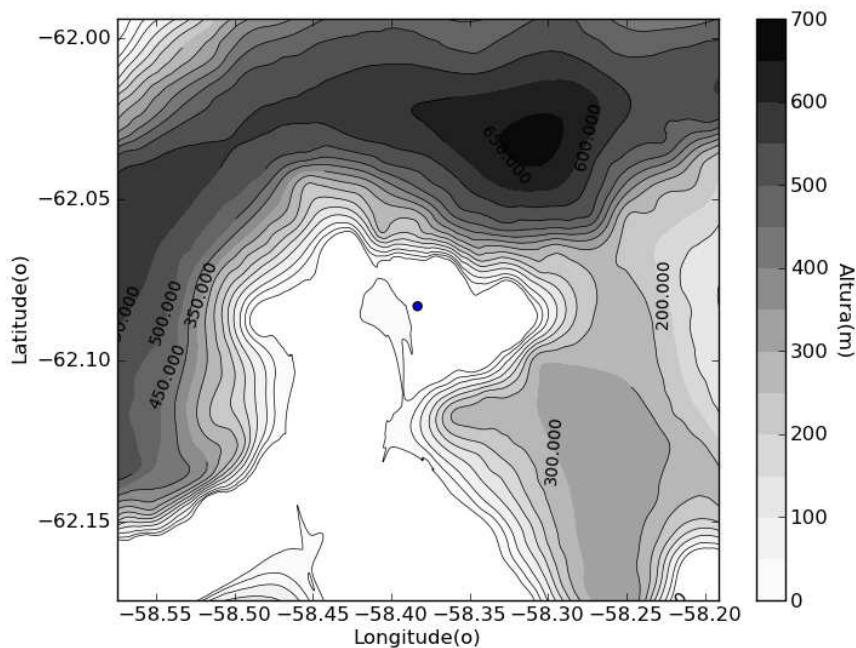


Figura 2- Topografia da região ao redor da EACF (ponto azul). Dados obtidos em: <http://nsidc.org/api/metadata?id=nsidc-0082>.

A topografia da região em que se localiza a EACF (Figura 2) induz circulações locais e interage com as circulações de meso e larga escalas, sendo, portanto, o conhecimento dos padrões de circulação de vento contribuirá, inclusive, para o monitoramento dos possíveis impactos ambientais antrópicos na região.

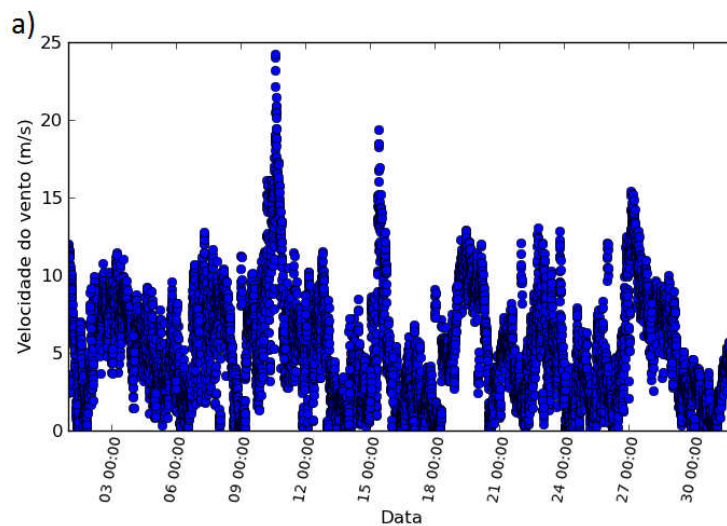
Os dados utilizados de vento (velocidade e direção) para os meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015 foram obtidos na EACF pelo projeto ETA (Estudo da Turbulência na Antártica) e são medidos em três diferentes níveis (2.20, 5.25, 10.1 m), no entanto serão apenas utilizados os dados a 10.1 m. Estes dados possuem frequência de amostragem de 10 s e são armazenados como médias de 5 minutos. A descrição do sensor utilizado para medir velocidade e direção do vento é mostrada na tabela 1.

Tabela 1- Sensores de vento instalados na EACF a 10,1 m de altura.

Sensor	Range	Acurácia
Anemômetro RMYoung Modelo: 05103	Velocidade	0-100 m/s ± 0.3 m/s
	Direção	0-360 ° ± 3 °

Disponível em: <http://www.youngusa.com/products/7/5.html>

As figuras 3e 4mostram a velocidade e direção do vento a 10.1 m na estação para os meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015com resolução temporal de 5 minutos.



