



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG-USP

Grupo de Micrometeorologia
Laboratório de interação ar-mar

Relatório de Atividades

Setembro - Março 2014

Projeto de Pesquisa de Mestrado

**Caracterização numérica do balanço de energia na superfície
durante condições de verão na região da estação Antártica
Brasileira**

Caio Jorge Ruman

Orientadora: Profa Dra Jacyra Soares



Conteúdo

1. Resumo do plano inicial.....	3
1.1 Objetivos	3
2. Atividades de pesquisa	4
2.1 Modelo Weather Research and Forecasting (WRF)	4
2.2 Atividades Anteriores	5
2.2 Resultados preliminares	5
2.3 Referencias Bibliográficas	15
3. Outras atividades desenvolvidas no período	16
3.1 Disciplinas do programa de Mestrado	16
3.1.1 Disciplinas cursadas	16
3.2 Estágio PAE	16
3.3 Viagem a base brasileira na Antártica.....	16
3.7 Cronograma de atividades.....	17
4. Anexo	17
4.1 Tabelas	17



1. Resumo do plano inicial

O conhecimento do balanço de radiação e dos fluxos verticais turbulentos de calor, massa e momento, sobre diferentes superfícies, são importantes para estudos diagnósticos e prognósticos de mudanças climáticas e monitoramento ambiental. O objetivo primeiro deste projeto é investigar numericamente o balanço de energia na superfície e, dessa forma, o desenvolvimento da camada limite planetária em condições médias de verão na região da estação Antártica Brasileira, na Ilha Rei George (62°05'S, 58°23'W). Para tanto será usado o modelo Weather Research and Forecasting Model (WRF) adequado às condições da Antártica. Pretende-se utilizar os dados observacionais obtidos na Estação Brasileira pelo "Projeto ETA" e pelo projeto "Meteorologia na EACF". Devido ao caráter multidisciplinar das atividades de pesquisa relacionadas ao balanço de energia na superfície, acredita-se que esse estudo trará benefícios não só ao próprio bolsista, mas também aos demais projetos de pesquisa em execução dentro do âmbito do "Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - Antártico de Pesquisas Ambientais".

1.1 Objetivos

O objetivo primeiro deste projeto é a caracterização numérica do balanço de energia da superfície durante condições médias de verão na região da estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz.

Diferentes experimentos numéricos serão realizados para melhor entender os processos físicos mais relevantes às condições médias de verão na região. Pretende-se, por exemplo, investigar o papel da topografia e da cobertura do solo no desenvolvimento do balanço de energia e, dessa forma, no desenvolvimento da camada limite planetária local.

Os resultados numéricos, sempre que possível, serão comparados aos dados obtidos in situ na EACF, durante 2011, pelo "Projeto ETA" e, entre 2000-2010, pelo projeto "Meteorologia na EACF".



2. Atividades de pesquisa

A seguir serão descritas as principais atividades de pesquisa desenvolvidas no período.

2.1 Modelo Weather Research and Forecasting (WRF)

O WRF é um modelo de domínio público e está disponível gratuitamente para uso da comunidade. Ele é projetado para ser o estado da arte da simulação numérica atmosférica e é portátil e eficiente nas plataformas de computação paralela. O WRF é adequado para utilização numa vasta gama de aplicações em escalas espaciais que vão de metros a milhares de quilômetros (<http://wrf-model.org/index.php>).

Basicamente, as equações do WRF são formuladas usando coordenada vertical de pressão hidrostática seguindo o terreno (η) e utiliza as equações de Euler em forma de fluxo. Detalhes podem ser encontrados em Skamarock et al. (2008).

De acordo com Tastula et al. (2012), simulações numéricas, adequadamente validadas, da camada limite planetária (CLP) sobre a região Antártica, têm sido raras.

No WRF a CLP é responsável pelos fluxos verticais de sub-grade devido ao transporte turbulento na coluna atmosférica inteira, não somente na camada limite. Dessa forma, quando o esquema de CLP é ativado, a difusão vertical explícita é desativada, supondo que o esquema CLP lidará com este processo. As escolhas dos coeficientes horizontais de difusão mais adequados são baseadas na deformação horizontal ou valores constantes de K_h onde as misturas horizontal e vertical são tratadas de forma independente. Os fluxos de superfície são fornecidos pelos esquemas de camada superficial e terra-superfície. Os esquemas de CLP determinam os perfis de fluxo dentro da camada limite convectiva e estável e, assim, fornecem a tendência da temperatura e da umidade atmosféricas e momento horizontal em toda a coluna atmosférica. A maioria dos esquemas de CLP considera mistura seca, mas também pode incluir efeitos de saturação na estabilidade vertical que determina a mistura. Os esquemas são unidimensionais e assumem que há uma clara separação entre as escalas turbulenta de sub-grade e dos turbilhões resolvidos.

Os modelos de solo-superfície utilizam informações dos esquemas de camada superficial e de radiação junto com informações internas sobre propriedades do solo para fornecer os fluxos de calor e umidade sobre pontos de terra e de gelo. Esses fluxos fornecem a condição de fronteira inferior para o transporte vertical realizado nos esquemas de CLP. Os modelos de solo-superfície podem apresentar vários graus de sofisticação quando lidando com fluxos de calor e umidade em múltiplas camadas de solo e podem também considerar efeitos de raiz, dossel da vegetação e cobertura de gelo.

Neste trabalho serão utilizados esquemas simplificados de CLP e de solo-superfície para caracterizar as condições da CLP da região durante o verão.



2.2 Atividades Anteriores

No período anterior, foi realizado um estudo sobre o modelo WRF, com a leitura de: *A description of the Advanced Research WRF Version 3* (Skamarock et al., 2008) e *ARW Version 3 Modeling System User's Guide*, (Wang et al., 2013) – e a realização do curso online “Regional Climate Modeling using WRF” pelo site www.m2lab.org. Além disso, foram efetuadas duas rodadas de testes com duas configurações de parametrizações diferentes, uma padrão e uma para regiões frias e foi feita uma validação dos dados simulados.

2.2 Resultados preliminares

Foram efetuadas 24 rodadas curtas de 3 dias com o WRF, com diversas opções de parametrizações diferentes, com o intuito de comparar as opções disponíveis e verificar qual a que melhor representa a região estudada. Esses resultados foram validados comparando-os com os dados meteorológicos do projeto ETA. Após a análise do resultado dessas rodadas, os conjuntos de parametrizações com melhor performance serão utilizados para rodar por um período mais longo.

