



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES SUBSAZONAIS DO  
MODELO ETA NA DETECÇÃO DO INÍCIO DA  
ESTAÇÃO CHUVOSA**

**LUAN FELIPE CARNEIRO RODRIGUES**

**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

**JULHO DE 2017**

**LUAN FELIPE CARNEIRO RODRIGUES<sup>1</sup>**

**AVALIAÇÃO DAS PREVISÕES SUBSAZONAIS DO MODELO ETA NA  
DETECÇÃO DO INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA**

Relatório final de Iniciação Científica  
apresentado ao Instituto Nacional de  
Pesquisas Espaciais como parte das  
exigências para finalização de projeto de  
pesquisa financiado pelo CNPq.

Dr. Prakki Satyamurty<sup>2</sup>

Orientador

DSc. Sin Chan Chou<sup>3</sup>

Colaboradora

DSc. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi<sup>4</sup>

Colaboradora

**JULHO DE 2017**

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária – Universidade Federal de Lavras. E-mail: fcrodrigues.luan@gmail.com

<sup>2</sup> DMD/CPTEC/INPE. E-mail: saty.prakki@gmail.com

<sup>3</sup> DMD/CPTEC/INPE. E-mail: chou@cptec.inpe.br

<sup>4</sup> DEG/UFLA. E-mail: silvia.yanagi@deg.ufla.br

## RESUMO

O início do período chuvoso é um evento de extrema importância para diversos setores e atividades de uma região. A gestão de reservatórios e planejamento de geração de energia hidroelétrica, a definição das datas de plantio e adubação, a preparação para campanhas de saúde pública e a tomada de decisões para prevenção de desastres ambientais são exemplos de atividades ligadas diretamente ao início da estação chuvosa. Neste contexto, faz-se necessária uma investigação mais detalhada a cerca da capacidade de modelos climáticos em prever com certa antecedência e confiabilidade eventos como o início do período chuvoso, bem como para entender as variações interanuais e identificar as deficiências dos modelos. A previsão do tempo e do clima tem sido realizada a partir de modelos climáticos regionais (MCR's) aninhados a modelos climáticos globais (MCG's) com o intuito de refinar as previsões através da introdução, em melhor resolução, das características locais, processo este denominado *downscaling*. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho das previsões em escala subsazonal do modelo regional Eta na detecção do início da estação chuvosa. O modelo Eta foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, e é operacionalizado no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) desde 1997 para previsão do tempo e desde 2002 para previsão climática sazonal. Neste estudo, priorizou-se a região Sudeste do Brasil, por ser uma região com grande concentração de reservatórios para geração de energia elétrica, considerável produção agrícola e agropecuária, elevada população e com altos números de ocorrências de enchentes e deslizamentos ocasionados pela chuva. Foi adotado um critério baseado em um limiar de precipitação acumulada em um período de cinco dias (pêntada) para definição do início da estação chuvosa, sendo este critério aplicado sobre as previsões do modelo e sobre o produto observado MERGE (Combinação entre a precipitação observada e a estimada por satélites). Foram utilizadas previsões geradas por cinco membros do modelo Eta, na resolução de 40 km, iniciadas às 1200 UTC no período de 13 a 17 de setembro, dos anos de 2001 a 2010. Análises estatísticas descritivas foram aplicadas para descrever o desempenho das previsões do modelo em relação aos dados observados. De acordo com os resultados, observou-se que o modelo apresenta certa dificuldade em prever os volumes de chuva em escala diária, mas tem melhor desempenho quando se trata de volume acumulado em escala mensal. Em geral, apesar da maior sensibilidade do modelo em prever eventos com maior escala temporal e menor escala espacial, o modelo se comportou relativamente bem.

**Palavras-chave:** Previsão subsazonal. Estação chuvosa. Modelo climático.

## LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
CEM – Centro Estadual de Meteorologia  
CFSR – Climate Forecast System Reanalysis  
CIRES – Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences  
COLA – Center for Ocean, Land and Atmospheric Studies  
CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos  
DAEE – Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo  
ECHAM 4.5– European-Hamburg Model version 4.5  
ETP – Evapotranspiração Potencial  
EUA – Estados Unidos da América  
GrADS – Grid Analysis and Display System  
HSS – Heidke Skill Score  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IGES – Institute for Global Environment and Society  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
MCG – Modelo Climático Global  
MCGA – Modelo de Circulação Geral Atmosférico  
MCR – Modelo Climático Regional  
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação  
MERGE – Combinação entre a precipitação observada e a estimada por satélites TRMM-TMPA e GPM-IMERGE  
NCAR – National Center for Atmospheric Research  
NCEP – National Centers for Environmental Prediction  
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration  
NPWI – Normalized Precipitating Water Index  
PIB – Produto Interno Bruto  
PMTCRH – Programa de Monitoramento de Tempo e Clima e Recursos Hídricos  
RAMS – Regional Atmospheric Modeling System  
RegCM3 – Regional Climate Model version 3  
RMSE – Root Mean Square Error  
ROL – Radiação de Onda Longa  
ROLE – Radiação de Onda Longa Emergente  
SST – Surface Sea Temperature  
SYNOP – Surface Synoptic Observations  
TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission  
TSM – Temperatura da Superfície do Mar  
UTC – Universal Coordinated Time  
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS .....</b>	<b>2</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Modelos Climáticos .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2. Previsão Sazonal e Subsazonal .....</b>	<b>6</b>
<b>3.3. Identificação do início da estação chuvosa .....</b>	<b>8</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1. Área de estudo.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2. Modelo Eta .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3. Descrição dos dados.....</b>	<b>18</b>
<b>4.4. Software.....</b>	<b>19</b>
<b>4.5. Análises estatísticas .....</b>	<b>19</b>
<b>4.5.1. Raiz do erro quadrático médio.....</b>	<b>19</b>
<b>4.5.2. Coeficiente de correlação de Pearson (r).....</b>	<b>19</b>
<b>4.5.3. Coeficiente de Nash-Sutcliffe (E).....</b>	<b>20</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>5.1. Início da estação chuvosa.....</b>	<b>21</b>
<b>5.2. Análise estatística do desempenho do modelo.....</b>	<b>33</b>
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>8. ANEXOS</b>	

## 1. INTRODUÇÃO

O comportamento espaço-temporal do clima é uma importante característica regional nos âmbitos social, econômico e ambiental. Por isso, o conhecimento e a compreensão da variabilidade do clima podem auxiliar na tomada de decisões que minimizem o efeito de condições climáticas adversas em determinada época e local.

A produção agrícola, o uso dos recursos hídricos e energéticos, o controle de doenças e a prevenção de desastres ambientais são exemplos de atividades afetadas diretamente pelas variações climáticas. O Brasil é um país de grande extensão territorial tanto em termos de longitude (extremos: 73°59'32"W a 34°47'30"W), quanto em latitude (extremos: 33°45'03"S a 5°16'20"N), isso faz com que haja diferentes condições climáticas dentro do território brasileiro, sendo os três principais regimes o tropical, o subtropical e o de latitudes médias.

A região Sudeste é a mais populosa dentre as cinco regiões brasileiras, sendo também a região com maior Produto Interno Bruto (PIB) e atividade industrial. O Sudeste também se destaca pela sua hidrografia, que é vasta e amplamente utilizada para geração de energia hidroelétrica. As principais bacias hidrográficas da região Sudeste são a bacia do Rio Grande, São Francisco, Paraná, Paraíba do Sul e Doce. Outra atividade importante da região é agricultura, que apresenta elevado padrão técnico e produtividade. Dentre os principais produtos da região estão o café, a cana-de-açúcar, a laranja, a mandioca, a soja, o algodão e o leite.

Devido as suas características como topografia, posição geográfica, extensão territorial e, principalmente, os aspectos dinâmicos da atmosfera, a região Sudeste possui uma característica climática bastante diversificada (MELLO et al., 2007; ALVARES et al., 2014). Sistemas meteorológicos de micro, meso e macro escalas atuam de forma direta e indireta no regime de chuvas (MINUZZI et al., 2007). A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e as Frentes frias são sistemas atmosféricos de escala espaço-temporal distintas que interagem sobre a região, sendo as principais responsáveis pela precipitação pluvial no Sudeste brasileiro.

Em regiões com períodos chuvoso e seco bem definidos (regime de monção), como é o caso do Sudeste brasileiro, torna-se importante saber quando se dá o início, a intensidade, a duração, o fim da estação chuvosa e variabilidade intrasazonal e interanual (DOS SANTOS; GARCIA, 2016), pois este conhecimento possibilita o

planejamento prévio de atividades, a escolha de culturas adequadas, a otimização da gestão dos reservatórios e do consumo de energia, podendo levar a uma redução de perdas e maximização de ganhos (CHOU; BUSTAMANTE; GOMES, 2005).

Neste contexto, surge o conceito de previsão climática em escala sazonal e subsazonal. Modelos climáticos, baseados em inúmeras equações alimentadas por dados observados e calculados e por características geográficas globais e regionais produzem simulações do comportamento atmosférico em diferentes escalas espaço-temporais. A previsão do tempo e do clima tem sido realizada a partir de modelos climáticos regionais (MCR's) aninhados a modelos climáticos globais (MCG's) com o intuito de refinar as previsões através da introdução, em melhor resolução, das características locais, tais como relevo e orografia, este processo é denominado *downscaling*.

Várias incertezas envolvem a modelagem climática regional. Existe uma grande variedade de problemas relacionados ao erro produzido por modelos em integrações climáticas alongadas, como é o caso das previsões sazonais e subsazonais.

A camada limite da previsibilidade dos modelos é obtida quando as simulações são iguais às observações.

O objetivo deste trabalho é avaliar estatisticamente o desempenho das previsões subsazonais do modelo Eta na detecção do início da estação chuvosa em áreas da região Sudeste do Brasil.

## **2. RESUMO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

Este relatório tem por objetivo informar a agência financiadora (CNPq) e a instituição de pesquisa (INPE) das atividades desenvolvidas no período de Agosto de 2016 e Julho de 2017 e também dos resultados obtidos.

O último ano foi dedicado a um levantamento mais aprofundado de um referencial teórico que serviria de base para discussão dos resultados encontrados neste trabalho. Além disso, atentou-se para o cumprimento do cronograma proposto no relatório final do primeiro ano de pesquisa.

Como fora proposto, reduziu-se o tamanho das áreas a serem analisadas, implicando, portanto, em um aumento do número de áreas de 4 para 20.

Foram geradas, para cada área, um conjunto de previsões em escala subsazonal, iniciadas no mês de setembro de cada ano do período entre 2001 e 2010.

