



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**A INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NAS VARIÁVEIS  
ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO SUL DE MINAS  
GERAIS SIMULADAS PELO RegCM4**

---

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**

**Débora Martins de Oliveira**

**Itajubá, MG, Brasil**

**2016**

# **A INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NAS VARIÁVEIS ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS SIMULADAS PELO RegCM4**

---

por

**Débora Martins de Oliveira**

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

**Orientador: Michelle Simões Reboita**

**Itajubá, MG, Brasil  
2016**

**Universidade Federal de Itajubá  
Instituto de Recursos Naturais  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a  
Monografia


**A INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NAS VARIÁVEIS ATMOSFÉRICAS  
NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS SIMULADAS PELO REGCM4**

elaborada por

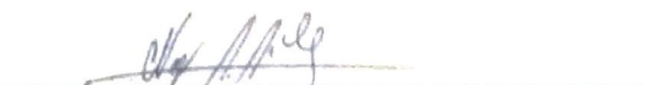
**Débora Martins de Oliveira**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas**

**Comissão Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
**Michelle Simões Reboita, Dr. (UNIFEI)**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Marcelo Rodrigues, MSc. (UNIFEI)**

  
\_\_\_\_\_  
**Nancy Rios, MSc. (INPE)**

Itajubá, 21 de novembro de 2016.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por estar concluindo esta etapa;

A minha querida avó, que durante a faculdade foi minha maior incentivadora e inspiração de vida;

Aos meus pais, Luciano e Fabiana, obrigada por toda paciência e compreensão, por sempre estarem ao meu lado, nunca deixando que eu desistisse.

A minha irmã Sara, a minha prima Thais, e toda minha família pelo carinho que sempre tiveram comigo, foi fundamental ter vocês ao meu lado;

À minha professora e orientadora Michelle Simões Reboita, primeiramente pela amizade, paciência, otimismo e compreensão; por ser um exemplo de profissional para mim; por todos os ensinamentos e incentivos; e pelo apoio e atenção para a realização deste trabalho;

A minha psicóloga Raquel que me ajudou emocionalmente e me acompanhou em cada processo difícil dessa longa jornada;

Aos meus queridos amigos da turma de 2011 de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Amanda, Bruno, Carol, Cleverson, Diego, Heloísa, Josi, Igor, Rebeca, Rodolfo e Thaís, pela amizade não só nos momentos de distração, mas principalmente nos dias em que eu estava desanimada, a ajuda de cada um de vocês foi essencial, valeu cada desespero, cada noite de estudos e cada conhecimento compartilhado; nossa amizade ficará eternamente na memória;

Aos amigos especiais que fiz durante essa etapa da minha vida, Leandro, Amanda, Luísa, Camila, Michel, Thales e Lucas, obrigada pelos momentos inesquecíveis;

Aos professores do Curso de Ciências Atmosféricas, pela dedicação, competência, pelos ensinamentos, por compartilharem conhecimentos, e por contribuírem para a minha formação acadêmica e profissional.

Dedico este trabalho à minha avó Rosaceleste.

“Depois de algum tempo, você aprende que não se deve comparar com os outros, mas com o melhor que pode ser. Descobre que se leva muito tempo para se tornar a pessoa que quer ser, e que o tempo é curto. Aprende que nunca se deve dizer a uma criança que sonhos são bobagens, poucas coisas são tão humilhantes e seria uma tragédia se ela acreditasse nisso.”

Veronica Shoffstall

## RESUMO

Monografia de Graduação  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

# A INFLUÊNCIA DA TOPOGRAFIA NAS VARIÁVEIS ATMOSFÉRICAS NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS SIMULADAS PELO RegCM4

AUTOR(A): Débora Martins de Oliveira  
ORIENTADOR: Michelle Simões Reboita

Auditório do IRN, Itajubá, 21 de novembro de 2016.

A região sul do estado de Minas Gerais se caracteriza por serras acidentadas, como a Serra da Mantiqueira. Devido a essa característica peculiar, em geral, os modelos climáticos com resoluções horizontais grosseiras não conseguem representar adequadamente o clima de tal região. Portanto, esse estudo utiliza o *Regional Climate Model – version 4* (RegCM4) para simular em alta resolução (12 km) as variáveis atmosféricas. Foram realizadas duas simulações: uma controle (CTRL) e outra em que a topografia foi removida (STOPO) para comparar ambos os experimentos e encontrar a influência da topografia nas variáveis atmosféricas. O domínio das simulações inclui a região sudeste do Brasil e parte do oceano Atlântico. O período das simulações foi de novembro de 2008 a fevereiro de 2009. O mês de novembro não foi analisado, pois foi considerado *spin-up*. O desempenho do modelo RegCM4 em simular a temperatura do ar e a precipitação foi analisado a partir da comparação com a reanálise ERA-Interim, com as estimativas de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e com dados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Verificou-se que quando a topografia é suprimida, as temperaturas médias mensais e a precipitação tendem a aumentar e a circulação de brisa de vale e montanha é descaracterizada.

Palavras-chave: Sul de Minas Gerais. Topografia. Modelo Climático.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> – Domínio da simulação e topografia (metros).....	<b>9</b>
<b>Figura 4.1.1</b> – (a) Média da temperatura do ar a 2 metros de altura da ERA-Interim [°C], (b) diferença da média da temperatura da simulação CRTL – ERA-Interim [°C] e (c) diferença da média da temperatura da simulação STOPO – ERA-Interim [°C]....	<b>13</b>
<b>Figura 4.1.2</b> – (a) Média de temperatura da simulação CRTL [°C], (b) Média de temperatura da simulação STOPO [°C] e (c) diferença da média de temperatura da simulação STOPO – CRTL [°C].....	<b>14</b>
<b>Figura 4.2.1</b> – (a) Média da precipitação do TRMM [mm/dia], (b) diferença da média da precipitação da simulação CRTL – TRMM [mm/dia] e (c) diferença da média da precipitação da simulação STOPO – TRMM [mm/dia].....	<b>17</b>
<b>Figura 4.2.2</b> –(a) Média de precipitação da simulação CRTL [mm/dia], (b) Média de precipitação da simulação STOPO [mm/dia] e (c) diferença da média de precipitação da simulação STOPO – CRTL [mm/dia].....	<b>18</b>
<b>Figura 4.3.1</b> – Distribuição espacial das estações do INMET utilizadas para comparação com as simulações.....	<b>19</b>
<b>Figura 4.4.1</b> – Velocidade vertical ômega (Pa/s) em dezembro de 2008 as 00Z em (a)CRTL e (b)STOPO, as 06Z em (c)CRTL e (d)STOPO, as 12Z em (e)CRTL e (f)STOPO; e as 18Z em (g)CRTL e (h)STOPO.....	<b>25</b>
<b>Figura 4.4.2</b> – Velocidade vertical ômega (Pa/s) em dezembro de 2008 as 00Z em (a)CRTL e (b)STOPO, as 06Z em (c)CRTL e (d)STOPO, as 12Z em (e)CRTL e (f)STOPO; e as 18Z em (g)CRTL e (h)STOPO.....	<b>26</b>
<b>Figura 4.4.3</b> – Velocidade vertical ômega (Pa/s) em dezembro de 2008 as 00Z em (a)CRTL e (b)STOPO, as 06Z em (c)CRTL e (d)STOPO, as 12Z em (e)CRTL e (f)STOPO; e as 18Z em (g)CRTL e (h)STOPO.....	<b>27</b>



## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1** - Estações Automáticas do INMET utilizadas para comparação com as simulações.....**10**
- TABELA 2** – Média de temperatura nas estações meteorológicas do INMET comparado com as simulações CRTL e STOPO para dezembro, janeiro e fevereiro. O Erro % indica o erro percentual da simulação.....**21**
- TABELA 3** - Acumulado de precipitação nas estações meteorológicas do INMET comparado com as simulações CRTL e STOPO para dezembro, janeiro e fevereiro. O Erro % indica o erro percentual da simulação.....**22**

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASAS - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul  
BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa  
CRTL - Controle  
DEM - Modelo Global de Elevação Digital  
DJF - Dezembro, Janeiro, Fevereiro (verão)  
ECMWF - *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*  
EROS - *Center for Earth Resources Observation and Science*  
GLCC - *Global Land Cover Characterization*  
ICTP - *International Centre for Theoretical Physics*  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
JBN - Jato de Baixos Níveis  
MCGs - Modelos Climáticos Globais  
MCRs - Modelos Climáticos Regionais  
MG - Minas Gerais  
MM5 - Modelo de Mesoescala de Quinta Geração  
MSA - Monção Sul-Americana  
NCAR - *National Center for Atmospheric Research*  
NOOA - *National Oceanic & Atmospheric Administration*  
OI - *Optimum Interpolation*  
PSU - *Pensilvania State University*  
RegCM - *Regional Climate Model*  
RegCM4 - *Regional Climate Model – version 4*  
SST - *Sea Surface Temperature*  
STOPO - Sem Topografia  
TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*  
USGS - *United States Geological Survey*  
ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>VI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. CLIMA DO SUL DE MINAS GERAIS</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. O REGCM4</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3. ESQUEMAS CONVECTIVOS DO REGCM4</b> .....	<b>6</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1. SIMULAÇÃO COM O REGCM4</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2. ANÁLISES</b> .....	<b>10</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>12</b>
<b>4.1. TEMPERATURA</b> .....	<b>12</b>
<b>4.2. PRECIPITAÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>4.3. VALIDAÇÃO COM ESTAÇÕES DO INMET</b> .....	<b>19</b>
<b>4.4. MOVIMENTO VERTICAL</b> .....	<b>23</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>28</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>29</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais (MG) possui diferentes complexos topográficos como as serras da Mantiqueira, da Canastra e do Espinhaço, o que favorece o desenvolvimento de circulações de mesoescala (brisa de vale e montanha; SOUZA et al., 2011; REBOITA et al., 2014). Essas circulações influenciam a direção e a intensidade do vento, e podem causar condições úmidas a barlavento das áreas montanhosas e secas a sotavento. Além disso, áreas com maior elevação possuem temperaturas mais baixas que aquelas mais próximas ao nível médio do mar (REBOITA et al., 2015).

A região sul do estado de MG está na latitude do trópico de Capricórnio, e possui um clima de monção, quente e chuvoso no verão e mais ameno e seco no inverno (REBOITA et al., 2010). Nesta região, no verão, o ar quente e úmido é transportado para ela pelos ventos do setor oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Outro fenômeno é a canalização do escoamento meridional da Amazônia em direção aos subtropicais, que pode contribuir para a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Bruscas mudanças nas condições meteorológicas na região sul de MG podem ocorrer associadas às passagens aos sistemas frontais frios. Segundo Cardozo et al (2015), esses sistemas estão associados a um anticiclone migratório que se desloca do Pacífico em direção ao Atlântico. No verão, esse anticiclone localiza-se a cerca de 5° mais ao sul do que no inverno, os autores também verificaram que no verão a frente fria ocorre devido à convergência dos ventos do setor leste do anticiclone migratório com os ventos do lado oeste do ASAS, enquanto no inverno, os ventos do anticiclone migratório são reforçados pelo escoamento “*upstream*” de um cavado localizado ao seu lado leste.

