

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
PROGRAMA GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**HUGO ALEJANDRO D' ALESIO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DO MODELO OLAM NA  
PREVISÃO NUMÉRICA PARA O SUL DO BRASIL**

Florianópolis  
2015



HUGO ALEJANDRO D'ALESIO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DO MODELO OLAM NA  
PREVISÃO NUMÉRICA PARA O SUL DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao  
Curso de Graduação em Meteorologia da  
Universidade Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do Grau de Bacharel em  
Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Renato Ramos da Silva

Florianópolis  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

D'Alesio, Hugo Alejandro

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO MODELO OLAM NA  
PREVISÃO NUMÉRICA PARA O SUL DO BRASIL / Hugo  
Alejandro D'Alesio; orientador, Renato Ramos da  
Silva - Florianópolis, SC, 2015. 70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de  
Ciências Físicas e Matemáticas. Graduação em  
Meteorologia.

Inclui referências

1. Meteorologia. 2. OLAM. 3. Modelagem  
Numérica. 4. América do Sul. I. Ramos da Silva,  
Renato. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Meteorologia. III. Título.

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DO MODELO OLAM NA  
PREVISÃO NUMÉRICA PARA O SUL DO BRASIL**

por

**HUGO ALEJANDRO D’ALESIO**

Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do  
Título de **Bacharel em Meteorologia**, e aprovado em sua forma final  
pelo Curso de Graduação em Meteorologia

Prof. Dr. Renato Ramos da Silva  
**Orientador**

Prof. Dr. Renato Ramos da Silva  
**Coordenador do Curso de Meteorologia**

Banca Examinadora:

**PRESIDENTE:**

Prof. Dr. Renato Ramos da Silva, UFSC/CFM

**MEMBROS TITULARES:**

Prof. Dr. Reinaldo Haas, UFSC/CFM

Prof. Dr. Wendell Rondonelli Gomes Farias, UFSC/CFM

**MEMBROS SUPLENTES:**

Profa. Dra. Marina Hirota Magalhães, UFSC/CFM

Florianópolis, 8 de Dezembro de 2015.



Este trabalho é dedicado aos meus amados Pais, Blanca e Hugo, por me ensinarem a nunca desistir dos meus sonhos e lutar a cada dia.

Aos meus Tios Leonor e Marcial pelo seu apoio e carinho.

Em especial a minha *Ila De La Flor* que esta sempre ao meu lado incondicionalmente.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Renato Ramos da Silva pela orientação, confiança, respeito, e pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Prof. Dr. Reinaldo Haas pelo aprendizado durante todos estes anos e por transmitir-me sua paixão pela meteorologia.

A Profa. Dra. Marina Hirota Magalhães pela sua dedicação ao curso e comprometimento com os alunos.

Ao Prof. Dr. Wendell Rondinelli Gomes Farias pela sua humildade e paciência com os alunos.

A Tania pela amizade, confiança e apoio durante todos estes anos na universidade.

Ao Amigo Piter por todo o apoio e incentivo durante todo o curso.

Ao Amigo Edson Luiz Valmorbida pela valiosa ajuda em todo momento.

Aos amigos do curso Roseli, Rosa, Humberto, Bianca, Raissa, Guilherme, etc. pela grata convivência durante estes anos.

Aos Meteorologistas e Técnicos do CIRAM pelo aprendizado durante o período de Estágio, em especial a Gilsânia e Fabricio por todo apoio e carinho.

Agradeço também aos meus companheiros os Bombeiros da Seção Contra Incêndio do Aeroporto Internacional de Florianópolis pelo seu apoio e opiniões durante todos estes anos de estudo.

Em especial dedico esta dissertação aos grandes amigos da vida, Damian, Guido, Julian, Jorge, Cesar, Sebastian, que sempre me apoiaram em todo momento estando perto ou longe.

Aos Professores Lia Silva de Oliveira, e André Avelino Pasa por me terem dado a oportunidade de conhecer o interessante e grandioso mundo da pesquisa e confiarem em mim.



## RESUMO

A região sul do Brasil tem tido uma grande frequência de eventos meteorológicos extremos. Melhorar a previsão destes eventos é de grande importância para a sociedade. Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um modelo de previsão numérica de tempo para a região da América do Sul, em especial a Região Sul do Brasil. Para alcançar este objetivo utilizamos o modelo atmosférico Ocean Land Atmosphere Model (OLAM) o qual é considerado atualmente como o novo estado-da-arte em modelagem numérica devido a sua capacidade de representar fenômenos de escala global e regional simultaneamente. Este modelo utiliza uma grade não estruturada que se distribui sobre a esfera do globo terrestre e possibilita um aumento da resolução espacial através do refinamento de grade. Neste estudo configuramos o modelo com uma grade global com espaçamento de grade da ordem de 240 km e da ordem de 15 km para a região de maior resolução espacial que foi centrada no estado de Santa Catarina. Para poder avaliar a maioria dos eventos meteorológicos que ocorrem no sul do Brasil foram realizadas 12 simulações de 72 horas para o início de cada mês do ano de 2014. Como condição atmosférica inicial de temperatura do ar, componentes de vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e altura geopotencial foram obtidas de dados do projeto de reanálise do National Center for Environmental Prediction (NCEP). Como o modelo é global, não houve necessidade de nudging lateral a partir de dados de outros modelos de baixa resolução. Dados da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) obtidos da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) foram usados como condição de superfície para os oceanos. Os resultados do modelo foram comparados com dados de precipitação obtidos a partir de: observações do satélite TRMM, dados do Global Precipitation Climatology Project (GPCP), dados dos satélites Terra e Aqua e dados das estações meteorológicas do INMET. Os resultados mostraram que o modelo consegue prever a ocorrência ou não de precipitação dos principais eventos observados através dos mapas de precipitação e das imagens de satélite.

Para a precipitação acumulada em 72 horas as previsões apresentam boa distribuição espacial se comparadas com mapas de observação. As análises estatísticas da previsão da temperatura de superfície mostram resultados satisfatórios principalmente para as localidades continentais (Indaial, Lages) em contraste com temperaturas mais baixas para localidades costeiras (Florianópolis). Em geral as previsões são melhores para as primeiras 48 horas com diminuição da previsibilidade a partir do terceiro dia. Os meses mais frios apresentam melhores correlações, indicando que eventos de maior escala são melhor representados do que eventos convectivos de mesoescala que geralmente ocorrem nos meses mais quentes.

**Palavras Chave:** OLAM. Modelagem numérica. América do Sul.

## ABSTRACT

The Southern Region of Brazil has had a high frequency of extreme meteorological events. Improving these events forecast is very important for society. This work aims to evaluate the performance of a numerical weather prediction model for the South American region, especially for the southern Brazil. To accomplish this, we used the Ocean Land-Atmosphere Model (OLAM), that is considered a state-of-the-art numerical modeling due to its ability to represent phenomena of global and regional scale simultaneously. This model uses an unstructured grid that is deployed over the globe and enables a local resolution improvement using a grid refinement. In this study we set the model with a global grid with about 240 km of grid spacing and about 15 km for the region of higher resolution over the center of Santa Catarina state. To evaluate the model a total of 12 simulations of 72 hours was executed starting on the first day of each month for the year 2014. The initial atmospheric condition of air temperature, winds, relative humidity, atmospheric pressure and geopotential height was obtained from the National Center for Environmental Prediction (NCEP). Since the model is global, nudging from coarse global models was not necessary. Sea surface temperature (SST) was obtained from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) as an ocean surface boundary condition. The model results were compared with rainfall data obtained from: TRMM satellite estimates, the Global Precipitation Data Climatology Project (GPCP), Terra and Aqua satellite data and data from weather INMET stations. The results showed that the model can predict the occurrence or not of rainfall of the main events observed through the precipitation maps and satellite images. For the accumulated rainfall in 72 hours forecasts show good spatial distribution compared with observation maps. Analyses surface temperature forecast statistics show satisfactory results especially for continental locations (Indaial, Lages) in contrast to lower temperatures to coastal locations (Florianópolis). Overall forecasts are better for the first 48 hours with decreased predictability from the third day. The coldest months show better correlations, indicating that larger scale events are better represented than mesoscale convective events that usually occur in the warmer months.

**Key words:** OLAM. Numerical modeling. South America.



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Exemplo de refinamento de grade através de subdivisões triangulares para a América do Sul.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2 - Figura geométrica denominada Icosaedro. ....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3 - Construção de uma grade esférica geodésica a partir de um icosaedro inscrito em uma esfera.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4 - Subdivisao das grades em subgrades.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5 - Grade de elementos finitos utilizada no modelo OLAM. .</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 - Projeção de uma célula triangular de superfície para gerar múltiplos níveis verticais de esferas de raio crescente. ...</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7 - Representação dos prismas resultado da projeção radial de cada grade triangular. a) Prisma com duas faces perpendiculares a gravidade e três faces verticais. b) Representação de múltiplos prismas. ....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 8 - Refinamento espacial sobre a região de Santa Catarina usada no Modelo OLAM. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9 – Topografia e localizações das Estações Meteorológicas do INMET usadas na análise de Temperatura.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 10 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-01-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 12 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estacoes meteorológicas. ....</i>	<i>26</i>

<i>Figura 13 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-02-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 14 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-02-2014. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 15 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-03-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 17 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 04-03-2014. ....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 18 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 19 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-04-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 20 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 02-04-2014. ....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 21 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 22 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 03-05-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>36</i>

<i>Figura 23 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-05-2014.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 24 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 25 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-06-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 26 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-06-2014.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 27 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 28 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 03-07-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 29 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-07-2014.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 30 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 31 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-08-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 32 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-08-2014.....</i>	<i>46</i>

<i>Figura 33 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 34 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-09-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 35 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 02-09-2014. ....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 36 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 37 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-10-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 38 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-10-2014. ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 39 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 40 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-11-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 41 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 02-11-2014. ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 42 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>56</i>

<i>Figura 43 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-12-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo. ....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 44 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 02-12-2014.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 45 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas. ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 46 - Campos de ventos e temperatura da superfície entre os dados de reanálises do NCEP (esquerda) e dados do modelo OLAM (direita) para os três primeiros dias do mês de Janeiro de 2014 para os horários sinóticos 00, 06, 12 e 18 UTC. Dia 01- (coluna esquerda), Dia 02-(coluna central) e Dia 03-(coluna direita). Para o caso do modelo os vetores são mostrados a cada dez pontos de grade para melhor visualização.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 47 - Correlação temporal da variação da temperatura para as três estações meteorológicas do INMET durante os primeiros três dias de cada mês do ano 2014. ....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 48 - Precipitação média acumulada (mm) para os doze casos de estudo conforme simulado pelo OLAM e comparado com dados do TRMM e GPCP.....</i>	<i>64</i>



## LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Estudos de Caso e Períodos de Simulação. ....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 2 - Coeficientes de correlação temporal entre os valores observados da temperatura das estações e os valores previstos pelo modelo OLAM para os meteorogramas de temperatura. ....</i>	<i>60</i>



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AGCM	Atmospheric General Circulation Model
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Clima
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellites
GPCP	Precipitation Climatology Project
hPa	Hecto Pascal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JST	Jato Subtropical
JBN	Jato de Baixos Níveis
JPN	Jato Polar Norte
JPS	Jato Polar Sul
mb	Milibares
NCEP	National Center for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OLAM	Ocean-Land Atmosphere Model
RAMS	Regional Atmospheric Modeling System
SCM	Sistema Convectivo de Meso-escala
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
ZCOU	Zona de convergência de umidade
VCAN	Vórtice ciclônico de altos níveis



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>10</b>
3.1	DESCRIÇÃO DO MODELO .....	10
<b>3.1.1</b>	<b>Estrutura de Grade</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Coordenada Vertical</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Equações Dinâmicas Governantes</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Discretização Temporal</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Discretização Espacial</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Parametrizações Físicas</b> .....	<b>19</b>
3.2	DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS NUMÉRICOS .....	20
3.3	DADOS USADOS .....	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>22</b>
4.1	PERÍODO DE 01-03 JANEIRO 2014.....	23
<b>4.1.1</b>	<b>Análise de Grande Escala</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície</b> .....	<b>26</b>
4.2	PERÍODO DE 01-03 FEVEREIRO 2014 .....	27
<b>4.2.1</b>	<b>Análise de Grande Escala</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície</b> .....	<b>29</b>
4.3	PERÍODO DE 01-03 MARÇO 2014.....	30
<b>4.3.1</b>	<b>Análise de Grande Escala</b> .....	<b>30</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície</b> .....	<b>32</b>
4.4	PERÍODO DE 01-03 ABRIL 2014 .....	33
<b>4.4.1</b>	<b>Análise de Grande Escala</b> .....	<b>33</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina</b> .....	<b>34</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície</b> .....	<b>35</b>
4.5	PERÍODO DE 01-03 MAIO 2014.....	36
<b>4.5.1</b>	<b>Análise de Grande Escala</b> .....	<b>36</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina</b> .....	<b>37</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície</b> .....	<b>38</b>
4.6	PERÍODO DE 01-03 JUNHO 2014 .....	39
<b>4.6.1</b>	<b>Análise de Grande Escala</b> .....	<b>39</b>
<b>4.6.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina</b> .....	<b>40</b>
<b>4.6.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície</b> .....	<b>41</b>
4.7	PERÍODO DE 01-03 JULHO 2014.....	42

<b>4.7.1</b>	<b>Análise de Grande Escala .....</b>	<b>42</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina.....</b>	<b>43</b>
<b>4.7.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície.....</b>	<b>44</b>
4.8	PERÍODO DE 01-03 AGOSTO 2014.....	45
<b>4.8.1</b>	<b>Análise de Grande Escala .....</b>	<b>45</b>
<b>4.8.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina.....</b>	<b>46</b>
<b>4.8.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície.....</b>	<b>47</b>
4.9	PERÍODO DE 01-03 SETEMBRO 2014.....	48
<b>4.9.1</b>	<b>Análise de Grande Escala .....</b>	<b>48</b>
<b>4.9.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina.....</b>	<b>49</b>
<b>4.9.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície.....</b>	<b>50</b>
4.10	PERÍODO DE 01-03 OUTUBRO 2014.....	51
<b>4.10.1</b>	<b>Análise de Grande Escala .....</b>	<b>51</b>
<b>4.10.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina.....</b>	<b>52</b>
<b>4.10.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície.....</b>	<b>53</b>
4.11	PERÍODO DE 01-03 NOVEMBRO 2014 .....	54
<b>4.11.1</b>	<b>Análise de Grande Escala .....</b>	<b>54</b>
<b>4.11.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina.....</b>	<b>55</b>
<b>4.11.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície.....</b>	<b>56</b>
4.12	PERÍODO DE 01-03 DEZEMBRO 2014.....	57
<b>4.12.1</b>	<b>Análise de Grande Escala .....</b>	<b>57</b>
<b>4.12.2</b>	<b>Avaliação da Precipitação em Santa Catarina.....</b>	<b>58</b>
<b>4.12.3</b>	<b>Avaliação da Temperatura de Superfície.....</b>	<b>59</b>
4.13	ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PREVISÃO DA TEMPERATURA .....	60
4.14	ANÁLISES ESPACIAL DOS VENTOS E TEMPERATURA EM SUPERFÍCIE .....	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E DISCUSSÃO FINAL.....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os Modelos atmosféricos globais foram desenvolvidos pela primeira vez no início dos anos sessenta. Desde então, eles evoluíram para sua aplicação aos problemas de previsão numérica do tempo, previsão sazonal e simulações de cenários climáticos. Estas aplicações dependem basicamente das características do modelo, cada um enfatiza os diferentes aspectos devido à importância relativa das escalas de tempo e os processos envolvidos em cada aplicação (WILLIAMSON, 2007).

Dois caminhos foram seguidos quanto ao desenvolvimento destes modelos numéricos: os modelos globais e os modelos regionais ou de área limitada. Os modelos globais possuem uma resolução espacial da ordem de 1-5 graus de latitude-longitude e, portanto não conseguem representar muito bem os fenômenos meteorológicos de escala regional. Isto sucede devido a que para representar globalmente os processos meteorológicos, existe a necessidade de um grande número de pontos de grade exigindo enorme capacidade computacional. Por outro lado, os modelos regionais possuem resolução mais acurada, mas são utilizados para regiões específicas e devem ser alimentados em suas fronteiras laterais por condições atmosféricas de larga escala e, portanto não simulam os fenômenos de grande escala (RAMOS DA SILVA et al., 2009).

Como solução as dificuldades citadas anteriormente desenvolveu-se na Universidade Duke nos Estados Unidos um novo modelo considerado o novo estado-da-arte em modelagem numérica global devido a sua alta capacidade de refinamento de grade, o que representa uma nova geração de modelos meteorológicos (RAMOS DA SILVA et al., 2009). Este modelo denominado “*Ocean-Land Atmosphere Model*” (OLAM) possui como principal característica representar fenômenos meteorológicos de escala global e fenômenos de escala local através do refinamento de grades de alta resolução (WALKO; AVISSAR, 2008a).