As previsões foram então organizadas em planilhas, onde se pode analisar os dados e aplicar os critérios propostos para identificação do início da estação chuvosa na área de interesse.

Posteriormente os dados previstos foram comparados com dados observados. Os resultados e discussão estão nas próximas seções.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Modelos Climáticos**

Os modelos numéricos de tempo são ferramentas importantes tanto para a melhoria no entendimento dos fenômenos meteorológicos, como no auxílio da previsão de tempo e clima. Logo, o conhecimento do desempenho dos modelos no que tange a precipitação, juntamente com seus erros sistemáticos, é de suma importância para que os meteorologistas elaborem previsões de tempo cada vez mais confiáveis (de MOURA et al., 2010).

Previsões elaboradas por modelos numéricos de tempo e clima podem conter erros resultantes dos processos físicos nos modelos, bem como da imprecisão dos cálculos. A condição inicial usada nos modelos também influencia na qualidade dos resultados finais das previsões (de MOURA et al., 2010).

O comportamento dos modelos pode sofrer variações sazonais, regionais e também pode depender do horário inicial de integração, da resolução do modelo e da quantidade de observações assimiladas pelas análises. Em alguns casos é possível observar que os modelos apresentam baixa qualidade, enquanto que em outros o modelo apresenta melhor desempenho.

Cabral et al. (2016) observaram que para se obter um melhor desempenho de previsão deve-se aumentar o número de membros dos conjuntos do modelo atmosférico.

O *downscaling* é uma técnica que utiliza modelos regionais aninhados a modelos dinâmicos de circulação geral da atmosfera. Características locais como topografia, vegetação e solo, que não estão contidas nos modelos globais, são incorporadas pelos modelos regionais. Desta forma, os modelos globais se ocupam em responder à influência da circulação de grande escala, enquanto que os modelos regionais simulam baseados nas forçantes dos efeitos locais, sendo também influenciados pelas forçantes do modelo global (COSTA; MENEZES NETO, 2009; CABRAL et al., 2016). Wilby et al. (1998) definem o *downscaling* como técnica de transferência de informações de



grande escala para escalas menores. Segundo Sen et al. (2004a,b), os modelos climáticos regionais (MCRs) permitem a utilização de parametrizações físicas mais apropriadas para mesoescala e isto, aliado à maior resolução espacial proporciona um melhor entendimento dos processos de interação nuvem-radiação, convecção cumulus e de interação entre solo-superfície-atmosfera, diminuindo os erros que nos MCGAs são associados à baixa resolução espacial.

Estudos sobre a técnica *downscaling* apontam um melhor desempenho na simulação e previsão de distribuição de precipitação localizada (NOBRE et al., 2001; SUN et al., 2005). Segundo Oliveira (2006), o uso do *downscaling* dinâmico tem ajudado a resolver o problema da incompatibilidade de escala temporal e espacial da informação, que restringia o seu uso em modelos hidrológicos.

Em um estudo de Alves, Campos e Nascimento (2008), verificou-se o uso potencial de um *downscaling* dinâmico para estimar a variabilidade intrasazonal das chuvas na bacia hidrográfica do açude Castanhão no Ceará. Outros estudos, como o de Miller et al. (1999) já haviam mostrado bons resultados do *downscaling* dinâmico na escala de bacia hidrográfica.

Sun et al. (2005) analisaram simulações entre janeiro e julho utilizando um modelo regional aninhado ao ECHAM 4.5 (*European-hamburg Model version 4.5*) e destacaram que o modelo regional resolve bem o padrão espacial e a variação interanual das chuvas na região Nordeste do Brasil. Um estudo similar foi conduzido por Alves et al. (2005), em que fora constatado que o modelo global ECHAM 4.5 subestimou valores de precipitação, sendo corrigido pelo modelo regional, que previu valores de chuva mais próximos do observado.

Ao aplicarem simulações do modelo RAMS 6.0 (Regional Atmospheric Modeling System) sobre a bacia do rio São Francisco, Lima e Alves (2009) verificaram subestimativas das médias mensais e erros sobre a região de estudo. Os autores acreditam que o fato esteja relacionado às parametrizações de convecção e efeitos de topografia.

Cabral et al. (2016), buscavam o intervalo de tempo de máxima previsibilidade do modelo regional RAMS 6.0 (Regional Atmospheric Modeling System) utilizando as condições de fronteira do modelo de circulação global (ECHAM 4.5), por meio do Heidke Skill Score (HSS), para simulações de precipitação com um horizonte de até

180 dias, chegaram à conclusão que em quase todo período analisado o modelo subestimou os dados observados de precipitação média na bacia analisada.

Pielke (1992) e Castro et al. (2005) apontaram algumas limitações do *downscaling* dinâmico, como considerar nas condições iniciais todas as forçantes do modelo; deficiência em previsões multidecais; refinamento da regionalização; domínio dos modelos regionais e as condições de contorno laterais.

Outro fator que também pode influenciar nos resultados das simulações é a capacidade limitada dos modelos atmosféricos em detectar os sistemas meteorológicos atuantes na área de estudo, como por exemplo, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), frentes frias e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) Cabral et al. (2016).

Chou, Nunes e Cavalcanti (2000) mostraram que o modelo Eta obteve melhor desempenho em prever a precipitação mensal do que o modelo global CPTEC/COLA. Posteriormente, Chou, Bustamante e Gomes (2005) verificaram que o modelo Eta aninhado ao CPTEC/COLA reduz a super-estimativa de precipitação do modelo global, aproximando-se das observações.

Seth et al. (2007) e Rauscher et al. (2007), utilizando simulações contínuas de 20 anos do modelo regional RegCM3 (Regional Climate Model version 3) aninhado no MCGS ECHAM observaram que este modelo antecipa tanto o início, como o fim da estação chuvosa e que o mesmo possui baixa habilidade de simular a variabilidade interanual na região das monções da América do Sul. Machado e Rocha (2011), analisando previsões climáticas do RegCM3, observaram que o modelo é mais eficiente em prever os valores médios trimestrais de chuva em relação à climatologia.

Os resultados obtidos por Cabral et al. (2016) mostram que o modelo RAMS 6.0 apresentou certa deficiência nos primeiros 10 dias de previsão, seguido por uma melhora de desempenho em horizontes maiores. O intervalo de tempo de máxima previsibilidade encontrado foi de 45 dias, ou seja, em uma escala intrasazonal, mostrando um potencial do modelo na previsão climática abaixo da sazonalidade (subsazonal) e podendo ser acoplado a simulações de vazões para uso em reservatórios hídricos.

### **3.2. Previsão Sazonal e Subsazonal**

A previsão climática é uma ferramenta em desenvolvimento que visa atenuar os impactos negativos causados por eventos extremos, possibilitando a antecipação de fenômenos e a organização de ações mitigadoras (CABRAL et al., 2016)

De acordo com Paz e Collischonn (2011), as simulações de chuva com horizonte de até alguns meses são de grande utilidade na previsão de safras agrícolas, previsão e controle de enchentes e planejamento da operação de reservatórios.

Previsões climáticas sazonais são realizadas rotineiramente pelos diversos centros meteorológicos em todo mundo. Diferentemente da previsão de médio prazo ( $\pm$  10 dias) e da previsão estendida (10 dias a 1 mês), em que buscam determinar a transição de um regime de tempo para outro através de um maior detalhamento espacial e temporal, a previsão sazonal busca prever as propriedades climáticas de algum estado climático futuro, como um mês ou uma estação. A previsão climática sazonal pode indicar, por exemplo, se o próximo período chuvoso será normal, seco ou chuvoso. (DERECZYNSKI; NOBRE, 2002).

Dereczynski e Nobre (2002) observaram que a previsibilidade sazonal na região dos trópicos e extratropicais apresentam sensíveis diferenças, e atribuem isto ao fato da circulação tropical ser determinada pelas células de Hadley e Walker, cujas flutuações são afetadas pelas variações nas condições de contorno na superfície da Terra. Ainda segundo Dereczynski e Nobre (2002), a variabilidade do tempo em escala diária é resultado de distúrbios sinóticos e sub-sinóticos, que são geralmente menos energéticos do que os distúrbios de latitudes médias. Logo, observa-se que as variações nas condições de contorno podem resultar em grandes mudanças nos padrões de precipitação média sazonal.

Goddard et al. (2001) observaram que a previsão de precipitação sazonal apresenta boa confiabilidade em várias áreas do globo e que o aumento da destreza dos modelos deve-se em partes a um melhor entendimento das conexões dos oceanos com a atmosfera. Os modelos de circulação geral da atmosfera, forçados por temperaturas da superfície do mar (TSMs) têm se mostrados capazes de simular a circulação de grande escala da atmosfera em regiões como o nordeste da América do Sul, e também estão conseguindo simular as características da precipitação em uma escala mais local, devido à sua resolução espacial (NOBRE et al., 2001).

Dereczynski e Nobre (2002), utilizando a versão T62L28 do modelo CPTEC/COLA integrada por seis meses, sendo os três primeiros meses de simulação utilizados como condição de contorno inferior para os três últimos meses e a condição inicial composta por 25 membros das análises das 12 Z de dias consecutivos do modelo global do NCEP, observaram que do total de previsões de precipitação para o período dos 3 últimos meses de integração, 56% foram consideradas satisfatórias e, considerando-se que o conjunto fosse formado apenas pelas três melhores previsões, a correlação entre os campos observado e previsto seria de 78% e o erro médio de  $-0,7 \text{ mm.dia}^{-1}$ . O sinal de anomalia da precipitação foi previsto corretamente em 66% dos casos, sendo os locais de pior desempenho do modelo justamente na interface entre as regiões de anomalias positivas e negativas. Isto leva a crer que a previsão por conjunto no campo da precipitação foi muito boa.

Chou, Bustamante e Gomes (2005), utilizando previsões sazonais de precipitação do modelo Eta com 40 km de resolução, chegaram à conclusão de que o modelo conseguiu descrever bem eventos de precipitação de larga escala sobre a América do sul, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Convecção Amazônica. O modelo também se comportou bem em relação à magnitude da precipitação prevista, gerando valores próximos aos observados. Foi constatado ainda que o modelo Eta foi capaz de descrever a variabilidade intrasazonal em termos de precipitação mensal, especialmente nas estações de transição, onde os valores totais previstos davam uma razoável indicação da precipitação observada. Foi observado que o erro médio das previsões era menor que o erro da climatologia, levando a crer que o modelo pode adicionar informações úteis quando comparado ao uso da climatologia. Os autores observaram ainda que o modelo apresentou pequeno viés, que pode indicar pequeno erro sistemático.