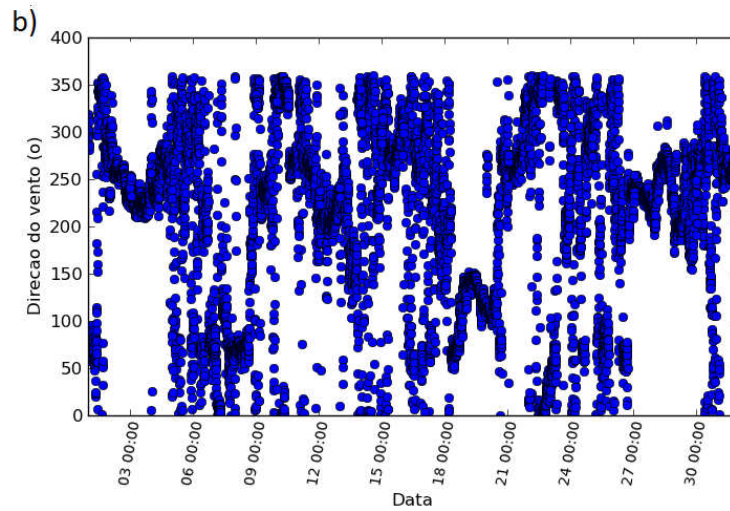
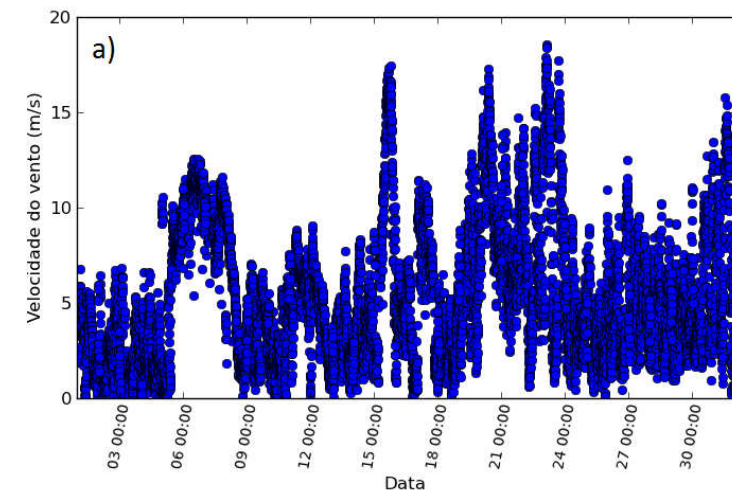


Figura 3- (a) Velocidade e (b) direção do vento a 10 m para dezembro de 2014 com resolução tempo de 5 minutos.

Os dados foram medidos em horário local, ou seja, coincide com o horário de Santiago no Chile, sem considerar o horário de verão, sendo então UTC-4.



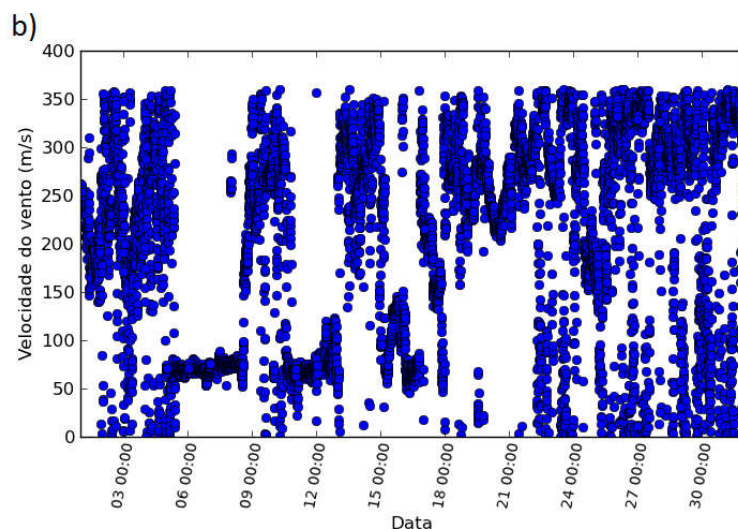


Figura 4- (a) Velocidade e (b) direção do vento a 10 m para janeiro de 2015 com resolução tempo de 5 minutos.