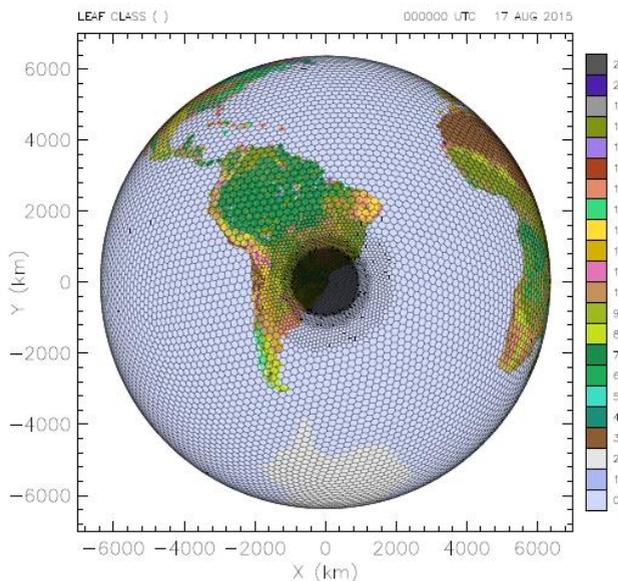
OLAM é um novo modelo de simulação numérica que evoluiu a partir do “*Regional Atmospheric Modeling System*” (RAMS) (PIELKE et al., 1992), um modelo de área limitada que tem sido amplamente utilizado em todo o mundo por muitos grupos de pesquisa (RAMOS DA SILVA et al., 2011).

Este modelo é um modelo global que é capaz de simular uma ou mais regiões de interesse através de um refinamento de grades triangulares ou hexagonais (Figura 1). As duas ou mais grades podem trocar informações mutuamente (“via de mão dupla”) permitindo a interação entre os fenômenos de várias escalas.

Devido a que OLAM é um modelo global, ele não necessita de condições laterais de fronteira, como é o caso da maioria dos modelos de área limitada. Em geral modelos regionais (i.e. de área limitada) precisam ser alimentados nas fronteiras com dados de modelos globais e este procedimento geralmente causa ruídos que são propagados pelo domínio do modelo. No caso do modelo OLAM estes problemas não estão presentes, pois o modelo possui uma única grade (MEDVIGY; WALKO; AVISSAR, 2011). O OLAM pode ser usado em aplicações com escalas de tempo que variam desde previsão de tempo de curto prazo para as previsões de mudanças climáticas de longo prazo (MEDVIGY et al., 2010).

Estudos recentes com o Modelo OLAM para América do Sul e a Amazônia representam de forma satisfatória as variáveis climáticas regionais, o que nos indica a viabilidade para o seu uso na Região Sul do Brasil (RAMOS DA SILVA et al., 2014a, 2014b).

*Figura 1- Exemplo de refinamento de grade através de subdivisões triangulares para a América do Sul.*



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho do modelo OLAM na previsão dos campos meteorológicos para a região do estado de Santa Catarina.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Configurar o modelo OLAM para executar previsões numéricas para a região de Santa Catarina.

- Executar simulações de previsão numérica para vários estudos de caso para o ano de 2014.

- Avaliar o desempenho do modelo através da comparação com dados observados.

- Publicação dos resultados.

### **3 METODOLOGIA**

A seguir apresentamos uma descrição do modelo OLAM, dos experimentos numéricos a serem conduzidos, dos dados meteorológicos a serem usados e das análises estatísticas a serem executadas para avaliação do desempenho do modelo.

#### **3.1 DESCRIÇÃO DO MODELO**

##### **3.1.1 Estrutura de Grade**

Para a integração numérica das equações que regem os movimentos atmosféricos no domínio global e desejável o uso de grades quase uniformes que dividam a esfera terrestre em elementos que sejam equivalentes em superfície e forma (SADOURNY; ARAKAWA; MINTZ, 1968).

Muitos dos modelos de circulação geral da atmosfera empregam o método espectral devido à elevada precisão numérica em relação ao método de grade, porém o custo computacional da transformação espectral (Transformação de Legendre) torna-se extremamente elevada com o aumento da resolução dando lugar a erros de truncamento (TOMITA et al., 2001).

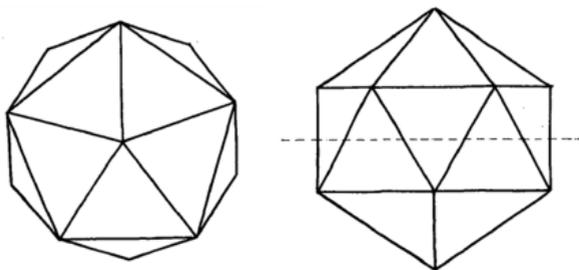
Também existe outra desvantagem chamado problema dos pólos, onde o espaçamento da grade perto dos pólos se torna muito pequena e a resolução horizontal torna-se elevada. Isso restringe severamente o intervalo de tempo para advecção ou onda de propagação para satisfazer a condição de Courant-Friedrich-Lewy (CFL) (TOMITA; SATOH; GOTO, 2002).

A grade geodésica oferece vantagens importantes em relação à grade de latitude-longitude comumente usada. Ela permite um tamanho de grade uniforme ao longo do globo

evitando singularidades e células de grade de diferente proporção perto dos pólos (WALKO; AVISSAR, 2008a).

Existem muitas formas de construir grades geodésicas, o Modelo OLAM utiliza uma grade geodésica onde a esfera terrestre é dividida em 20 triângulos equiláteros formando um icosaedro, como mostra a Figura 2.

*Figura 2 - Figura geométrica denominada Icosaedro.*



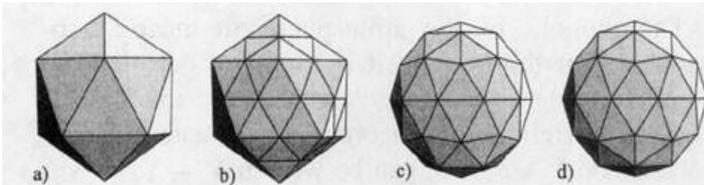
*Adaptado de (SADOURNY; ARAKAWA; MINTZ, 1968).*

Este é um poliedro regular convexo que consiste de 20 triângulos equiláteros de igual tamanho, 30 bordas de união dos triângulos, 12 vértices com 5 bordas que se unem em cada vértice. O icosaedro é orientado de tal forma que um vértice está localizado em cada pólo geográfico, o que coloca os restantes 10 vértices em latitudes de  $\pm \tan^{-1}(1/2)$  (WALKO; AVISSAR, 2008a).

Para a construção de uma grade esférica geodésica a partir de um icosaedro inscrito em uma esfera Figura 3.a) e considerando um simples algoritmo podemos obter uma solução aproximada (HEIKES; RANDALL, 1995). Primeiramente cada face (triângulo) do icosaedro é subdividida em quatro novas faces traçando uma bissetriz em cada uma das bordas. O resultado deste processo se observa na Figura 3.b) para logo dar lugar ao poliedro mostrado na Figura 3.c). Este processo foi estudado por Masuda e Ohnishi (1987) e observaram que esta grade geodésica não é simétrica de lado a lado do equador, o que sugere que para obter uma grade geodésica esférica simétrica simplesmente

devemos rotar as faces da Figura 3.c) no Hemisfério Sul em  $\pi/5$  radianos para obter um poliedro simétrico como observamos na Figura 3.d). Este Poliedro e chamado de grade icosaédrica retorcida ou Twigs.

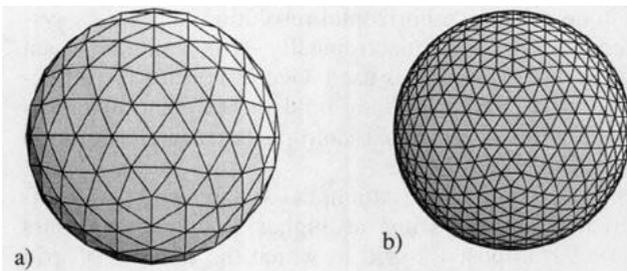
*Figura 3 - Construção de uma grade esférica geodésica a partir de um icosaedro inscrito em uma esfera.*



*Adaptado de (HEIKES; RANDALL, 1995).*

Recursivamente cada triângulo do icosaedro pode ser dividido em  $N \times N$  triângulos menores, onde  $N$  pode ser qualquer número inteiro maior que um o que permite construir uma rede de maior resolução para qualquer grau desejado. Esta subdivisão acrescenta  $30 \times (N^2 - 1)$  novas bordas ou arestas para o original de 30 e  $10 \times (N^2 - 1)$  novos vértices para os originais 12, com 6 arestas que se unem em cada novo vértice. Projetando estes novos vértices dentro da esfera unitária pode-se aproximar a uma esfera ideal, como observarmos na Figura 4.

*Figura 4 - Subdivisao das grades em subgrades.*

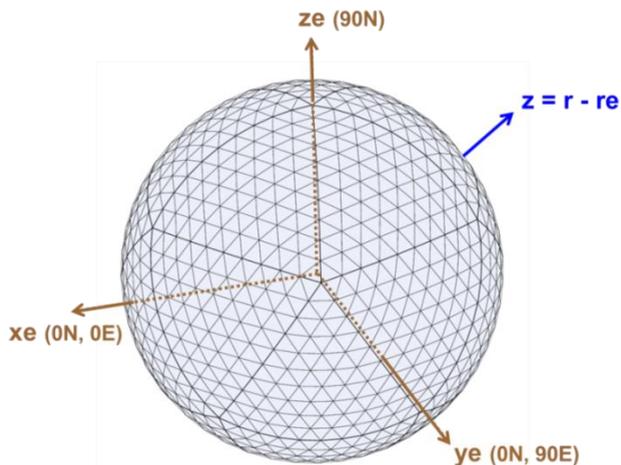


*Adaptado de (HEIKES; RANDALL, 1995).*

Todos os vértices e todas as bordas são então projetados radialmente para fora da esfera para formar geodésicas. A malha assim obtida pode ser projetada radialmente sobre a superfície da esfera. Todas as linhas projetadas são arcos de círculos grandes, mas as igualdades da forma e áreas dos triângulos não são mantidas.

A este tipo de grade se define como grade geodésica e apresenta vantagens em relação às grades de latitude-longitude que são usadas comumente. Devido a que as localizações das grades triangulares não possuem uma distribuição horizontal estruturada esta configuração requer uma definição da posição destas células através de índices de localização, os quais são armazenados computacionalmente e posteriormente utilizados durante a integração numérica como podemos observar na Figura 5 (RAMOS DA SILVA et al., 2009).

*Figura 5 - Grade de elementos finitos utilizada no modelo OLAM.*



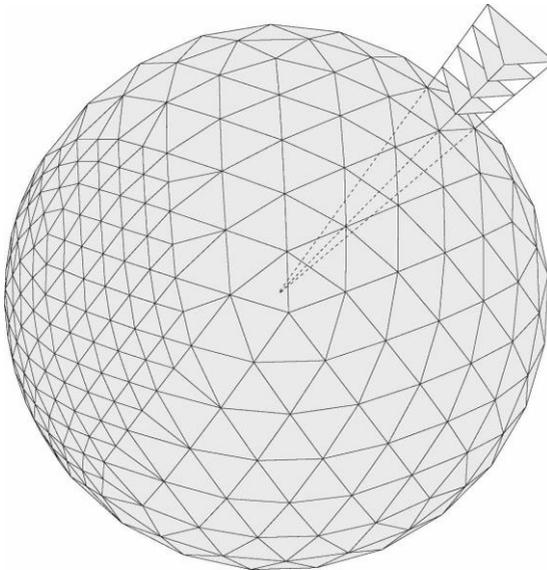
*Fonte: Apresentação do Dr. Robert Walko no Workshop: On The Ocean-Land-Atmosphere Model (OLAM), 8–12 November 2010, Universidade Federal do Rio de Janeiro.*

### 3.1.2 Coordenada Vertical

A estrutura vertical da grade é composta de camadas em alturas definidas, variando em espessura (MEDVIGY et al., 2010). A distância vertical de cada camada pode ser ajustada de acordo com o fenômeno que se quer observar. Como a maioria dos fenômenos ocorrem dentro da camada limite atmosférica, usa-se menor espaçamento próximo à superfície, e maior espaçamento em níveis superiores da atmosfera (RAMOS DA SILVA et al., 2009).

Para fazer isto, a rede de células de superfície triangular é projetada radialmente para fora a partir do centro da terra formando uma série de esferas concêntricas de raio crescente, como mostra a Figura 6.

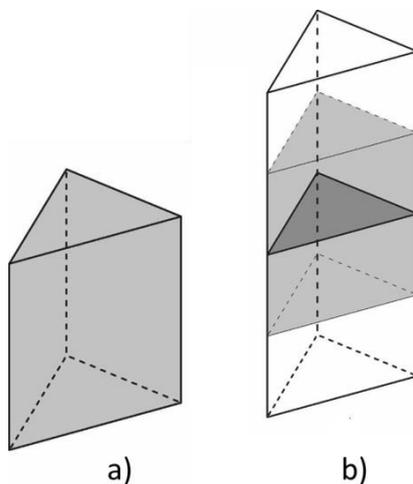
*Figura 6 - Projeção de uma célula triangular de superfície para gerar múltiplos níveis verticais de esferas de raio crescente.*



*Adaptada de (WALKO; AVISSAR, 2008a).*

Os vértices sobre esferas concêntricas consecutivas são ligados com segmentos de linha radial criando as quadrículas de forma prismática que tem duas faces horizontais (perpendiculares à gravidade) e três faces verticais (Figura 7).

*Figura 7 - Representação dos prismas resultado da projeção radial de cada grade triangular. a) Prisma com duas faces perpendiculares a gravidade e três faces verticais. b) Representação de múltiplos prismas.*



*Adaptado de (WALKO; AVISSAR, 2008b).*

A secção transversal horizontal de cada célula e coluna da grade se expandem gradualmente com a altura. O espaçamento da grade vertical entre cascas esféricas pode-se variar e geralmente é feito para expandir-se com o aumento da altura. A maior esfera é geralmente definida a mais de 30 km acima da primeira onde a pressão atmosférica é inferior a 1 mb (WALKO; AVISSAR, 2008a).

### 3.1.3 Equações Dinâmicas Governantes

O núcleo (*core*) de qualquer modelo de circulação atmosférica (AGCM) consiste na formulação adequada das equações dinâmicas governantes em conjunto com os métodos numéricos utilizados na resolução das mesmas (RINGLER; HEIKES; RANDALL, 2000).

O núcleo dinâmico do Modelo OLAM resolve as seguintes equações de conservação de momento, conservação de massa, conservação de energia, equação de estado e conservação de outras variáveis escalares através do método de volumes finitos (WALKO; AVISSAR, 2008b):

- a) Conservação do Momento (componente i):

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathbf{v}_i \vec{V}) - (\nabla p)_i - (2\rho \vec{\Omega} \times \vec{v})_i + \rho g_i + F_i$$

*Equação 1*

- b) Definição do Momento:

$$\vec{V} \equiv \rho \vec{v}$$

*Equação 2*

- c) Conservação Total de Massa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{V}$$

*Equação 3*

- d) Conservação da Energia:

$$\frac{\partial(\rho \Theta)}{\partial t} = -\nabla \cdot (\Theta \vec{V}) + H$$

*Equação 4*

As variáveis representadas nas Equações 1, 2, 3 e 4 são as seguintes:

A variável  $\mathbf{v}$  representa o vetor velocidade e  $\mathbf{V}$  o vetor momento. O sub índice  $i$  representa a componente do vetor na direção  $x_i$ ,  $t$  representa o tempo,  $p$  a pressão atmosférica,  $\rho$  a densidade do ar,  $\boldsymbol{\Omega}$  a velocidade angular da terra,  $\mathbf{g}$  a força gravitacional, e  $\mathbf{F}_i$  o tensor das forças de atrito.

A Equação 4 representa a conservação da Energia onde a variável  $H$  representa a forçante da energia interna.

e) Equação de Estado:

$$p = [(\rho_d R_d + \rho_v R_v) \theta]^{\frac{C_p}{C_v}} \left( \frac{1}{p_0} \right)^{\frac{R_d}{C_v}}$$

*Equação 5*

Aqui  $\theta$  representa a temperatura potencial,  $C_p$  representa o calor específico do ar seco a pressão constante e  $C_v$  o calor específico do ar seco a volume constante.  $R_d$  e  $R_v$  são as constantes dos gases para ar seco e vapor de água, respectivamente;  $p_0$  a pressão de referencia igual a  $10^5$  Pa.

f) Conservação Escalar:

$$\frac{\partial(\rho s)}{\partial t} = -\nabla \cdot (s \vec{V}) + Q$$

*Equação 6*

g) Densidade Total:

$$\rho = \rho_d + \rho_v + \rho_c$$

*Equação 7*

A densidade total  $\rho$  é dada pela soma das densidades do ar seco  $\rho_a$ , do vapor de água  $\rho_v$  e da parte condensada (líquida e gelo)  $\rho_c$ .

h) Temperatura Potencial:

$$\theta = \Theta \left[ 1 + \frac{q_{lat}}{C_p \max(T, 253)} \right]$$

*Equação 8*

Esta equação está empiricamente relacionada com a temperatura potencial  $\theta$  e o calor latente  $q_{lat}$  necessário para evaporar água líquida e gelo.  $T$  representa a temperatura do ar e a variável  $\Theta$  a temperatura potencial da água líquida e gelo.