Vários estudos têm demonstrado que modelos regionais, em particular o Eta, apresentaram boas simulações das variáveis meteorológicas em escalas sazonais e intrasazonais (subsazonais) (CHOU; ROZANTE; BUSTAMANTE, 2000; ALVES et al., 2000; BUSTAMANTE et al., 2002), incluindo regiões como o Sudeste do Brasil, que apresenta baixa previsibilidade nas simulações dos modelos globais (MARENGO et al., 2003; CAVALCANTI et al., 2000; CAVALCANTI et al., 2002).

Charney e Shukla (1981) salientam que a previsibilidade climática nos trópicos tende a ser mais alta do que nos extratropicais, uma vez que na região tropical a variabilidade interanual é dominada pelas condições de contorno e nos extratropicais existe uma variabilidade caótica interna, que associada às instabilidades e não linearidades do escoamento atmosférico compete com os efeitos das variações lentas das condições de contorno.

A previsibilidade na escala sazonal deve ser controlada por variabilidade lenta em grande escala e condições de contorno inferiores desempenhadas pela temperatura da superfície do mar e pela umidade do solo (CHOU; BUSTAMANTE; GOMES, 2005).

### **3.3. Identificação do início da estação chuvosa**

Estudos envolvendo questões como o início da estação chuvosa têm sido feitos a partir de valores acumulados de precipitação dentro de períodos de 5, 7 ou 10 dias, isto se deve à complexidade da análise em base diária, pois existe a possibilidade de haver dias secos dentro do período chuvoso (CALBETE; LIRA; SANSIGOLO, 2006).

A definição da data de início das chuvas se torna ainda mais complexa devido à natureza irregular e intermitente das precipitações tropicais. Além disso, existem diversas formas para definição deste evento, formas que variam em função dos objetivos propostos (CALBETE; LIRA; SANSIGOLO, 2006).

O uso da precipitação, bem como da radiação de onda longa (ROL) como parâmetros/variáveis para definição do início da estação chuvosa tem limitações. No caso da precipitação, o limiar adotado varia de acordo com os objetivos do avaliador e das características regionais, isto demonstra a sensibilidade de critérios baseados nesta variável e pode refletir no resultado obtido. Já o uso da variável ROL sofre limitação devido ao fato de que nem todas as nuvens que emitem baixos valores de ROL serem nuvens precipitantes, portanto, existe a possibilidade de superestimativa de precipitação e adiantamento do início da estação chuvosa em relação ao que é de fato observado.

Kassam (1979) propôs um critério para a definição do início da estação chuvosa nos trópicos baseado em médias mensais de precipitação e de evapotranspiração potencial. Segundo este critério, o início da estação chuvosa de uma determinada localidade é definido como a primeira data em que a precipitação (P) é igual ou maior que a evapotranspiração potencial (ETP).

$$P_i > \frac{ETP_i}{2} = \text{Início da estação chuvosa} \quad (1)$$

$$P_i < \frac{ETP_i}{2} = \text{Fim da estação chuvosa} \quad (2)$$

Em que:

$P_i$  é a precipitação do mês  $i$ ;

$ETP_i$  é a evapotranspiração potencial do mês  $i$ ;

Sansigolo (1989) definiu o início da estação chuvosa como sendo o primeiro dia, após uma data específica, no caso 1º de setembro, em que ocorre a primeira quantidade mínima de 20 mm de chuva acumulada em um ou dois dias consecutivos, desde que não haja uma sequência de 10 dias secos, durante os próximos 30 dias. É importante ressaltar que, dia seco, de acordo com Chatfield (1966) e Assad e Sano (1988), é aquele com precipitação total inferior a 1 mm, pois uma lâmina de precipitação menor do que essa geralmente não infiltra do solo (MINUZZI et al., 2006).

Sugahara (1991) propôs que o início da estação chuvosa se dá na primeira ocorrência de 10 mm de chuva ou mais em uma pântada, desde que a precipitação total acumulada das 3 pântadas seguintes não seja inferior a 15 mm/pântada.

Raes et al. (2004), a partir de uma perspectiva agrícola, definiu o início da estação chuvosa como sendo a data a partir da qual a precipitação acumulada em 4 dias seja capaz de levar a camada superior de 0,25m do perfil do solo à capacidade de campo. O critério denominado DEPTH é geralmente atendido quando se tem 40 mm de chuva em 4 dias.

Zeng e Lu (2004) propuseram uma metodologia baseada no Índice Normalizado de Água Precipitável (NPWI, na sigla em inglês), que identifica o instante em que ocorre o início da estação chuvosa a partir do momento em que o índice é superior ao limiar 0,618. Este método consiste na normalização do valor de água precipitável, o que gera um índice que serve como critério objetivo e de aplicação global para definir as datas de início e fim das monções.

$$NPWI = \frac{PW - PW_{min}}{PW_{max} - PW_{min}} \quad (3)$$

Em que, PW (da sigla em inglês Precipitable Water) é água precipitável diária,  $PW_{max}$  e  $PW_{min}$  são os valores máximos e mínimos da média diária de água precipitável, no intervalo de anos considerados, em cada ponto de grade. PW foi obtida através dos dados de reanálise. Os fluxos de calor sensível e latente podem ser obtidos através de

reanálise CFSR/NCAR (Climate Forecast System Reanalysis / National Center for Atmospheric Research).

O critério proposto por Liebmann et al. (2007) é baseado no acúmulo das anomalias diárias de precipitação, sendo este acúmulo iniciado no período de estiagem precedente a estação chuvosa. A determinação da data de início é feita através do ponto de inflexão da curva suavizada (através de média móvel de 41 dias) da anomalia de precipitação diária acumulada, ou seja, o início do período chuvoso acontece no primeiro dia do maior período em que a anomalia acumulada permanece positiva. Para região Sudeste, o acúmulo começa a partir do mês de julho.

Garcia e Kayano (2009; 2013) propuseram o uso de dados diários de radiação de onda longa antissimétrico equatorialmente ( $ROL_{ant}$ ) para determinar o início da estação chuvosa. Sendo este, indicado pela mudança de sinal positivo-negativo das médias espaciais de  $ROL_{ant}$ .

Outros autores utilizaram a precipitação acumulada baseada num limiar do total de precipitação diária acumulada em um determinado período (geralmente por pântadas, ou seja, totais acumulados a cada 5 dias) para determinar o início das chuvas (VIRMANI, 1975; NICHOLLS; MCBRIDE; ORMEROD, 1982; SANSIGLO, 1989; SUGAHARA, 1991; MARENGO et al., 2001; LIEBMANN; MARENGO, 2001; VEIGA; MARENGO; RAO., 2002; ALVES et al., 2005).

Kousky (1988) utilizou o sensoriamento remoto como ferramenta para determinar o início da estação chuvosa no Brasil a partir de um critério baseado em valores mínimos de ROL, acumulados em pântadas, para o período de 1979 a 1987. Baixos valores de ROL, sobretudo valores inferiores a 240 W/m<sup>2</sup> (Watts por metro quadrado), indicam a existência de nuvens profundas que apresentam maior probabilidade de gerar precipitação (MARENGO et al., 2015). No entanto, uma das limitações deste método é o fato de que nem todas as nuvens com baixo valor de ROL são precipitantes, podendo levar a uma superestimativa da precipitação.

Sansigolo (1989), em um estudo sobre a variabilidade interanual da estação chuvosa no Estado de São Paulo, utilizou dados de estações pluviométricas para determinar o início da estação chuvosa no estado, chegando às datas de 27 de setembro para o início potencial e 12 de outubro para o início efetivo da estação chuvosa.

Baseado em dados de ROL e dados pluviométricos do Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo (DAEE), Sugahara (1991) mostra que o início da estação chuvosa no Estado de São Paulo coincide com o início das chuvas na região oceânica vizinha e no Brasil Central, ou seja, entre o final de setembro e início de outubro). Resultado esse que coincide, parcialmente, com o que foi apresentado por Kousky (1988).

Sansigolo (1996), através de um estudo detalhado acerca da variabilidade interanual dos eventos relacionados à estação chuvosa no Estado de São Paulo, no período de 1940 a 1992 e utilizando o critério desenvolvido por ele mesmo em 1989, verificou que a data média de início do período chuvoso em São Paulo é 27 de setembro.

Sansigolo *apud*. Marengo et al. (2015), considerando o período de 1959 a 1997 e baseado em dados da ANEEL, calculou a contribuição mensal de chuva para região Sudeste, obteve resultados que mostram que 85% do total de precipitação anual ocorre entre os meses de outubro e abril, e que as chuvas significativas tem início entre setembro e outubro. Resultados semelhantes foram obtidos por Alves et al. (2002) e Paiva (1997), que mostram que o período chuvoso se concentra entre os meses de outubro e março, que é quando ocorrem mais de 80% do total anual de chuvas. Devido a esta característica, este regime de precipitação bem definido pode ser caracterizado como um sistema de monção, semelhante ao que ocorre no sudeste da Ásia (VEIGA; MARENGO; RAO, 2002).

Alves, Marengo e Castro (2002) realizaram um estudo para verificar o comportamento do início do período chuvoso na região Sudeste alterando os limiares dos critérios propostos por Kousky (1988) e Sugahara (1991). Os autores definiram 3 limiares para a variável radiação de onda longa (240, 230 e 220 W/m<sup>2</sup>/pêntada) e 4 limiares para variável Precipitação (2, 3, 4 e 5 mm/dia/pêntada). Com relação à variável ROL, as datas de início da estação chuvosa foram: pêntada 56 (3-7 de outubro) para 240W/m<sup>2</sup>/pêntada; pêntada 59 (18-22 de outubro) para 230W/m<sup>2</sup>/pêntada; e pêntada 64 (12-16 de novembro) para 220W/m<sup>2</sup>/pêntada. A mesma tendência de adiamento da data de início das chuvas também ocorre quando se altera os limiares da variável precipitação. As pêntadas obtidas foram: pêntada 54 (23-27 de setembro) para 2mm/dia; pêntada 58 (13-17 de outubro) para 3mm/dia; pêntada 62 (2-6 de novembro) para



4mm/dia; e pênstada 64 (12-16 de novembro) para 5mm/dia. De maneira geral, obteve-se que a estação chuvosa tem início entre o fim de setembro e início de novembro, semelhante ao resultado obtido por outros autores para a região Sudeste.

Utilizando dados de radiação de onda longa (ROL), Veiga, Marengo e Rao. (2002) e Gan e Moscati. (2003) mostraram que a estação chuvosa começa entres os meses de setembro e outubro na região de Monção da América do Sul. Resultado que coincide com o início da estação chuvosa observado por Sugahara (1991) no Sudeste do Brasil.