Segundo o Comitê das Bacias Hidrográficas da Serra da Mantiqueira, esta serra é uma cadeia montanhosa que se estende por três estados do Brasil: São Paulo (30%), Minas Gerais (60%) e Rio de Janeiro (10%). Seu ponto culminante é a Pedra da Mina, com 2.798 metros de altitude, na divisa dos Estados de Minas Gerais e São Paulo. Na Serra da Mantiqueira existem diversas unidades de conservação, como a área de proteção ambiental Serra da Mantiqueira, dividida entre os três estados; o Parque Nacional do Itatiaia, dividido entre Minas e Rio; e os

Parques Estaduais Serra do Brigadeiro e Serra do Papagaio (Minas) e Campos do Jordão (São Paulo).

Devido a essas características peculiares da região sul de MG, em geral, os modelos climáticos com resoluções horizontais grosseiras não conseguem representar adequadamente o clima de tal região. Portanto, esse estudo utiliza o *Regional Climate Model – version 4* (RegCM4) para simular em alta resolução (12 km) as variáveis atmosféricas considerando e não considerando a topografia local. O modelo foi executado para a estação de verão de 2008/2009 (DJF), dirigido com a reanálise ERA-Interim do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Foram realizados dois experimentos numéricos: o controle (CTRL) e o sem topografia (STOPO). Portanto, constituem objetivos específicos do estudo:

- I. Analisar o desempenho do modelo RegCM4 em simular a temperatura do ar, precipitação e circulação atmosférica no verão 2008/2009, a partir da comparação com a reanálise ERA-Interim, com as estimativas de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e com dados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- II. A partir de simulações com o RegCM4 do experimento STOPO, comparar a influência da topografia nas variáveis atmosféricas para a região sul de Minas Gerais e avaliar a importância da Serra da Mantiqueira e suas montanhas para o clima local.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Clima do Sul de Minas Gerais

A região sul do estado de MG é caracterizada por um clima de monção. O termo monção indica uma reversão sazonal na circulação atmosférica, que acontece devido ao aquecimento diferencial entre os continentes e os oceanos podendo acarretar mudanças na precipitação (RAMAGE, 1971; ZHOU; LAU, 1998; GRIMM; VERA; MECHOSO, 2005; VERA et al., 2006). Numa região de monção, mais de 50% da precipitação ocorre na estação chuvosa (MARENGO et al., 2012).

Na Monção Sul-Americana (MSA), a reversão sazonal da circulação atmosférica é confirmada se a média anual das componentes do vento é subtraída das médias sazonais. Reboita et al. (2010) e Marengo et al. (2012), afirmam que o início da MSA acontece quando temos mudança no padrão da precipitação, ou seja, o clima seco da região de monção, que ocorre no inverno, é substituído por um chuvoso, na estação de verão.

No verão, há uma intensificação da temperatura do ar e da atividade convectiva nas cercanias do Trópico de Capricórnio, o que favorece os movimentos ascendentes na atmosfera. Nessa época, os ventos alísios de nordeste estão mais intensos e transportam umidade para a Amazônia. Uma parte dessa umidade, combinada com a evapotranspiração da floresta Amazônica, é transportada para o sul e sudeste do Brasil por um sistema de ventos, conhecido como Jato de Baixos Níveis (JBN) (REBOITA et al., 2015).

A região sudeste do Brasil também recebe umidade vinda do setor oeste do ASAS, pois no verão o ASAS se encontra deslocado para leste, e no inverno se desloca novamente para oeste (VIANELLO; MAIA, 1986; REBOITA et al., 2012).

Outro sistema importante que atua na região é a ZCAS, que é caracterizada por uma área de nebulosidade que se estende da Amazônia, cruza o sudeste do Brasil e atinge o oceano Atlântico Sudoeste (KOUSKY, 1988). A ZCAS também é favorecida pela interação com as frentes frias (OLIVEIRA, 1986).

Todos os sistemas mencionados compoem a MSA nos baixos níveis da atmosfera. Na alta troposfera, a Alta da Bolívia, que é um anticiclone com centro na região boliviana, e um cavado sobre o oceano Atlântico tropical-subtropical próximo

à costa do nordeste do Brasil, caracterizam a MSA. (VERA et al., 2006; REBOITA et al., 2010; MARENGO et al., 2012).

Com a aproximação da estação de inverno, os sistemas atmosféricos migram para norte e a convecção enfraquece na região do Trópico de Capricórnio, o ASAS torna-se mais intenso e expandido para oeste de forma que parte do seu setor oeste se localiza sobre o sudeste e sul do Brasil. Os sistemas de alta pressão dificultam os movimentos ascendentes na atmosfera e a propagação de sistemas frontais. O JBN também fica deslocado para sul sendo formado por influência do ramo oeste do ASAS. Essas configurações de inverno propiciam condições de céu claro e pouca precipitação (REBOITA et al., 2012).

O sul de MG também possui a característica de ser o mais chuvoso do estado inteiro, com precipitação média anual de cerca de 1600 mm. Com relação ao início e fim da estação chuvosa em MG, Silva e Reboita (2013) realizaram uma revisão da literatura, assim como a computaram. De forma geral, segundo esses autores, o início da estação chuvosa ocorre entre 8 a 22 de outubro e termina na segunda quinzena de março.

## 2.2. O RegCM4

Os modelos climáticos globais (MCGs) utilizam resolução horizontal de cerca de 100 km (MEEHL et al., 2007), o que limita a representação de forçantes locais e regionais nas simulações climáticas, como por exemplo, representação de um terreno mais acidentado. Modelos Climáticos Regionais (MCRs) de alta resolução (DICKINSON et al., 1989; GIORGI E MEARNNS, 1999) têm sido desenvolvidos desde o início da década de 1990 na tentativa de melhorar a representação dos processos locais e regionais. Esses MCRs também foram utilizados em estudos para a América do Sul (SETH E ROJAS, 2003; FERNANDEZ et al., 2006; SETH et al., 2007; RAUSCHER et al., 2007; MARENGO et al., 2010; da ROCHA et al., 2012; KRUGER et al., 2012; CARRIL et al., 2012; SOLMAN, 2013).

O interesse em MCRs tem sido cada vez maior nas últimas duas décadas (GIORGI, 2006). Como resultado, uma série de MCRs têm sido desenvolvidos e um desses sistemas é o *Regional Climate Model* (RegCM), que evoluiu a partir da primeira versão desenvolvida no final de 1980 (RegCM1; DICKINSON et al., 1989; GIORGI, 1990) para versões posteriores no início de 1990 (RegCM2; GIORGI et al. 1993<sup>a</sup>, b), final dos anos 1990 (RegCM2.5; GIORGI & MEARNNS, 1999), de 2000 (RegCM3; PAL, et al. 2007) e de 2012 (RegCM4; GIORGI, 2012). O RegCM foi o primeiro modelo de área limitada que foi desenvolvido para simulação do clima regional a longo prazo; o RegCM tem sido utilizado para uma ampla gama de estudos climáticos regionais (QIAN 2008, QIAN et al., 2010).

Com relação ao RegCM4, a componente do núcleo dinâmico é baseada no modelo de mesoescala de quinta geração (MM5), do National Center for Atmospheric Research (NCAR) - *Pensilvania State University* (PSU) (GRELL, 1993). O RegCM é um modelo hidrostático, com discretização em diferenças finitas que utiliza uma grade tipo B de Arakawa, o modelo utiliza coordenada vertical sigma-pressão, cujos níveis acompanham a forma da topografia próxima a superfície e nos níveis superiores se tornam planos (QUISPE, 2013).



## 2.3. Esquemas Convectivos do RegCM4

Nos MCRs a precipitação é normalmente resolvida na forma paramétrica e existe um grande número de parametrizações disponíveis para tal (EMANUEL E RAYMOND, 1993). Do ponto de vista climático, espera-se que diferentes parametrizações de convecção alterem um ou outro evento de tempo específico ao longo da simulação, mas não imponham mudanças substanciais na climatologia sinótica. (GIORGI et al. 1993).

Algumas das opções de convecção cumulus no RegCM4 são: Kuo, Grell e Emanuel. O primeiro é uma versão simplificada do esquema Kuo de Anthes (1977), descrito por Anthes et al. (1987). Este esquema é presente desde a versão mais antiga (RegCM1) e ativa a convecção quando a coluna de convergência de umidade excede um valor limiar. Este esquema, mesmo disponível, é usado apenas ocasionalmente e geralmente oferece simulações mais simples de precipitação do que as outras parametrizações.

A parametrização de Grell (1993; GIORGI et al.,1993b) trata-se de uma parametrização do fluxo de massa de convecção profunda, em que as nuvens são consideradas como estacionárias, e então são calculadas duas circulações: uma corrente ascendente e uma descendente. O esquema é acionado quando uma parcela levantada na corrente ascendente atinge o nível de convecção úmida. Dois fechamentos diferentes podem ser adotados: um tipo de fechamento Arakawa-Schubert em que toda a energia flutuante é imediatamente liberada em cada passo de tempo e um tipo de fechamento Fritsch-Chappell no qual a energia flutuante disponível é lançada com uma escala de tempo usualmente na ordem de 30 min. O esquema de Grell foi disponível no RegCM a partir da sua segunda versão (RegCM2) (GIORGI et al. 1993b).

Na parametrização de nuvens cumulus de Emanuel (EMANUEL 1991, EMANUEL & ZIVKOVIC ROTHMAN 1999), a convecção é acionada quando o nível de flutuação é maior do que o nível de base da nuvem. A mistura da nuvem é considerada episódica e não homogênea, e os fluxos convectivos são baseados em um modelo de sub-escala de nuvem de correntes de ar ascendentes e descendentes. A precipitação é baseada em autoconversão de água em nuvem para a água da chuva e é responsável por processos de gelo simplificados. Esse

esquema é o mais complexo dos três e também inclui certo número de parâmetros que podem ser usados para aperfeiçoar o desempenho do modelo em diferentes regimes climáticos, diferentemente do esquema de Grell. No entanto, as experiências de teste não identificaram um único parâmetro em que o modelo seja mais sensível (GIORGI et al. 1993b).

Uma grande vantagem do RegCM4 em comparação com suas versões anteriores é a capacidade de executar diferentes esquemas de convecção sobre a terra e o oceano, uma configuração chamada “esquema misto”. Experimentos mostraram que diferentes esquemas têm desempenho diferente sobre diferentes regiões e, em particular sobre a terra contra áreas oceânicas. Por exemplo, o esquema de Emanuel tende a produzir precipitação excessiva em áreas de terra, especialmente através da ocorrência de eventos muito intensos de precipitações individuais. Por outro lado, verificou-se que o esquema de Grell tende a produzir precipitação excessivamente fracas ao longo oceanos tropicais (GIORGI et al. 1993b).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Simulação com o RegCM4

As condições iniciais e de fronteira fornecidas ao RegCM foram a reanálise ERA-Interim de do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF; Dee et al., 2011) com resolução horizontal de  $1,5^\circ \times 1,5^\circ$  de latitude por longitude e resolução temporal de 6 horas. Para a temperatura da superfície oceânica, os dados utilizados para dirigir o modelo foram provenientes da *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA), *Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature* (SST) V2 (REYNOLDS et al., 2002). Os dados de superfície são provenientes do modelo global de elevação digital (DEM) (GTOPO30) com um espaçamento de grade horizontal de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km). O GTOPO30 foi desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS, Loveland et al. 2000).