Para as rodadas curtas foi escolhido o período entre 20 de fevereiro as 00Z e 23 de fevereiro as 00Z.

Em todas as simulações foram usadas três grades aninhadas, centradas em (62°05'S, 58°23'W), com resolução de 9km, 3km e 1km (figura 1). O domínio d01 engloba o Norte da península Antártica, as ilhas Shetlands do Sul e uma parte do estreito de Drake, com 74 pontos de grade na horizontal e 61 pontos de grade na vertical (666km x 549km). O domínio d02 contém a ilha do rei George junto com uma larga faixa do oceano, com 61 x 61 pontos de grade (183km x 183km), enquanto que o domínio d03 foi escolhido de modo que ele tenha predominantemente terra firme, no caso a ilha do rei George, com 67 x 67 pontos de grade (67km x 67km). Foram definidos 60 níveis verticais e topo da atmosfera a 10hPa, com amortecimento de velocidade vertical a partir de 7.5km de altura para aumentar a robustez do modelo nas rodadas longas. Os resultados do WRF correspondem à grade que contém a latitude 62°05'S e a longitude 58°23'W.



Configuracao do Dominio

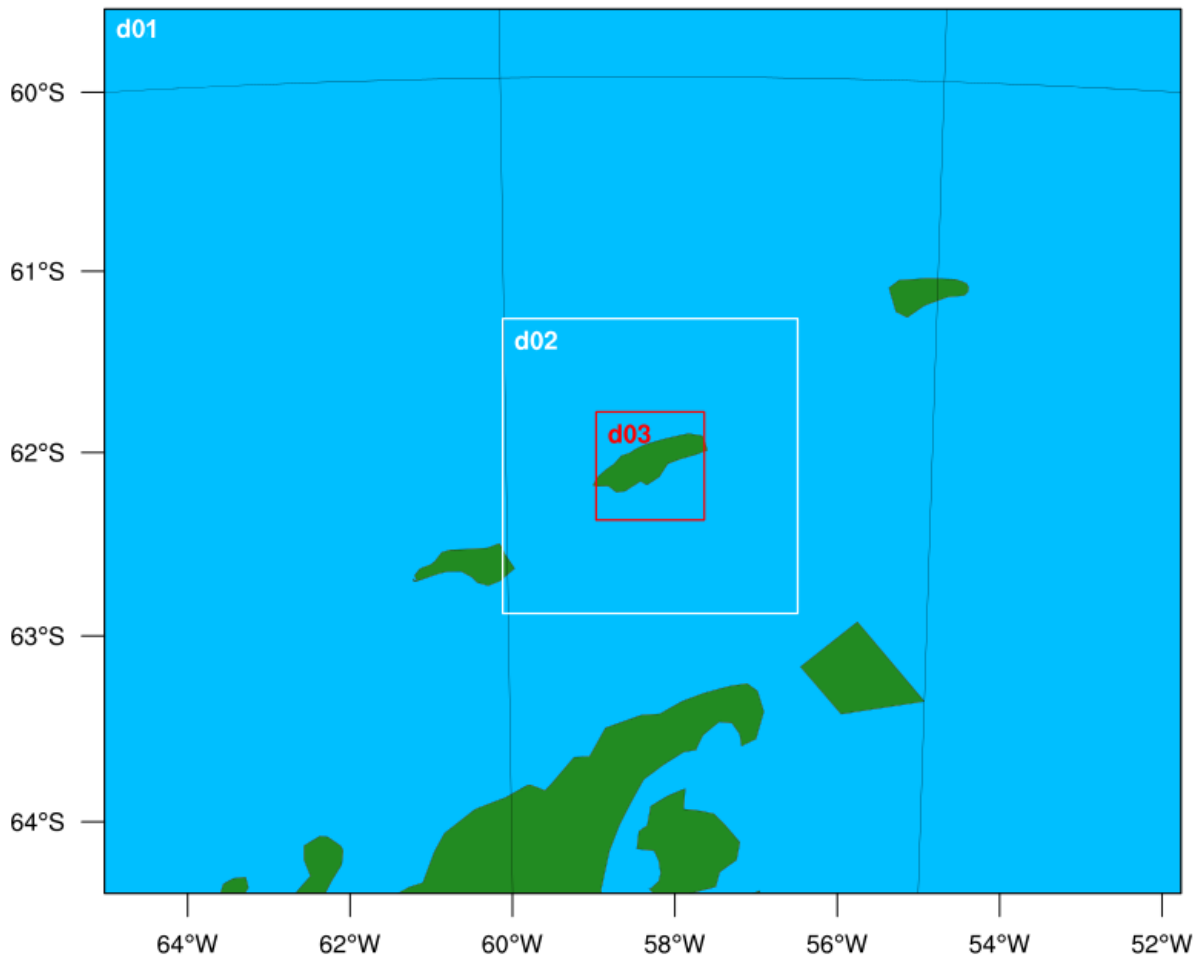


Figura 1: Configuração do domínio utilizada, centrada em (62°05'S, 58°23'W), com três grades aninhadas, d01, d02 e d03.

Como condições iniciais e de fronteira foram utilizados dados de 6h da reanálise do GFS (NCEP FNL, 2000), para 00, 06, 12 e 18 UTC.

Inicialmente usaram-se como base os arquivos de configuração do WRF utilizados pelo AMPS (Antarctic Mesoscale Prediction System). A partir dessa configuração, foram efetuadas mudanças de acordo com o estudo.

Os resultados obtidos foram comparados estatisticamente utilizando o root mean square error (RMSE) e mean-bias error (MBE), que são definidos como:

$$RMSE = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (2)$$

Onde N é o número total de valores e d_i a diferença entre o valor observado e o valor estimado pelo modelo. O MBE provê informação do desempenho de longo prazo do modelo. Um valor positivo no MBE nos mostra o quanto o valor calculado foi superestimado e vice-



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

versa. O teste RMSE provê informação do desempenho de curto prazo do modelo, pois ele permite uma comparação termo a termo do desvio real entre o valor medido *in situ* e o valor calculado pelo modelo (Halouani et al., 1993). Cada teste separadamente pode não ser um indicador do desempenho do modelo porque é possível ter um valor alto do RMSE e ao mesmo tempo, um valor baixo de MBE ou vice-versa (Targino et al, 2002).

Para a comparação estatística, eliminaram-se as primeiras 6 horas do modelo, para evitar erros relativos à instabilidade inicial. As melhores simulações também foram comparadas graficamente.