Alves et al. (2005), a partir de dados precipitação diária produzidos pelo Climate Prediction Center da NOAA/EUA (National Oceanic and Atmospheric Administration) captados por estações meteorológicas do CPTEC/INPE, ANEEL e INMET e usando um limiar de chuva média pentadal que ultrapassa o valor da média climatológica, para o período de 1979 a 1997, obtiveram resultados que mostram que o início da estação chuvosa na região Sudeste acontece, em média, na pênstada 57 do ano (entre 8 e 12 de outubro), com desvio padrão de  $\pm 2$  pênstadas.

Nos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, as chuvas começam nas pênstadas 58-58. No sul de Minas Gerais, o início ocorre nas pênstadas 57-58, já no norte do estado, o início ocorre entre as pênstadas 60-62 (ALVES et al., 2005). Estas datas condizem com a presença de mecanismos convectivos na região, como as frentes frias que atuam no sul da região Sudeste mais frequentemente em setembro (LEMOS; CALBETE, 1996), e a ZCAS, que atuam em São Paulo e Minas Gerais com mais intensidade no início de dezembro (LIEBMANN et al., 1999).

Alves et al. (2005) também utilizaram dados diários de ROL obtidos da NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, em pontos de grade regular de  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$  para o período de 1979 a 2000. Obtiveram resultado coincidente com aquele no qual utilizaram a precipitação como variável. A análise das datas obtidas sugere, portanto, concordância qualitativa com aquelas encontradas por Kousky (1988) e Sugahara (1991), uma vez que a determinação das datas é sensivelmente afetada pela variação dos limiares e o período escolhido (ALVES et al., 2005).

Barbieri (2005) utilizou a radiação de onda longa emergente (ROLE) e dados diários de precipitação para definir o início da estação chuvosa nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Para o Sudeste, o autor obteve através dos dados de ROLE que o

período chuvoso acontece entre o final de setembro e início de maio. Já com relação aos dados de precipitação, constatou que a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro e março.

Minuzzi et al. (2006) analisaram as datas de início do período chuvoso para o Estado de Minas Gerais baseados em dados pluviométricos de 82 estações localizadas no estado e pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA). A série analisada compreendeu o período de 1950 a 2000 e o critério utilizado foi o proposto por Sansigolo (1989). Os resultados mostraram que o período chuvoso tem início, em média, entre o final de setembro e início de novembro em Minas Gerais, apresentando diferenças de aproximadamente 30 dias em relação às datas de início e 900 mm em relação à precipitação acumulada para as diferentes localidades do estado.

Em um estudo semelhante ao anterior, Minuzzi et al. (2007) determinaram as datas de início da estação chuvosa para a região Sudeste do Brasil. Utilizaram dados pluviométricos oriundos de 203 estações espalhadas pela região e aplicando o critério proposto por Sansigolo (1989) sobre o período de 1950/51 a 1999/2000, chegaram à conclusão de que o início do período chuvoso tende a acontecer mais cedo em grande parte do litoral paulista (em meados do mês de setembro), enquanto que nas regiões norte de Minas e Vale do Jequitinhonha, a época das chuvas tem início, em média, no final de outubro.

Estudando o comportamento do período chuvoso da região de Juiz de Fora – MG, Ferreira (2012) utilizou dados de precipitação total diária do banco de dados do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental (LabCaa) referentes a uma estação meteorológica localizada na Universidade Federal de Juiz de Fora, com uma série de 37 anos (1973 a 2010), e determinou, com base no critério proposto por Sansigolo (1989), o início da estação chuvosa, em média, para o dia 23 de setembro.

Sampaio et al. (2014), utilizando a mesma metodologia de identificação do início da estação chuvosa discutida em Alves et al. (2005), buscou identificar o início da estação chuvosa no Sudeste do Brasil baseando-se nos resultados do MCGA CPTEC/COLA, com o objetivo de avaliar a capacidade prognóstica do início da estação chuvosa do sistema operacional de previsão sazonal do CPTEC (CAVALCANTI et al., 2002). Os resultados obtidos das simulações longas do modelo, com 9 condições iniciais (ou membros de previsão), para o período de 1961 a 1990 mostram que a

estação chuvosa tem início na pântada 55, ou seja, entre o final de setembro e início de outubro, com desvio padrão de 2 pântadas.

Realizando simulações sazonais de 8 meses, a partir de 7 condições iniciais do CPTEC/COLA, para o período de 1996 a 2004, Sampaio et al. (2014) observaram que, em média, o modelo estima o início da estação chuvosa para a pântada 54,8 (23 a 27 de setembro), enquanto que as observações mostram que o início ocorreu, em média, na pântada 54,5 (23 a 27 de setembro). Isto mostra que o modelo conseguiu captar relativamente bem o início da estação chuvosa e que tem potencial para ser usado em previsões de início da estação chuvosa.

Marengo et al. (2015) determinaram o início do período chuvoso nas bacias hidrográficas do Rio Grande, Rio Paranaíba e Rio São Francisco utilizando a metodologia proposta por Kousky (1988). Usando dados de chuva média de mais de 300 postos pluviométricos, observaram que as primeiras chuvas significativas, que marcam o início da estação chuvosa na bacia do Rio Grande, ocorrem entre 8 e 27 de setembro, no Alto São Francisco as chuvas começam em média entre 23 e 27 de setembro, e na bacia do Rio Paranaíba, o período chuvoso se inicia entre os dias 23 de setembro e 12 de outubro. Antes destas datas, os autores salientam que as condições atmosféricas ainda são típicas de inverno sobre estas regiões, o que impede a formação de nuvens profundas que possam se transformar em precipitação. Em geral, observaram que a estação chuvosa se inicia, em média, entre final de setembro e outubro.

Segundo estudo realizado por Calbete, Lira e Sansigolo (2006), utilizando dados de precipitação diária de postos pluviométricos do Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo localizados no Vale do Paraíba e Litoral Norte, e com base no critério proposto por Sansigolo (1989), a estação chuvosa dessas regiões se inicia, em média, entre os meses de setembro e outubro.

Dos Santos e Garcia (2016) compararam os métodos propostos por Liebmann et al. (2007) e Garcia e Kayano (2009; 2013) para determinação do início do período chuvoso. O período analisado foi de janeiro de 1998 a dezembro de 2012 e a região de estudo foi o Estado de Minas Gerais. Constataram que, em média, o período chuvoso se inicia na pântada 59 do ano (18-22 de outubro). Os autores concluíram que ambos os critérios são satisfatórios.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Área de estudo**

A região Sudeste é uma das cinco grandes regiões brasileiras com área de 924.608 quilômetros quadrados e composta por quatro estados (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo). Segundo censo realizado pelo IBGE em 2010, a população da região era de 80.364.410 habitantes, com previsão de 86.356.952 habitantes para 2016. A região registra a maior densidade demográfica do país, com uma média de aproximadamente 93 habitantes por quilômetro quadrado. A região também apresenta alto índice de urbanização, com 1.668 municípios.

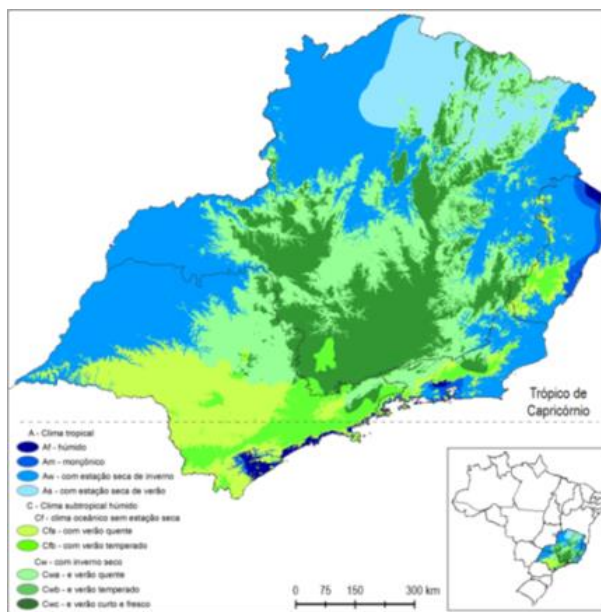
A região Sudeste, além de ser a mais populosa do país, é também a mais rica, concentrando cerca de 60% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. As principais atividades econômicas são: siderurgia, agricultura, mineração e extração de petróleo. Além disso, diversas outras atividades se concentram nessa região, como as universidades, mercados de capitais, bancos e comércios (IBGE, 2010).

Geograficamente, a região Sudeste está quase toda localizada sobre os Planaltos e Serras do Atlântico Leste-Sudeste, conforme classificação do relevo brasileiro elaborada por Jurandyr Ross.

As características de relevo e hidrografia da região Sudeste são favoráveis à instalação de usinas hidroelétricas. Dentre as principais bacias da região estão: bacias do Rio Grande e Paraíba, que dão origem à bacia do Paraná, a bacia do São Francisco, do Paraíba do Sul, do Rio Doce e a Bacia do Leste. Grandes reservatórios estão presentes nessas bacias, como o reservatório de Furnas e do Cantareira.

Os climas predominantes da região sudeste são o tropical (Aw), e o subtropical úmido (Cw), segundo classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2014). O regime anual de chuva da região Sudeste é altamente sazonal, com verão chuvoso e inverno seco e total de chuva média anual variando entre 1500 e 2000 mm. O trimestre mais seco ocorre entre junho e agosto e o trimestre mais chuvoso ocorre entre dezembro e fevereiro (ALVES; MARENGO; CASTRO, 2002).

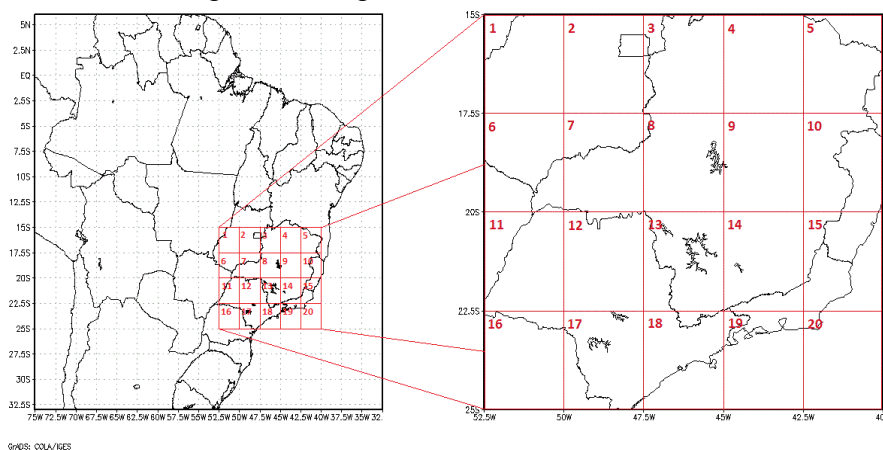
Figura 1 – Classificação climática da região Sudeste segundo Koppen.