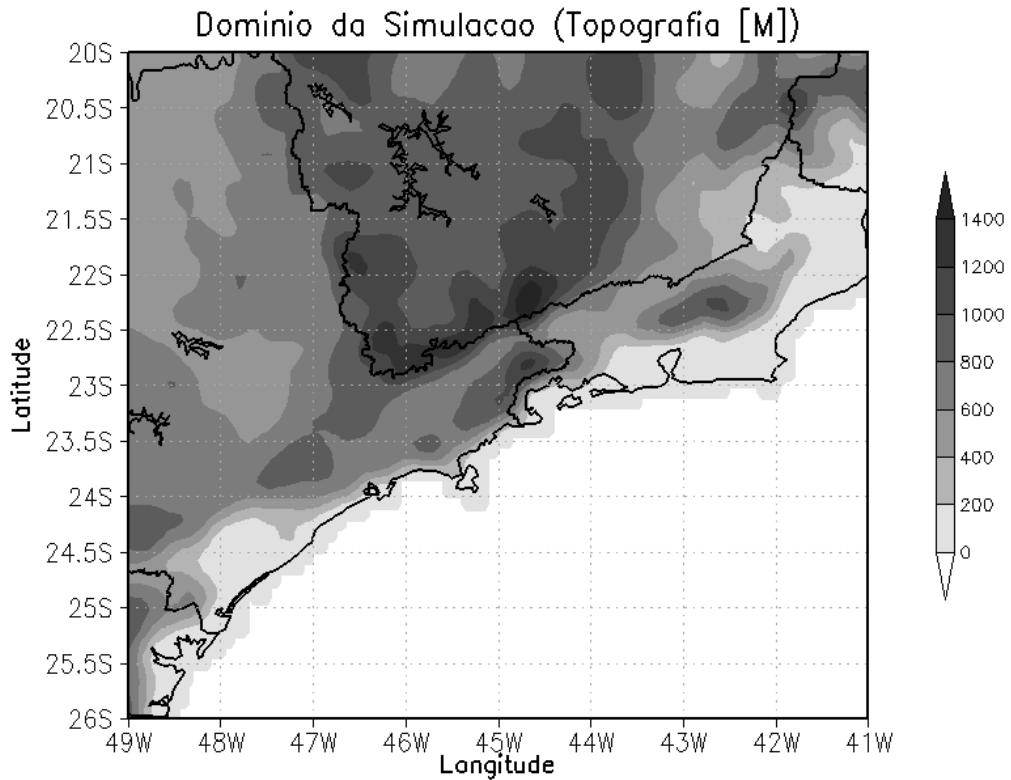
Foram realizadas duas simulações: uma controle (CTRL) e outra em que a topografia foi removida (STOPO). Nessas, foi utilizada uma resolução horizontal de 12 km e vertical de 18 níveis sigma-pressão. O domínio das simulações é apresentado na Figura 3.1, que inclui a região sudeste do Brasil e parte do oceano Atlântico. Na Figura 3.1 é apresentada a topografia em metros, e nas maiores altitudes identificamos a Serra da Mantiqueira.

O período das simulações foi de novembro de 2008 a fevereiro de 2009. Entretanto, para as análises o mês de novembro foi excluído, pois foi considerado como período de *spin-up*. Escolheu-se 2008/2009 por esse verão não ter apresentado características muito anômalas, assim como os verões dos últimos anos.

É importante salientar que para a realização da simulação STOPO seria importante a utilização de condições de fronteira geradas com uma situação também sem topografia. Entretanto, como não se tinha esses dados, considera-se que o presente estudo incluía uma pequena incerteza devido ao uso das condições de fronteira.

Os experimentos foram executados com o esquema de parametrização superfície-atmosfera *Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme* (BATS) descrito por Dickinson et al. (1993), camada limite planetária de Holtslag (HOLTSLAG et al.,

1990) e convecção cumulus de Emanuel no oceano e Grell com fechamento Fritsch-Chappell no continente.



**Figura 3.1** – Domínio da simulação e topografia (metros).

O primeiro experimento, chamado de simulação controle (CTRL) visou simular as características locais não alterando os parâmetros físicos locais, e no segundo experimento, chamado de simulação STOPO, a topografia local foi suprimida a fim de se comparar ambos os experimentos e encontrar a influência da topografia nas variáveis atmosféricas.

### 3.2. Análises

Uma vez realizada as simulações com o modelo RegCM4, a etapa seguinte foi fazer a validação dos resultados. Para tanto utilizou-se a reanálise ERA-Interim (Temperatura do ar a 2 metros de altura) com resolução horizontal de  $1,5^\circ \times 1,5^\circ$  de latitude por longitude (Dee et al., 2011). Como a resolução do modelo era de 12 km, para cálculo das diferenças modelo-reanálise, o modelo foi interpolado para a resolução de  $1,5^\circ$ .

Para validação da precipitação utilizou-se as estimativas de precipitação a cada 3 horas na faixa tropical do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (produto 3B42) do GFSC/NASA3, como tais estimativas encontram-se em grade regular com espaçamento de  $0,25^\circ$ , também se adotou a técnica de interpolação de dados.

A precipitação e a temperatura do ar também foram avaliadas com dados pontuais medidos em estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram utilizadas as estações de Lavras-MG, Lambari-MG, São Lourenço-MG, Campos do Jordão-SP, Mirante Santana-SP, Taubaté-SP, Resende-RJ, Rio de Janeiro-RJ, na Tabela 1 é apresentado as geolocalizações de cada estação.

**TABELA 1** – Estações Automáticas do INMET utilizadas para comparação com as simulações.

Estações Automáticas Precipitação (mm)	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) <a href="http://goo.gl/filXfw">http://goo.gl/filXfw</a>	Lavras – MG (21,75°S; 45°W)
		Lambari – MG (21,94°S; 45,31°W)
		São Lourenço – MG (22,1°S; 45,01°W)
		Campos do Jordão – SP (22,75°S; 45,6°W)
		Mirante Santana – SP (23,5°S; 46,61°W)
		Resende – RJ (22,45°S; 44,44°W)
		Rio de Janeiro – RJ (22,89°S; 43,18°W)

Após a validação dos dados, as médias de temperatura e de precipitação da estação de verão foram comparadas entre as simulações, CRTL e STOPO, com intuito de analisar como a topografia influencia em cada uma dessas variáveis.

Por último, foi elaborado o perfil do movimento vertical considerando a latitude de  $22,8^{\circ}\text{S}$ , que corta exatamente os pontos mais altos da Serra da Mantiqueira.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

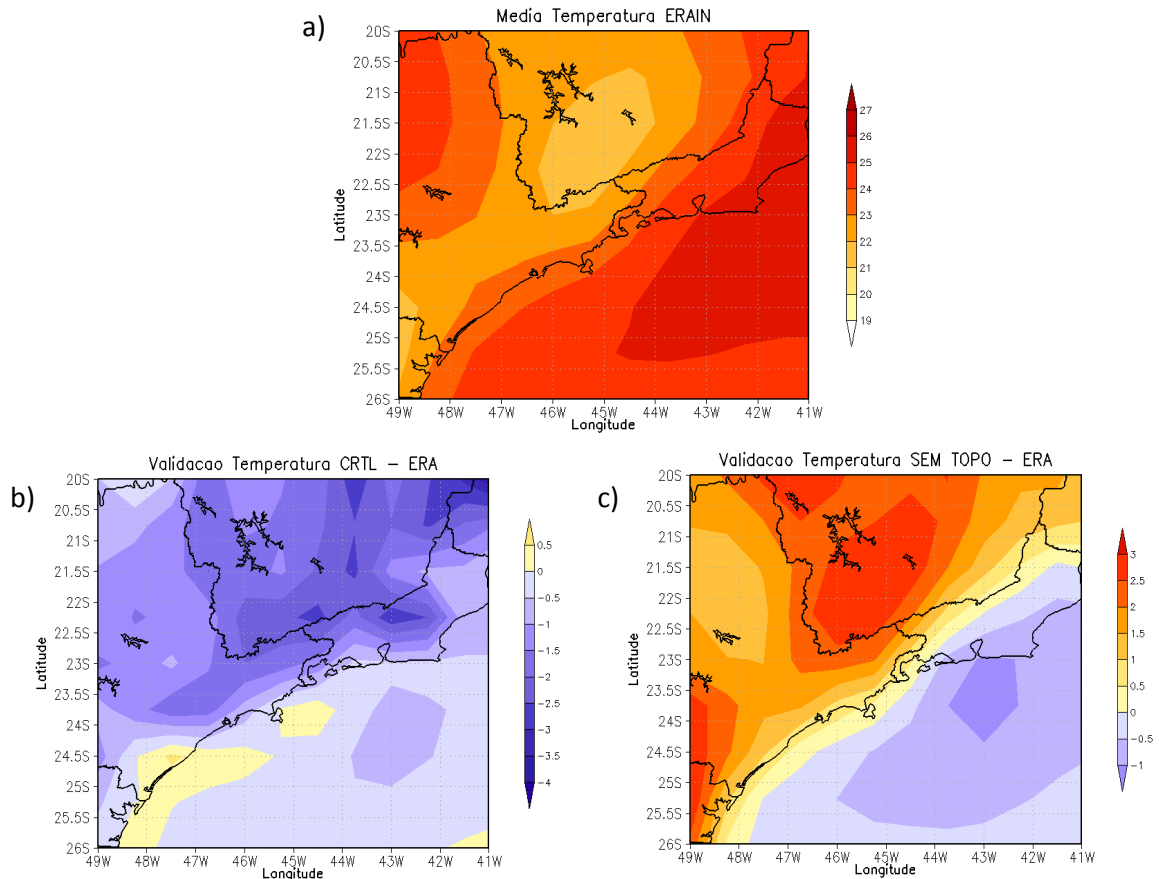
### 4.1. Temperatura

A média no período de DJF da temperatura do ar a 2 metros de altura da reanálise ERA-Interim, com resolução de 1,5° de latitude por longitude foi plotada na Figura 4.1.1(a) para o mesmo domínio das simulações. Mostra-se uma variação espacial da temperatura do ar de 21° a 26° C, sendo que a região com menor temperatura se localiza nos locais com maior altitude, onde estão a Serra da Mantiqueira (21°C) e a Serra do Mar (22°C), e conforme as altitudes diminuem (Figura 3.1), as médias de temperatura aumentam [Figura 4.1.1(a)]. Para uma validação das simulações, estas foram interpoladas para a mesma resolução horizontal da reanálise. Sabe-se que com esse procedimento se está suavizando o campo de temperatura, mas o campo sem interpolação é mostrado na Figura 4.1.2.