Os valores de altura da CLP obtidos foram gerados pelo modelo WRF (Weather Research and Forecasting) para dezembro e janeiro pelo MEIS da Slovenia, o horário dos dados era UTC-3, no entanto, o horário local é UTC-4, então foi feita uma correção para o horário local. Os valores, no entanto, não estão fisicamente consistentes com o local (figura 5).

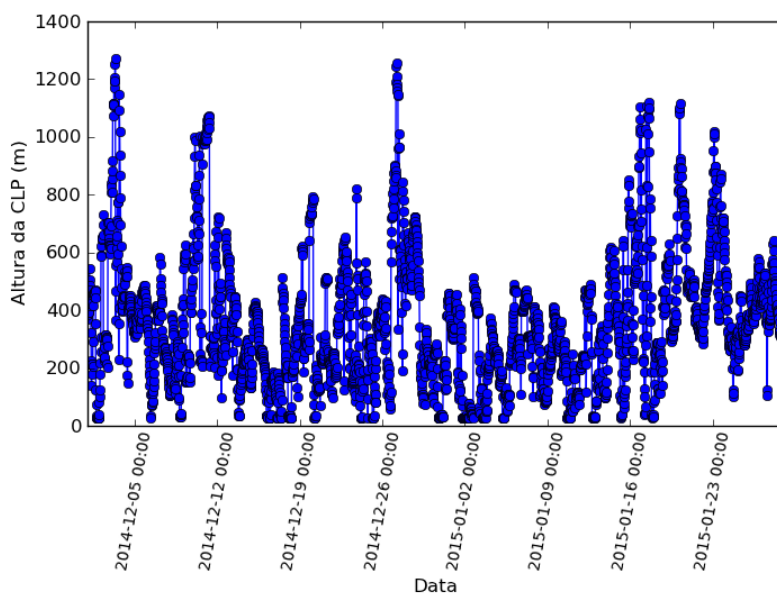


Figura 5- Altura da CLP para os meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015.

## 5. Resultados preliminares

Foram realizados cinco testes com as duas rotinas para investigar o efeito da topografia no escoamento e para mostrar que estas são sensíveis às variações de velocidade e altura CLP. Foi também possível notar a diferença entre as duas rotinas de ajuste. Para a realização dos testes utilizou-se uma montanha Gaussiana com altura máxima de 500 m, mostrada na figura 7.

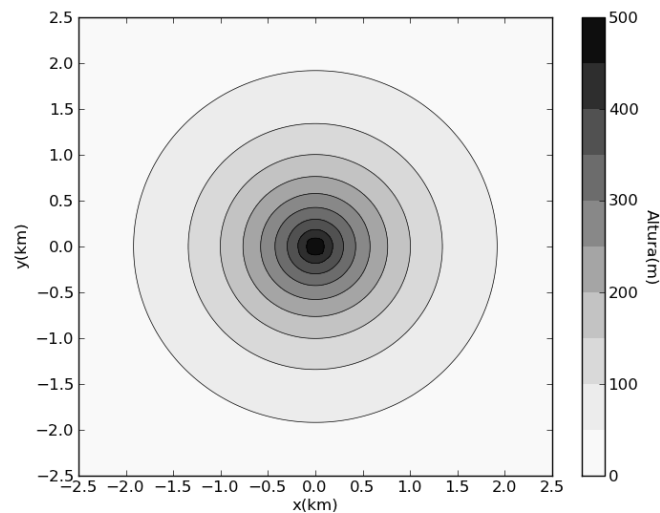


Figura 7- Topografia Gaussiana com altura máxima de 500m.

Foi utilizada uma grade de 5000 m em ambas as direções horizontais com 49 pontos de grade.

### 5.1. Teste 1

No primeiro teste as rotinas foram inicializadas com um campo de vento de 4 m/s de oeste com altura da CLP constante e igual a 200m. Na rotina D78 a taxa de entranhamento foi igual a zero. Como a montanha utilizada no experimento é simétrica, a variação da direção do vento não altera os resultados obtidos.