Fonte: Adaptado de Alvares et al. (2014).

Inicialmente, a área de estudo foi dividida em 20 sub-regiões de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude (aproximadamente 277,5 x 277,5 km) conforme pode ser observado na figura 2.

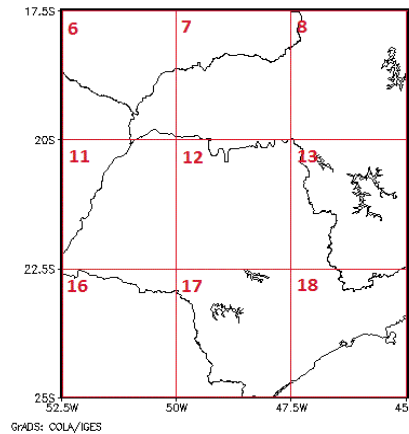
Figura 2 – Região de estudo e subdivisões.



Fonte: Do autor (2017).

Neste estudo, foram selecionadas 9 das 20 sub-regiões para serem trabalhadas mais profundamente. São elas: 6, 7, 8, 11, 12, 13, 16, 17 e 18 (Figura 3). A escolha foi feita de maneira a se evitar regiões oceânicas e a englobar as principais áreas de produção agrícola e geração energética da região Sudeste.

Figura 3 – Região de estudo.



Fonte: Do autor (2017).

## 4.2. Modelo Eta

O modelo de área limitada Eta foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em parceria com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia e se tornou operacional no National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (MESINGER et al., 1988; BLACK, 1994). O modelo regional Eta climático é operacionalizado no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) desde 2001, a condição inicial do modelo é proveniente de análises NCEP e as condições de contorno vêm do modelo global T126128 do CPTEC. A resolução horizontal do modelo é de 40 km e a resolução vertical é de 38 camadas. As equações do modelo são discretizadas para a grade E de Arakawa (ARAKAWA; LAMB, 1997). A coordenada vertical é definida por Mesinger (1984), onde:

$$\eta = \frac{p-p_t}{p_s-p_t} \left[ \frac{p_r(z_s)-p_t}{p_r(0)-p_t} \right] \quad (4)$$

As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura do ar, componentes zonal e meridional do vento, umidade específica, pressão à superfície e energia cinética turbulenta. O modelo utiliza um esquema de Betts-Miller modificado para parametrizar a convecção (JANJIC, 1994), o esquema de parametrização de radiação de ondas longas (FELS; SCHWARZKOPF, 1975) e curtas (LACIS; HANSEN, 1974) foi desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory.

O modelo regional Eta busca prever com maiores detalhes sistemas organizados em mesoescala, como frentes, orografia, brisa marítima e tempestades severas. Devido à não linearidade dos sistemas nesta escala, a previsibilidade é menor e as previsões são de curto prazo (CHOU, 2015). Também busca produzir a regionalização das

simulações dos modelos globais sobre a América do Sul e a América Central com resolução espacial de 20 km (CHOU, 1996). O sistema vertical de coordenadas utilizado no modelo Eta é altamente recomendado para uso na América do Sul devido à presença da Cordilheira dos Andes (PESQUERO et al., 2010).

### 4.3. Descrição dos dados

Foi gerado, para cada sub-região e para cada ano de estudo, compreendido entre 2001 e 2010, um conjunto de previsões de 2,5 meses, a partir de 5 membros, que utilizam como condição inicial as análises das 12 Z de dias consecutivos (13/set a 17/set) do modelo global do NCEP. As integrações foram então pós-processadas, para obtenção das saídas diárias (as 12 Z), da variável precipitação (PREC) em (mm.dia<sup>-1</sup>). Os 10 primeiros dias de previsão foram descartados por ser tratar de um período de *spin-up* do modelo.

Como a resolução do modelo, 40 km, é diferente das dimensões das sub-regiões (277,5 x 277,5 km), foi necessário o cálculo da média dos valores dos pontos de grade do modelo no interior das áreas estudadas para cada dia de previsão, obtendo um único valor médio diário da precipitação para cada sub-região.

Para efeitos de comparação com os dados previstos pelo modelo, foram utilizados dados do produto MERGE. Esta técnica combina dados de precipitação diária (mm.dia<sup>-1</sup>) obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (*Surface Synoptic Observations* – SYNOP e Estações Meteorológicas Automáticas), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE; Plataforma de Coleta de Dados), Centros Estaduais de Meteorologia (CEM) e de pluviômetros convencionais do Programa de Monitoramento de Tempo e Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) com as estimativas do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) para suprir a falta de dados de superfície e a distribuição espacial irregular (ROZANTE et al., 2010). Os dados possuem espaçamento de 0,25° de latitude e longitude e foram processados a fim de se obter um valor médio diário de precipitação observada para cada sub-região.

Os dados de precipitação previstos e observados foram agrupados e somados em pântadas (período de 5 dias), sem sobreposição de datas. Posteriormente, foram aplicados os critérios propostos por Sugahara (1991) e Liebmann et al. (2007), para definição das datas de início da estação chuvosa.

#### 4.4. Software

O Grid Analysis and Display System (GrADS), versão 2.0.a8, foi utilizado como ferramenta para visualização das saídas do modelo. O GrADS é uma ferramenta gratuita, distribuída pelo Institute for Global Environment and Society (IGES), para sistemas operacionais UNIX, MS Windows e MacIntosh. Neste estudo foi utilizada a plataforma UNIX/Ubuntu, versão 16.0.

#### 4.5. Análises estatísticas

##### 4.5.1. Raiz do erro quadrático médio

A raiz do erro quadrático médio (RMSE da sigla em inglês para Root Mean Square Error), também denominada raiz do desvio quadrático médio, é frequentemente utilizada para medir a diferença entre valores previstos por um modelo e os valores reais observados no ambiente que está sendo modelado. A RMSE agrega em um único valor as diferenças entre os valores previstos e observados, dando um indicativo de capacidade preditiva do modelo.

O RMSE da previsão de um modelo, com relação à variável estimada  $X_{model}$ , é definido como:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (5)$$

Em que,  $X_{obs}$  são os valores observados e  $X_{model}$  são os valores modelados no tempo / espaço  $i$ .

O valor obtido de RMSE tem a mesma unidade das variáveis analisadas, no caso deste trabalho a variável é a precipitação e a unidade é  $\text{mm.dia}^{-1}$ .

##### 4.5.2. Coeficiente de correlação de Pearson (r)

A correlação, geralmente medida como um coeficiente de correlação, indica a força e direção de uma relação linear entre duas variáveis (por exemplo, saída do modelo e valores observados). Uma série de coeficientes diferentes são usados para diferentes situações. O mais conhecido é o coeficiente de correlação produto-momento Pearson (também chamado coeficiente de correlação de Pearson ou o coeficiente de correlação da amostra), que é obtido dividindo a covariância das duas variáveis pelo produto de seus desvios-padrão. Desde que exista uma série de  $n$  observações e  $n$



valores de modelo, o coeficiente de correlação produto-momento Pearson pode ser usado para estimar a correlação entre modelo e observações.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

Em que  $x_i$  é o valor observado,  $\bar{x}$  é o valor médio observado,  $y_i$  é o valor previsto e  $\bar{y}$  é o valor médio previsto.

A correlação retorna valor +1 no caso de uma relação linear crescente perfeita e -1 no caso de uma relação linear decrescente, e os valores entre ambos extremos indicam o grau de relação linear entre, por exemplo, modelo e observações. Um coeficiente de correlação de 0 significa que não existe uma relação linear entre as variáveis.

O quadrado do coeficiente de correlação de Pearson ( $r^2$ ), conhecido como coeficiente de determinação, descreve a quantidade de variância entre as duas variáveis descrita pelo ajuste linear.

#### 4.5.3. Coeficiente de Nash-Sutcliffe (E)

O coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (E) é comumente usado para avaliar o poder preditivo dos modelos de descarga hidrológica. No entanto, também pode ser usado para descrever quantitativamente a precisão das saídas do modelo para outras coisas além da descarga (como cargas de nutrientes, temperatura, concentrações, etc.). É definido como:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2} \quad (7)$$

Em que,  $X_{obs}$  são os valores observados e  $X_{model}$  são os valores modelados no tempo / espaço i.

As eficiências de Nash-Sutcliffe podem variar de  $-\infty$  a 1. Uma eficiência de 1 ( $E = 1$ ) corresponde a uma combinação perfeita entre o modelo e as observações. Uma eficiência de 0 indica que as previsões do modelo são tão precisas quanto a média dos dados observados (climatologia), enquanto uma eficiência menor que zero ( $-\infty < E < 0$ ) ocorre quando a média observada é um melhor preditor do que o modelo.

Essencialmente, quanto mais perto a eficiência do modelo é para 1, mais preciso é o modelo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Início da estação chuvosa

A variabilidade sazonal do início do período chuvoso na área de estudo é ilustrada nas Tabelas 1 a 10, que mostram a pântada de início da estação chuvosa para cada ano e área, de acordo com as previsões do modelo Eta e os dados observados.

Tabela 1 – Pântadas de início da estação chuvosa da área 6.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Observado (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
2001	63	62	61	1	2
2002	55	61	67	-6	-12
2003	59	64	55	-5	4
2004	61	62	56	-1	5
2005	59	59	59	0	0
2006	64	55	55	9	9
2007	59	59	57	0	2
2008	55	61	60	-6	-5
2009	55	62	57	-7	-2
2010	61	60	59	1	2
<b>Pântada média</b>	<b>59,1</b>	<b>60,5</b>	<b>58,6</b>	<b>-1,4</b>	<b>0,5</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>3,3</b>	<b>2,5</b>	<b>3,6</b>	<b>4,8</b>	<b>5,8</b>

Fonte: Do autor (2017).

Os resultados exibidos na Tabela 1 mostram que a média dos 5 membros da simulação subsazonal entre 2001 e 2010 indicam o início da estação chuvosa na pântada 59, ou seja, entre os dias 18 e 22 de outubro (vide Quadro 1 em anexo). A aplicação do critério de Sugahara (1991) sobre os dados do produto MERGE indicam o início médio da estação chuvosa na pântada 60, uma pântada depois da que é indicada pelo modelo. Pode ser observado também, que neste caso, o modelo tende a atrasar, em 0,5 pântada, o início do período chuvoso quando comparado aos resultados médios obtidos pela aplicação do critério de Liebmann et al. (2007) sobre os dados observados. É importante ressaltar os altos valores de desvio padrão obtidos com base nos dados da tabela 1, que demonstram a grande variabilidade interanual nas datas de início do período chuvoso.