A Figura 4.1.1(b) mostra a média da simulação CRTL menos a média do ERA-Interim. A simulação CRTL subestimou a temperatura na maior parte do domínio, em aproximadamente 0,5 a 1°C, mas há diferenças de 2°C em algumas pequenas regiões, como nos picos de topografia.

Na Figura 4.1.1(c) fez-se a média da simulação STOPO menos a média do ERA-Interim, e o resultado obtido foi de temperaturas maiores quando se retira a topografia no modelo, chegando a 3°C mais quente na região da Serra da Mantiqueira, onde tem-se, na média do ERA-Interim, a região de menor temperatura. Para a região oceânica, não houve superestimativa da temperatura em relação a média do ERA-Interim.

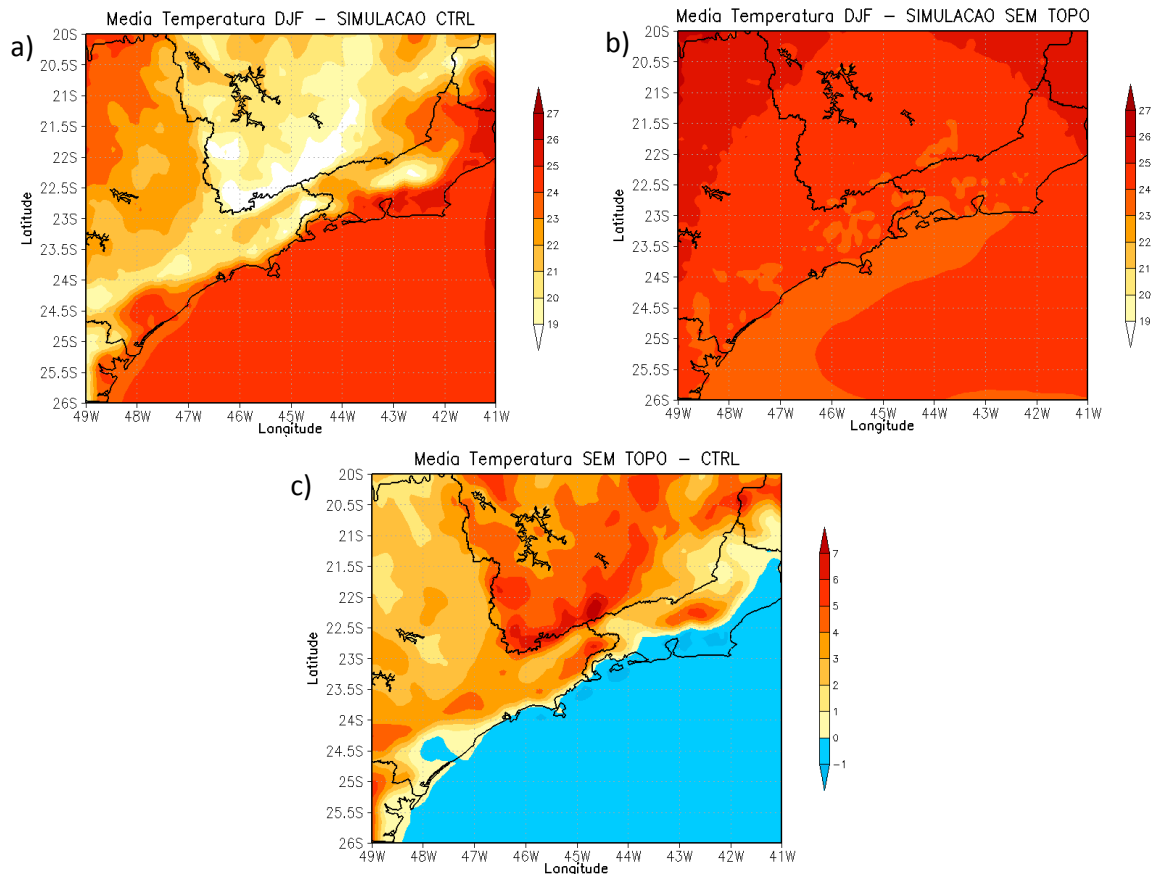
Esses resultados permitiram uma primeira análise de ambas às simulações em relação à temperatura, mostrando que a simulação CRTL simulou bem a temperatura do ar comparada à reanálise, e a simulação STOPO mostrou uma superestimativa da temperatura na região continental quando se retira a topografia local. Isso se deve ao fato de que quando se retira a topografia, não há mais o resfriamento com a altitude como na simulação CRTL.



**Figura 4.1.1** – (a) Média da temperatura do ar a 2 metros de altura da ERA-Interim [°C], (b) diferença da média da temperatura da simulação CRTL – ERA-Interim [°C] e (c) diferença da média da temperatura da simulação STOPO – ERA-Interim [°C].

As médias de temperatura do ar a 2 metros de altura de ambas as simulações sem interpolação, ou seja, com 12 km de resolução horizontal, são apresentadas na Figura 4.1.2, onde fica evidente a grande influência da topografia na temperatura. Na Figura 4.1.2(a) tem-se a temperatura da simulação CRTL, que condiz com os dados de reanálise, tendo os picos de temperatura mais amenos combinados com as regiões de topografia mais altas. Se toda a topografia da região fosse retirada, o aquecimento geral da região é perceptível [Figura 4.1.2(b)]. Na Figura 4.1.2(c) apresenta-se a diferença entre as duas simulações (STOPO – CRTL) com a finalidade de localizar e medir as maiores diferenças de temperaturas, que chegaram a até 7°C nas regiões de picos elevados, e ficaram com valores médios entre 3° a 5° C mais quente na simulação STOPO.





**Figura 4.1.2** – (a) Média de temperatura da simulação CTRL [°C], (b) Média de temperatura da simulação STOPO [°C] e (c) diferença da média de temperatura da simulação STOPO – CTRL [°C].

Pereira et al. (2016) também realizaram um experimento similar de reduzir a topografia a zero metros para a região Nordeste do Brasil usando o RegCM4, foi utilizado nesse estudo como condições de entrada para o modelo os dados fornecidos pela Reanálise NCEP2. Retirando a topografia local, a temperatura aumenta em cerca de 3 a 5° C na região nordeste do sertão e a umidade específica aumentaria cerca de 1 a 2 g/kg no centro da região Nordeste.

Já Reboita et al. (2012) fizeram um experimento reduzindo a topografia da América do Sul ao nível do mar para analisar a influência da topografia na frequência de ciclogênese, como condição de fronteira para o modelo RegCM4, nesse estudo, utilizaram-se a reanálise do NCEP2 (Kanamitsu et al., 2002) e os dados topográficos e de cobertura da terra (resolução horizontal de 10'), do United States Geological Survey (USGS) e Global Land Cover Characterization (GLCC, Loveland et al. 2000), respectivamente. Este estudo mostrou que as regiões ciclogênicas na América do Sul têm influência da topografia.

Segundo Reboita et al. (2012), a ausência de topografia modificou algumas características importantes da circulação atmosférica: o jato em baixos níveis ficou mais fraco no lado oriental da Cordilheira dos Andes, este padrão ocorreu porque não havia topografia em latitudes tropicais para ajudar o escoamento de nordeste a reverter em escoamento de noroeste. Com o jato em baixos níveis mais fraco tem-se menos transporte de calor para a região sudeste da América do Sul. O suprimento de umidade é importante para a ciclogênese e a ausência dos Andes inibe o desenvolvimento da onda estacionária nos níveis médio / superior.

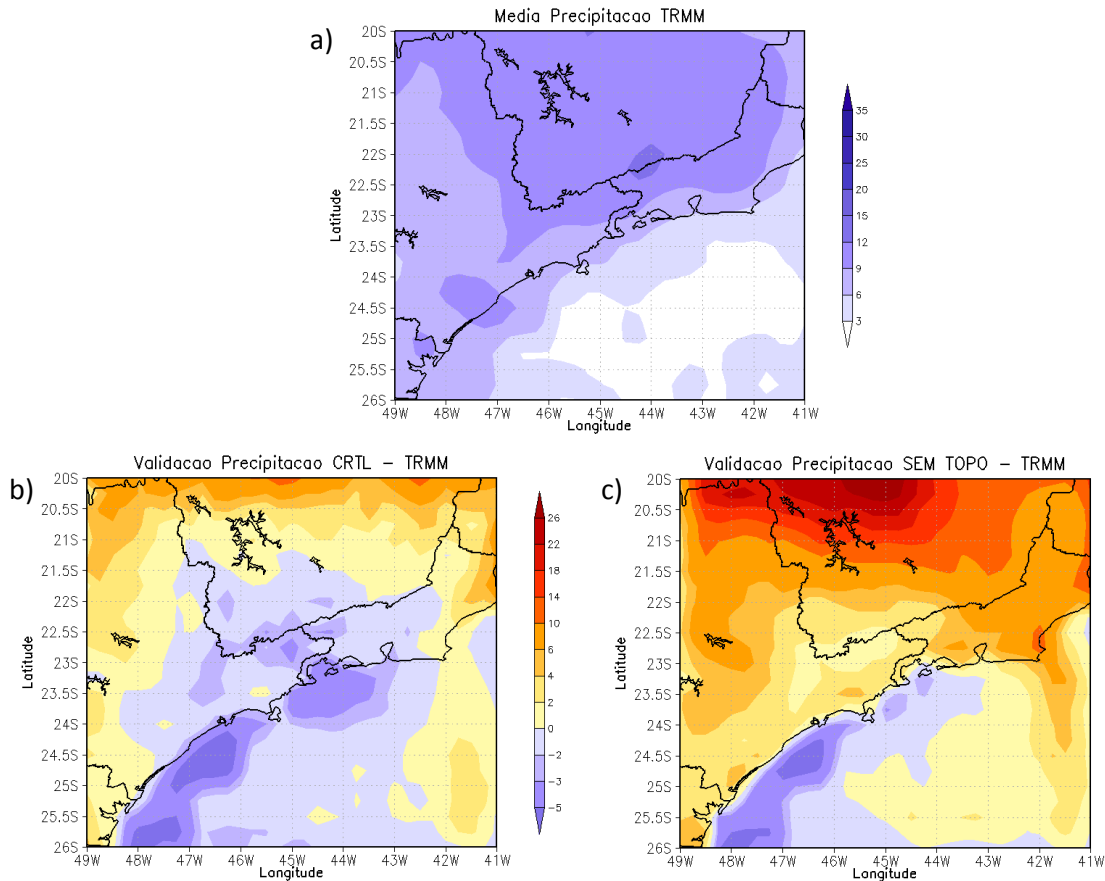
## 4.2. Precipitação

Com as estimativas de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (produto 3B42) do GFSC/NASA3, com resolução de  $0,25^\circ$ , calculou-se a média de precipitação para o verão (DJF) em mm/dia [Figura 4.2.1(a)], que mostra uma variação de 9 a 12 mm/dia no estado e Minas Gerais e parte do Rio de Janeiro e uma média menor aos arredores.