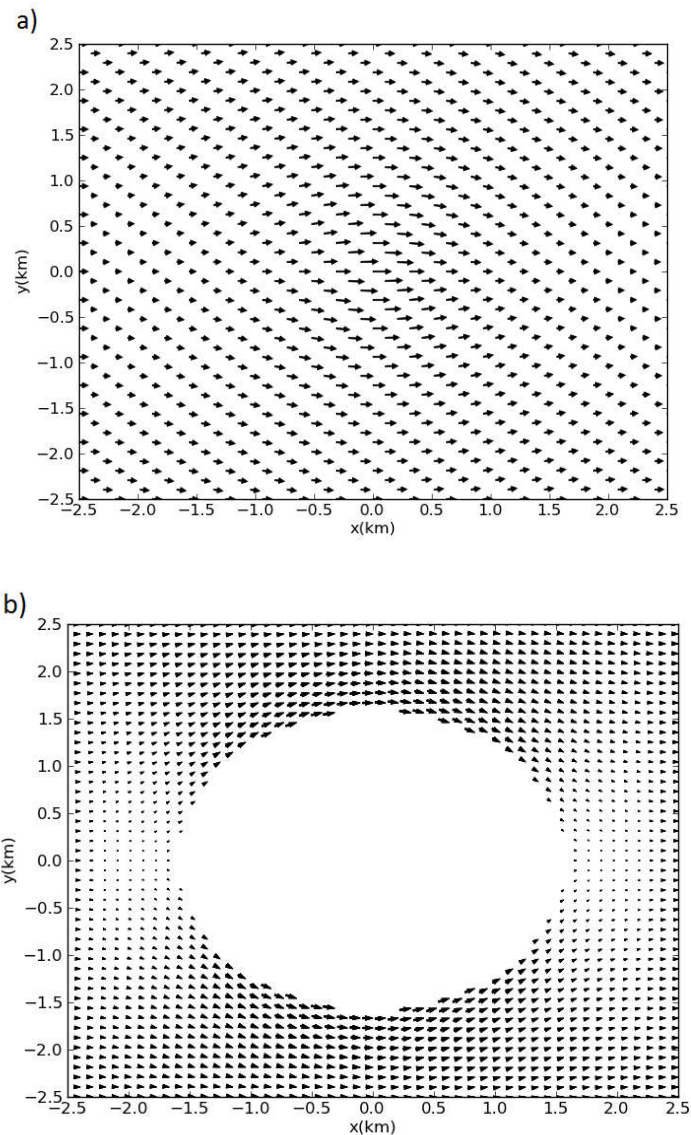


Figura 8- Campo de vento ajustado com vento inicial de 4m/s e altura da CLP igual a 200 m obtido através da rotina (a) A71 e (b) D78.

Com a rotina A71 o vento apresenta uma aceleração na região da montanha, sendo que o máximo vento encontrado foi de 7.5 m/s e o mínimo, nas áreas mais baixas foi de 2.5 m/s. Na rotina D78 é possível notar que a topografia intercepta o escoamento, sendo o valor mínimo zero. O máximo foi de 7.8 m/s na região em que o vento é forçado ao redor da montanha.

## 5.2. Teste 2

Este teste foi realizado utilizando as mesmas condições iniciais que o anterior. No entanto, foi variada a taxa de entranhamento de ar no topo do modelo para a rotina D78. A rotina A71 não utiliza esta variável. Foi considerado  $dH/dt = 0$  e  $dH/dt = 0.04$  m/s, ou seja, que existe entranhamento da atmosfera acima da CLP para

dentro da CLP. Foi analisado o campo de velocidade vertical obtido com a rotina D78.