<sup>1</sup> Diferença, em pântadas, entre as previsões e os dados observados segundo critério de Sugahara.

<sup>2</sup> Diferença, em pântadas, entre as previsões e os dados observados segundo critério de Liebmann et al.

OBSERVAÇÃO: Esta nota é válida para as tabelas enumeradas de 1 a 10.

Outro ponto importante a ser mencionado é a baixa previsibilidade climática da região Sudeste, conforme já havia sido observada por Sampaio et al. (2014). Observa-se ainda que na sub-região 6 o modelo tende a adiantar em 1,4 pântadas o início do período chuvoso em relação ao início observado com base na metodologia de Sugahara (1991). Resultados obtidos por Minuzzi et al. (2007) (Figura 4) utilizando dados observados de estações meteorológicas e analisados segundo critério proposto por Sansigolo (1989) indicam o início da estação chuvosa entre os dias 3 e 12 de outubro nesta área, ou seja, entre as pântadas 56 e 57, duas pântadas antes do que é, em média, previsto pelo modelo Eta.

Tabela 2 – Pântadas de início da estação chuvosa da área 7.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Observado (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
2001	63	62	54	1	9
2002	55	61	61	-6	-6
2003	55	60	60	-5	-5
2004	62	-	65	-	-3
2005	59	60	59	-1	0
2006	63	56	54	7	9
2007	59	62	59	-3	0
2008	55	-	68	-	-13
2009	55	-	51	-	4
2010	62	60	59	2	3
<b>Pântada média</b>	<b>58,8</b>	<b>60,1</b>	<b>59,0</b>	<b>-1,3</b>	<b>-0,2</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>3,6</b>	<b>2,0</b>	<b>5,1</b>	<b>4,5</b>	<b>6,9</b>

Fonte: Do autor (2017).

Com relação à área 7, percebe-se que o modelo tende a adiantar o início das chuvas em relação aos dois critérios baseados em dados observados. Neste caso, a pântada obtida pelo modelo se aproxima mais da que é obtida pelo critério de Liebmann et al. (2007). Todavia, o desvio padrão dos dados com base neste critério é maior do que aquele calculado com base nos dados resultantes da aplicação da metodologia de Sugahara (1991). Os resultados obtidos por Minuzzi et al. (2007) e por Marengo et al. (2015) também apresentam grande variabilidade nas datas do início das chuvas nesta área, podendo variar entre as pântadas 54 e 57 (23 de setembro a 12 de outubro).

Tabela 3 – Pêntadas de início da estação chuvosa da área 8.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Observado (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
2001	63	64	62	-1	1
2002	63	61	60	2	3
2003	55	62	63	-7	-8
2004	62	-	63	-	-1
2005	60	59	59	1	1
2006	-	56	54	-	-
2007	64	-	60	-	4
2008	55	63	62	-8	-7
2009	55	57	54	-2	1
2010	61	59	54	2	7
<b>Pêntada média</b>	<b>59,8</b>	<b>60,1</b>	<b>59,1</b>	<b>-0,3</b>	<b>0,7</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>3,8</b>	<b>2,9</b>	<b>3,8</b>	<b>4,1</b>	<b>4,9</b>

Fonte: Do autor (2017).

Na sub-região 8, o modelo conseguiu prever muito bem o início médio do período chuvoso, fato que pode ser observado na Tabela 3. A pêntada média obtida pelo modelo está entre, e muito próxima a aquelas obtidas pela aplicação dos dois métodos selecionados neste trabalho sobre os dados observados. Nos anos em que foi possível aplicar o critério de Sugahara (1991) sobre os dados observados, notou-se que o modelo tende a adiantar em 0,3 pêntadas o início do período chuvoso, enquanto que em relação ao critério de Liebmann et al. (2007), o modelo atrasa em 0,7 pêntadas em relação aos dados observados. O desvio padrão do modelo é alto, quase 4 pêntadas, ou 20 dias, semelhante ao do critério de Liebmann et al. (2007). Nesta área, segundo Minuzzi et al. (2007) e Marengo et al. (2015), o início do período chuvoso pode se dar entre as pêntadas 54 e 59.

Em um estudo conduzido por Minuzzi et al. (2006) os autores verificaram diferenças de até 30 dias nas datas de início do período chuvoso no Estado de Minas Gerais e de até 900 mm no volume total de precipitação em diferentes áreas do estado.

Tabela 4 – Pêntadas de início da estação chuvosa da área 11.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Observado (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
2001	64	62	60	2	4
2002	58	61	61	-3	-3
2003	62	64	64	-2	-2
2004	62	58	56	4	6
2005	59	57	52	2	7
2006	55	55	66	0	-11
2007	61	-	59	-	2
2008	55	61	70	-6	-15
2009	55	63	45	-8	10
2010	62	-	52	-	10
<b>Pêntada média</b>	<b>59,3</b>	<b>60,1</b>	<b>58,5</b>	<b>-0,8</b>	<b>0,8</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>3,4</b>	<b>3,1</b>	<b>7,5</b>	<b>4,2</b>	<b>8,5</b>

Fonte: Do autor (2017).

A sub-região 11 corresponde ao noroeste do estado de São Paulo. Nesta área o modelo Eta também conseguiu prever bem o início médio do período chuvoso. A pêntada média obtida pelo modelo, 59 (18 a 22 de outubro), está entre as pêntadas médias obtidas com base em dados observados através de dois critérios diferentes. De maneira geral, o modelo tende a adiantar o início das chuvas em relação à média observada através do critério de Sugahara (1991) em 0,8 pêntadas, e a atrasar o início das chuvas em relação aos dados observados através do critério de Liebmann et al. (2007) na mesma proporção. Minuzzi et al. (2007) e Marengo et al. (2015) observaram que o período chuvoso nesta área pode começar entre o mês de setembro e início de outubro.

Tabela 5 – Pêntadas de início da estação chuvosa da área 12.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Observado (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
2001	63	62	53	1	10
2002	59	61	61	-2	-2
2003	62	60	60	2	2
2004	56	56	56	0	0
2005	59	-	57	-	2
2006	55	55	53	0	2
2007	61	62	60	-1	1
2008	55	-	67	-	-12
2009	-	63	45	-	-
2010	59	-	66	-	-7
<b>Pêntada média</b>	<b>58,8</b>	<b>59,9</b>	<b>57,8</b>	<b>-1,1</b>	<b>1,0</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>2,9</b>	<b>3,1</b>	<b>6,5</b>	<b>1,4</b>	<b>6,2</b>

Fonte: Do autor (2017).

Na sub-região 12 o modelo mostrou bom desempenho na previsão da pêntada média de início do período chuvoso, que ficou bem próxima à pêntada observada em ambos os critérios adotados. O desvio padrão do modelo ficou abaixo do observado pelos critérios de Sugahara e de Liebmann et al.. O modelo tende a adiantar em 1,1 pêntada o início do período chuvoso quando comparado ao que é observado aplicando Sugahara, e a atrasar em 1 pêntada quando comparado ao que é observado aplicando o critério de Liebmann et al (2007). Minuzzi et al. (2007) obteve resultados diferente, segundo estes autores, a pêntada média de início das chuvas nesta região é 56,5. Embora o resultado tenha sido diferente, é possível observar através da Tabela 5 que o modelo obteve, em alguns anos, resultados semelhantes ao que fora obtido por Minuzzi et al. (2007).

Tabela 6 – Pêntadas de início da estação chuvosa da área 13.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Observado (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
2001	61	62	53	-1	8
2002	55	61	60	-6	-5
2003	55	63	62	-8	-7
2004	56	56	56	0	0
2005	54	59	59	-5	-5
2006	63	56	54	7	9
2007	59	59	59	0	0
2008	55	61	60	-6	-5
2009	55	56	54	-1	1
2010	59	55	60	4	-1
<b>Pêntada média</b>	<b>57,2</b>	<b>58,8</b>	<b>57,7</b>	<b>-1,6</b>	<b>-0,5</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>3,1</b>	<b>2,9</b>	<b>3,2</b>	<b>4,7</b>	<b>5,5</b>

Fonte: Do autor (2017).

Os resultados obtidos para sub-região 13, exibidos na Tabela 6, mostram que o modelo segue a tendência das demais áreas anteriores, em que a pêntada média obtida pelo modelo ao longo dos 10 anos de análise fica bastante próxima às pêntadas obtidas através da análise dos dados observados. Neste caso, o modelo tende a adiantar em 1,6 e 0,5 pêntada o início da estação chuvosa em relação ao observado através das metodologias de Sugahara (1991) e Liebmann et al. (2007), respectivamente. Entretanto, os resultados obtidos pelo modelo, ficam próximos ao que foi observado por Minuzzi et al. (2007).

Tabela 7 – Pêntadas de início da estação chuvosa da área 16.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Diferença <sup>1</sup>
2001	59	63	-4
2002	55	60	-5
2003	55	64	-9
2004	55	57	-2
2005	55	55	0
2006	55	55	0
2007	60	61	-1
2008	55	59	-4
2009	55	56	-1
2010	55	54	1
<b>Pêntada média</b>	<b>55,9</b>	<b>58,4</b>	<b>-2,5</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,9</b>	<b>3,5</b>	<b>3,0</b>

Fonte: Do autor (2017).

As previsões do modelo foram bastante semelhantes nas sub-regiões 16, 17 e 18, conforme pode ser observado nas Tabelas 7, 8 e 9. A pênstada média de início da estação chuvosa nessas três áreas é 56, ou seja, entre os dias 3 e 7 de outubro. A sub-região 16 não apresenta estação chuvosa bem definida de acordo com o critério de Liebmann et al. (2007). Em relação aos dados observados, o modelo adianta o início da estação chuvosa em cerca de 2,5 pênstadas. Entretanto, a pênstada média obtida pelo modelo é semelhante ao resultado obtido por Minuzzi et al. (2007), como pode ser verificado na figura 4. O desvio padrão dos dados observados é quase duas vezes maior do que aquele obtido pelo modelo, indicando uma grande variabilidade nas datas de início da estação chuvosa e explicando de certa forma a não possibilidade de aplicação do critério de Liebmann et al. (2007) sobre os dados observados dessa área.