### 3.1.4 Discretização Temporal

Para a integração temporal, o modelo usa um passo de tempo longo para o cálculo da maioria dos termos prognósticos, e usa um passo de tempo menor para os termos acústicos como, por exemplo, para a força de gradiente de pressão. O esquema numérico de Adams-Bashforth de segunda ordem é usado na estimativa da maioria dos termos advectivos (MARSHALL et al., 1997).

### 3.1.5 Discretização Espacial

O acoplamento dos campos de massa e momento se dá através de uma grade do tipo Arakawa-C conforme descrito por (WENNEKER; SEGAL; WESSELING, 2002). Este tipo de estrutura é um dos mais eficientes computacionalmente, e são convenientes para representação de fenômenos atmosféricos em amplo espectro de escalas. Na presente configuração, os campos de momento são calculados em cada face vertical da célula, e os campos escalares (pressão atmosférica, temperatura, etc.) são estimados pelo seu valor médio volumétrico, e representado no centro do volume desta célula. Esta configuração de grade separa

o cálculo de momento em uma componente vertical e outra horizontal. Outros tipos de modelo possuem estrutura vertical dependentes de projeções das componentes verticais e horizontais no cálculo do momento e, portanto, são menos eficientes computacionalmente.

### **3.1.6 Parametrizações Físicas**

Para simular o comportamento da atmosfera os processos físicos: radiação de onda longa e onda curta, precipitação, formação de nuvens, trocas de energia e massa na superfície, são representados através de parametrizações.

Para a parametrização da radiação o modelo possui varias opções de configurações entre elas podem citar-se a parametrização de Mahrer e Pielke (MAHRER; PIELKE, 1977) a qual só considera vapor de agua na atmosfera e ignora as outras formas de condensação além de demandar menor tempo computacional; a parametrização de Chen e Cotton (CHEN; COTTON, 1983) a qual considera vapor de agua e gotas de nuvem, mas ignora as outras formas de condensação; e a parametrização de Harrington que e a mais completa e leva em consideração todas as formas de condensação tais como, chuva, granizo, neve, etc. (HARRINGTON; OLSSON, 2001a).

Para a formação de nuvens as parametrizações de cúmulos possíveis são as de Kuo (KUO, 1974), Grell (GRELL, 1993), Kain-Fritsch (KAIN; FRISCH, 1993) e Emanuel (EMANUEL, 1991). Para a microfísica de nuvens em suas formas liquidas e solidas a parametrização de Walko permite a possibilidade de configuração de gotas de nuvens, chuva, granizo, neve, graupel, agregados, pristina (WALKO et al., 1995).

Para os processos turbulentos existe a possibilidade da parametrização de Smagorinsky e ACM2 e a parametrização de Lilly, Hill e Smagorinsky (LILLY, 1962; SMAGORINSKY, 1963; HILL, 1974).

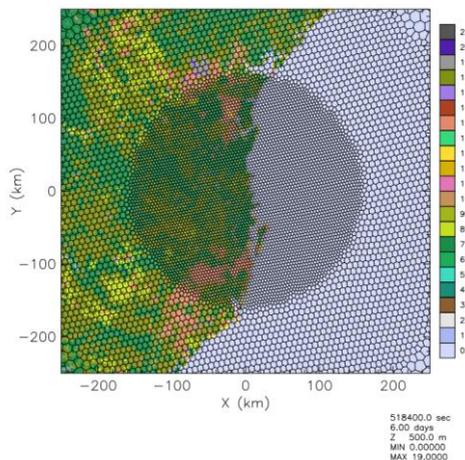
Os processos de troca de energia e umidade entre o solo, vegetação, cobertura de neve, são calculados a partir do uso de um submodelo do OLAM conhecido como LEAF-3 (Land Ecosystem Atmosfere Feedback) (WALKO et al., 2000).

### 3.2 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS NUMÉRICOS

Com o intuito de avaliar o desempenho do modelo foram realizadas 12 simulações de 72 horas para o começo de cada mês do ano 2014, conforme mostrado a seguir na Tabela 1. A grade foi configurada com refinamento espacial sobre a região de Santa Catarina (Figura 8). A grade global possui células com espaçamento de 240 km e a grade de maior resolução espacial sobre Santa Catarina possui espaçamento da ordem de 15 km. Para esta grade o passo de tempo usado foi de 5.0 segundos.

O modelo foi configurado com: a parametrização solo-vegetação LEAF (WALKO et al., 2000); a parametrização cumulus Kain-Fritsch (KAIN; FRITSCH, 1990); a parametrização de radiação de onda curta e onda longa (HARRINGTON; OLSSON, 2001b); a parametrização de turbulência (LILLY, 1962; SMAGORINSKY, 1963; HILL, 1974); e a parametrização de microfísica de nuvens (WALKO et al., 1995).

*Figura 8 - Refinamento espacial sobre a região de Santa Catarina usada no Modelo OLAM.*



*Tabela 1 - Estudos de Caso e Períodos de Simulação.*

Estudo de caso	Período de simulação
01	01-03 Janeiro 2014
02	01-03 Fevereiro 2014
03	01-03 Março 2014
04	01-03 Abril 2014
05	01-03 Maio 2014
06	01-03 Junho 2014
07	01-03 Julho 2014
08	01-03 Agosto 2014
09	01-03 Setembro 2014
10	01-03 Outubro 2014
11	01-03 Novembro 2014
12	01-03 Dezembro 2014

### 3.3 DADOS USADOS

Dados de reanálises do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) foram usados como condição inicial da atmosfera (KANAMITSU et al., 2002). Estes dados incluem temperatura do ar, componentes de vento, umidade do ar, pressão atmosférica e altura geopotencial. Dados da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) obtidos da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) foram usados como condição de superfície para os oceanos (REYNOLDS et al., 2002).

Os resultados foram comparados com dados de precipitação do mesmo período obtidos a partir das estimativas do satélite TRMM (SIMPSON et al., 1996) (Versão 3B42) e dados do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) (HUFFMAN et al., 1997) (Versão 1.2).

O Satélite TRMM mede precipitação a partir de um algoritmo combinando a informação proveniente dos sensores, entre eles o Radar de Precipitação (PR) que permite obter uma estrutura tridimensional das tempestades, o Sensor de Imagens

por Microondas (TMI) que permite quantificar o conteúdo de vapor de água, água na nuvem e intensidade da chuva na atmosfera e por último o Sensor de radiação visível e infravermelho (VIRS) que mede a radiação que provem da terra no visível e no infravermelho. Inicialmente estes dados são usados para produzir parâmetros de calibração. A seguir esses parâmetros são usados para combinar dados do TRMM com dados dos satélites geoestacionários que permitem maior cobertura espacial e maior frequência temporal para produzir os campos finais de precipitação.

Os dados do GPCP são obtidos através da combinação de: dados de estimativas de precipitação de microondas de satélites de órbita baixa, dados de infravermelho de satélites geoestacionários e dados de estações pluviométricas.

Dados das estações meteorológicas do INMET foram usados para avaliar o desempenho do modelo. Dados do satélite geoestacionário GOES-13 foram usados para avaliar pontualmente o desempenho na previsão de eventos ocasionais.

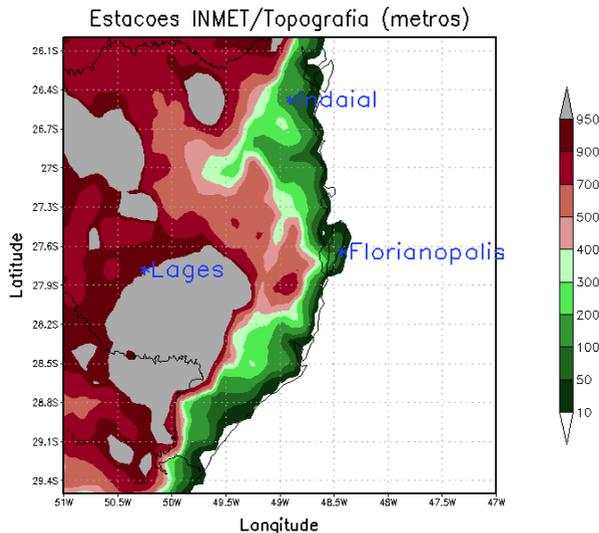
## 4 RESULTADOS

Para avaliar o desempenho do Modelo foram realizadas para todos os períodos:

- Análise Sinótica dos eventos ocorridos baseadas em dados de boletins técnicos do Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC);
- Análise de imagens do satélite GOES-13 e resultados da precipitação acumulada gerada pelo modelo OLAM;
- Comparação da precipitação acumulada prevista pelo modelo e estimativas feitas a partir de dados do GPCP, TRMM e dados do satélite TERRA para a região de Santa Catarina, esta imagem foi anexada para exemplificar o principal sistema ocorrido que provocou precipitação no período;

- Comparação entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas localizadas nas cidades de Florianópolis, Indaial e Lages (Figura 9);
- Análise estatística da previsão da Temperatura do ar em superfície.
- Análises espacial dos Ventos

*Figura 9 – Topografia e localizações das Estações Meteorológicas do INMET usadas na análise de Temperatura.*



#### 4.1 PERÍODO DE 01-03 JANEIRO 2014

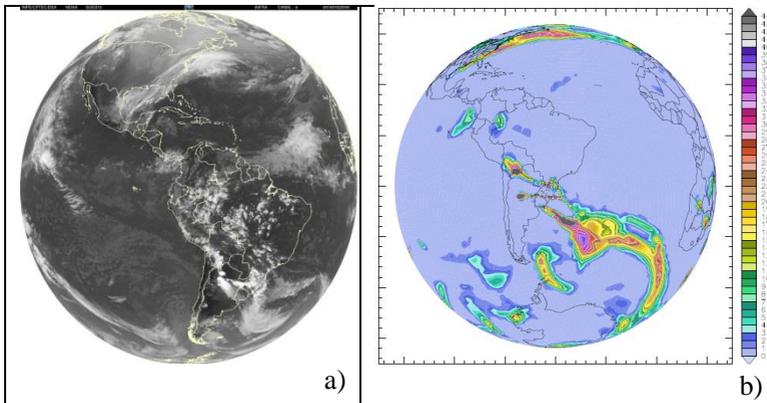
##### 4.1.1 Análise de Grande Escala

Podemos observar na Figura 10.a uma massa de ar frio atuando sobre o sul do continente. Na superfície, o avanço de um sistema frontal na altura da Patagônia Argentina se estende no decorrer dos dias ate o nordeste da Argentina e do Uruguai com centro de baixa pressão no Oceano Atlântico adjacente. Percebe-

se também um ciclone extratropical localizado no Atlântico dando lugar a intensificação da atividade convectiva, provocando neste setor a formação de nebulosidade significativa.

Neste período a análise sinótica mostra que: em baixos níveis da atmosfera (850 hPa) houve a presença de fluxo de noroeste que contribuiu para o transporte de ar quente e úmido, alimentando a convecção no Paraguai, norte da Argentina e sul do Brasil; em níveis médios (500 hPa) observou-se presença de um cavado no oeste de Santa Catarina e leste do Paraguai; em altos níveis (200 hPa) o Jato Subtropical (JST) estava posicionado no centro da Argentina, próximo aos ramos norte e sul do Jato Polar.

*Figura 10 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-01-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*

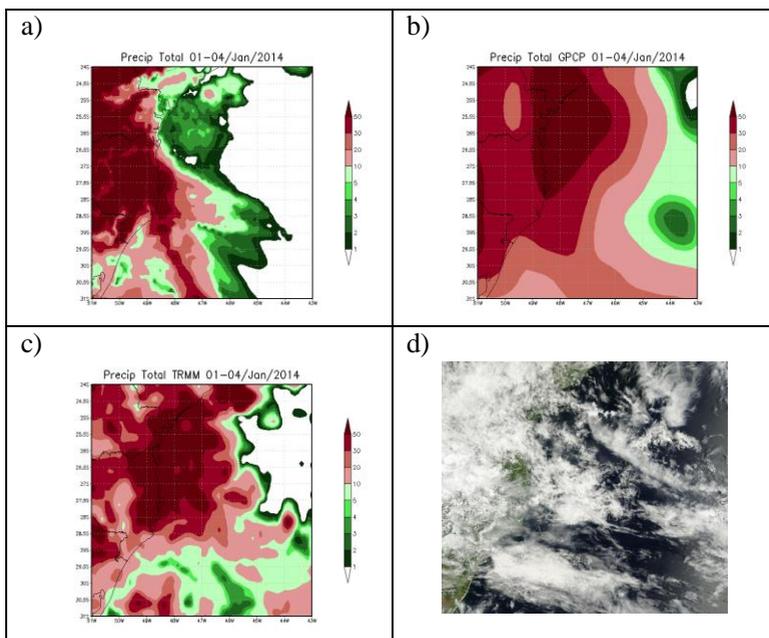


A formação das áreas de instabilidade foi intensificada pelo deslocamento do sistema frontal, provocando precipitação intensa, descargas elétricas, aumento da temperatura e rajadas de vento na região entre Santa Catarina, Rio Grande do Sul e nordeste da Argentina. Os resultados do modelo OLAM para o período mostram acúmulo de precipitação em grande parte do Atlântico Sul, concordando com o avanço do sistema frontal (Fig. 10b).

### 4.1.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

A Figura 11 apresenta dados de precipitação prevista pelo modelo (Fig.11a), campos observados pelo GPCP e TRMM (Figs.11b-c) e imagem do satélite TERRA (Fig.11d). Podemos observar que o modelo apresenta de forma satisfatória a distribuição de precipitação acumulada. Nota-se que houve maior acúmulo na região do Litoral e Alto Vale do Rio Itajaí de Santa Catarina em comparação com os dados observados principalmente em relação aos dados estimados pelo satélite TRMM (Fig.11c).

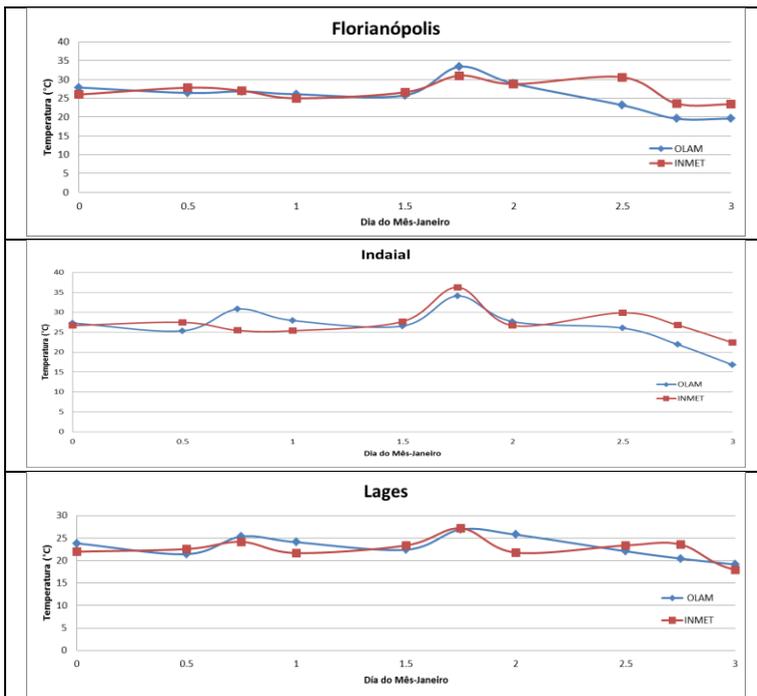
*Figura 11 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA.*



### 4.1.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

A Figura 12 ilustra a previsão de temperatura gerada pelo modelo para três estações meteorológicas da rede do Instituto Nacional Meteorologia (INMET). A comparação da previsão com os dados observados mostram que em geral o modelo representa a evolução das condições de temperatura da superfície de forma conveniente. No entanto as temperaturas previstas ficam mais frias principalmente a partir do terceiro dia de previsão, em especial nas estações meteorológicas de Florianópolis e Indaial.

Figura 12 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.



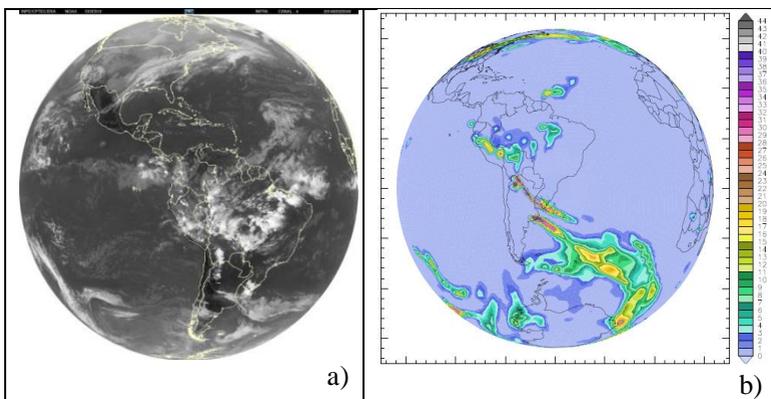
## 4.2 PERÍODO DE 01-03 FEVEREIRO 2014

### 4.2.1 Análise de Grande Escala

Observa-se na Figura 13 a atuação de uma frente fria que desloca pelo Oceano Atlântico adjacente, ligado a um centro de baixa pressão com valor central de 992 hPa.