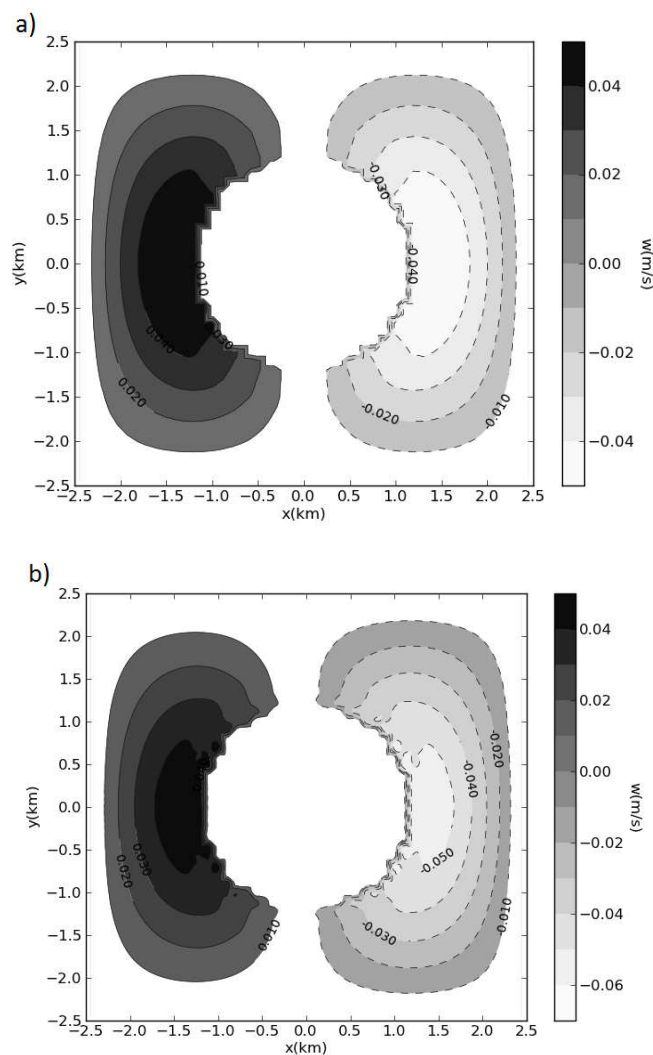


Figura 9- Campos de velocidade vertical para vento de oeste inicial de 4 m/s e altura da CLP de 200 m para (a)  $dH/dt = 0$  e (b)  $dH/dt = 0.04$  m/s.

A rotina D78 ajusta a massa, portanto, permite escoamento através do topo da CLP. Na figura 9 nota-se a diferença entre os valores de velocidade vertical entre os dois casos analisados. Quando a taxa de entranhamento é igual a zero, a velocidade positiva e negativa, ou seja, para cima e para baixo, possui os mesmos valores máximos e mínimos. No entanto, no caso em que a taxa de entranhamento é igual a 0.04m/s, percebe-se que os valores negativos são mais intensos, ou seja, como existe entranhamento de ar no topo da CLP é verificado um escoamento para baixo.

### 5.3. Teste3

Para realizar este teste as rotinas foram inicializadas com um vento inicial de 4 m/s de oeste, como nos outros casos. Foi variado o valor da altura da CLP e neste caso usou-se uma altura de 2000 m. A taxa de entranhamento utilizada foi igual a zero.

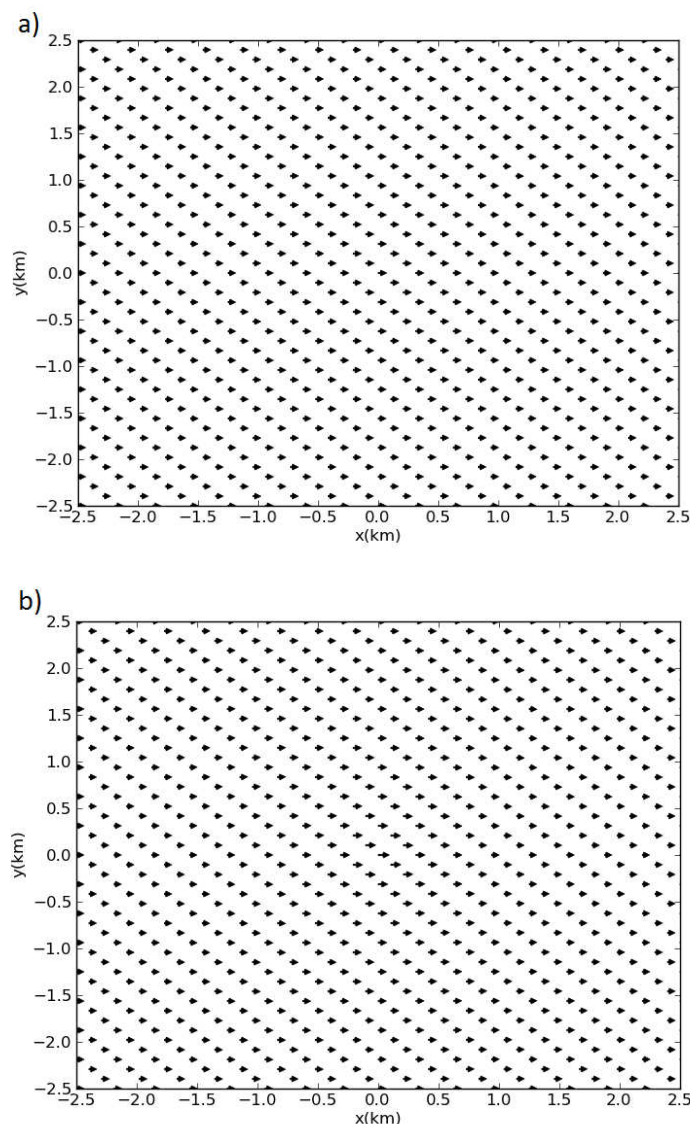


Figura 10- Campo de vento ajustado com vento de oeste inicial de 4 m/s e altura da CLP igual a 2000 m obtido através da rotina (a) A71 e (b) D78.