As parametrizações a serem testadas foram escolhidas após um estudo prévio, de modo a eliminar as que não simulavam processos típicos da região.

Inicialmente foram utilizados sete esquemas de microfísica:

- Lin e at.: Um esquema sofisticado que possui processos de gelo, neve e graupel, adequado para processos de alta resolução.
- WRF Single-moment 5-class scheme (WRFS 5): Um esquema simples e eficiente que lida com processos de gelo, neve, água super resfriada e água em múltiplos estados (mixed-phase).
- WRF Single-moment 6-class scheme: Um esquema com processos de gelo, neve e graupel, adequado para simulações em alta resolução. Os nomes WSM3, WSM5 e WSM6 denotam o número de categorias de tipos de água que o esquema prediz, incluindo vapor d'água. As melhores características do WRF-Single-Moment-Microphysics são que ele representa processos microfísicos de gelo por assumindo que a concentração do número de núcleos de gelo é uma função da temperatura e que ele inclui uma nova suposição separada que o os números de concentração de cristais de gelo é uma função da quantidade de gelo. (Wang et al., 2013)
- Goddard microphysics scheme: Um esquema com processos de gelo, neve e graupel, adequado para simulações em alta resolução.
- New Thompson et al. Scheme: Um esquema com processos de gelo, neve e graupel, adequado para simulações em alta resolução, que inclui o número de concentração de chuva.
- Milbrandt-Yau Double Moment 7-class scheme (MYDM): Este esquema inclui categorias separadas para granizo e graupel com momento duplo para nuvens, chuva, gelo, neve, graupel e granizo.

Após as rodadas iniciais de testes, estas foram reduzidas a somente duas: WRFS 6 e MYDM.

Para as parametrizações de radiação, foram efetuados testes com os esquemas NCAR Community Atmosphere Model (CAM 3.0) e Rapid Radiative Transfer Model for GCM (RRTMG) para radiação de onda longa (OL) e os esquemas CAM, Goddard e RRTMG para radiação de onda curta (OC). Foram usadas as combinações dos esquemas CAM-CAM, RRTMG-Goddard e RRTMG-RRTMG. A documentação aconselha a utilização dos mesmos esquemas para OL e OC para um melhor resultado, porém a combinação RRTMG-Goddard



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

foi usada devido ao seu uso no AMPS. As outras combinações foram eliminadas após consulta a Seefeldt et al, 2012, que após testes, listou os esquemas CAM e RRTMG como os mais precisos para regiões polares.

O CAM é um esquema de bandas espectrais e sua principal característica é a de lidar com propriedades ópticas de diferentes tipos de aerossóis e gases traço. Ele utiliza frações de nuvens e sobrepões suposições em regiões não saturadas, e possui uma climatologia ozônio zonal mensal. O RRTMG é um esquema de bandas espectrais que utiliza o método de correlação k. Ele utiliza tabelas predefinidas para representar precisamente processos de OL devido a vapor d'água, ozônio, CO₂ e gases traços além de levar em conta a profundidade óptica das nuvens (Wang et al., 2013).

Os esquemas da camada limite superficial e camada limite planetária dependem um do outro e desse modo a documentação também aconselha que os mesmos sejam usados em conjunto. Foram comparados o esquema de similaridade ETA - esquema Mellor-Yamada-Janjic (MYJ) e o esquema QNSE (Quase-Normal Scale Elimination).

O esquema de similaridade ETA é baseado na teoria de similaridade (Monin e Obukhov, 1954), com parametrizações de subcamada viscosa sobre a água baseada em Janjic, 1994 e sobre a terra, é levado em conta através de altura de rugosidade variável para temperatura e umidade como proposto por Zilitinkevich (1995). O esquema para camada limite planetária MYJ faz a parametrização de turbulência de modo a representar uma implementação não singular do modelo de fechamento turbulento de ordem 2.5 de Mellor-Yamada. (Wang et al., 2013). O esquema QNSE (Quasi-Normal Scale Elimination model of turbulence) foi escolhido pois tem como foco a camada limite estável.

Para a superfície terrestre foram comparados o Modelo de superfície terrestre NOAH e o Rapid Update Cycle (RUC). O esquema NOAH possui quatro camadas de temperatura e umidade do solo, com previsão de cobertura de neve fracional e temperatura do solo congelado e o esquema RUC possui seis camadas de temperatura e umidade do solo, com neve de múltiplas camadas e física de solo congelado. A principal diferença entre os dois esquemas é que no NOAH o albedo é em função do ângulo zenital solar e profundidade da neve enquanto no RUC possui um albedo fixo para a neve (Kilpeläinen et al, 2012).

Para o esquema de parametrização de cumulus foi usado o esquema Kain-Fritsch para a grade d01 e d02, deixando que os vórtices menores sejam resolvidos pelos outros esquemas na grade d03.

Primeiramente foram efetuadas rodadas comparando os esquemas de microfísica com os esquemas de radiação. Após essas rodadas iniciais, os esquemas de microfísica com os melhores resultados foram selecionados para novas rodadas comparando os esquemas de superfície terrestre, camada limite planetária e camada de superfície.

Foram comparados os valores de temperatura do ar a 2m ($T - ^\circ\text{C}$), onda longa incidente na superfície emitida pela atmosfera ($OL\downarrow - \text{Wm}^{-2}$), saldo de onda curta ($OC_{\text{NET}} - \text{Wm}^{-2}$), temperatura do solo a 5cm de profundidade ($T_{\text{SOLO}} - ^\circ\text{C}$), pressão na superfície ($P - \text{hPa}$),



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

intensidade do vento a 10m ($|\vec{V}|$ - ms^{-1}), umidade específica a 2m (q - gkg^{-1}), fluxo de calor latente a 2m (LE - Wm^{-2}) e fluxo de calor específico a 2m (H - Wm^{-2}).

Os valores de T , OL_{\downarrow} , OC_{NET} , P , T_{SOLO} , $|\vec{V}|$ e q foram comparados diretamente com os dados medidos *in situ*. Os valores de LE e H foram comparados com os dados estimados através das seguintes expressões:

$$H = -\rho c_p u_* \theta_* \quad (3)$$

$$LE = -\rho L u_* q_* \quad (4)$$

Onde ρ é a densidade do ar, c_p é o calor específico a pressão constante, L o calor latente de vaporização, u_* a escala característica da velocidade do vento, θ_* a escala característica da temperatura e q_* a escala característica da umidade, que foram calculados seguindo Wyngaard, 2010.