Neste período a análise sinótica mostra que este sistema frontal recebeu fluxo de baixos níveis da atmosfera (850 hPa) que advectou ar quente e úmido da Amazônia, o que reforçou a propagação de áreas de instabilidade sobre a província de Buenos Aires, Uruguai, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Em níveis altos da atmosfera (200 hPa), o Jato Subtropical encontrava-se posicionado ao sul do Uruguai. Nos níveis médios da atmosfera, observou-se a formação de um cavado (área de baixa pressão alongada), associado ao deslocamento da frente fria. Ao longo do período, a frente fria deslocou-se sobre o Atlântico, ocasionando chuva acompanhada de trovoadas sobre o sudeste do Rio Grande do Sul e Uruguai.

*Figura 13 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-02-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*

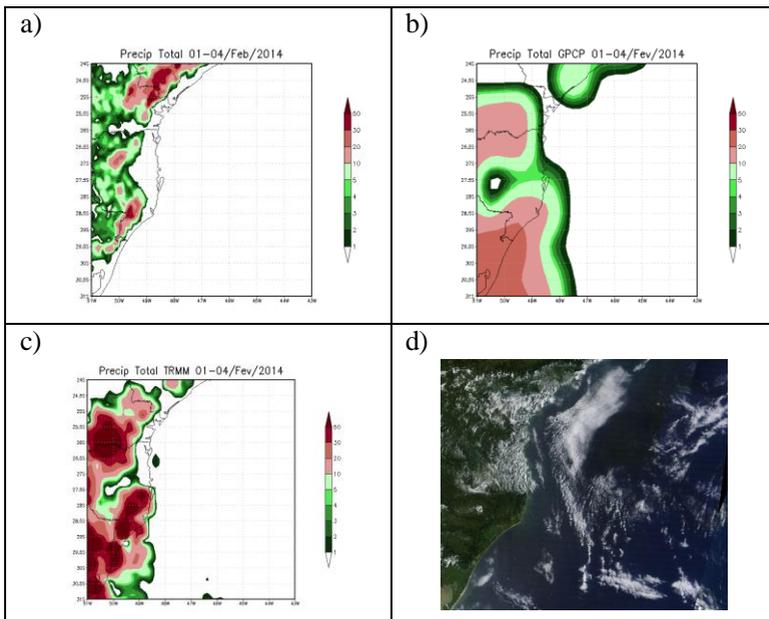


Os resultados do modelo OLAM para o período mostram acumulo de precipitação em grande parte do Uruguai e parte do Atlântico Sul, concordando com o avanço do sistema frontal (Fig.13b).

#### 4.2.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

A Figura 14 apresenta dados de precipitação prevista pelo modelo (Fig.14a), campos observados pelo GPCP e TRMM (Figs.14b-c) e imagem do satélite TERRA (Fig.14d). Podemos observar para o período de análise que existe uma subestimação da precipitação acumulada principalmente na região sul da Grande Florianópolis e Litoral em comparação com os dados observados do satélite TRMM (Fig.14c).

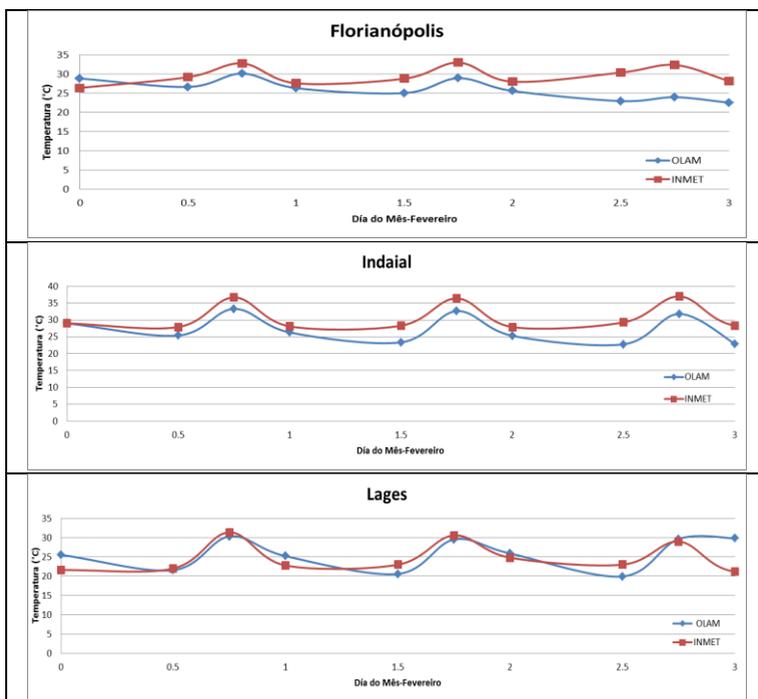
*Figura 14 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-02-2014.*



### 4.2.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

A Figura 15 mostra que o modelo representa de forma satisfatória a variação da temperatura durante os primeiros dois dias. Observam-se temperaturas mais frias principalmente a partir do terceiro dia de previsão nas estações de Florianópolis e Indaial. Para a cidade de Lages o modelo simula bem a variação temporal durante todo o período, superestimando no último dia.

*Figura 15 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.*



### 4.3 PERÍODO DE 01-03 MARÇO 2014

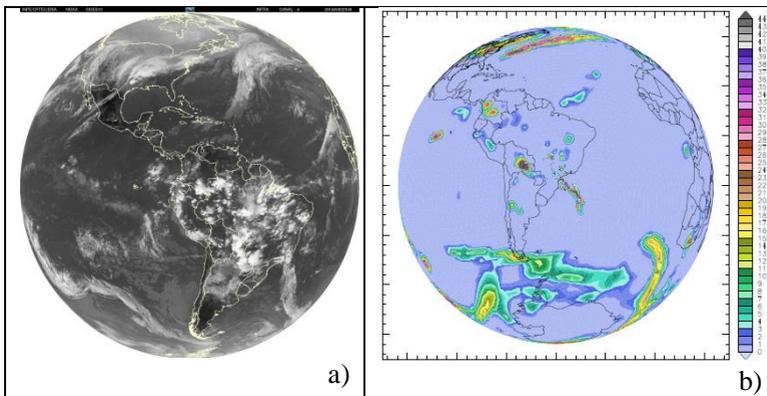
#### 4.3.1 Análise de Grande Escala

Durante o período de estudo, a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) estava ligada a um sistema frontal no Litoral do Sudeste do Brasil, com núcleo central de 1008 hPa em estágio maduro em deslocamento sobre o Oceano Atlântico, provocando nuvens com grande desenvolvimento vertical entre o Litoral Norte de Santa Catarina, se estendendo pelo Litoral do Paraná, ocasionando chuva moderada (Fig.16a).

A análise sinótica do período indicou que na média e alta troposfera um vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) avançava ao sul do Paraguai e centro leste Argentino, favorecendo a formação de nebulosidade. O Jato Subtropical influenciou a região norte da Argentina e oeste de Santa Catarina.

Nos primeiros dias houve precipitação moderada no Litoral Norte e Vale do Itajaí, devido à passagem dos sistemas citados anteriormente.

*Figura 16 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-03-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*

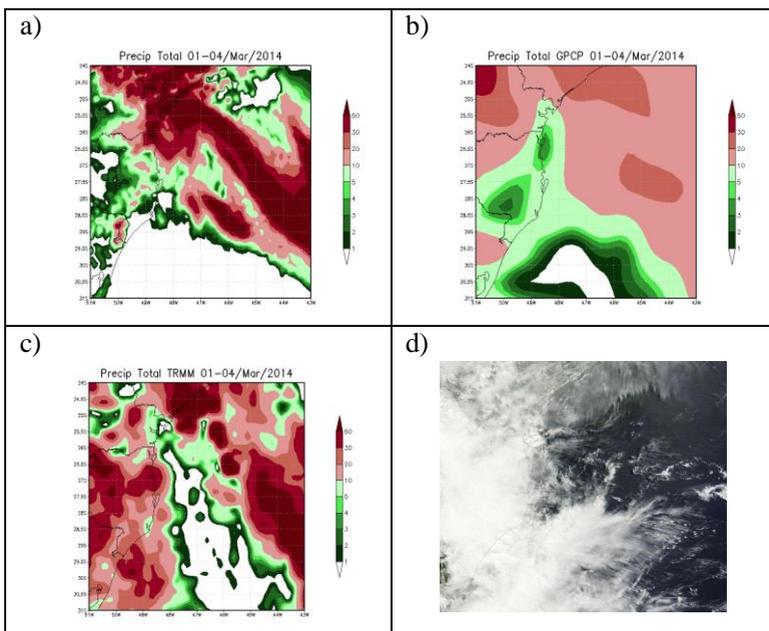


Os resultados do modelo OLAM (Fig.16b) mostram a precipitação acumulada na região do Paraguai e em frente ao Litoral do Sudeste do Brasil, em concordância com os sistemas atuantes durante este período.

### 4.3.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

O modelo representa de forma satisfatória a precipitação acumulada durante o período, porem não consegue uma boa distribuição espacial da precipitação na região central e Litoral de Santa Catarina, em comparação com os dados observados pelo TRMM (Fig.17c). Em comparação com os dados do GPCP (Fig.17b) o modelo apresenta concordância na região Continental e Litorânea.

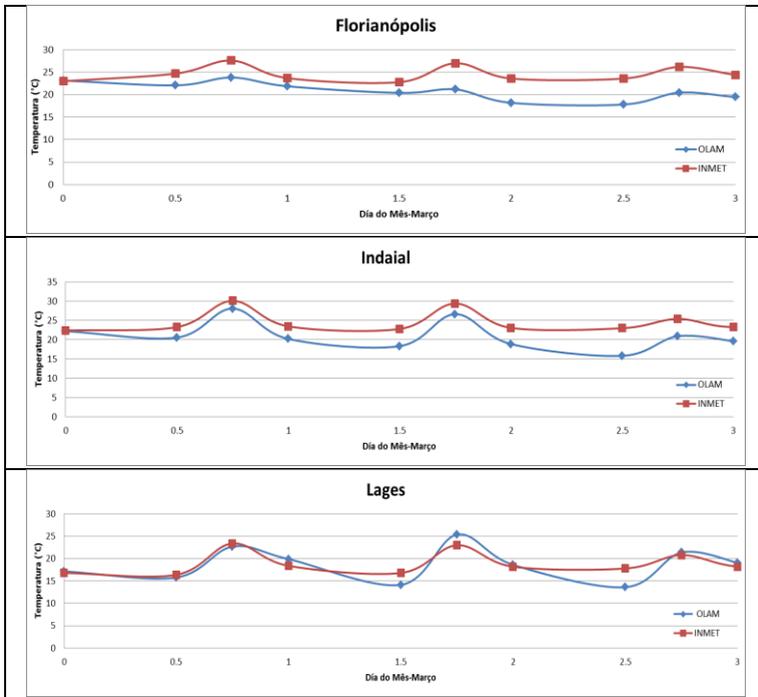
Figura 17 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 04-03-2014.



### 4.3.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

Para as três cidades o modelo mostrou uma boa variação espacial da temperatura em comparação com os dados observados, porém para as estações de Florianópolis e Indaial teve uma subestimação dos valores (Figura 18).

Figura 18 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.



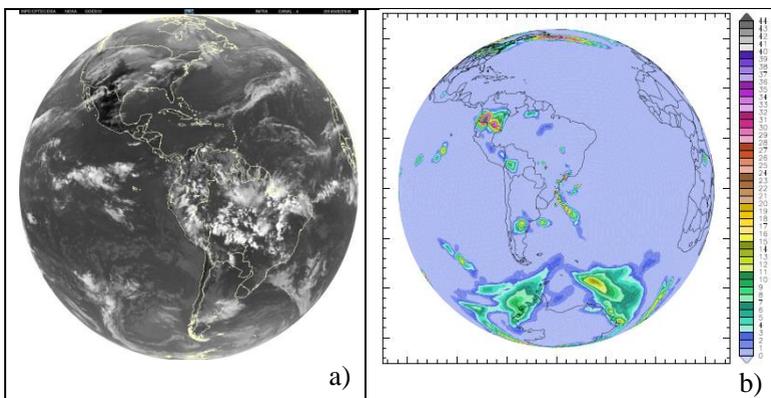
#### 4.4 PERÍODO DE 01-03 ABRIL 2014

##### 4.4.1 Análise de Grande Escala

Uma frente estacionária encontra-se no Litoral Sul do Brasil (Fig.19a), e se estende progressivamente ao longo do Oceano Atlântico adjacente com seu ramo frio ligado a uma frente oclusa, associado a um ciclone extratropical com núcleo de 960 hPa influenciado pelo escoamento baroclínico (superfície de pressão com temperaturas diferentes). Um cavado invertido (escoamento de ventos de leste para oeste) provoca instabilidade na região do Litoral de Santa Catarina, gerando nuvens baixas (estratificadas) que ocasionam chuva intermitente entre Grande Florianópolis, Vale do Itajaí e no Oceano Atlântico.

De acordo com a análise sinótica, em altos níveis o Jato Subtropical (JST) influenciava o centro norte da Argentina, Uruguai e sul de Rio Grande do Sul, provocando núcleos de trovoadas na Província de Buenos Aires.

*Figura 19 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-04-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*

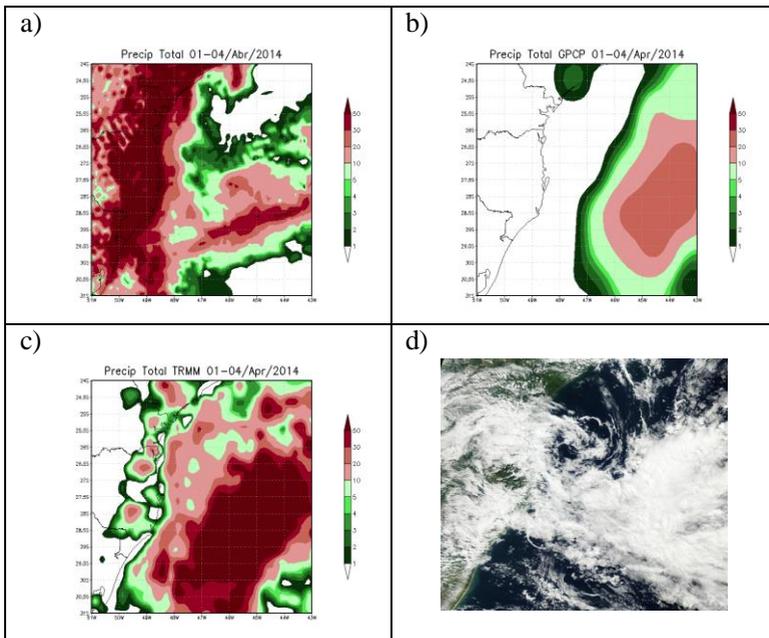


A Figura 19.b mostra precipitação acumulada na região do Litoral de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, concordando com os sistemas observados.

#### 4.4.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

O modelo simula corretamente a precipitação acumulada em comparação com os dados observados do TRMM (Fig.20c). Para este caso o modelo tem um deslocamento da precipitação acumulada na região continental (Fig.20a).

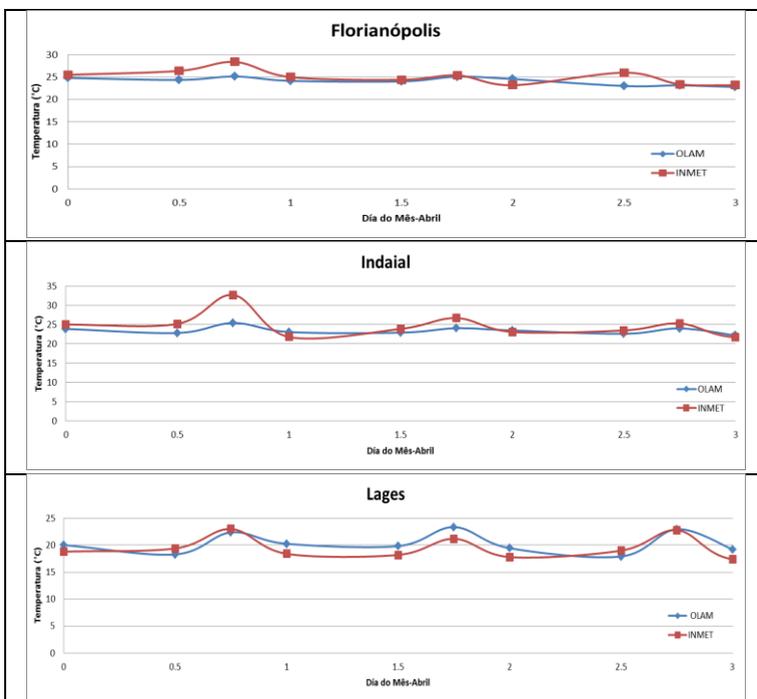
*Figura 20 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 02-04-2014.*



### 4.4.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

Para este período o modelo representa de forma satisfatória a variação da temperatura para todas as cidades. Em particular para a cidade de Lages durante o segundo dia o modelo apresentou um leve aumento em comparação com os dados observados (Figura 21, abaixo).