Para validação da precipitação em ambas as simulações, na Figura 4.2.1(b) foi feita a diferença entre a média da simulação CTRL e a média do TRMM e na Figura 4.2.1(c) a diferença entre a média da simulação STOPO e a média do TRMM. Os dados foram interpolados para a grade do TRMM, de  $0,25^\circ$ .

Analisando as Figuras Figura 4.2.1 b e c, a simulação controle mostrou diferenças de 4 a 6 mm/dia, superestimando a precipitação e até 5 mm/dia subestimando sobre o oceano, na parte da costa da região de São Paulo e sul do Rio de Janeiro. Já na diferença da simulação STOPO percebe-se que o modelo superestima mais a precipitação, ultrapassando a 20 mm/dia na região do interior de MG.

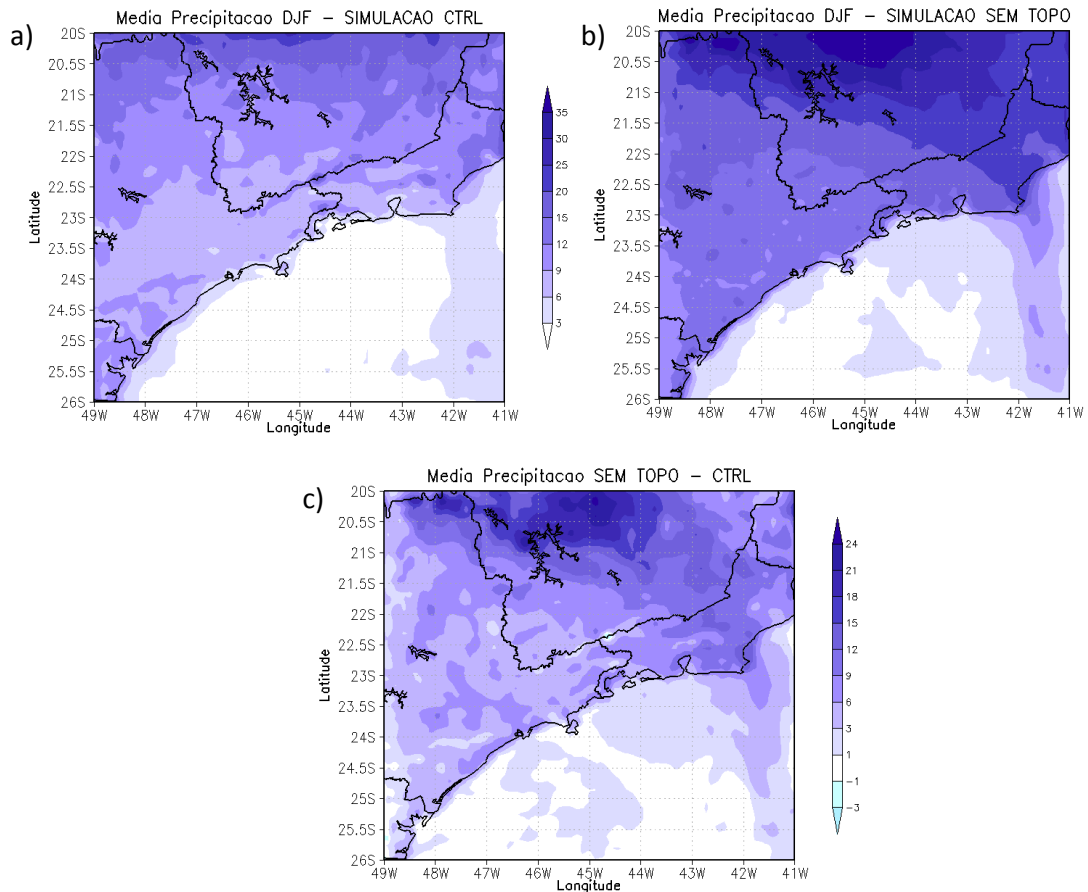
Junqas et al (2015) fizeram um estudo retirando as duas diferentes estruturas orográficas da América do Sul, o Planalto Brasileiro e os Andes, e verificou-se que ambas as estruturas exercem um controle sobre a posição e a força da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), através de seu impacto nos jatos de baixos níveis e no ramo costeiro do Anticiclone Subtropical, proporcionando alterações na circulação atmosférica e na precipitação. Quando o Planalto Brasileiro e os Andes são suprimidos, conduz a alterações mais ou menos pronunciadas dependendo da estrutura da chuva. No entanto, a posição e magnitude da ZCAS mostram mudanças drásticas em ambos os casos de remoção, retirando o Planalto Brasileiro a ZCAS é movida para sudoeste.



**Figura 4.2.1** – (a) Média da precipitação do TRMM [mm/dia], (b) diferença da média da precipitação da simulação CRTL – TRMM [mm/dia] e (c) diferença da média da precipitação da simulação STOPO – TRMM [mm/dia].

A Figura 4.2.2 (a) mostra a média de precipitação da simulação CRTL e a Figura 4.2.2 (b) a média de precipitação da simulação STOPO. Quando se suprime a topografia local, a precipitação tende a aumentar em quase todo domínio, chegando a média de 35 mm/dia na parte central de MG, enquanto na simulação CRTL não ultrapassa os 20 mm/dia na mesma área.

Para verificar a diferença entre as médias de precipitação simulada nos dois experimentos, a Figura 4.2.2 (c) mostra a média da simulação STOPO - CRTL, onde se observa que a diferença chega a até 24 mm/dia nos locais que a simulação STOPO superestimou mais a precipitação. Analisando o domínio por completo, verifica-se que a precipitação aumenta em torno de 10 a 20 mm/dia se suprimir toda a topografia da região.



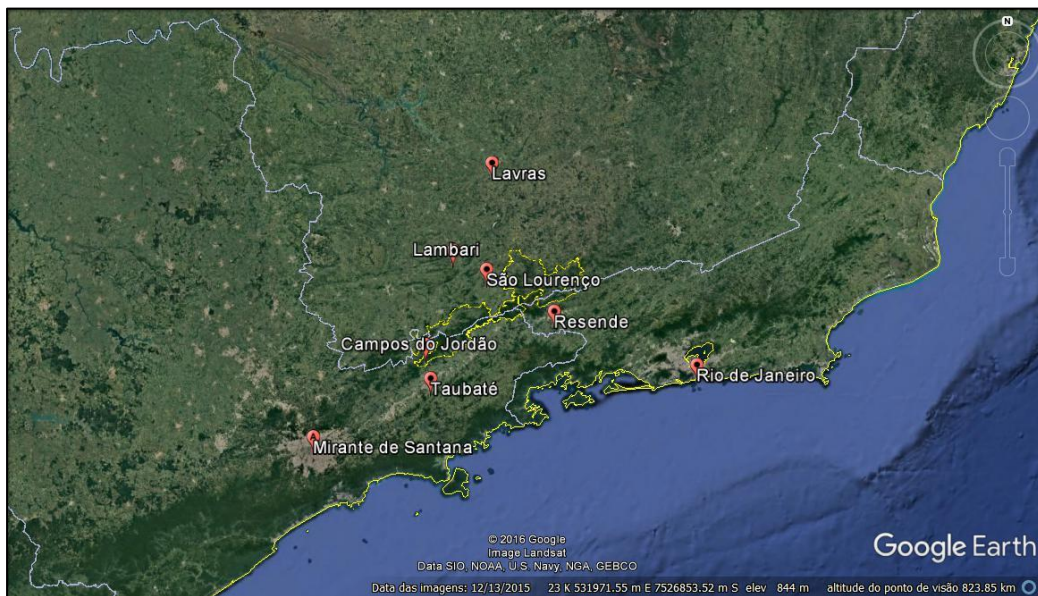
**Figura 4.2.2** –(a) Média de precipitação da simulação CTRL [mm/dia], (b) Média de precipitação da simulação STOPO [mm/dia] e (c) diferença da média de precipitação da simulação STOPO – CTRL [mm/dia].

Segundo Johnson et al (1995), o relevo exerce um papel sobre a distribuição espacial das precipitações, distorcendo ou alterando os padrões existentes nas zonas circundantes. Este fato faz com que zonas montanhosas sejam substancialmente mais úmidas, embora o aumento de precipitação em função da altitude apresente considerável diferença de intensidade e variabilidade temporal, dependendo dos mecanismos característicos dinâmicos de cada área. No caso do relevo do estado de Minas Gerais, este é bem diversificado, estando 75% de sua área em altitudes de 300 a 900 metros. A região sul do estado se caracteriza por serras acidentadas e com picos acima de 2000 metros, sendo sua grande parte localizada sobre a Serra da Mantiqueira.

### 4.3. Validação com Estações do INMET

A Figura 4.3.1 mostra a distribuição espacial das estações do INMET que foram utilizadas para comparar a precipitação acumulada e a temperatura média mensal observada com as simuladas em ambos os experimentos.

Na Tabela 2 estão dispostos os valores de temperatura média mensal e na Tabela 3 os valores de precipitação acumulada, medidos em cada estação, para dezembro, janeiro e fevereiro; e comparado com os valores obtidos nas simulações CRTL e STOPO nos pontos de grade mais próximos à geolocalização de cada estação.



**Figura 4.3.1** – Distribuição espacial das estações do INMET utilizadas para comparação com as simulações.

Analisando a Tabela 2, os dados mostram que a simulação CRTL subestimou a temperatura média mensal na maioria das cidades, obtendo, em média, uma variação de 90 a 95% do total simulado em relação ao total observado. Apenas para a cidade de Campos do Jordão, a simulação obteve temperaturas mais altas que o observado. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), a cidade é a mais alta do Brasil, encravada na serra da Mantiqueira, com 1628 metros de altitude, o que colabora para que ela também seja a mais fria do país, de acordo com o INMET a média anual de temperatura é de 8,1 °C, calculada ao longo dos últimos 30 anos.

Para os valores da simulação STOPO, pode-se verificar uma uniformidade mensal dos mesmos, pois com a topografia suprimida, não houve variação maior que 1°C para todas as cidades estudadas que estão em diferentes altitudes, um exemplo dessa característica é analisar a proximidade dos valores simulados para a cidade de Campos do Jordão e Rio de Janeiro.

Para todas as cidades, a simulação STOPO, superestimou a temperatura média mensal em relação ao medido pelas estações do INMET, exceto para a cidade do Rio de Janeiro, que dentre as demais, registra as maiores temperaturas. A cidade fica ao nível médio do mar e sua localização está na costa do estado do Rio de Janeiro, o que concorda com as Figuras 4.1.1(c) e 4.1.2(c) que mostram a diferença da simulação STOPO da ERA-Interim e da simulação CRTL, respectivamente, mostrando que na região oceânica e seu entorno, não houve superestimativas das temperaturas.

Na Tabela 3, as precipitações acumuladas mensalmente foram, no geral, superestimadas pelas duas simulações em relação ao medido pelas estações do INMET, porém a simulação STOPO apresenta valores muito superiores ao da simulação CRTL.