Após as simulações curtas iniciais, e analisando os dados estatísticos, foram escolhidas duas parametrizações de microfísica, um conjunto de parametrizações de radiação, duas parametrizações de superfície do solo e dois conjuntos de parametrizações de camada limite planetária e camada de limite superficial.

As tabelas com os resultados estatísticos e a quais parametrizações foram usadas nas rodadas estão em anexo neste relatório.

Foram escolhidas 5 rodadas para fazer a comparação graficamente: rodadas 18, 19, 22, 23, 24. As parametrizações usadas estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1: Parametrizações usadas nas rodadas que foram comparadas graficamente.

Rodada	Microfísica	Onda Longa	Onda Curta	Camada limite superficial	Superfície terrestre	Camada limite planetária
18	MYD7	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	RUC	MYJ
19	MYD7	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	Noah	MYJ
22	WSM6	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	RUC	MYJ
23	WSM6	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	Noah	MYJ
24	WSM6	RRTMG	RRTMG	QNSE	RUC	QNSE

A pressão em superfície (figura 2) não apresentou grande diferença entre as parametrizações, apresentando um MBE e RMSE pequeno. Esta foi a variável que melhor foi modelada pelo WRF. Nota-se que a partir das 12h do dia 21 os valores foram melhor representados e isso será visto nas outras variáveis estudadas.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

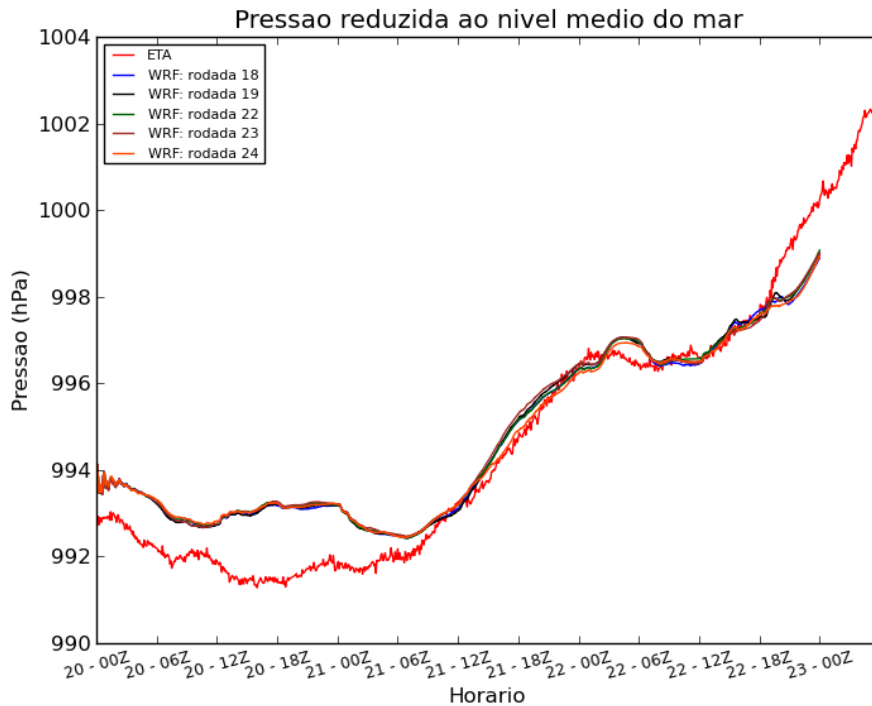


Figura 2: Pressão em superfície (hPa). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 5 rodadas do WRF que foram comparadas graficamente.

O saldo de radiação de onda curta (figura 3) é subestimado, devido principalmente ao modelo considerar o solo como coberto de gelo (figura 4), tendo assim um albedo maior. As rodadas 19 e 23 são as que mais subestimam. Elas utilizam a parametrização de superfície do solo Noah, que mostrou um pior resultado para a temperatura do solo (figura 4).

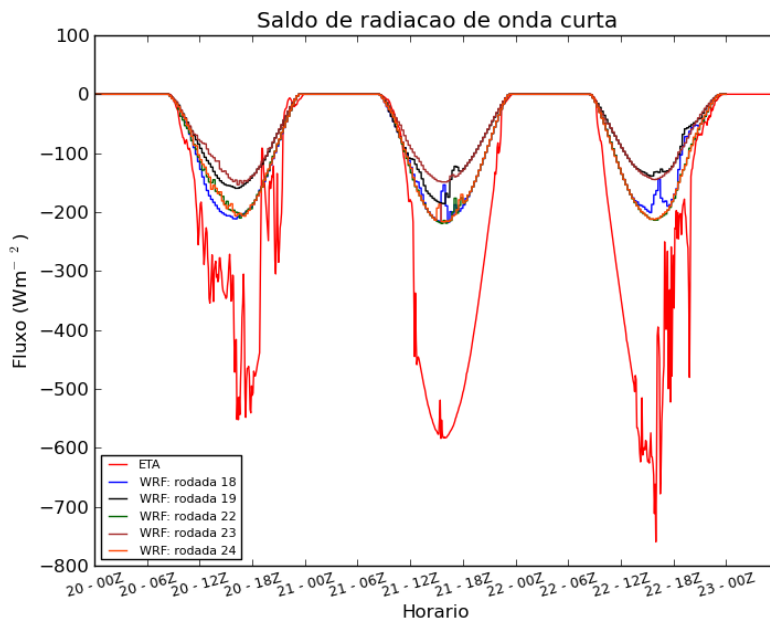


Figura 3: Saldo de radiação de onda curta em superfície (Wm^{-2}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 5 rodadas do WRF que foram comparadas graficamente.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