Figura 21 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.



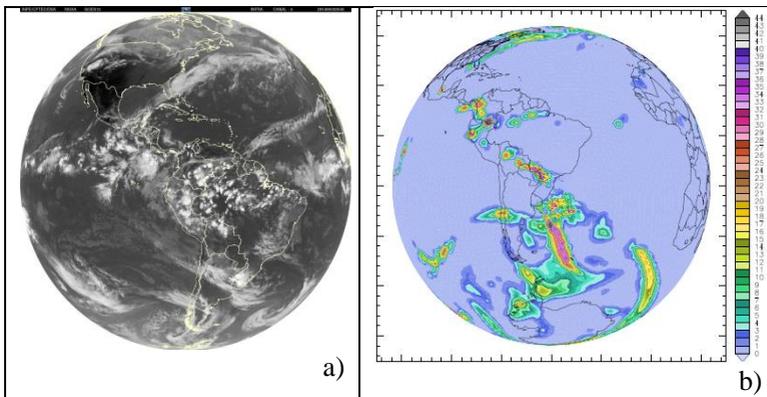
#### 4.5 PERÍODO DE 01-03 MAIO 2014

##### 4.5.1 Análise de Grande Escala

Uma frente fria, associada a um ciclone extratropical centrado no Oceano Atlântico, na altura do Uruguai, com valor de 996 hPa, avança pelo Oeste de Santa Catarina, ocasionando pancadas de chuva acompanhadas de trovoadas. Na retaguarda deste sistema, uma massa de ar seco e frio influencia as condições atmosféricas da região de Uruguai e Argentina, começando a transportar ar frio pelo extremo Oeste de Santa Catarina e sul do Paraguai, favorecendo a formação de nevoeiros (Fig.22a).

Análise sinótica para o período mostrou que em níveis altos da atmosfera, o Jato Subtropical dava suporte a frente fria. Esse sistema deslocou-se rapidamente sobre o Litoral de Santa Catarina, provocando chuva acompanhada de trovoadas em todo o Estado. Podemos observar na Figura 22.b que a precipitação acumulada gerada pelo modelo esta de acordo com o sistema atuante durante o período.

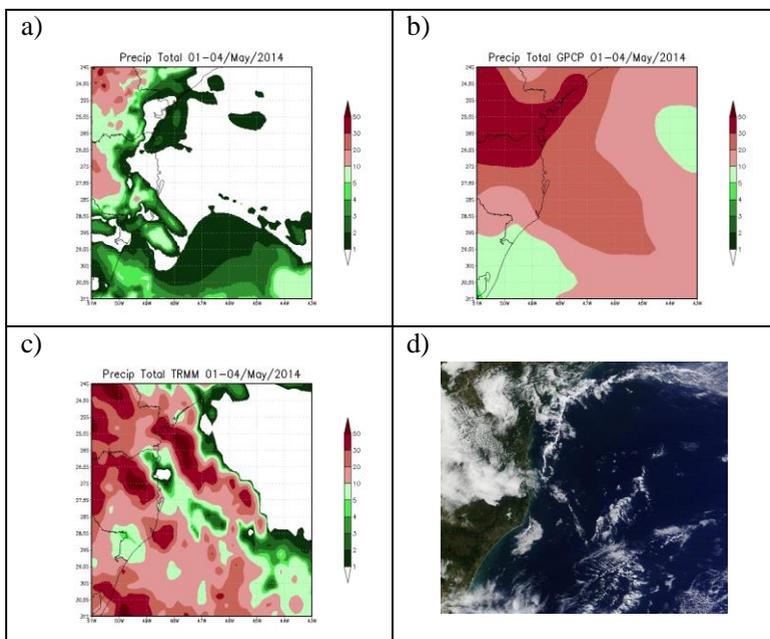
Figura 22 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 03-05-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.



### 4.5.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

Em comparação com os dados observados (Fig.23b-c) o modelo subestima a precipitação acumulada na região continental e parte da região oceânica do Litoral sul do estado (Fig.23a).

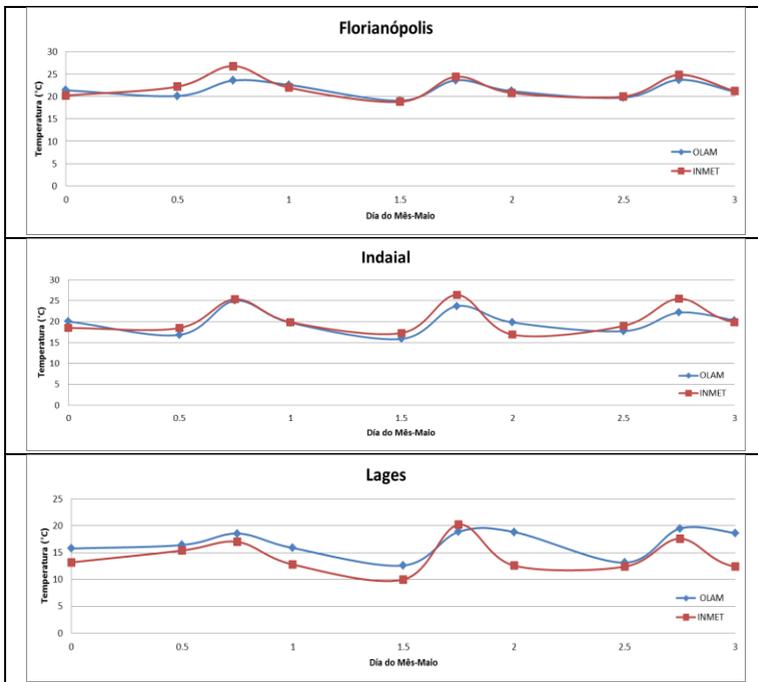
*Figura 23 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-05-2014.*



### 4.5.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

Para as cidades de Florianópolis e Indaial o modelo representa corretamente a variação temporal da temperatura durante todo o período. Para a cidade de Lages também represento de forma correta a variação espacial de a temperatura, porem subestima a partir do primeiro dia (Figura 24, abaixo).

Figura 24 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.



## 4.6 PERÍODO DE 01-03 JUNHO 2014

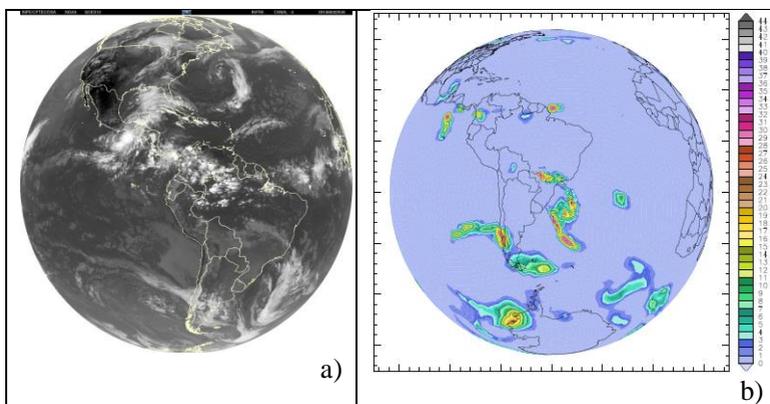
### 4.6.1 Análise de Grande Escala

Um sistema frontal avança pelo Estado de Santa Catarina, associado a um sistema de baixa pressão de 1008 hPa no Oceano Atlântico adjacente (Fig.25a), provocando núcleos de tempestade sobre todo o Estado com registro de granizo. Uma alta pressão, pós- frontal com valor de 1016 hPa provocou subsidência de ar em superfície, mantendo condições de estabilidade com céu claro e poucas nuvens.

As condições sinóticas do período mostravam que na alta troposfera, o Jato Subtropical dava suporte a frente fria. O Jato Polar (JP) estava entre o centro da Argentina, oeste do Uruguai, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

O modelo previu para o Estado de Santa Catarina chuva mal distribuída e valores pouco significativos, com o maior volume na região oceânica em frente ao Litoral (Fig.25b).

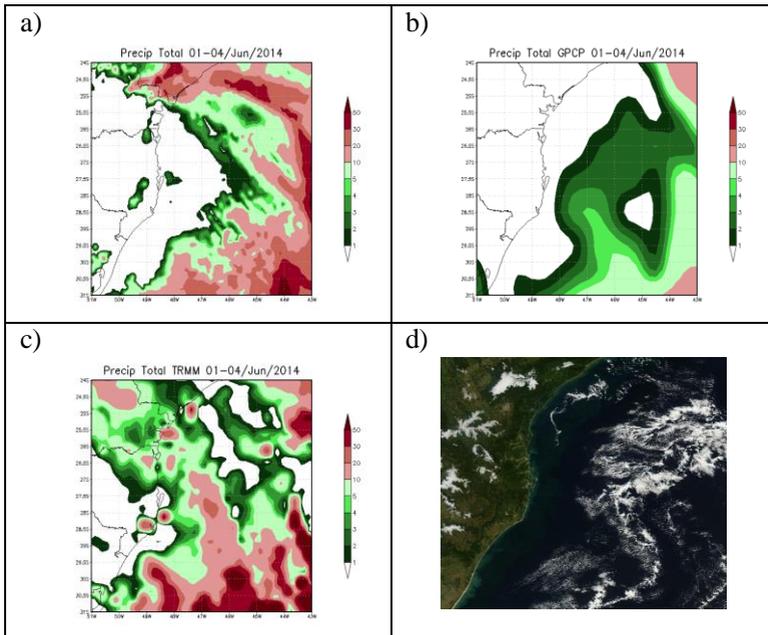
*Figura 25 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-06-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*



#### 4.6.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

Podemos observar que o modelo (Fig.26a) simulou bem os campos de precipitação na região oceânica comparado com os dados observados do GPCP (Fig.26b). Em comparação com os dados do TRMM (Fig.26c) o modelo prevê bem a localização de precipitação na região Litorânea do sul do Paraná como também a distribuição da precipitação acumulada para o período de estudo.

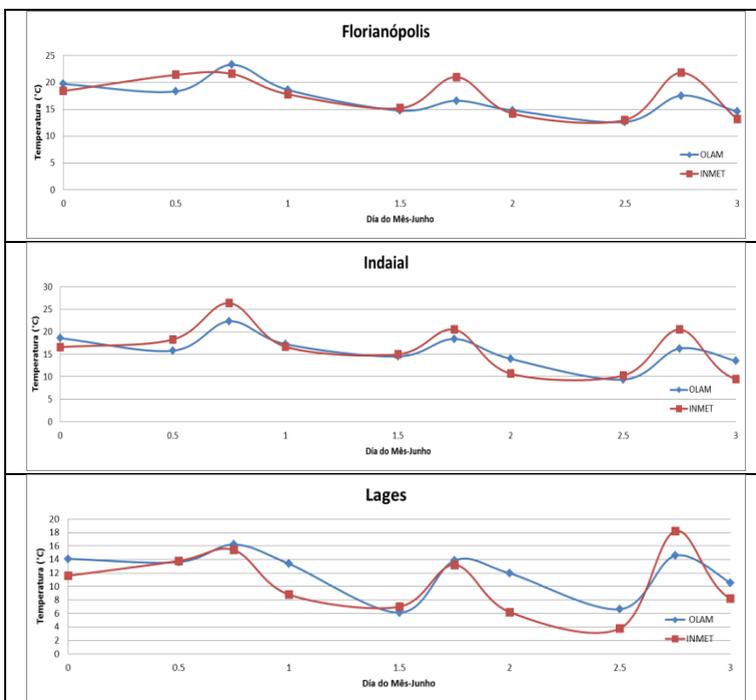
Figura 26 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-06-2014.



### 4.6.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

A Figura 27 mostra que o modelo consegue representar razoavelmente a variação da temperatura em todas as estações. Em particular para a cidade de Lages para o primeiro e segundo dia as temperaturas estão mais frias (Fig.27, abaixo).

Figura 27 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.



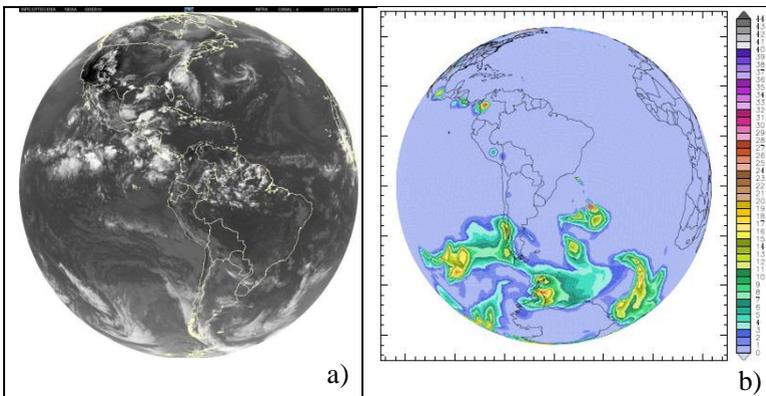
## 4.7 PERÍODO DE 01-03 JULHO 2014

### 4.7.1 Análise de Grande Escala

Um ciclone extratropical sobre o Oceano Atlântico, na altura do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com núcleo central de 1000 hPa, provoca o transporte de umidade sobre o litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, ocasionando nebulosidade baixa. Um sistema de alta pressão atua sobre o Rio Grande do Sul, inibindo a formação de nuvens (Fig.28a). Não houve precipitação acumulada significativa sobre o Estado de Santa Catarina.

A análise sinótica indicou que em altos níveis da atmosfera, o Jato subtropical influenciava o norte da Argentina. O Jato Polar atuava sobre o centro da Argentina. A baixa do noroeste Argentino recebeu uma grande quantidade de ar quente e úmido proveniente do Jato de Baixos Níveis da região amazônica. Este sistema provocou a ocorrência de um cavado em superfície no sul do Paraguai, nordeste da Argentina e Rio Grande do Sul.

*Figura 28 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 03-07-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*

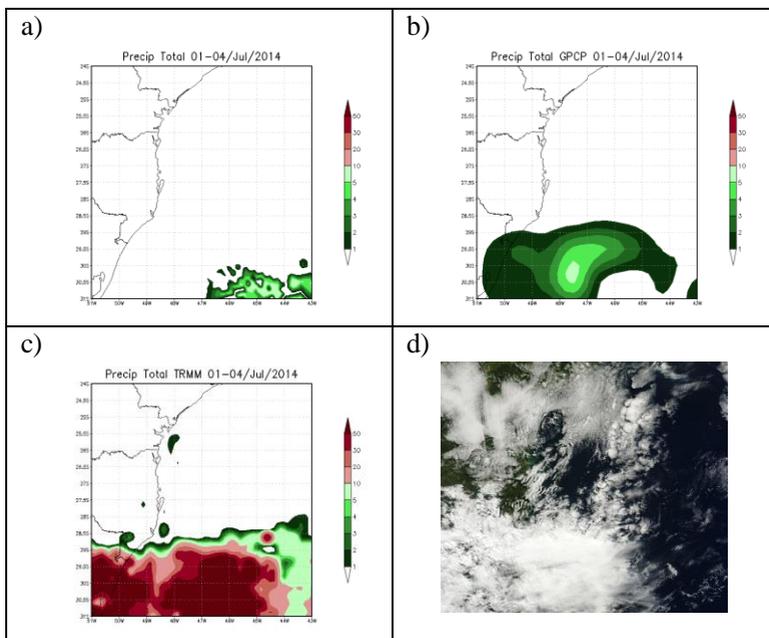


O modelo não mostrou precipitação durante o período na região Sul do Brasil, concordando com a situação relatada (Fig.28b).

#### 4.7.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

A Figura 29 mostra que o modelo representa satisfatoriamente a distribuição espacial da precipitação na região oceânica, porem não mostrou precipitação na região litoral do sul do Estado em comparação com os dados do TRMM e GPCP (Fig.29b-c).

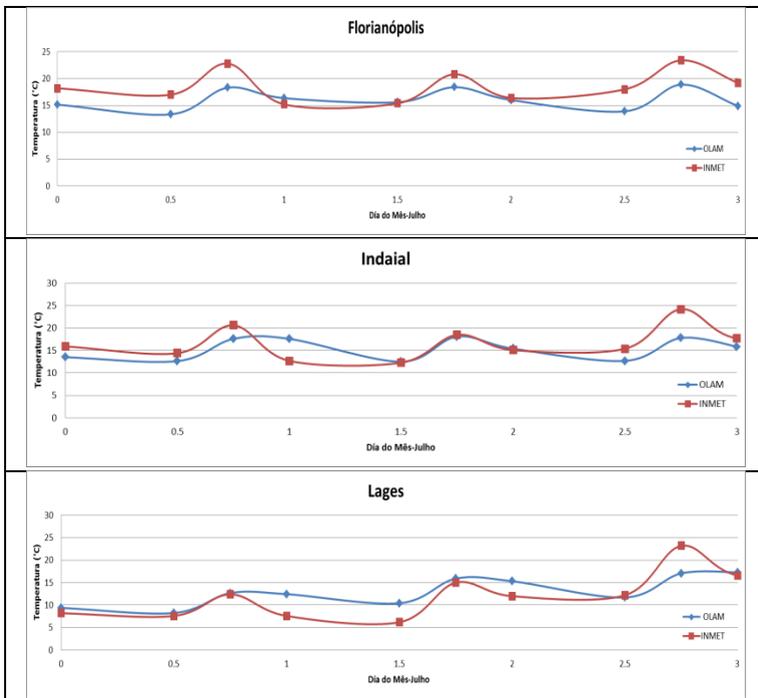
Figura 29 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-07-2014.