Neste caso o escoamento não apresenta grandes diferenças para as duas rotinas, pois a topografia não está interceptando a CLP. Os ventos obtidos neste caso são menos intensos do que no Teste 1, devido ao aumento da altura da CLP, devido a conservação de massa. A velocidade máxima obtida pelas duas rotinas é diferente, sendo igual a 4.4 m/s para a rotina A71 e 5.7 m/s para a rotina D78. No caso da rotina D78 a altura da CLP é contada a partir de uma superfície plana, e na rotina A71 a altura da CLP é somada a altura da topografia, portanto a altura em que o escoamento passa é maior para a rotina A71, explicando porque a velocidade é menor.

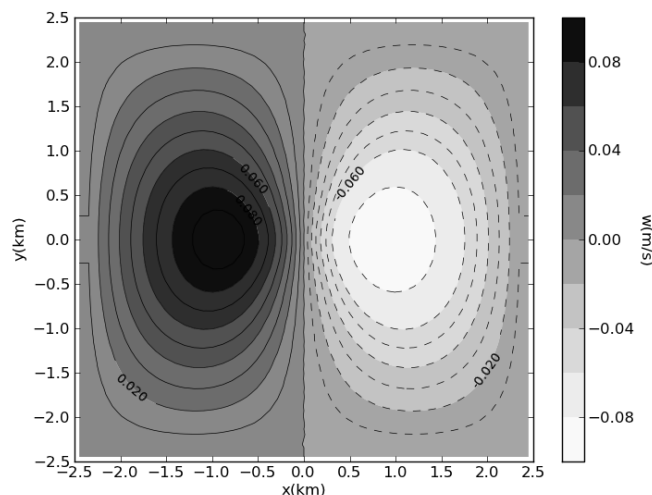


Figura 11- Campo de velocidade vertical resultante do escoamento forçado pela topografia para um CLP de 2000 m e  $dH/dt = 0$ .

A figura 11 mostra o campo da velocidade vertical obtido pela rotina D78. Comparando com a figura 9 em que a altura da CLP era de 200 m, percebe-se que a velocidade neste caso é maior para compensar a divergência horizontal.

#### 5.4. Teste 4

Foram realizados testes para cinco valores da altura da CLP utilizando um vento inicial de 4 m/s de oeste. Para analisar foi encontrado o valor máximo de vento e sua posição.

Tabela 2-Velocidade máxima do vento para valores diferentes de altura da CLP com vento inicial de 4 m/s para as rotinas A71 e D78.

Altura da CLP (m)	A71		D78	
	Velocidade máxima (m/s)	Posição da grade (km)	Velocidade máxima (m/s)	Posição da grade (km)
200	7.5	(0,0)	7.8	(-0.3,1.5)
500	5.5	(0,0)	16.9	(0.4,-0.5)
1000	4.8	(0,0)	16.0	(0.1,0)
1500	4.5	(0,0)	7.5	(0,0)
2000	4.4	(0,0)	5.7	(0,0)

No caso da rotina D78 os máximos valores de vento são encontrados nos contornos topográficos, pois o escoamento é forçado ao redor do obstáculo. Nos casos em que a altura da CLP não intercepta a topografia o vento máximo ocorre acima do ponto mais elevado. Nesta rotina a intensidade do escoamento é proporcional ao gradiente topográfico e enfraquece quanto maior for a altura da CLP. Para a rotina A71 nota-se que maior a altura da CLP menor a velocidade máxima (tabela 2). Novamente nota-se que a velocidade é maior para a rotina D78

do que para a rotina A71 quando a CLP não intercepta a topografia, pelo mesmo motivo descrito no teste 3. Percebe-se que no caso em que a altura da CLP é igual a 1000 m, o espaço em que o vento irá fluir é metade de uma rotina para outra, portanto, a velocidade máxima é muito maior no caso em que este espaço é menor, na rotina D78.