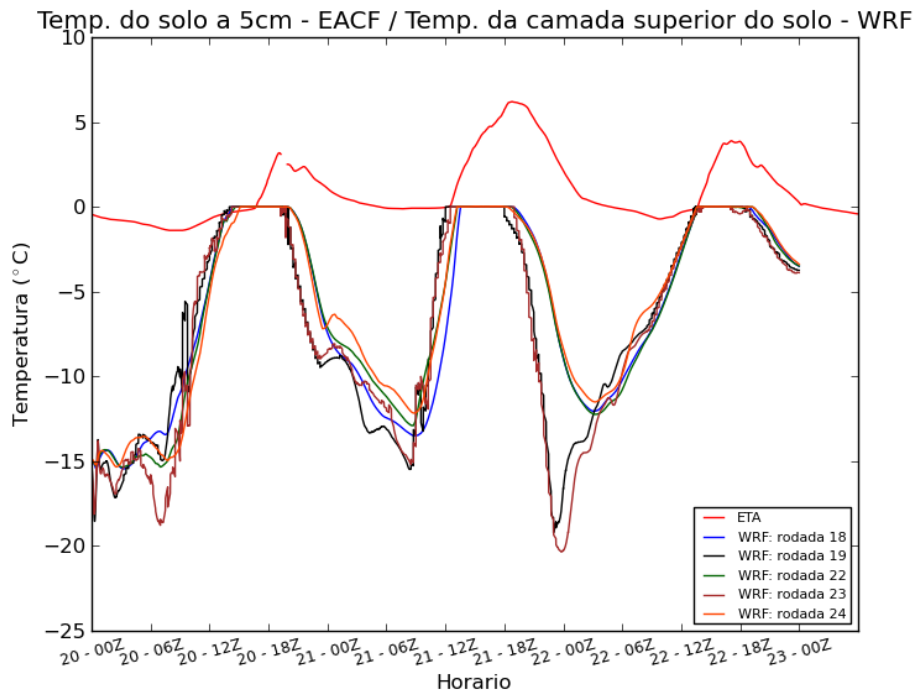


Figura 4: Temperatura do solo (°C). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 5 rodadas do WRF que foram comparadas graficamente.

A temperatura do ar a 2m (figura 5) foi subestimada, porém o modelo conseguiu seguir a tendência. Pode-se observar que conforme o tempo esfria, com temperaturas negativas durante todo o dia, o modelo apresenta melhores resultados. As melhores simulações, as rodadas 18 e 22, tem como única diferença a parametrização de microfísica.

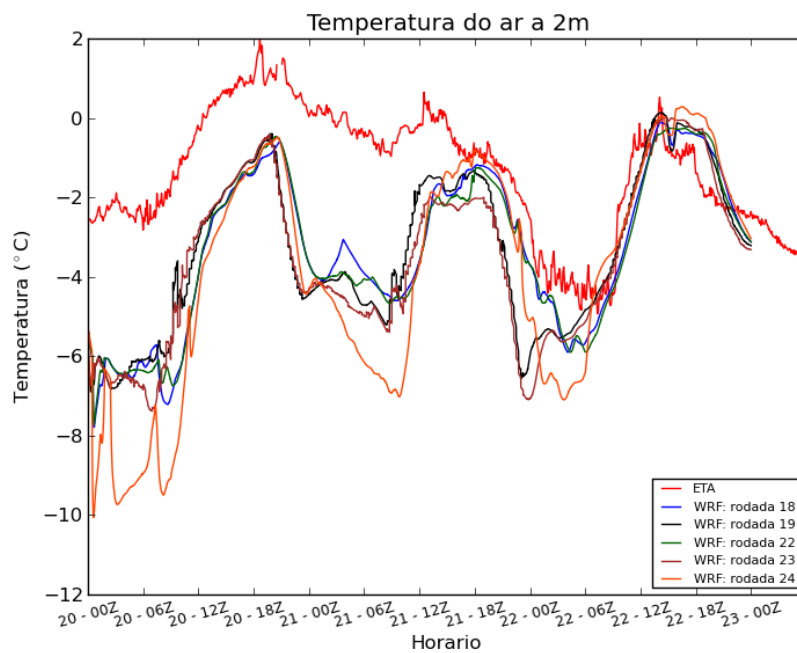


Figura 5: Temperatura do ar a 2m (°C). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 5 rodadas do WRF que foram comparadas graficamente.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

Para a $OL\downarrow$, o modelo também subestima os valores encontrados, apresentando uma melhor simulação após as 12h do dia 21, quando o tempo está mais frio. As melhores simulações, a rodada 22 e rodada 24, tem em comum a utilização da parametrização de microfísica WSM6, a de radiação RRTMG e a de superfície do solo RUC.

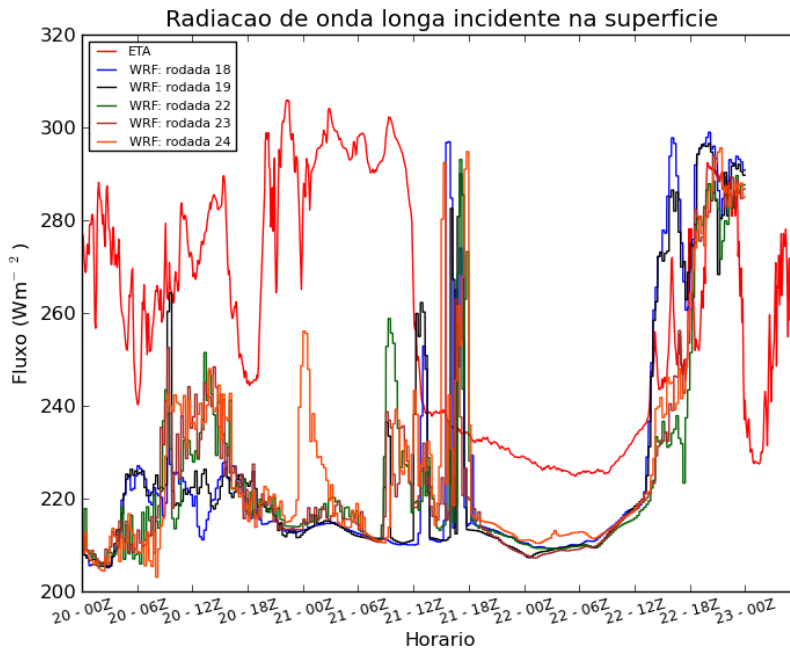


Figura 6: Radiação de onda longa emitida pela atmosfera incidente na superfície (Wm^{-2}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 5 rodadas do WRF que foram comparadas graficamente.

A intensidade do vento (figura 7) apresentou uma simulação aceitável dos valores medidos *in situ*, com somente a rodada 23 apresentando o pior desempenho.