### 4.7.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

Observamos na Figura 30 que para os primeiros dias o modelo apresentou temperaturas mais frias para Florianópolis e Indaial, já para a cidade de Lages o primeiro dia coincidiu com os valores observados, superestimando para o segundo dia e subestimando para o terceiro (Fig.30, abaixo).

Figura 30 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.

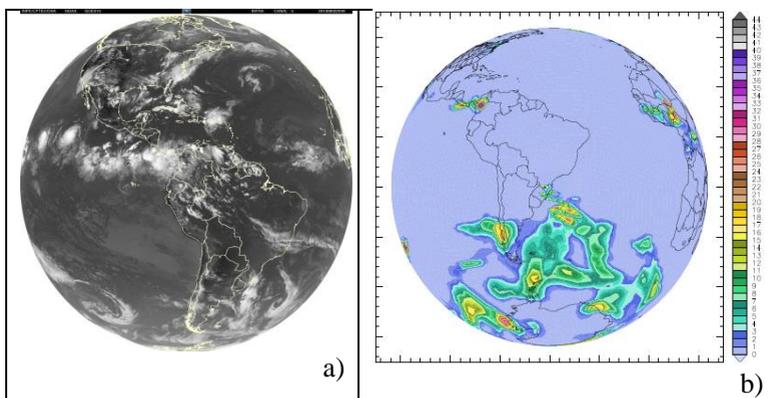


## 4.8 PERÍODO DE 01-03 AGOSTO 2014

### 4.8.1 Análise de Grande Escala

Podemos observar na Figura 31.a um sistema frontal acoplado a um centro de baixa pressão em oclusão, com núcleo pontual de 1004 hPa, que se desloca ao longo do oceano atlântico adjacente, na altura da Argentina. Este sistema mantém uma banda de nebulosidade sobre o Litoral de Santa Catarina, ocasionando chuva fraca em pontos isolados. Nas demais regiões de Santa Catarina, o ar seco mantém o predomínio de sol com algumas nuvens. Um sistema de baixa pressão, sobre o noroeste da Argentina, favorece um cavado estendido sobre o Paraguai. O sistema frontal comentado anteriormente consegue avançar em parte do Litoral do Rio Grande do Sul, provocando áreas de instabilidades acompanhadas de pancadas de chuva com trovoadas (Fig.31a).

*Figura 31 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-08-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*



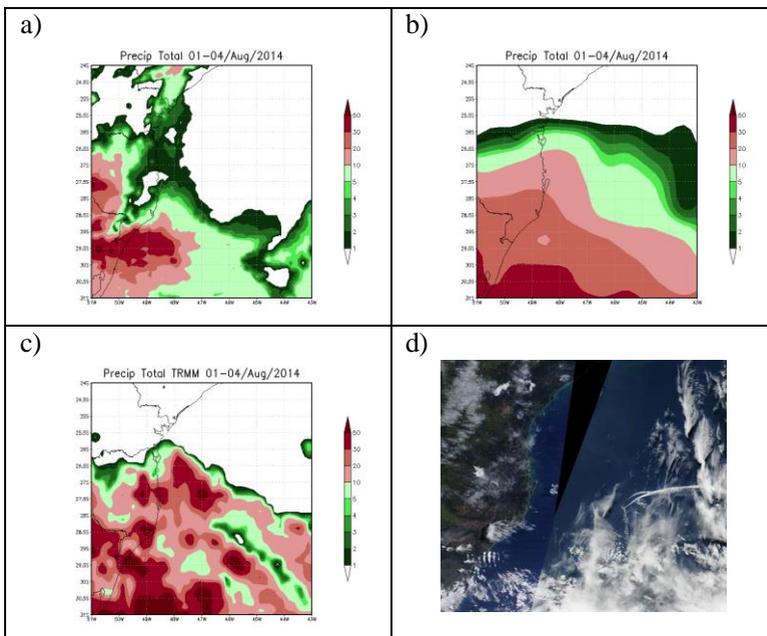
As análises sinóticas indicaram perturbações na média atmosfera, gerando áreas de instabilidade ao longo do período da tarde sobre os setores do Oeste e Extremo Oeste de Santa

Catarina. Na alta troposfera, observou-se a atuação do Jato subtropical, que influenciou o Norte da Argentina. Os resultados do modelo mostram acumulo de precipitação em grande parte do Oceano Atlântico Sul, Santa Catarina e Sul da Argentina, concordando com o avanço do sistema frontal (Fig. 31b).

#### 4.8.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

Notamos na Figura 32 que o modelo OLAM (Fig.32a) simulou bem os campos de precipitação na região do estado de Santa Catarina, subestimando chuva na região litorânea e oceânica em comparação com os dados observados do satélite TRMM (Fig.32b).

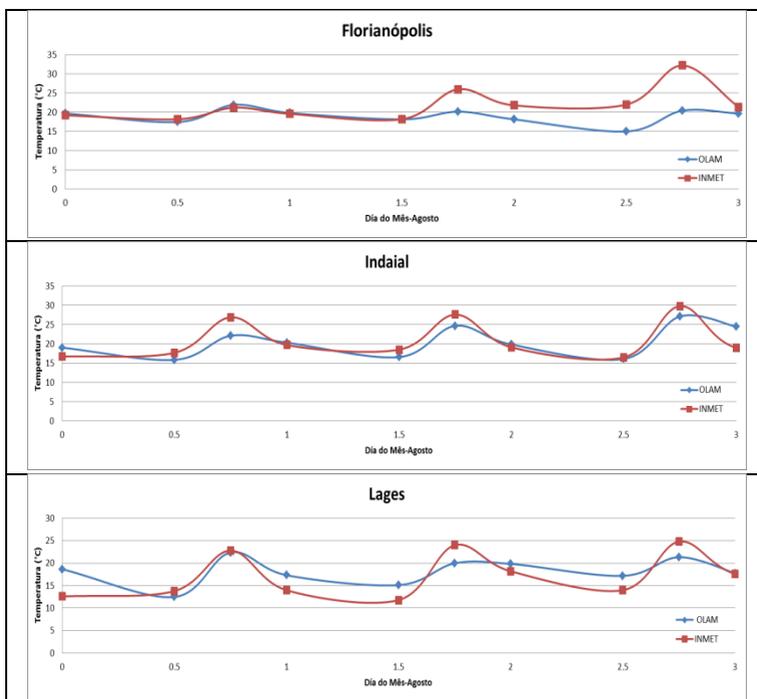
*Figura 32 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-08-2014.*



### 4.8.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

Observamos na Figura 33 que o modelo representa bem as variações da temperatura para as três cidades. Em Florianópolis as temperaturas simuladas ficaram mais frias a partir do segundo dia e a cidade de Lages teve alguns períodos de temperaturas mais quentes.

Figura 33 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.

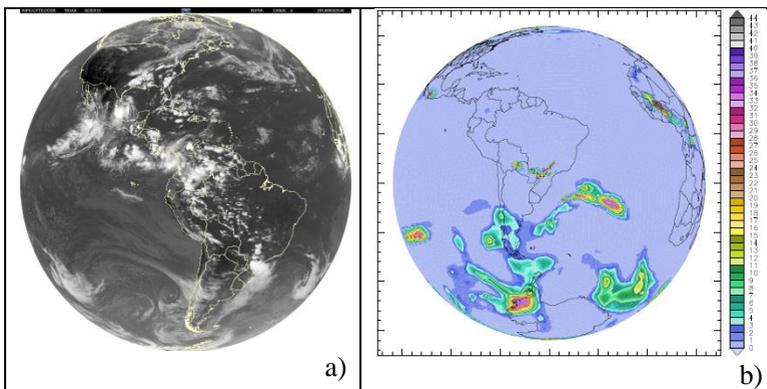


#### 4.9 PERÍODO DE 01-03 SETEMBRO 2014

##### 4.9.1 Análise de Grande Escala

Observamos a atuação de uma onda frontal entre a faixa leste do Rio Grande do Sul e Atlântico adjacente, que propaga ao longo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Um cavado de onda curta foi observado sobre o Litoral de São Paulo. A baixa do noroeste Argentino, encontrava-se intensificada e ampla, com valor central de 1000 hPa. Além disso, a umidade advectada da região Amazônica (ar quente e úmido) é também um dos fatores responsáveis por alimentar este sistema. Aliado a este sistema, um cavado em superfície se propaga sobre o Oeste e Meio Oeste de Santa Catarina, ocasionando pancadas de chuva acompanhada de descargas elétricas (raios), granizo e fortes rajadas de vento. Núcleos de instabilidade do centro ao leste do Mato Grosso do Sul foram observados, devido a áreas de baixa pressão no Centro-Sul da Bolívia e circulação marítima (transporte de umidade do mar para o continente) no Litoral de Santa Catarina, devido à alta pressão no oceano na altura do Rio Grande do Sul (Fig.34a).

*Figura 34 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-09-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*

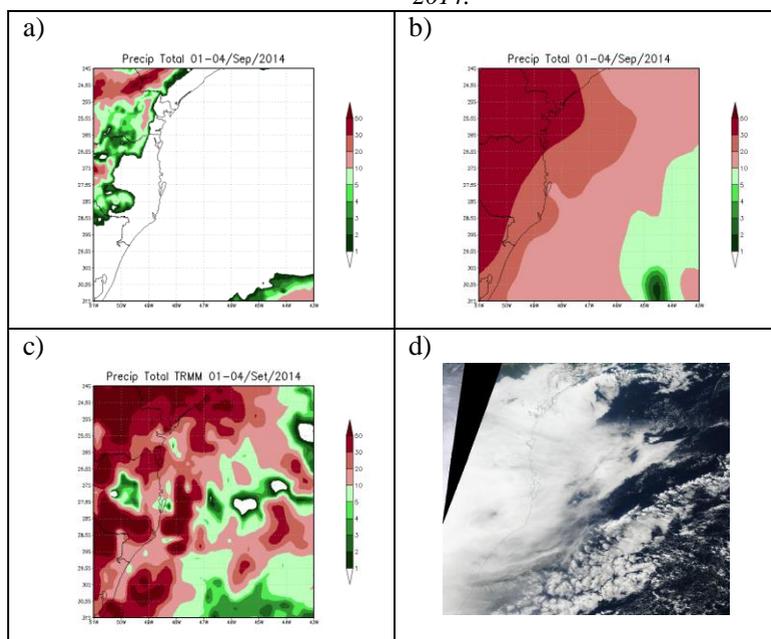


Análise sinótica indica que na média e alta troposfera, um cavado em 500 hPa se propagava sobre o Rio Grande do Sul e o Jato Subtropical foi observado passando pelo Uruguai, se estendendo para o oceano. A precipitação acumulada gerada pelo modelo (Fig.34b) representa claramente a atuação desses sistemas que causaram precipitação; sobretudo nas regiões do Oeste e Meio Oeste de Santa Catarina e Sul do Paraná.

#### 4.9.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

A Figura 35 mostra que o modelo conseguiu representar a precipitação na região continental (Fig.35a), porém não simulou bem a precipitação na região litorânea comparado com os dados observados (Fig.35b-c).

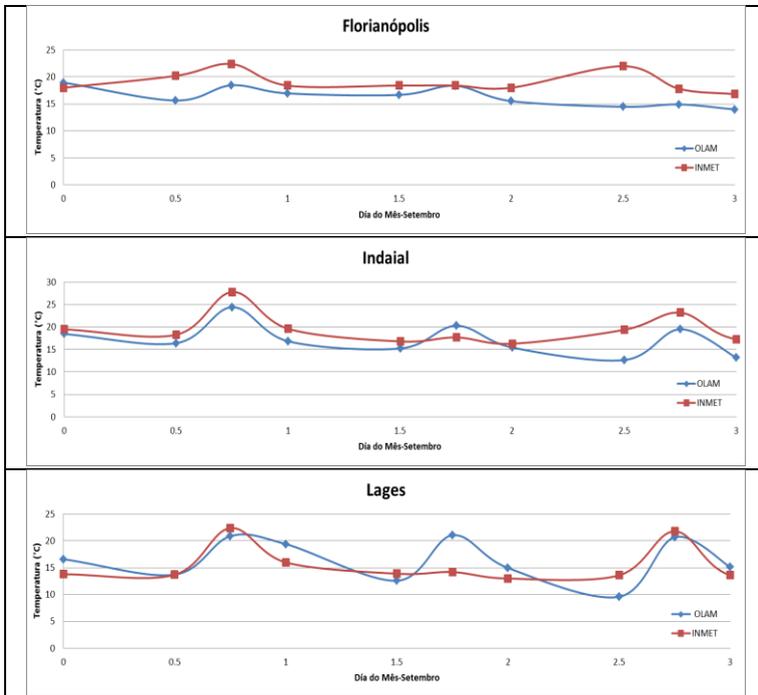
*Figura 35 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 02-09-2014.*



### 4.9.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

A Figura 36 mostra que para este período teve muitas diferenças entre os valores observados e os previstos pelo modelo; em particular após o primeiro dia teve muitas variações, já para o final do período represento as variações satisfatoriamente.

Figura 36 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.

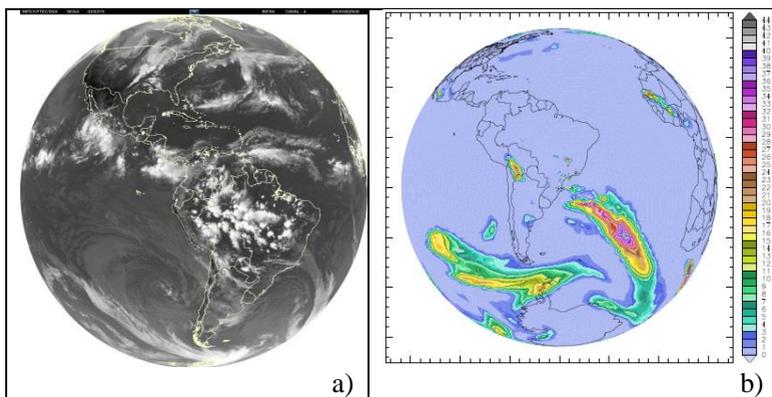


#### 4.10 PERÍODO DE 01-03 OUTUBRO 2014

##### 4.10.1 Análise de Grande Escala

Observa-se na Figura 37.a a atuação de uma frente estacionária que se estende sobre o território Argentino e Rio Grande do Sul até um centro de baixa pressão de 1008 hPa no Oceano Atlântico adjacente. Este sistema passa sobre o Estado catarinense ao longo dos três primeiros dias do mês, provocando a formação de núcleos convectivos (temporais) entre o Oeste, Meio Oeste e faixa leste do Estado. Na retaguarda deste sistema, um centro de alta pressão pós-frontal (massa de ar seco e frio), com valor central de 1028 hPa, inibe a formação de nuvens em praticamente todas as regiões do Sul do Brasil.

*Figura 37 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-10-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*



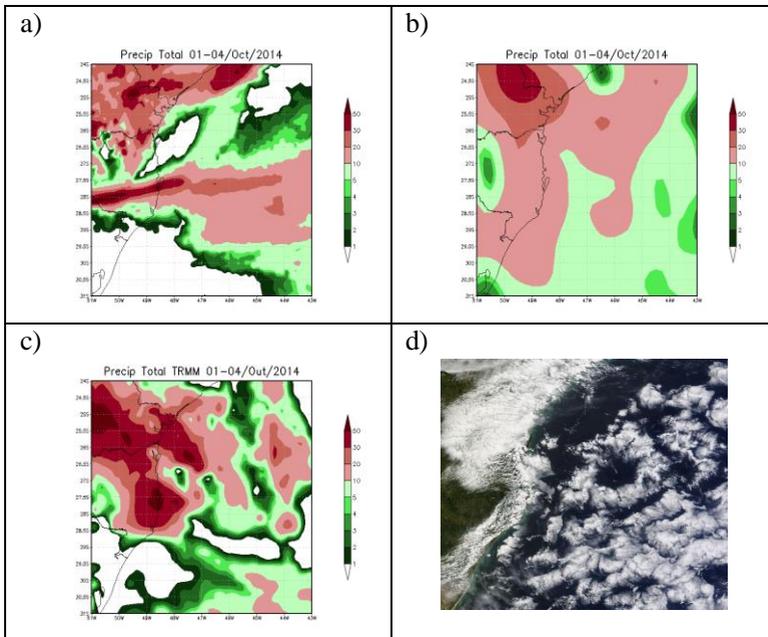
As condições sinóticas indicaram que na alta troposfera, o Jato Subtropical estava zonal sobre o Norte da Argentina.

A Figura 37.b mostra que o modelo representou bem os principais focos de precipitação que ocorreram neste período, sobretudo os que ocorreram na faixa leste de Santa Catarina.

#### 4.10.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

Os resultados do modelo (Fig.38a) mostram que os campos de precipitação coincidem com os dados observados (Fig.38b-c), principalmente nas áreas onde teve maior acumulo da precipitação.