Para o mês de Dezembro, a simulação CRTL teve melhor resultado na cidade de Lambari que apresentou 4% da precipitação mensal medida, e o pior resultado foi na cidade do Rio de Janeiro com 45,2%. Já para a simulação STOPO, o pior resultado, também na cidade do Rio de Janeiro mostra uma superestimativa de 85,2%, significando que o medido foi 130,7 mm/dia e o estimado 885,77 mm/dia.

Em Janeiro a simulação CRTL subestimou a precipitação em três cidades, São Paulo, Resende e Rio de Janeiro, e superestimou nas outras, não apresentando divergências tão grandes.

No mês de Fevereiro, a simulação CRTL não foi tão precisa, pois das oito cidades analisadas, quatro tiveram valores simulados maiores que o estimado e quatro tiveram valores menores, essa variação foi de -6% a 14,4 %. A simulação STOPO de fevereiro apresentou superestimativas para todas as cidades, exceto para Resende, o que foi um caso isolado, sendo a única cidade que teve precipitação média mensal medida maior que a simulação STOPO.

**TABELA 2** – Média de temperatura nas estações meteorológicas do INMET comparado com as simulações CRTL e STOPO para dezembro, janeiro e fevereiro. O Erro % indica o erro percentual da simulação.

### MÉDIA DE TEMPERATURA

	DEZEMBRO					JANEIRO					FEVEREIRO				
	INMET	CRTL	Erro%	STOPO	Erro%	INMET	CRTL	Erro%	STOPO	Erro%	INMET	CRTL	Erro%	STOPO	Erro%
<b>Lavras (MG)</b>	<b>21,49</b>	19,22	-11,8	23,70	9,3	<b>22,21</b>	19,89	-11,7	24,72	10,2	<b>23,28</b>	20,35	-14,4	25,00	6,9
<b>Lambari (MG)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>São Lourenço (MG)</b>	<b>20,86</b>	19,27	-8,3	23,82	12,4	<b>21,13</b>	19,70	-7,3	24,83	14,9	<b>22,03</b>	20,34	-8,3	25,15	12,4
<b>Campos Jordão (SP)</b>	-	-	-	-	-	<b>16,56</b>	18,11	8,6	24,16	31,5	<b>17,92</b>	19,19	6,6	24,54	27,0
<b>Mirante Santana (SP)</b>	<b>21,25</b>	19,99	-6,3	24,00	11,5	<b>22,40</b>	20,29	-10,4	24,34	8,0	<b>23,72</b>	21,64	-9,6	25,65	7,5
<b>Taubaté (SP)</b>	<b>22,06</b>	20,71	-6,5	23,51	6,2	<b>23,03</b>	21,65	-6,4	24,36	5,5	<b>24,02</b>	22,66	-6,0	24,75	2,9
<b>Resende (RJ)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Rio de Janeiro (RJ)</b>	<b>25,66</b>	23,70	-8,3	23,35	-9,9	<b>27,52</b>	25,14	-9,5	24,54	-12,1	<b>28,91</b>	25,70	-12,5	24,76	-16,8

\*Os locais não preenchidos da tabela são devido a dados faltantes das estações meteorológicas.



**TABELA 3** - Acumulado de precipitação nas estações meteorológicas do INMET comparado com as simulações CRTL e STOPO para dezembro, janeiro e fevereiro. O Erro % indica o erro percentual da simulação.

### ACUMULADO DE PRECIPITAÇÃO

	DEZEMBRO					JANEIRO					FEVEREIRO				
	INMET	CRTL	Erro%	STOPO	Erro%	INMET	CRTL	Erro%	STOPO	Erro%	INMET	CRTL	Erro%	STOPO	Erro%
<b>Lavras (MG)</b>	<b>419,4</b>	476,11	11,9	638,32	34,3	<b>320,5</b>	332,82	3,7	691,64	53,7	<b>181,7</b>	130,8	-38,9	376,61	51,8
<b>Lambari (MG)</b>	<b>261</b>	273,05	4,4	584,77	55,4	<b>308,4</b>	440,29	30,0	614,38	49,8	<b>296</b>	346,73	14,6	356	16,9
<b>São Lourenço (MG)</b>	<b>229,9</b>	406,98	43,5	630,98	63,6	<b>277,2</b>	360,44	23,1	674,98	58,9	<b>270</b>	315,88	14,5	388,58	30,5
<b>Campos Jordão (SP)</b>	<b>264</b>	319,17	17,3	485,28	45,6	<b>315,4</b>	385,17	18,1	713,42	55,8	<b>341,9</b>	302,2	-13,1	431,35	20,7
<b>Mirante Santana (SP)</b>	<b>220,2</b>	253,42	13,1	587,13	62,5	<b>351,8</b>	263,58	-33,5	629,54	44,1	<b>200,2</b>	223,57	10,5	371,42	46,1
<b>Taubaté (SP)</b>	<b>297</b>	323,78	8,3	326,92	9,2	<b>226,1</b>	360,01	37,2	661,76	65,8	<b>339,9</b>	229,71	-48,0	423,95	19,8
<b>Resende (RJ)</b>	<b>213,6</b>	367,28	41,8	622,59	65,7	<b>334,2</b>	325,88	-2,6	641,66	47,9	<b>358</b>	167,34	-113,9	322,3	-11,1
<b>Rio de Janeiro (RJ)</b>	<b>130,7</b>	238,7	45,2	885,77	85,2	<b>211,2</b>	162	-30,4	332,35	36,5	<b>76,9</b>	109,08	29,5	198,51	61,3

## 4.4. Movimento Vertical

A velocidade vertical ômega é mostrada na Figura 4.4.1 para dezembro de 2008, na Figura 4.4.2 para janeiro de 2009 e na Figura 4.4.3 para fevereiro de 2009, em médias dos horários sinóticos 00z, 06z, 12z e 18z para as simulações CRTL e STOPO.

Ao analisar o campo de velocidade vertical ômega, dado em Pa/s, ou seja, (dp/dt), temos os valores positivos (vermelhos) como movimentos descendentes na atmosfera, e valores negativos (azuis) como movimentos ascendentes.

Analisando o mês de dezembro, nota-se que o movimento descendente na encosta das montanhas é bem pronunciado às 06Z [Figura 4.4.1(c)], nos horários 00z [Figura 4.4.1 (a)] e 12Z [Figura 4.4.1(e)] também se encontra movimento descendente, mas no horário 18Z [Figura 4.4.1(g)] o movimento dominante na encosta é ascendente. Provável configuração da brisa de vale e montanha.

As brisas de vale e montanha são componentes de um padrão de vento diurno e local, o estabelecimento desses sistemas é caracterizado por mudanças nos campos de temperatura, umidade e vento. A brisa do vale (movimento ascendente ou *upslope*) é o análogo da brisa marítima e a de montanha (movimento descendente ou *downslope*) da brisa terrestre.

Campos et al. (2016) fizeram um estudo de caso, entre os dias 16 e 22 de agosto de 2010, das circulações locais induzidas pela topografia no Vale do Paraíba e na Serra da Mantiqueira através de uma simulação com o modelo WRF, e verificaram que células da brisa foram evidenciadas em perfis verticais, onde um escoamento ora ascendente, ora descendente nas regiões montanhosas indica a mudança do sentido da circulação nas horas mais propícias aos gradientes térmicos.

Reboita et al (2012) fizeram um estudo para caracterizar a ocorrência de brisa de vale e montanha na cidade de Itajubá (MG) e os resultados mostraram que a brisa de montanha é mais duradoura. Fato que provavelmente está associado a influência do efeito térmico da cidade nos gradientes horizontais de temperatura entre a região montanhosa e o centro urbano.

Numa região com terreno irregular, os padrões locais de vento podem se desenvolver devido ao aquecimento diferenciado entre a superfície próxima ao solo e a atmosfera livre.

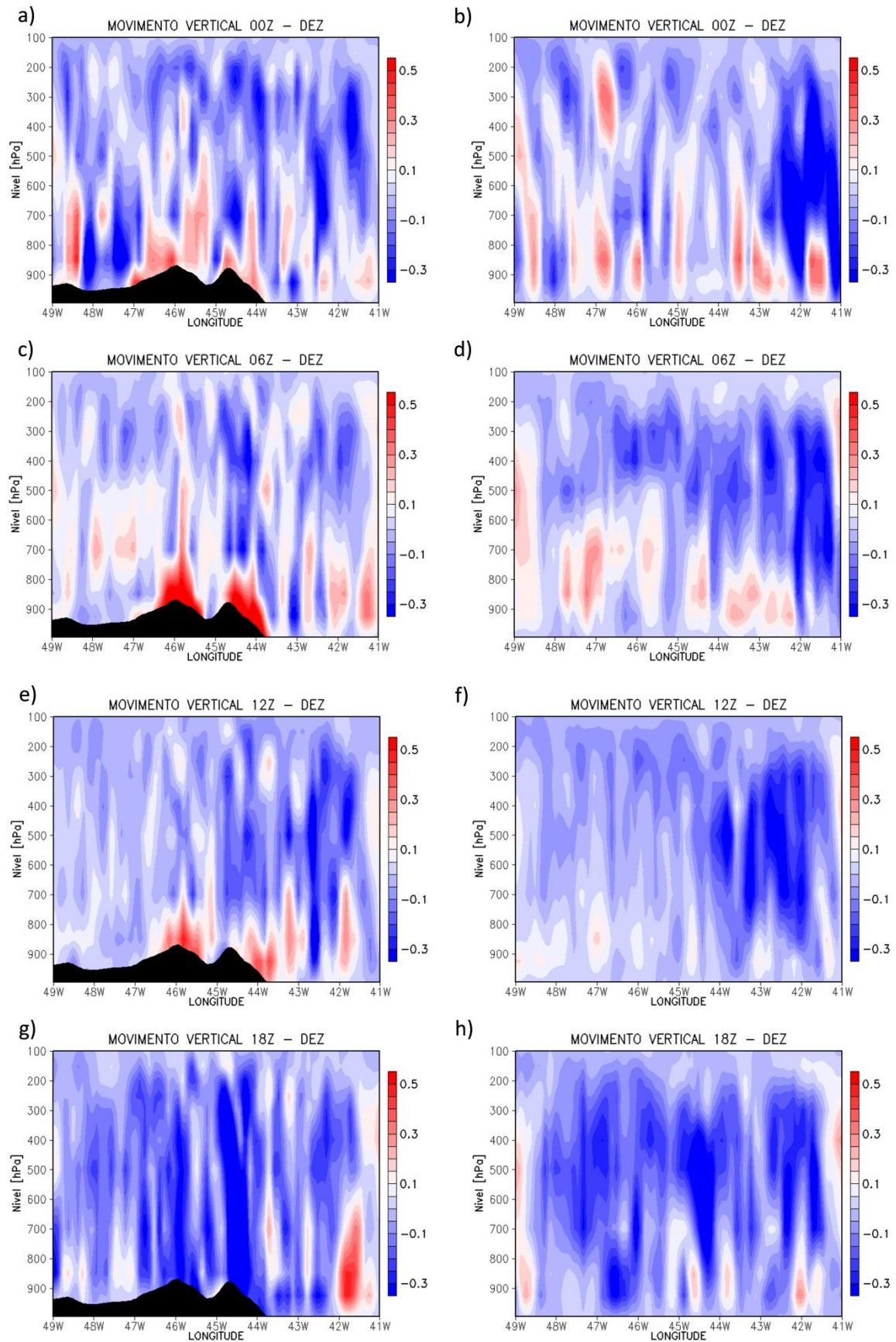
Uma grande variação diurna na temperatura usualmente ocorre no solo, sendo que durante o dia a montanha torna-se uma fonte elevada de calor, enquanto que à noite, ela é um sumidouro elevado de calor, portanto, ventos de encosta referem-se a ar mais frio e mais denso fluindo terreno abaixo durante a noite, e com ar mais quente e menos denso movendo-se na direção das maiores elevações durante o dia.