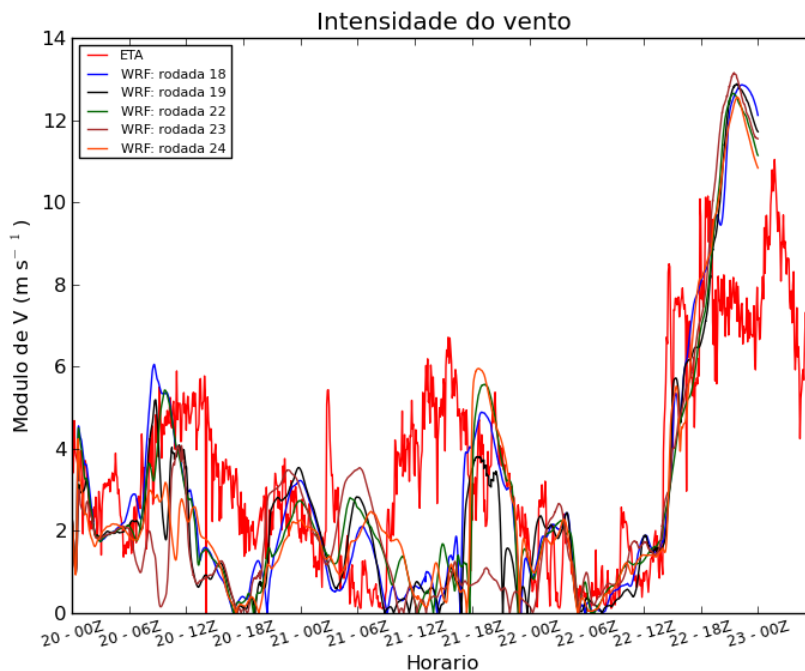


Figura 7: Intensidade do vento (ms^{-1}). Em vermelho, dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 5 rodadas do WRF que foram comparadas graficamente.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

O fluxo de calor sensível (figura 8) e o fluxo de calor latente (figura 9) apresentaram valores muito abaixo do estimado localmente, com pouca diferença entre as simulações, em que as simulações que não utilizam a parametrização de superfície do solo RUC apresentam resultados um pouco piores.

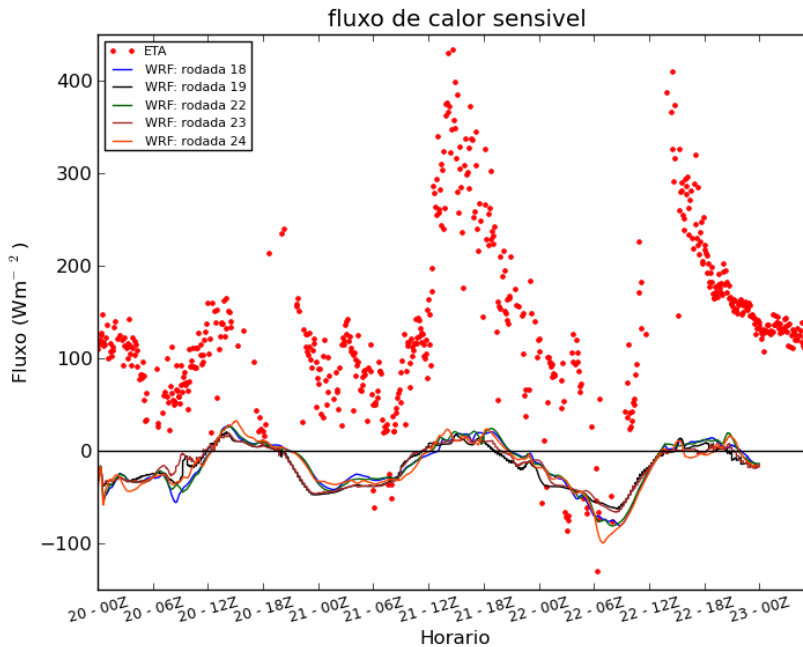


Figura 8: Fluxo de calor sensível (Wm^{-2}). Em vermelho, valores estimados a partir dos dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 5 rodadas do WRF que foram comparadas graficamente.

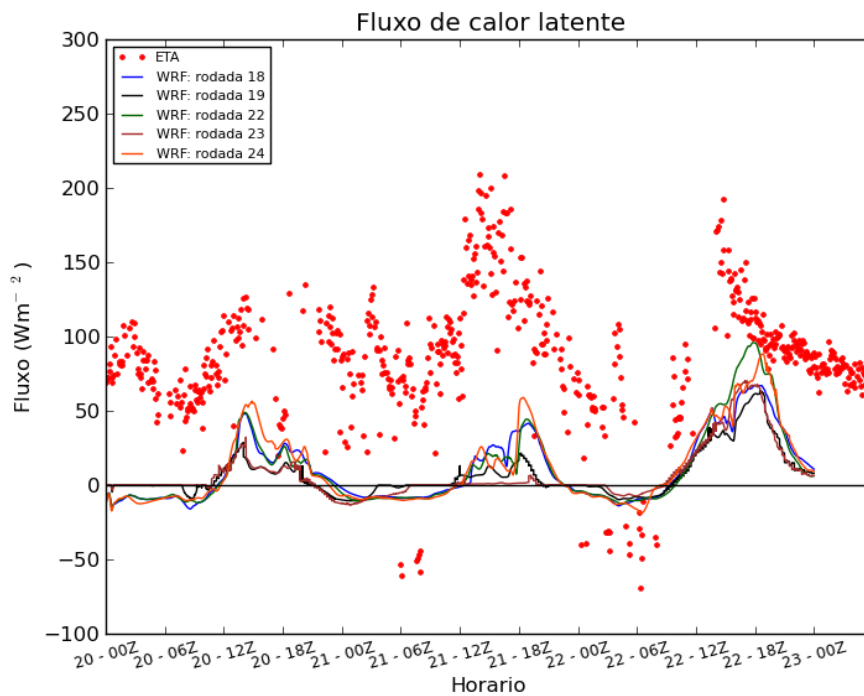


Figura 9: Fluxo de calor latente (Wm^{-2}). Em vermelho, valores estimados a partir dos dados do projeto ETA. Nas outras cores, as 5 rodadas do WRF que foram comparadas graficamente.



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

Analisando os resultados, observa-se que devido à resolução usada o modelo não consegue reproduzir uma característica específica da região que é a exposição de uma pequena faixa de solo rochoso durante o verão devido ao degelo (figura 10). Essa faixa de solo varia de dezenas de metros no início do verão para quase toda a totalidade da península Keller no auge do verão. Como resultado dessa não simulação adequada do modelo, o solo é considerado como possuindo uma cobertura de gelo o que faz com que a temperatura do solo, saldo de onda curta, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível sejam subestimados.

Como resultado das 24 simulações curtas, foram escolhidas as seguintes parametrizações para futuras rodadas longas:

- Microfísica: WSM6
- Superfície do solo: RUC
- Radiação: RRTMG-RRTMG
- CLP-CLS: Similaridade ETA-MYJ



Figura 10: Imagem aérea da Península Keller no período de verão.