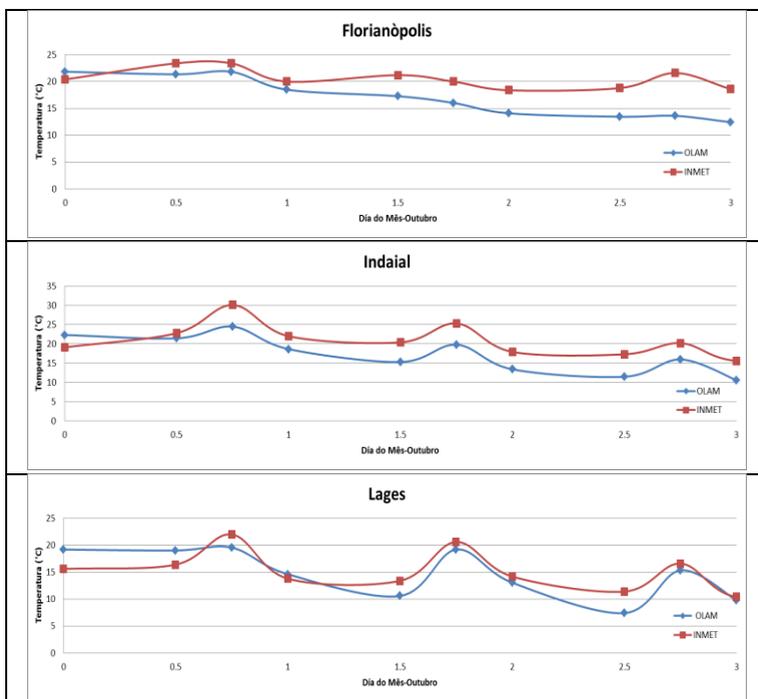
Figura 38 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 03-10-2014.



### 4.10.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

Em este caso percebemos que inicialmente o modelo superestima as temperaturas no início do período (Figura 39). Logo após o primeiro dia consegue representar satisfatoriamente a variação temporal porem indicando temperaturas mais frias para as três cidades.

Figura 39 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.



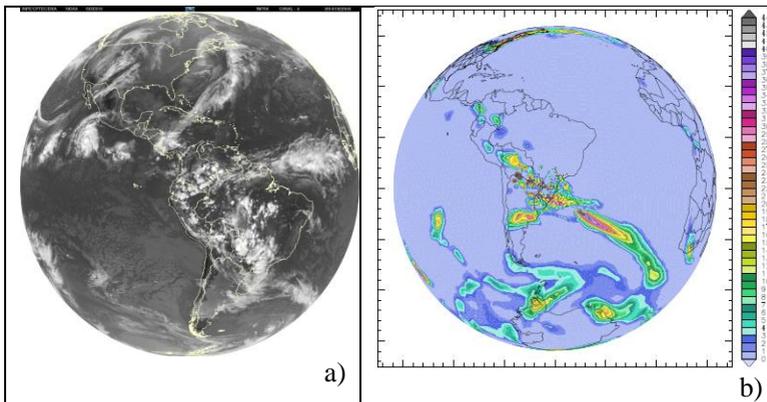
#### 4.11 PERÍODO DE 01-03 NOVEMBRO 2014

##### 4.11.1 Análise de Grande Escala

A presença de áreas de instabilidade, associadas a uma frente estacionária, que influenciava o Uruguai, Argentina e Extremo Sul do Rio Grande do Sul, segue pelo Atlântico adjacente até uma baixa pressão de 1008 hPa. Durante os três primeiros dias da primeira quinzena de novembro, o sistema, provocou a formação de núcleos de tempestades entre Meio Oeste, Planalto Sul e Planalto Norte de Santa Catarina, devido ao aquecimento pré-frontal, associado à convecção e a termodinâmica da atmosfera (Fig.40a).

A análise sinótica mostrou que a formação de um SCM (Sistema Convectivo de Mesoescala) também influenciou a distribuição de chuva em Santa Catarina.

*Figura 40 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-11-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*



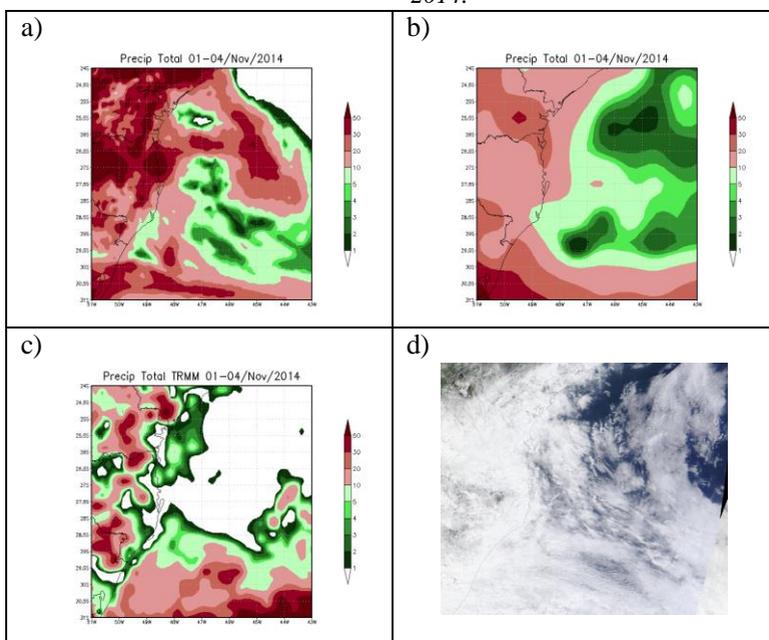
Já nos níveis altos da atmosfera, observou-se a atuação do Jato Subtropical entre a Argentina e Uruguai. Sobre o Sul do Brasil, observou-se o eixo de um cavado, entre o Oeste do Paraná e Norte do Rio Grande do Sul, que juntamente com o escoamento

de oeste associado ao Jato Subtropical, favorece o levantamento do ar convectivo, aumentando a instabilidade sobre essas áreas. A Figura 40.b mostra que o modelo consegue representar satisfatoriamente os campos de precipitação, concordando com os sistemas atuantes observados.

#### 4.11.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

Os dados obtidos pelo modelo (Fig.41a) coincidem espacialmente com os dados observados do GPCP (Fig.41b) superestimando em algumas áreas. Em comparação com os dados do TRMM (Fig.41c) o modelo apresentou precipitação em todo o Litoral de Santa Catarina.

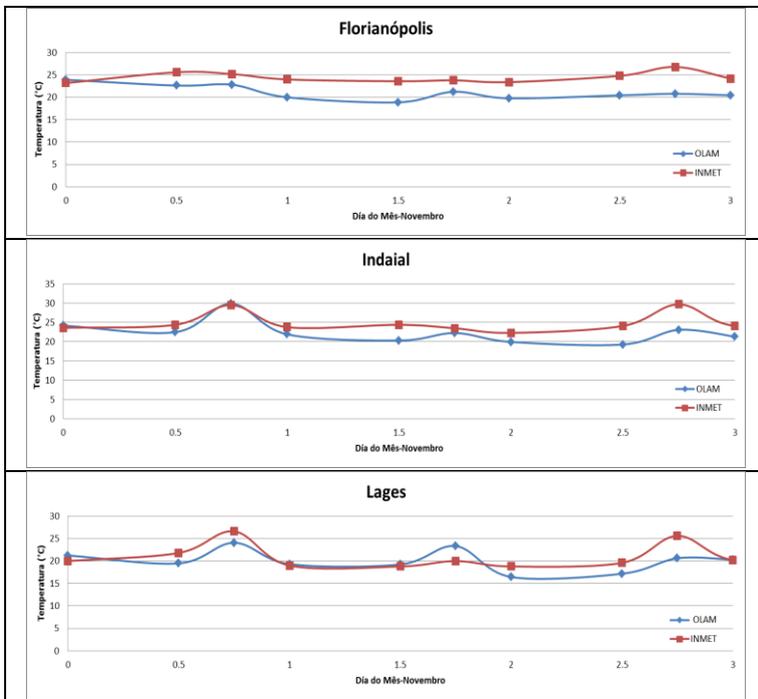
*Figura 41 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 02-11-2014.*



### 4.11.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

A Figura 42 mostra que o modelo representou bem as variações da temperatura para as cidades de Indaial e Lages. Para o caso de Florianópolis o modelo mostrou temperaturas mais frias desde o início.

Figura 42 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.



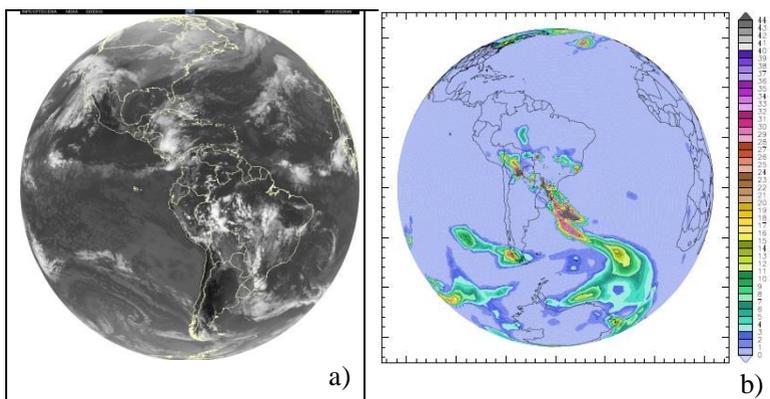
## 4.12 PERÍODO DE 01-03 DEZEMBRO 2014

### 4.12.1 Análise de Grande Escala

Uma frente fria, atua entre a Argentina, Uruguai e Rio Grande do Sul, se estendendo até um centro de baixa pressão com valor central de 1008 hPa. Esse sistema influenciou Santa Catarina nos três primeiros dias de dezembro, ocasionando pancadas de chuva acompanhada de trovoadas sobre boa parte das regiões (Fig.43a).

A análise sinótica indicou que Jato de Baixos Níveis advectou ar quente úmido da região Amazônica, reforçando a frente fria e as áreas de instabilidades sobre a Região Sul do Brasil.

*Figura 43 - a) Imagem do Satélite Goes-13 do dia 02-12-2014 as 20:45 UTC no canal infravermelho. b) Precipitação acumulada no período gerado pelo modelo.*



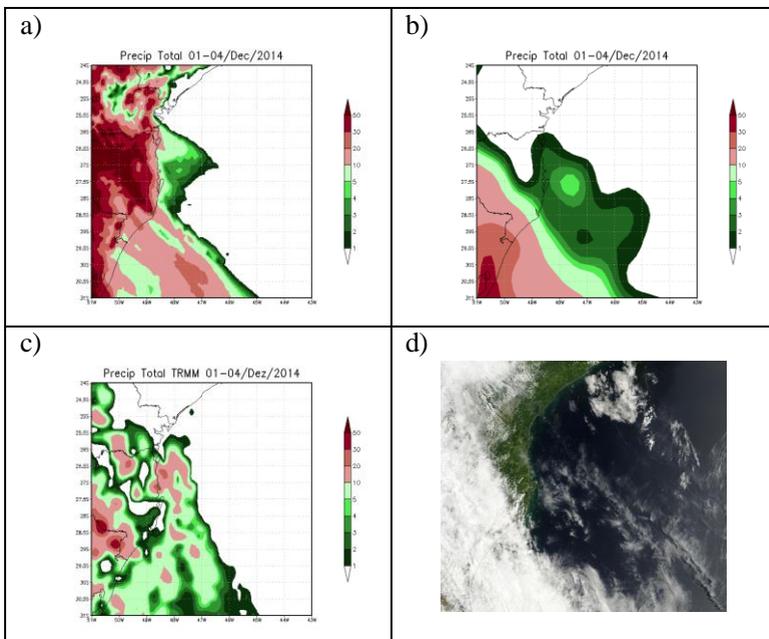
Nos níveis médios e altos da atmosfera, foi observado sobre a Região central da Argentina, um VCAN (vórtice ciclônico em altos níveis da atmosfera, onde foi detectado baroclinia significativa devido à advecção de vorticidade durante a transposição dos Andes por este sistema. Esta baroclinia é favorecida também pelo Jato Polar em altitude que ajuda a

aumentar a instabilidade. No sul do continente, observa-se o escoamento baroclínico, que tem associado a ventos fortes, como reflexo do JPN (Jato Polar Norte) e JPS (Jato Polar Sul). Resultados do modelo (Fig.43b) mostram de forma satisfatória a precipitação acumulada, a qual representa os principais eventos ocorridos no Estado de Santa Catarina.

#### 4.12.2 Avaliação da Precipitação em Santa Catarina

Observamos na Fig.44a que o modelo simulou bem a distribuição espacial da precipitação acumulada superestimando no Centro e Leste do Paraná comparado com as Figs.b-c.

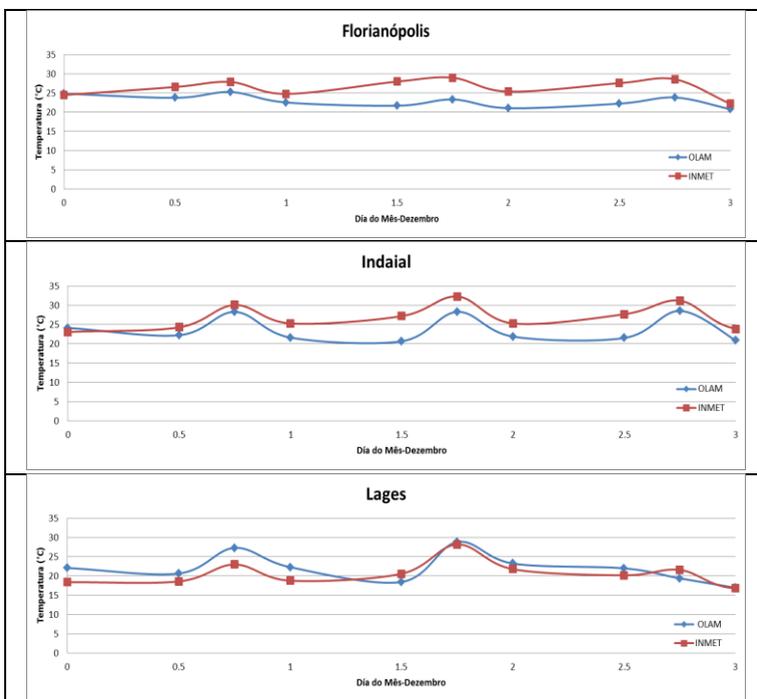
*Figura 44 - Precipitação acumulada na região de estudo, a) OLAM, b) GPCP, c) TRMM. d) Dados do satélite TERRA do dia 02-12-2014.*



### 4.12.3 Avaliação da Temperatura de Superfície

Notam-se na Figura 45 que o modelo consegue prever as variações de temperatura para as três cidades, com temperaturas mais frias para as Cidades de Florianópolis e Indaial e temperaturas mais quentes para Lages a partir do primeiro dia de análise.

Figura 45 - Comparações entre a temperatura prevista pelo modelo e a observada nas estações meteorológicas.



#### 4.13 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PREVISÃO DA TEMPERATURA

Análises estatísticas da evolução temporal da temperatura como correlação temporal serão usadas para comparar as previsões do modelo com os dados observados para cada período.

A partir das análises estatísticas observamos que os melhores resultados foram nas estações do inverno e outono para as três cidades (Tabela 2); isto se deve a que o modelo consegue representar melhor sistemas meteorológicos de grande escala, como por exemplo, frentes frias, em contraste com fenômenos de mesoescala que geralmente ocorrem nas estações de verão e primavera associadas a convecção local.

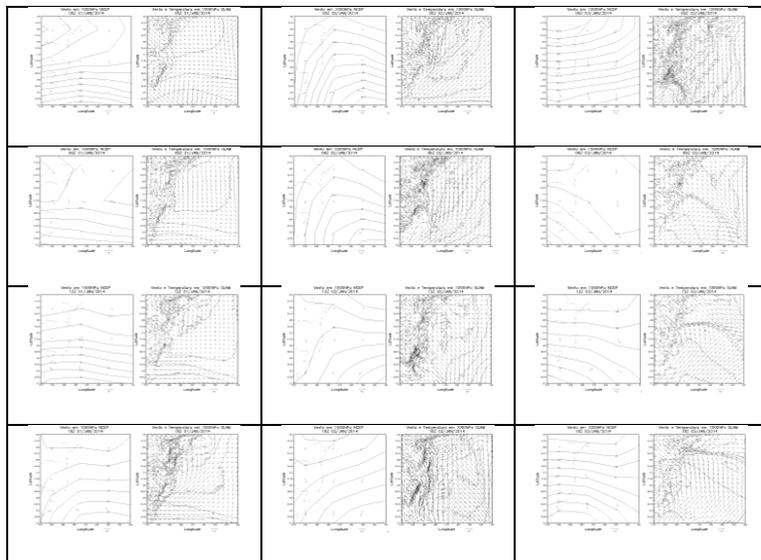
*Tabela 2 - Coeficientes de correlação temporal entre os valores observados da temperatura das estações e os valores previstos pelo modelo OLAM para os meteorogramas de temperatura.*

MÊS	CORRELAÇÃO TEMPORAL		
	FLORIANÓPOLIS	INDAIAL	LAGES
JANEIRO	0.684	0.687	0.615
FEVEREIRO	0.202	0.884	0.619
MARÇO	0.376	0.877	0.877
ABRIL	0.527	0.877	0.782
MAIO	0.862	0.854	0.666
JUNHO	0.763	0.868	0.803
JULHO	0.679	0.606	0.836
AGOSTO	0.293	0.801	0.774
SETEMBRO	0.134	0.756	0.662
OUTUBRO	0.713	0.814	0.847
NOVEMBRO	0.148	0.686	0.581
DEZEMBRO	0.390	0.777	0.793

#### 4.14 ANÁLISES ESPACIAL DOS VENTOS E TEMPERATURA EM SUPERFÍCIE

A Figura 46 mostra a comparação entre dados de reanálise do NCEP e os dados obtidos do modelo OLAM dos campos de ventos e temperatura em superfície para os três primeiros dias de Janeiro.