Assimilando os horários sinóticos com os horários UTC, observa-se que a ocorrência dos movimentos descendentes se dão às 00Z, 06Z e 12Z, que respectivamente são horários da noite e começo da manhã, 21h, 03h e 09h, o que condiz com as brisas de montanha descendo a encosta. Vale ressaltar que o horário com maior movimento descendente se verificou às 06Z que caracteriza o horário da madrugada com maior resfriamento.

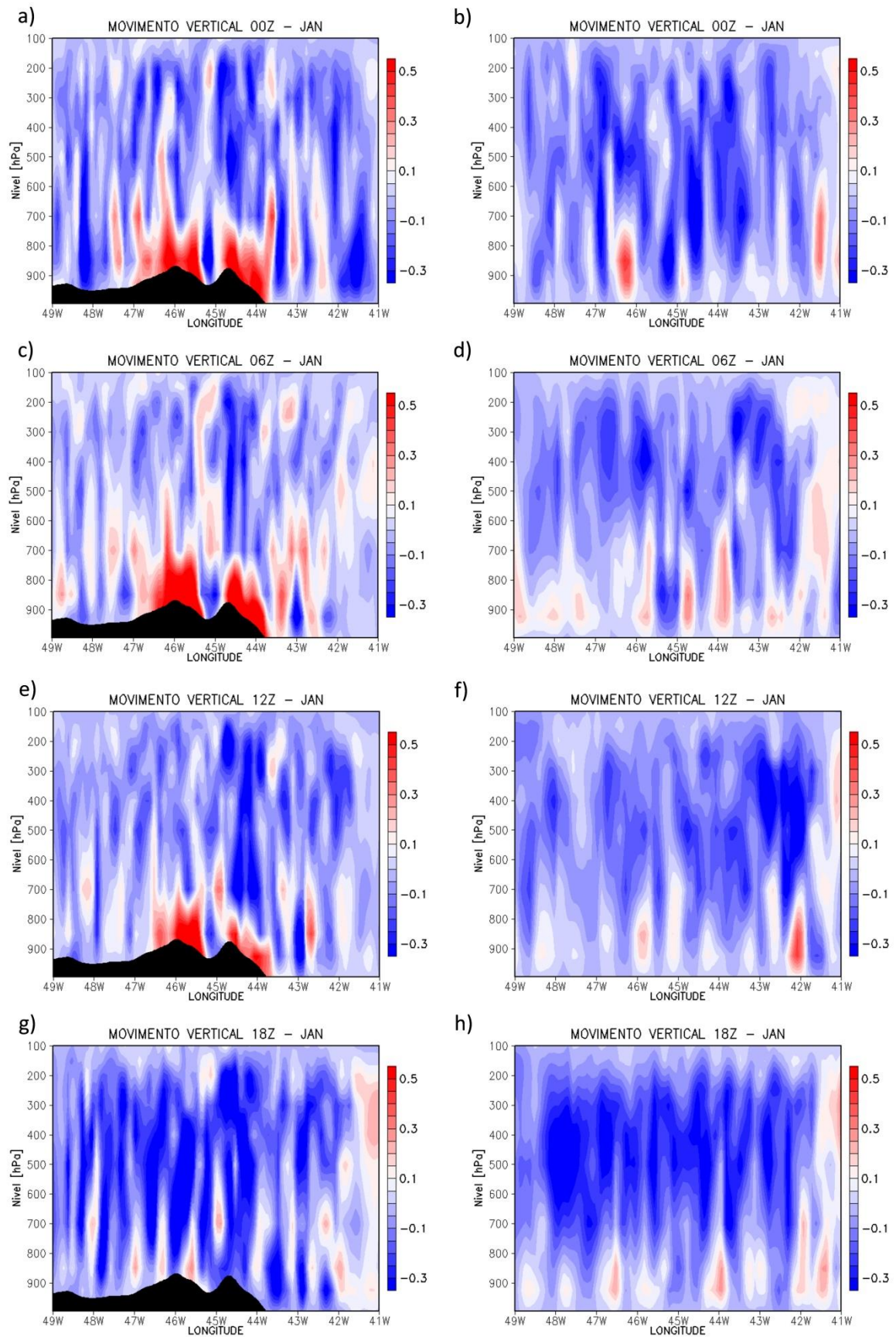
O horário sinótico 18Z que representa 15h, horário de maior aquecimento da encosta, configura apenas movimentos ascendentes, pois condiz com a brisa de vale, com ar mais quente e menos denso subindo a encosta.

Comparando os campos simulados CRTL e STOPO, é evidente que a circulação de brisa de vale e montanha é descaracterizada, o que influencia em toda a atmosfera. No horário das 06Z [Figura 4.4.1(d)] fica evidente o enfraquecimento do movimento descendente em baixos níveis, e em altos níveis há apenas movimentos ascendentes. As 12Z [Figura 4.4.1(f)] não têm os movimentos descendentes quando a montanha é retirada.

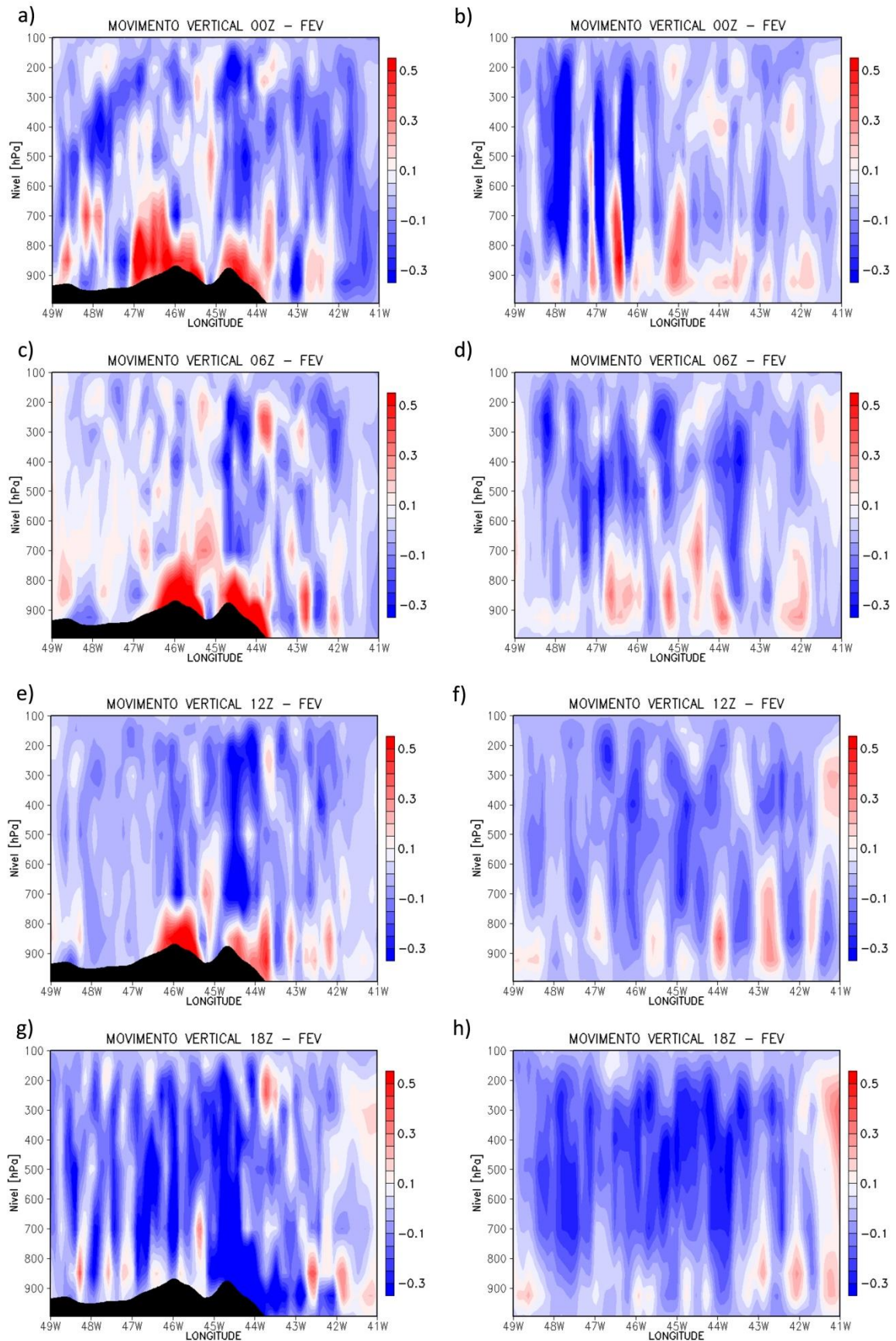
Os meses de Janeiro e Fevereiro apresentam resultados similares, com movimentos descendentes na encosta das montanhas, principalmente nos horários 00Z, 06Z e 12Z [Figuras 4.4.2 e 4.4.3 (a, c, e)], já no horário 18Z, os movimentos predominantes são ascendentes [Figuras 4.4.2 e 4.4.3 (g)]. Para a simulação STOPO, os efeitos da brisa de vale e montanha também são descaracterizados.



**Figura 4.4.1** – Velocidade vertical  $\omega$  (Pa/s) em dezembro de 2008 as 00Z em (a)CTRL e (b)STOPO, as 06Z em (c)CTRL e (d)STOPO, as 12Z em (e)CTRL e (f)STOPO; e as 18Z em (g)CTRL e (h)STOPO.



**Figura 4.4.2** – Velocidade vertical  $\omega$  (Pa/s) em janeiro de 2009 as 00Z em (a)CTRL e (b)STOPO, as 06Z em (c)CTRL e (d)STOPO, as 12Z em (e)CTRL e (f)STOPO; e as 18Z em (g)CTRL e (h)STOPO.



**Figura 4.4.3** – Velocidade vertical  $\omega$  (Pa/s) em fevereiro de 2009 as 00Z em (a)CTRL e (b)STOPO, as 06Z em (c)CTRL e (d)STOPO, as 12Z em (e)CTRL e (f)STOPO; e as 18Z em (g)CTRL e (h)STOPO.

## 5. CONCLUSÃO

Através da realização deste estudo foi possível analisar a contribuição da topografia na temperatura, precipitação e circulação local da região Sudeste e seus arredores. O objetivo do trabalho foi realizar duas simulações com o modelo regional RegCM4, em alta resolução (12 km). Uma simulação controle (CTRL) e outra suprimindo a topografia (STOPO) a fim de comparar os experimentos e encontrar a influência da topografia nas variáveis atmosféricas.