Futuramente serão feitas diversos ajustes, comparações e novas análises, como uma comparação entre o WRF e sua versão polar (<http://polarmet.osu.edu/PolarMet/pwrf.html>),



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

análise da estrutura vertical da atmosfera e uma comparação das condições iniciais e de fronteira utilizando os dados do GFS e do ERA-Interim. Estudos mostram que o uso de condições iniciais e de fronteira do ERA-Interim, que possui resolução espacial de 0.75° contra a resolução espacial de 1° do GFS podem gerar melhores resultados nas simulações.

Planeja-se utilizar os dados terrestres do projeto Radarsat Antarctic Mapping Project Digital Elevation Model version 2 (<http://nsidc.org/api/metadata?id=nsidc-0082>), que possui resolução de 200m, contra a resolução de 30 arcsec (aprox. 1km) disponibilizada pelo WRF e de alimentar o modelo com os dados coletados *in situ* com o intuito de observar as características presentes na região.

2.3 Referências Bibliográficas

- Halouani, N., Nguyen, C.T., Vo-Ngoc, D., 1993: Calculation of monthly average global solar radiation on horizontal surfaces using daily hours of bright sunshine. *Solar Energy* 50 (3), 247–258.
- Janjic, Z. I., 1994: The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes, *Mon. Wea. Rev.*, 122, 927–945.
- Kilpeläinen, T., Vihma, T., Manninen, M., Sjöblom, A., Jakobson, E., Palo, T., Maturilli, M., 2012: Modelling the vertical structure of the atmospheric boundary layer over Arctic fjords in Svalbard. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 138
- Monin, A.S. and A.M. Obukhov, 1954: Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere. *Contrib. Geophys. Inst. Acad. Sci., USSR*, (151), 163–187
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D., Barker, D., Duda, M., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers, J.G, 2008: A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Tech. Note, NCAR/TN-475+STR, 113 pp.
- Seefeldt, M. W., Cassano, J. J., Shupe, M. D., 2012: Evaluation of WRF Radiation and Microphysics Parameterizations for use in the Polar Regions, *Atmospheric Model Parameterizations in the Polar Regions Workshop*; Boulder, CO
- Tastula, E-M, Vihma, T., Andreas, E.L., 2012: Evaluation of Polar WRF from Modeling the Atmospheric Boundary Layer over Antarctic Sea Ice in Autumn and Winter. *Mon. Wea. Rev.*, 140, 3919–3935.
- Targino, A. C., Soares, J. 2002: Modeling surface energy fluxes for Ipero ,SP, Brazil: an approach using numerical inversion, *Atmospheric Research* 63 (2002) 101–121
- National Centers for Environmental Prediction, National Weather Service, NOAA, U.S. Department of Commerce (2000), NCEP FNL Operational Model Global Tropospheric Analyses, continuing from July 1999, <http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2>, Research



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory, Boulder, Colo. (Updated daily.) Acessado: 25 set 2013.

Wang, W.; Bruyère, C.; Duda, M.; Dudhia, J.; Gill, D.; Kavulich, M.; Keene, K.; Lin, H.; Michalakes, J.; Rizvi, S.; Zhang, X.; 2013, *ARW Version 3 Modeling System User's Guide*

Zilitinkevich, S. S., 1995: Non-local turbulent transport: pollution dispersion aspects of coherent structure of convective flows, *Air Pollution III — Volume I. Air Pollution Theory and Simulation*, Eds. H. Power, N. Moussiopoulos and C.A. Brebbia. Computational Mechanics Publications, Southampton Boston, 53–60.

3. Outras atividades desenvolvidas no período

3.1 Disciplinas do programa de Mestrado

3.1.1 Disciplinas cursadas

Foram cursadas as seguintes disciplinas, totalizando 47 dos 46 créditos necessários:

Disciplina	Créditos	Conceito
AGM – 5804: Micrometeorologia	10	A
AGM – 5801: Modelagem numérica da Atmosfera	10	A

Os créditos necessários exigidos para a conclusão do curso de mestrado foram concluídos no segundo semestre cursado.

3.2 Estágio PAE

No segundo semestre de 2013 foi realizado um estágio PAE na disciplina ACA-0321 Micrometeorologia.

No primeiro semestre de 2014 está sendo realizado o estágio PAE na disciplina ACA-0539 Meteorologia Dinâmica III.

3.3 Viagem a base brasileira na Antártica

No mês de novembro de 2013 foi realizado um retorno à estação Antártica Comandante Ferraz para a reinstalação dos instrumentos meteorológicos, após o incêndio ocorrido no dia 25 de fevereiro de 2012.

Em março de 2014 foi realizada uma nova viagem a estação Antártica Comandante Ferraz para a reinstalação do saldo radiômetro e manutenção dos instrumentos instalados na viagem anterior.



3.7 Cronograma de atividades

Atividades	Período
Exame de Qualificação.	Setembro de 2014
Realização das simulações, análise dos resultados e redação da dissertação.	Abril de 2014 a Março de 2015
Defesa da dissertação	1º Semestre de 2015

4. Anexo

4.1 Tabelas

Tabela 2: Parametrizações utilizadas nas rodadas curtas

Rodada	Microfísica	Onda Longa	Onda Curta	Camada limite superficial	Superfície terrestre	Camada limite planetária
1	Purdue Lin	RRTMG	Goddard	Similaridade ETA	Noah	MYJ
2	WSM5	RRTMG	Goddard	Similaridade ETA	Noah	MYJ
3	WSM6	RRTMG	Goddard	Similaridade ETA	Noah	MYJ
4	Goddard	RRTMG	Goddard	Similaridade ETA	Noah	MYJ
5	New Thompson	RRTMG	Goddard	Similaridade ETA	Noah	MYJ
6	MYD7	RRTMG	Goddard	Similaridade ETA	Noah	MYJ
7	Morrison	RRTMG	Goddard	Similaridade ETA	Noah	MYJ
8	Purdue Lin	CAM	CAM	Similaridade ETA	Noah	MYJ
9	WSM5	CAM	CAM	Similaridade ETA	Noah	MYJ
10	WSM6	CAM	CAM	Similaridade ETA	Noah	MYJ
11	Goddard	CAM	CAM	Similaridade ETA	Noah	MYJ
12	New Thompson	CAM	CAM	Similaridade ETA	Noah	MYJ
13	MYD7	CAM	CAM	Similaridade ETA	Noah	MYJ
14	Morrison	CAM	CAM	Similaridade ETA	Noah	MYJ
15	WSM5	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	RUC	MYJ
16	WSM5	RRTMG	RRTMG	QNSE	RUC	QNSE
17	WSM5	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	Noah	MYJ
18	MYD7	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	RUC	MYJ
19	MYD7	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	Noah	MYJ
20	WSM5	RRTMG	RRTMG	QNSE	Noah	QNSE
21	WSM6	RRTMG	RRTMG	QNSE	Noah	QNSE
22	WSM6	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	RUC	MYJ
23	WSM6	RRTMG	RRTMG	Similaridade ETA	Noah	MYJ
24	WSM6	RRTMG	RRTMG	QNSE	RUC	QNSE