## 5.5. Teste 5

Foram realizados cinco testes variando os valores do vento inicial e mantendo a altura da CLP constante e igual a 250m. Para esta altura a rotina D78 irá interceptar os contornos topográficos.

Tabela 3- Velocidade máxima do vento para valores diferentes do vento inicial e altura da CLP de 200m para as rotinas A71 e D78.

Velocidade inicial (m)	A71		D78	
	Velocidade máxima (m/s)	Posição da grade (km)	Velocidade máxima (m/s)	Posição da grade (km)
1.0	1.8	0	2.5	(0,-1.35)
2.0	3.5	0	4.9	(0,-1.35)
3.0	5.3	0	7.4	(0,-1.35)
3.0	7.0	0	9.8	(0,-1.35)
4.0	8.8	0	12.3	(0,-1.35)

Os máximos para a rotina A71 estão sempre no centro do domínio (tabela 3). Para a rotina D78 o máximo ocorre nos contornos da montanha onde a altura da CLP intercepta a topografia, pois o escoamento é forçado a passar ao redor da montanha.

## 6. Conclusão preliminar

Neste relatório foi mostrado os testes que foram realizados com as duas rotinas utilizando uma topografia Gaussiana com altura máxima de 500 m.

Nos testes variou-se a altura da CLP, a taxa de entranhamento e a velocidade inicial do vento. Na rotina D78 é possível a altura da CLP interceptar a topografia, na rotina A71 a altura da CLP é somada a altura da topografia, portanto nunca a intercepta.

Quando a altura da CLP é menor que a altura da topografia é possível ver pela rotina D78 que o escoamento é forçado ao redor da montanha e é acelerado. Em

condições que a altura da CLP é maior que a da topografia o campo de vento para as duas rotinas é semelhante, a velocidade é máxima no ponto mais alto do domínio e é menor nos pontos mais baixos indicando conservação de massa.

A diferença está nos valores da velocidade máxima obtida, sendo maior para a rotina D78, pois como neste caso a topografia é contada a partir de uma superfície plana a diferença de altura entre o ponto mais alto da montanha e a altura da CLP é menor que na outra rotina, por conservação de massa, o escoamento irá acelerar e a velocidade máxima será maior quanto menor a diferença das alturas.

Variando a velocidade inicial notou-se que quanto maior é este valor maior será a velocidade máxima para ambas as rotinas.

Foi mostrado também os dados de topografia, velocidade e direção do vento (com resolução tempo de 5 minutos) que serão utilizados para inicializar as rotinas. Os dados de altura da CLP estimada pelo modelo regional WRF apresentam inconsistências físicas com o local e não poderão ser utilizados. Será necessário, então, a obtenção de novos dados.

## 7. Referências Bibliográficas

Anderson, G.E., 1971. Mesoscale influences on wind fields. *J. Appl. Meteor.*, **10**, 377-386.

Dickerson, M.H., 1978. MASCON - A mass-consistent atmospheric flux model for regions with complex terrain. *J. Appl. Meteor.*, **17**, 241-253.

Oliveira, A. P., 1991. *Dinâmica da Camada Limite Planetária em Latitudes Tropicais e Subtropicais*. Relatório técnico. Departamento de Ciências Atmosféricas, USP.

Veleda, D., 2001: *Ajuste do campo de vento sobre topografia complexa aplicado a um modelo de dispersão de poluentes*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo.

## 8. Outras atividades desenvolvidas no período

### 8.1. Disciplinas

Durante o período (setembro-2014/abril-2015) foram concluídas as disciplinas listadas na tabela 4.

Tabela 4- Disciplinas cursadas no período.

Disciplinas	Créditos	Conceitos
AGM5804-Micrometeorologia	10	A
AGM5801-Modelagem Numérica da Atmosfera	10	B

Foram obtidos 44 dos 46 créditos necessários.

## **8.2. Exame de qualificação**

Foi obtida a aprovação no exame de qualificação em 30/03/2015.

## **9. Atividades futuras**

As atividades futuras são:

- Realização de um levantamento bibliográfico sobre ajuste de vento em superfícies com topografia.
- Obtenção de novos dados de altura da CLP.
- Utilização das rotinas para condições de inverno e verão na região.
- Estudo e discussão da geração de turbulência mecânica.