*Figura 466 - Campos de ventos e temperatura da superfície entre os dados de reanálises do NCEP (esquerda) e dados do modelo OLAM (direita) para os três primeiros dias do mês de Janeiro de 2014 para os horários sinóticos 00, 06, 12 e 18 UTC. Dia 01- (coluna esquerda), Dia 02-(coluna central) e Dia 03- (coluna direita). Para o caso do modelo os vetores são mostrados a cada dez pontos de grade para melhor visualização.*



Os resultados mostram que o modelo consegue representar com muito mais detalhe as variações da temperatura, direção e intensidade dos ventos, devido a sua melhor resolução espacial. Análises realizadas para os outros meses mostraram que o modelo representou esses campos com mais detalhes se comparadas com os campos de reanálises (não mostrado).

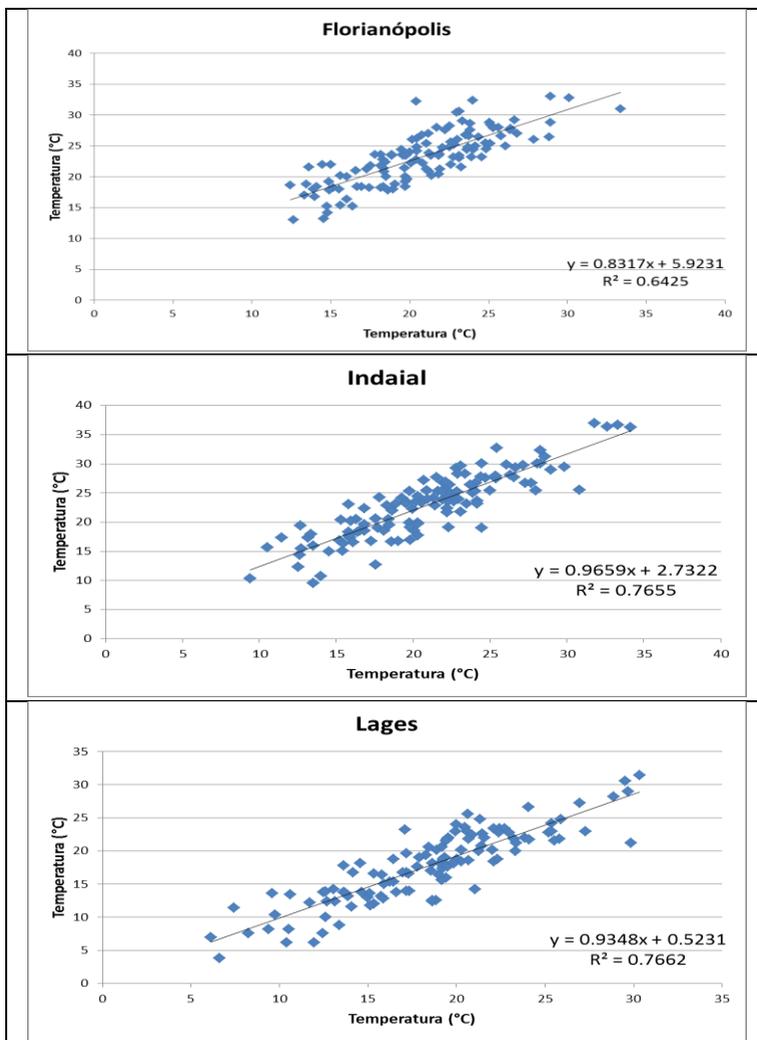
## 5 CONCLUSÕES E DISCUSSÃO FINAL

No presente estudo fizemos uma avaliação da previsibilidade do modelo OLAM para os três primeiros dias de todos os meses do ano de 2014.

Os resultados mostraram que em geral o modelo consegue representar bem os principais sistemas meteorológicos ocorridos durante as diferentes estações do ano.

As análises de correlação temporal da variação da temperatura para todos os períodos do ano (Figura 47) mostram que o modelo apresenta resultados satisfatórios para as três cidades. Os resultados para a cidade de Florianópolis apresentam temperaturas geralmente mais baixas provavelmente devido a sua localização na interface com oceano onde a heterogeneidade da superfície produz circulações locais que não são bem representadas pelas simulações com a grade de resolução utilizada (i.e. 15 km). Para as cidades continentais de Lages e Indaial o modelo apresenta melhores correlações. Para a cidade de Lages que se encontra a 884 metros de altitude os efeitos topográficos são importantes para a formação dos fenômenos locais. Contudo o modelo conseguiu reproduzir bem os efeitos orográficos obtendo resultados satisfatórios das variáveis analisadas. A cidade de Indaial que se encontra localizada em uma região continental (64 metros de altitude) onde a superfície é mais homogênea o modelo apresentou os melhores resultados de correlação de previsão de temperatura de superfície.

Figura 47 - Correlação temporal da variação da temperatura para as três estações meteorológicas do INMET durante os primeiros três dias de cada mês do ano 2014.

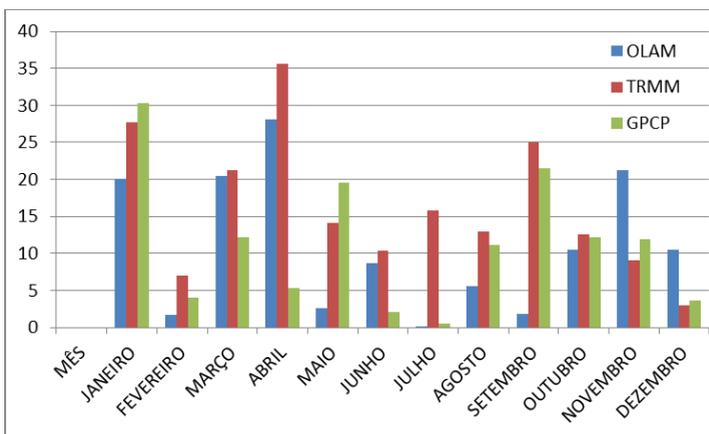


Para a precipitação média espacial acumulada prevista pelo modelo podemos notar na Figura 48 que existe uma subestimação para os primeiros dez meses do ano e superestimação para os meses de novembro e dezembro em comparação com os dados do TRMM. Já em comparação com os dados do GPCP o modelo apresentou superestimação para os meses de março, junho, novembro e dezembro.

Resultados preliminares obtidos com o modelo OLAM indicam que o mesmo pode ser usado na simulação dos fenômenos de escala local e global, podendo ser utilizado como uma ferramenta para previsão de tempo e para melhoria do entendimento dos processos meteorológicos (D'ALELIO; RAMOS DA SILVA; HAAS, 2015).

No presente estudo foram usadas algumas opções de parametrizações físicas; para trabalhos futuros novos testes podem ser realizados com outras parametrizações físicas como, por exemplo, parametrizações cumulus e.g. (EMANUEL, 1991; GRELL, 1993) e também a simulações com melhor resolução espacial para representar melhor os processos meteorológicos de escala local.

*Figura 48 - Precipitação média acumulada (mm) para os doze meses de estudo conforme simulado pelo OLAM e comparado com dados do TRMM e GPCP.*



## REFERÊNCIAS

CHEN, C.; COTTON, W. R. A one-dimensional simulation of stratocumulus-capped mixed layer. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 25, n. 7, p. 289–321, 1983.

D'ALESIO, H. A.; RAMOS DA SILVA, R.; HAAS, R. ANALYSIS OF OLAM MODEL PERFORMANCE ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION FOR THE SOUTH BRAZIL. In: VI SIC - Simpósio Internacional de Climatologia, **Anais...2015**.

EMANUEL, K. a. A Scheme for Representing Cumulus Convection in Large-Scale Models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 48, n. 21, p. 2313–2329, 1991.

GRELL, G. a. Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. **Monthly Weather Review**, v. 121, n. 3, p. 764–787, 1993.

HARRINGTON, J. Y.; OLSSON, P. Q. A method for the parameterization of cloud optical properties in bulk and bin microphysical models. Implications for arctic cloudy boundary layers. **Atmospheric Research**, v. 57, n. 1, p. 51–80, 2001a. Disponível em:  
<<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0035127264&partnerID=40&md5=c249ea87c6c3182a27249a3224cec431>>.

HARRINGTON, J. Y.; OLSSON, P. Q. A method for the parameterization of cloud optical properties in bulk and bin microphysical models. Implications for arctic cloudy boundary layers. **Atmospheric Research**, v. 57, n. 1, p. 51–80, fev. 2001b. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016980950000685>>.

HEIKES, R.; RANDALL, D. A. Numerical Integration of the Shallow-Water Equations on a Twisted Icosahedral Grid. Part I: Basic Design and Results of Tests. **Monthly Weather Review**, v. 123, n. 6, p. 1862–1880, 1995.

HILL, G. E. Factors Controlling the Size and Spacing of Cumulus Clouds as Revealed by Numerical Experiments. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, n. 3, p. 646–673, 1974.

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; ARKIN, P.; CHANG, A.; FERRARO, R.; GRUBER, A.; JANOWIAK, J.; MCNAB, A.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 1, p. 5–20, 1997.

KAIN, J.; FRISCH, J. Convective parameterization for mesoscale models: The kain-frisch scheme. **Meteorological Monographs**, v. 24, p. 165–170, 1993. Disponível em: <<http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/spring08/atmo0336s1/courses/spring12/atmo558/Lectures/kainmonogph.pdf>>.

KAIN, J. S.; FRITSCH, J. M. A One-Dimensional Entraining/Detraining Plume Model and Its Application in Convective Parameterization. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 47, n. 23, p. 2784–2802, 1 dez. 1990. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1990\)047<2784:AODEPM>2.0.CO](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1990)047<2784:AODEPM>2.0.CO)>.

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S.-K.; HNILO, J. J.; FIORINO, M.; POTTER, G. L. NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, n. 11, p. 1631–1643, 1 nov. 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-83-11-1631>>.

KUO, H. L. Further Studies of the Parameterization of the Influence of Cumulus Convection on Large-Scale Flow. **J. Atmos. Sci.**, v. 31, n. 5, p. 1232–1240, 1974. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1974\)031<1232:FSOTPO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1974)031<1232:FSOTPO>2.0.CO;2)>.

LILLY, D. K. On the numerical simulation of buoyant convection. **Tellus A**, 1962.

MAHRER, Y.; PIELKE, R. a. The Effects of Topography on Sea and Land Breezes in a Two-Dimensional Numerical Model. **Monthly Weather Review**, v. 105, n. 9, p. 1151–1162, 1977.

MARSHALL, J.; ADCROFT, A.; HILL, C.; PERELMAN, L.; HEISEY, C. A finite-volume, incompressible Navier Stokes model for studies of the ocean on parallel computers. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. C3, p. 5753, 1997.

MEDVIGY, D.; WALKO, R. L.; AVISSAR, R. Effects of deforestation on spatiotemporal distributions of precipitation in South America. **Journal of Climate**, v. 24, n. 8, p. 2147–2163, 2011.

MEDVIGY, D.; WALKO, R. L.; OTTE, M. J.; AVISSAR, R. The Ocean–Land–Atmosphere Model: Optimization and Evaluation of Simulated Radiative Fluxes and Precipitation. **Monthly Weather Review**, v. 138, n. 5, p. 1923–1939, 2010.

PIELKE, R. A.; COTTON, W. R.; WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J.; LYONS, W. A.; GRASSO, L. D.; NICHOLLS, M. E.; MORAN, M. D.; WESLEY, D. A.; LEE, T. J.; COPELAND, J. H. A comprehensive meteorological modeling system-RAMS. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 49, n. 1-4, p. 69–91, 1992.

RAMOS DA SILVA, R.; DIAS, P. L. S.; MOREIRA, D. S.; SOUZA, E. B. De. Modelo OLAM (ocean-land-atmosphere-model): descrição, aplicações, e perspectivas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 144–157, 2009.

RAMOS DA SILVA, R.; GANDÚ, A. W.; COHEN, J. C.; MOTA, M. A. WEATHER FORECASTING FOR EASTERN AMAZON WITH OLAM MODEL Universidade Federal de Santa Catarina , Centro de Ciências Físicas e Matemáticas , Departamento de Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos , Fortaleza , CE , Brasil . Universidade Feder. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 11–22, 2014a.

RAMOS DA SILVA, R.; GANDU, A. W.; SÁ, L. D. a; DIAS, M. a F. S. Cloud streets and land-water interactions in the Amazon. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1, p. 201–211, 2011.

RAMOS DA SILVA, R.; VITORINO, M. I.; KUHN, P.; DOS, D.; ANANIAS, S. CLIMATE ESTIMATES FOR EASTERN AMAZON WITH OLAM MODEL Universidade Federal de Santa Catarina , Centro de Ciências Físicas e Matemáticas , Departamento de Física , Universidade Federal do Pará , Departamento de Meteorologia , Belém , PA , Brasil Universidad. **Revista Brasileira de Meteorologia**, p. 1–10, 2014b.

REYNOLDS, R. W.; RAYNER, N. A.; SMITH, T. M.; STOKES, D. C.; WANG, W. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. **Journal of Climate**, v. 15, n. 13, p. 1609–1625, 2002.

RINGLER, T. D.; HEIKES, R. P.; RANDALL, D. A. Modeling the atmospheric general circulation using a spherical geodesic grid: A new class of dynamical cores. **Monthly Weather Review**, v. 128, n. 7, p. 2471–2490, 2000. Disponível em: <<Go to ISI>://000166058500006>.

SADOURNY, R.; ARAKAWA, A.; MINTZ, Y. Integration of the nondivergent barotropic vorticity equation with an icosahedral-hexagonal grid for the sphere. **Monthly Weather Review**, v. 96, n. 6, p. 351–356, 1968. Disponível em: <[http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493\(1968\)096<0351:IOTNBV>2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493(1968)096<0351:IOTNBV>2.0.CO;2)>.

SIMPSON, J.; KUMMEROW, C.; TAO, W.-K.; ADLER, R. F. On the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 60, n. 1-3, p. 19–36, 1996.

SMAGORINSKY, J. General Circulation Experiments With the Primitive Equations. **Monthly Weather Review**, v. 91, n. 3, p. 99–164, 1963.

TOMITA, H.; SATOH, M.; GOTO, K. An Optimization of the Icosahedral Grid Modified by Spring Dynamics. **Journal of Computational Physics**, v. 183, n. 1, p. 307–331, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021999102971937>>.

TOMITA, H.; TSUGAWA, M.; SATOH, M.; GOTO, K. Shallow Water Model on a Modified Icosahedral Geodesic Grid by Using Spring Dynamics. **Journal of Computational Physics**, v. 174, n. 2, p. 579–613, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021999101968974>>.

WALKO, R. L.; AVISSAR, R. The Ocean–Land–Atmosphere Model (OLAM). Part I: Shallow-Water Tests. **Monthly Weather Review**, v. 136, n. 11, p. 4033–4044, 2008a.

WALKO, R. L.; AVISSAR, R. The Ocean-Land-Atmosphere Model (OLAM). Part II: Formulation and tests of the nonhydrostatic dynamic core. **Monthly Weather Review**, v. 136, n. 11, p. 4045–4062, 2008b. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-53749092407&partnerID=40&md5=b36d1b0107175b63dcd1c6c81f2c71b>>.

WALKO, R. L.; BAND, L. E.; BARON, J.; KITTEL, T. G. F.; LAMMERS, R.; LEE, T. J.; OJIMA, D.; PIELKE SR., R. A.; TAYLOR, C.; TAGUE, C.; TREMBACK, C. J.; VIDALE, P. L. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology models for environmental modeling. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 6, p. 931–944, 2000. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0033867180&partnerID=40&md5=2602f938179e0b58285e355445411b91>>.

WALKO, R. L.; COTTON, W. R.; MEYERS, M. P.; HARRINGTON, J. Y. New RAMS cloud microphysics parameterization part I: the single-moment scheme. **Atmospheric Research**, v. 38, n. 1–4, p. 29–62, set. 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016980959400087T>>.

WENNEKER, I.; SEGAL, a.; WESSELING, P. A Mach-uniform unstructured staggered grid method. **International Journal for Numerical Methods in Fluids**, v. 40, n. 9, p. 1209–1235, 2002.

WILLIAMSON, D. L. The Evolution of Dynamical Cores for Global Atmospheric Models. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 85B, p. 241–269, 2007.