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

Tabela 3: Valores de RMSE para T, OL↓, OC_{NET}, Pressão, T_{SOLO}, $|\vec{V}|$, H e LE

Rodada	T(°C)	OL↓ (Wm ⁻²)	OC _{NET} (Wm ⁻²)	Pressão (hPa)	T _{SOLO} (°C)	$ \vec{V} $ (ms ⁻¹)	Q (g kg ⁻¹)	H (Wm ⁻²)	LE (Wm ⁻²)
1	2,58	45,69	240,78	0,953	6,71	3,72	0,367	180,87	92,67
2	2,65	44,07	243,48	0,956	6,67	3,88	0,349	177,94	91,95
3	2,69	44,36	243,14	0,960	6,69	3,90	0,338	177,59	92,26
4	2,66	46,97	244,26	0,948	6,53	3,77	0,332	176,42	93,36
5	2,69	50,39	241,78	0,847	6,85	3,66	0,322	179,46	90,73
6	2,57	47,57	235,88	0,827	6,77	3,51	0,331	178,51	90,78
7	2,61	46,27	235,15	0,837	6,61	3,60	0,333	178,12	91,87
8	3,12	56,11	244,33	0,843	7,35	3,64	0,325	182,85	94,38
9	3,17	53,75	244,47	0,843	7,38	3,75	0,300	179,30	92,37
10	3,18	54,15	244,51	0,843	7,40	3,78	0,295	179,71	92,65
11	3,14	55,56	246,35	0,849	7,07	3,90	0,295	178,48	93,24
12	3,07	59,97	247,16	0,835	7,06	3,70	0,314	179,89	92,80
13	2,89	56,30	244,62	0,822	6,95	3,60	0,322	179,98	93,10
14	2,97	55,69	239,25	0,821	6,91	3,74	0,310	179,25	93,85
15	2,58	43,84	204,45	0,827	8,76	3,33	0,476	175,58	86,48
16	3,52	43,46	205,99	0,857	8,66	3,14	0,571	177,28	85,53
17	2,77	43,72	244,27	0,840	7,01	3,61	0,344	178,67	92,53
18	2,53	48,20	209,24	0,830	8,88	3,41	0,480	176,37	86,64
19	2,59	47,25	239,94	0,821	6,88	3,51	0,329	179,29	90,99
20	3,32	43,70	243,82	0,857	7,08	3,47	0,35	178,62	90,74
21	3,31	44,08	243,78	0,859	7,13	3,61	0,348	179,64	90,50
22	2,59	43,69	204,79	0,838	8,77	3,43	0,465	175,62	86,36
23	2,81	43,85	244,25	0,850	7,03	3,70	0,336	178,59	92,10
24	3,40	42,31	205,35	0,847	8,54	3,28	0,568	177,75	86,22

Tabela 3: Valores de MBE para T, OL↓, OC_{NET}, Pressão, T_{SOLO}, $|\vec{V}|$, H e LE

Rodada	T(°C)	OL↓ (Wm ⁻²)	OC _{NET} (Wm ⁻²)	Pressão (hPa)	T _{SOLO} (°C)	$ \vec{V} $ (ms ⁻¹)	Q (g kg ⁻¹)	H (Wm ⁻²)	LE (Wm ⁻²)
1	1,90	34,06	-180,50	-0,388	6,60	-1,35	-0,089	155,65	79,58
2	2,00	29,39	-183,19	-0,389	6,56	-1,42	-0,046	153,33	78,05
3	2,03	30,02	-182,80	-0,395	6,58	-1,44	-0,043	153,13	78,59
4	1,98	21,91	-183,61	-0,451	6,42	-1,40	-0,087	152,06	80,66
5	1,99	31,72	-179,13	-0,422	6,74	-1,23	0,021	154,45	77,64
6	1,92	31,48	-175,65	-0,437	6,66	-1,09	0,011	153,44	78,24
7	1,95	30,01	-173,57	-0,449	6,50	-1,18	-0,041	152,92	78,96
8	2,49	46,23	-184,42	-0,439	7,24	-0,99	-0,004	158,58	81,56
9	2,56	43,80	-184,84	-0,468	7,27	-1,11	0,017	155,65	79,39
10	2,59	44,54	-184,77	-0,478	7,29	-1,13	0,026	156,07	79,73
11	2,56	36,10	-185,99	-0,510	6,97	-1,40	0,022	155,55	79,99
12	2,46	37,06	-184,85	-0,470	6,96	-1,33	0,031	157,11	79,99



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

13	2,27	35,60	-183,62	-0,458	6,85	-1,02	0,034	156,11	80,60
14	2,43	37,55	-178,62	-0,479	6,81	-1,45	0,010	156,05	80,88
15	1,95	33,30	-150,17	-0,431	8,63	-1,16	-0,032	151,00	73,35
16	2,47	31,50	-151,55	-0,400	8,52	-0,78	-0,019	152,56	72,75
17	2,16	32,88	-184,91	-0,449	6,91	-0,84	-0,001	152,92	79,12
18	1,88	31,26	-152,94	-0,401	8,73	-1,14	-0,012	151,79	74,68
19	1,94	31,21	-180,61	-0,422	6,77	-1,15	0,010	154,21	78,47
20	2,50	32,31	-184,60	-0,46	6,97	-0,75	-0,04	153,75	76,82
21	2,49	32,46	-184,53	-0,463	7,02	-0,87	-0,044	154,63	76,21
22	1,96	33,04	-150,56	-0,428	8,64	-1,25	-0,038	151,25	72,98
23	2,17	33,16	-185,13	-0,450	6,93	-0,93	-0,009	152,88	78,59
24	2,37	29,54	-151,25	-0,383	8,39	-0,82	-0,049	152,90	73,20