Tabela 8 – Pênstadas de início da estação chuvosa da área 17.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Observado (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
2001	58	-	53	-	5
2002	55	59	61	-4	-6
2003	55	64	62	-9	-7
2004	55	57	56	-2	-1
2005	54	56	44	-2	10
2006	55	55	65	0	-10
2007	58	60	59	-2	-1
2008	55	-	53	-	2
2009	55	55	39	0	16
2010	59	-	66	-	-7
<b>Pênstada média</b>	<b>55,9</b>	<b>58,0</b>	<b>55,8</b>	<b>-2,7</b>	<b>0,1</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,7</b>	<b>3,3</b>	<b>8,8</b>	<b>3,1</b>	<b>8,3</b>

Fonte: Do autor (2017).

Como pode ser observado na Tabela 8, o desvio padrão das previsões do modelo foi menor do que os desvios observados, o que indica que, neste caso, o modelo não detectou a mesma variabilidade interanual dos dados observados. O critério de Liebmann et al. (2007) mostrou-se mais sensível que o critério de Sugahara, obtendo uma pênstada média de início da estação chuvosa praticamente igual a do modelo. Em relação à metodologia de Sugahara, o modelo tende a adiantar em 2,7 pênstadas o início das chuvas. Minuzzi et al. (2007) observaram que nesta área, a estação chuvosa tem início, em média, entre as pênstadas 54 e 56.



Tabela 9 – Pêntadas de início da estação chuvosa da área 18.

Ano	Modelo	Observado (Sugahara)	Observado (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
2001	55	64	63	-9	-8
2002	59	59	59	0	0
2003	55	61	55	-6	0
2004	55	62	62	-7	-7
2005	55	58	57	-3	-2
2006	55	64	63	-9	-8
2007	58	58	58	0	0
2008	55	63	53	-8	2
2009	55	57	39	-2	16
2010	55	63	63	-8	-8
<b>Pêntada média</b>	<b>55,7</b>	<b>60,9</b>	<b>57,2</b>	<b>-5,2</b>	<b>-1,5</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,5</b>	<b>2,7</b>	<b>7,3</b>	<b>3,6</b>	<b>7,3</b>

Fonte: Do autor (2017).

Os resultados obtidos para sub-região 18 (Tabela 9) foram bastante semelhantes a aqueles obtidos para a sub-região 17 (Tabela 8). Vale ressaltar o alto desvio padrão observado através do critério de Liebmann et al. (2007). Nesta região, o modelo tende a adiantar o início do período chuvoso em relação aos dados observados, no entanto, é importante destacar o papel do oceano no que tange a previsibilidade e a disponibilidade de dados observados na área. No oceano, os dados observados são escassos e a previsibilidade é reduzida devido às condições complexas atmosféricas. Outros autores, como Minuzzi et al. (2007) obtiveram datas diferentes para início das chuvas nessa região, geralmente no mês de setembro, especialmente no litoral.

A Tabela 10 traz o resumo das pêntadas médias previstas e observadas de cada área no período analisado.

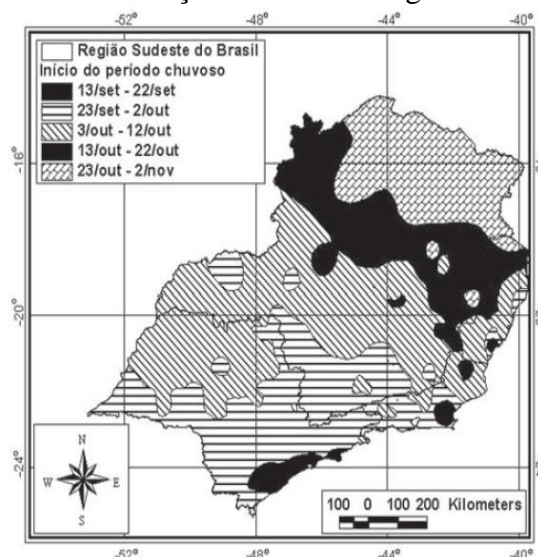
É possível observar que de maneira geral, a estação chuvosa tem início no mês de outubro, nas pêntadas 57-58 de acordo com as previsões do modelo, com desvio padrão de 1,7 pêntada. Resultado semelhante ao que fora obtido pelos autores citados no item 2.4 deste trabalho, a exemplo de Alves et al. (2005).

Tabela 10 – Pêntadas médias de início da estação chuvosa das áreas de estudo.

Área	Média do Modelo	Média Observada (Sugahara)	Média Observada (Liebmann et al.)	Diferença <sup>1</sup>	Diferença <sup>2</sup>
6	59	61	59	-1	1
7	59	60	59	-1	0
8	60	60	59	0	1
11	59	60	59	-1	1
12	59	60	58	-1	1
13	57	59	58	-2	-1
16	56	58	-	-3	-
17	56	58	56	-2	0
18	56	61	57	-5	-2
<b>Pêntada média</b>	<b>57,8</b>	<b>59,7</b>	<b>58,0</b>	<b>-1,8</b>	<b>0,1</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>1,7</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>

Fonte: Do autor (2017).

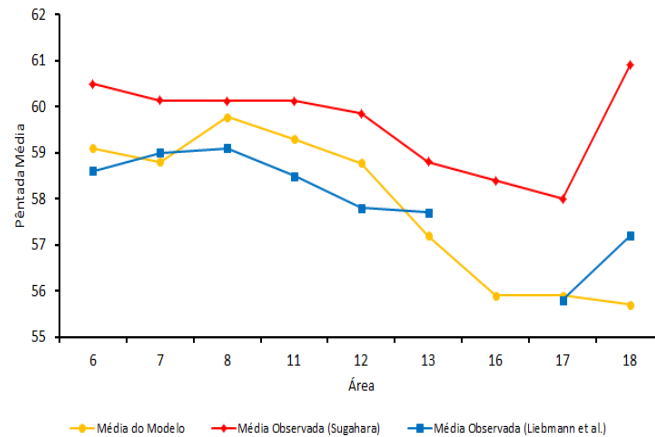
Figura 4 – Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil.



Fonte: Minuzzi et al. (2007).

A Figura 4 traz os resultados obtidos por Minuzzi et al. (2007), onde é possível observar uma tendência de adiantamento do início do período chuvoso à medida que se move para a região sul da área estudada. Esta tendência também pode ser observada na Figura 5, que traz a relação entre as pêntadas médias de início da estação chuvosa de acordo com a área e o critério adotado.

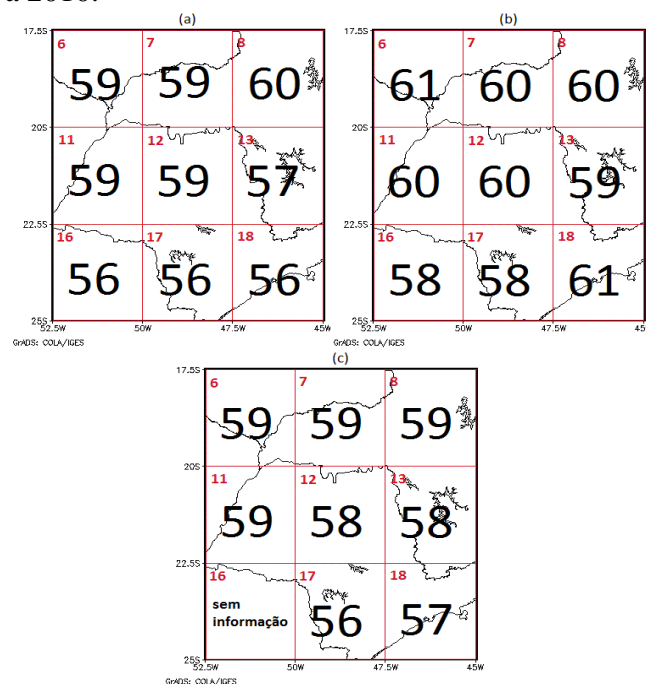
Figura 5 – Pêntada média de início da estação chuvosa na região de estudo de acordo com o critério adotado.



Fonte: Do autor (2017).

Na Figura 5 observa-se a tendência de adiantamento do início do período chuvoso à medida que se vai para o sul da área de estudo. O comportamento dos dados observados na região 18 é diferente, provavelmente devido ao fato de fora destacado anteriormente dos efeitos do oceano sobre os dados previstos e observados.

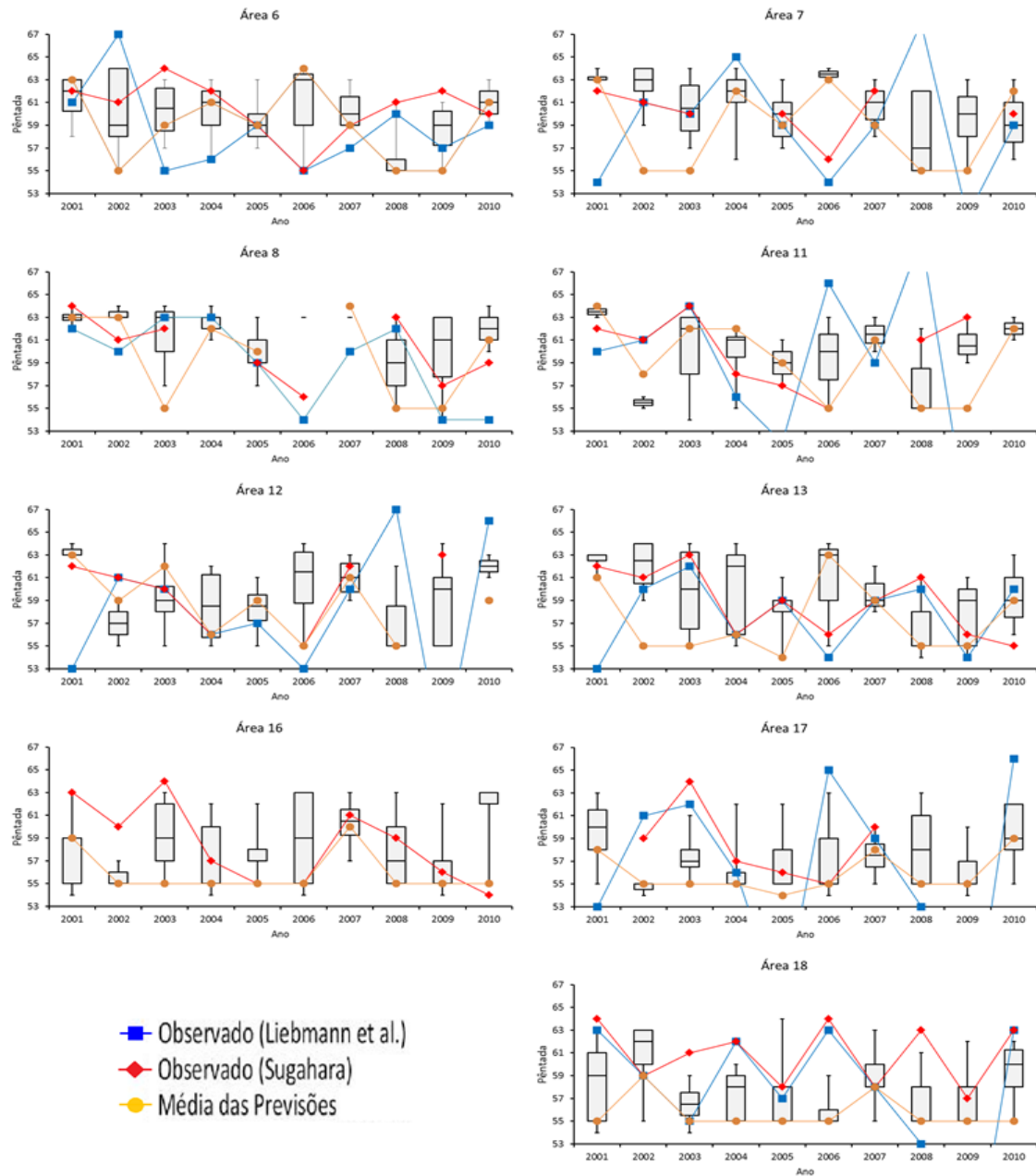
Figura 6 - Pêntadas de início da estação chuvosa previstas e observadas no período de 2001 a 2010.