O desempenho do modelo RegCM4 em simular a temperatura do ar e a precipitação foi analisado a partir da comparação com a reanálise ERA-Interim, com as estimativas de precipitação do TRMM e com dados de estações meteorológicas do INMET. Os resultados de temperatura mostraram que a simulação CTRL simulou bem a temperatura do ar comparada à reanálise, e a simulação STOPO mostrou uma superestimativa da temperatura na região continental quando se retira a topografia local. Isso se deve ao fato de que quando se retira a topografia, não há mais o resfriamento com a altitude como na simulação CTRL. Para a precipitação, simulação controle mostrou diferenças de 4 a 6 mm/dia, superestimando a precipitação e até 5 mm/dia subestimando sobre o oceano, porém a diferença da simulação STOPO mostrou que o modelo superestima mais a precipitação, ultrapassando a 20 mm/dia na região do interior de MG.

Comparando a simulação CTRL com a simulação STOPO, o aquecimento chega a até 7°C nas regiões de picos elevados, e fica com valores médios entre 3° a 5° C mais quente na simulação STOPO. Para a precipitação, observou-se que a diferença chega a até 24 mm/dia nos locais que a simulação STOPO superestimou mais a precipitação, no geral, a precipitação aumenta em torno de 10 a 20 mm/dia se suprimir toda a topografia da região. Ao verificar a circulação local da atmosfera, o principal impacto observado foi a descaracterização da brisa de vale e montanha.

Para trabalhos futuros é interessante que seja feito testes como mudanças nas parametrizações de convecção para observar a variação da precipitação com a retirada da topografia.

## 6. REFERÊNCIAS

- ANTHES, R. A.; HSIE E. Y.; KUO Y. H.; Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4). **National Center for Atmospheric Research Tech Note**, NCAR, Boulder, CO, 1987.
- CAMPOS, B.; REBOITA, M.; CARVALHO, V.; DIAS, C.; Circulações Locais Induzidas pela Topografia no Vale do Paraíba e na Serra da Mantiqueira: um estudo de caso para o período entre os dias 16 e 22 de agosto de 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, América do Norte, 9 5 06, 2016.
- CARDOZO, A. B.; CUSTÓDIO, I.S.; REBOITA, M.; GARCIA, S.R. Climatologia De Frentes Frias Na América Do Sul E Sua Relação Com O Modo Anular Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 17, dez. 2015.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Os Comitês de Bacias Hidrográficas. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/>. Acesso em: 12 ago. 2016.
- DA ROCHA, R.P.; MORALES, C.A.; CUANDRA, S.P.; AMBRIZZI, T.; precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: an evaluation of Regional Climate Model version 3 simulations. **J Geophys**, 2009.
- DEE, P.; UPPALAA, M.S.; SIMMONS, A.J.; ET, A.L.; The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Q J R Meteorol Soc** 137:553–597, 2011.
- DICKINSON, R. E.; ERRICO, R. M.; GIORGI, F.; BATES, G. T.; A regional climate model for the 522 western United States. **Climatic Change** 15: 383–422, 1989.
- DICKINSON, R.; HENDERSON-SELLERS, A.; KENNEDY, P. Biosphere-atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to the NCAR Community Climate Model. Boulder, CO: **University Corporation for Atmospheric Research**, 1993.
- DIFFENBAUGH, N.S.; GIORGI, F.; Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. **Climatic Change**. 2012.
- DIRO, G. T.; RAUSHER, S. A.; GIORGI, F.; TOMPKINS, A.M.; Sensitivity of seasonal climate and diurnal precipitation over Central America to land and sea surface schemes in RegCM4. **Clim Res** 52:31–48, 2012.
- EMANUEL, D. J.; RAYMOND; The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models. Meteor. Monogr., No. 46, **Amer. Meteor. Soc.**, 246 pp, 1993.
- EMANUEL, K.A; A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. **J Atmos Sci**. 48: 2313–2335, 1991.
- EMANUEL, K. A.; Zivkovic-Rothman; Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. **J Atmos Sci** 56: 1766–1782, 1999.
- FERNANDEZ, J. P. R.; FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; Simulation of summer circulation over South America by two regional climate models. Part I. Mean climatology. **Theor Appl Climatol** 86:247–260. 2006.



GAN, M.A.; RAO, V.B.; The influence of the Andes Cordillera on Transient Disturbances. **Monthly Weather Review**, v.122, p.1141-1157, 1994.

GIORGI, F.; Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. **J Clim** 3: 941–963, 1990.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M.R.; BATES, G.; Development of a second generation regional climate model (RegCM2). I. Boundary layer and radiative transfer processes. **Mon Weather Rev** 121: 2794–2813, 1993a.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M.R.; BATES, G.; DECANIO, G.; Development of a second generation regional climate model (RegCM2). II. Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. **Mon Weather Rev** 121: 2814–2832, 1993b.

GIORGI, F.; HUANG, Y.; NISHIZAWA, K.; FU, C.; A seasonal cycle simulation over eastern Asia and its sensitivity to radiative transfer and surface processes. **J Geophys Res** 104: 6403–6423, 1999.

GIORGI, F.; MEARNS, L.; Introduction to special section: regional climate modeling revisited. **J Geophys Res** 104: 6335–6352, 1999.

GIORGI, F.; Regional climate modeling: status and perspectives. **J Phys IV** 139: 101–118, 2006.

GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L.; SYLLA, M.; BI, X.; ELGUINDI, N.; DIRO, G. T.; NAIR, V.; GIULIANI, G.; TURUNCOGLU, U. U.; COZZINI, S.; GÜTTLER, I.; O'BRIEN, T. A.; TAWFIK, A. B.; SHALABY, A.; ZAKAY, A. S.; STEINER, A. L.; STORDAL, F.; SLOAN, L. C.; BRANKOVIC, C.; **RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains**; Vol. 52: 7–29, 2012.

GRELL, G. A.; Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. **Mon Weather Rev** 121: 764–787, 1993.

GRIMM, A. M.; VERA, C.; MECHOSO, R.; The South American Monsoon System. In: The Global Monsoon System: Research and Forecast. **WMO/TD** 1266 – TMRP: pp. 542, 2005.

HOLTSLAG, A. A. M.; BRUIJN, E. I. F. D.; PAN, H. L. A High Resolution Air Mass Transformation Model for Short-Range Weather Forecasting. **Monthly Weather Review**, v. 118, n. 8, p. 1561–1575, ago. 1990.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. Online: Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 04 de Agosto de 2016.

JOHNSON, G.L.; C.L HANSON.; Topographic and atmospheric influences on precipitation variability over a mountainous watershed, **J. Appl. Meteor**, v.34, pp. 68-87, 1995

KOUSKY, V. E.; Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 217-231, 1988.

KRÜGER, F.; DA ROCHA, R.; REBOITA, M.; AMBRIZZI, T.; RegCM3 nested in HadAM3 scenarios A2 and B2: projected changes in extratropical cyclogenesis, temperature and precipitation over the South Atlantic Ocean. **Climatic Change**. 113:599–621, 2012.

LOVELAND, T. R.; REED, B. C.; BROWN J. F.; OHLEN. D. O.; ZHU, J.; YANG, L.; MERCHANT, J. W.; **Development of a global land cover characteristics database and IGBP**, 2000

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V.; SILVA DIAS, P. L.; CAVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. Review recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 1-21, 2012.

OLIVEIRA, A. S.; **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. INPE- Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PAL, J. S.; GIORGI, F.; BI, X.; ELGUINDI, N.; Regional climate modeling for the developing world: the ICTP RegCM3 and RegCNET. **Bull Am Meteorol Soc** 88: 1395–1409, 2007.

QIAN, J. .; Why precipitation is mostly concentrated over islands in the maritime continent. **J Atmos Sci** 65: 1428–144, 2008.

QIAN, J.H.; ROBERTSON, A. W.; MORON, V.; Interactions among ENSO, the monsoons, and diurnal cycle in rainfall variability over Java, Indonesia. **J Atmos Sci** 67: 3509–3524, 2010.

QUISPE, D. P.; **Experimentos de sensibilidade sobre o Brasil em cenários de aquecimento global utilizando modelo climático regional** - INPE- Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

RAMAGE, C. S.; Monsoon Meteorology. **Academic Press, New York and London**, 296 p., 1971.

REBOITA, M. S.; **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. Tese de Doutorado em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG–USP, 359 pg., 2008.

REBOITA, M. S.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T.; SUGAHARA S.; South Atlantic Ocean Cyclogenesis Climatology Simulated by Regional Climate Model (RegCM3). **Climate Dynamics**, 2009.

REBOITA, M. S.; DA ROCHA, R. P.; Previsão Climática Para A Região Sul De Minas Gerais. **EDITAL/MCT/CNPq N° 014/2010**, 2010.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T.; Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2010.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P.; **Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul**. Terra E Didática, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P.; AND AMBRIZZI, T.; Dynamic and climatological features of cyclonic developments over Southwestern South Atlantic Ocean, in: Horizons in Earth Science Research, Vol. 6, chap. 4, **Nova Science Publishers**, São Paulo, 135–160, 2012.

REBOITA, M. S.; ASSIREU, A.; SILVA, L. C.; RIOS, N.; Evidências de Circulação de Brisa Vale-Montanha na Serra da Mantiqueira: Cidade de Itajubá, MG. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 61-71, 2014.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A.; Aspectos Climáticos Do Estado De Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 17, 2015.

REYNOLDS, R. W.; RAYNER, N. A.; SMITH, T. M.; STOKES, D. C.; WANG, W.; An improved in situ and satellite SST analysis. **J. Climate**, 15, 1609–1625, 2002.

SETH, A.; ROJAS, M.; Simulation and sensitivity in a nested modeling system for tropical South America. Part I: Reanalyses boundary forcing. **J Climate** 16: 2437-2453, 2003.

SETH, A.; RAUSCHER, S. A.; CARMAGO, S. J.; QIAN, J. H.; PAL, J. S.; RegCM3 regional climatologies using reanalysis and ECHAM global model driving fields. **Climate Dyn.**, 28, 461–480, 2007.

SOLMAN, S. A.; Evaluation of an ensemble of regional climate model simulations over South America driven by the ERA-Interim reanalysis: model performance and uncertainties. **Clim Dyn**, 1-19, 2013.

SOUZA, L. R.; AMANAJÁS, J. C.; SILVA, A. P. N.; BRAGA, C. C.; CORREIA, M. F.; Determinação de padrões espaço-temporal e regiões homogêneas de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 265-280, 2011.

VERA, C.; HIGGINS, W.; J. AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C.; Toward a unified view of the American monsoon systems. **Journal of Climate**, v. 19, n. 20, p. 4977-5000, 2006.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G.; Estudo preliminar da climatologia dinâmica do estado de Minas Gerais. In: **IV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Brasília, 1986.

ZHOU, J.; LAU, K. M.; Does a monsoon climate exists over South America? **Journal of Climate**, v. 11, p. 1020–1040, 1998.