(a) Pêntadas de início da estação chuvosa obtidas pela aplicação do critério de Sugahara sobre a média do conjunto de previsões do modelo Eta; (b) Pêntadas de início da estação chuvosa obtidas pela aplicação do critério de Sugahara sobre os dados observados do produto MERGE; (c) Pêntadas de início da estação chuvosa obtidas pela aplicação do critério de Liebmann et al. sobre dados observados.

Fonte: Do autor (2017).

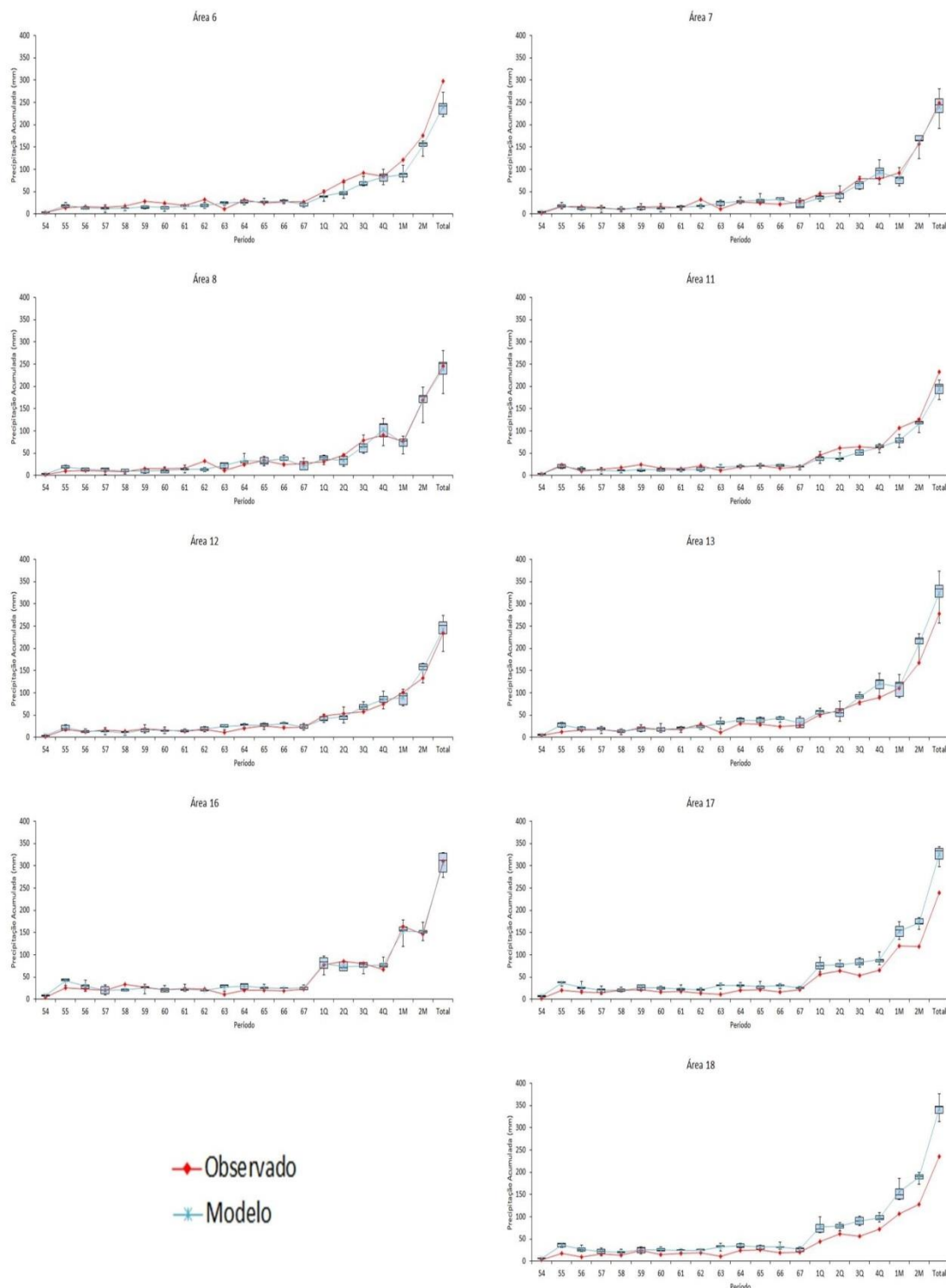
Figura 7 – Dispersão, em pêntadas, entre os membros de previsão na detecção do início da estação chuvosa.



Fonte: Do autor (2017).

Como pode ser observado nos gráficos da figura 7, as saídas do modelo em uma previsão por conjunto são bastante diversificadas. No entanto, este tipo de gráfico serve apenas para se verificar a variabilidade de dados entre os membros de previsão. Quando o objetivo é fazer uma previsão climática, é necessário que se faça a média dos membros do conjunto, e como já fora destacado por Cabral et al. (2016), quanto maior o número de membros no conjunto de previsões, melhor é o resultado.

Figura 8 – Climatologia da precipitação acumulada em pêntricas, quinzenas e meses prevista pelo modelo (Eta) e observada (MERGE).



Fonte: Do autor (2017).

Os gráficos da Figura 8 trazem o comportamento climatológico das previsões do modelo e dos dados observados em cada área. No eixo das abscissas, têm-se as pêntricas

do ano correspondentes ao período analisado, seguidas das abreviações 1Q, 2Q, 3Q e 4Q, que se referem, respectivamente, à primeira quinzena de outubro, segunda quinzena de outubro, primeira quinzena de novembro e a segunda quinzena de novembro. Os itens 1M, 2M e Total se referem ao primeiro mês (outubro), segundo mês (novembro) e total (setembro mais outubro), respectivamente. O eixo das ordenadas representa o volume de precipitação acumulada, em mm, em cada pântada, quinzena, mês e por fim, nos 2 meses analisados. Percebe-se que, em média, o modelo consegue prever bem o volume de chuvas nos meses em que normalmente ocorre o início do período chuvoso na região Sudeste, com destaque para as sub-regiões 7, 8, 12 e 16, onde o volume médio previsto é praticamente igual ao observado nos meses de outubro e novembro. Nas sub-regiões 6 e 11 o modelo tende a subestimar o volume de chuvas, enquanto que nas regiões 13, 17 e 18 o modelo superestima a precipitação.

## 5.2. Análise estatística do desempenho do modelo

A Tabela 11 traz os valores médios obtidos para cada área dos índices estatísticos propostos no item 3.5. A média de cada área foi feita com base no período de 10 anos analisado.

Tabela 11 – Análise estatística do desempenho médio do modelo Eta nas áreas de estudo.

Área	Dados diários			Dados acumulados		
	RMSE <sup>1</sup> (mm/dia)	r <sup>2</sup>	E <sup>3</sup>	RMSE (mm)	r	E
6	6,36	0,03	-0,16	55,75	0,98	0,59
7	5,78	0,08	-0,27	58,39	0,97	0,29
8	5,40	0,25	-0,26	59,98	0,97	0,31
11	6,29	0,06	-0,16	57,24	0,97	0,10
12	5,60	0,08	-0,33	54,53	0,97	-0,24
13	6,59	0,06	-0,52	67,22	0,98	0,08
16	9,35	0,02	-0,24	58,55	0,97	0,35
17	6,64	0,05	-0,42	70,12	0,98	-1,12
18	6,02	0,08	-0,70	78,37	0,99	-1,08
<b>Média</b>	<b>6,45</b>	<b>0,08</b>	<b>-0,34</b>	<b>62,24</b>	<b>0,97</b>	<b>-0,08</b>

Fonte: Do autor (2017).

Em se tratando de dados diários, obteve-se um RMSE de 6,45 mm.dia<sup>-1</sup>, um valor relativamente alto. Não foram encontrados estudos semelhantes a este na literatura

<sup>1</sup> Root Mean Square Error

<sup>2</sup> Coeficiente de Correlação de Pearson

<sup>3</sup> Coeficiente de Nash-Sutcliffe

no que diz respeito a período analisado, área, modelo e horizonte de previsão, sendo difícil, portanto, comparar o valor obtido com outros autores. No entanto, em um estudo conduzido por Dereczynski e Nobre (2002), estes autores encontraram valores de erro médio inferiores a  $2 \text{ mm.dia}^{-1}$  enquanto avaliavam o desempenho das previsões climáticas do modelo global do CPTEC/COLA para o trimestre chuvoso de 1997 na região Nordeste do Brasil.

O valor médio obtido para o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) indica que existe uma pequena correlação linear crescente entre as previsões do modelo e os dados observados, conforme pode ser observado na Figura 9. No entanto, o valor obtido está longe do ideal, que seria 1 e indicaria uma correlação linear crescente perfeita.

Em relação ao coeficiente de Nash-Sutcliffe ( $E$ ), o valor obtido indica que a média de precipitação observada (climatologia) é um melhor preditor que o modelo em si para todas as áreas. É importante ressaltar, porém, que por se tratar de um coeficiente que varia de  $-\infty$  a 1, podem existir casos em que o valor obtido seja muito baixo, ou um valor “*outlayer*”, e acabe influenciando na média geral. Portanto é necessário que seja analisado ano a ano o valor deste coeficiente. Neste caso em específico não houve valores “*outlayer*”.

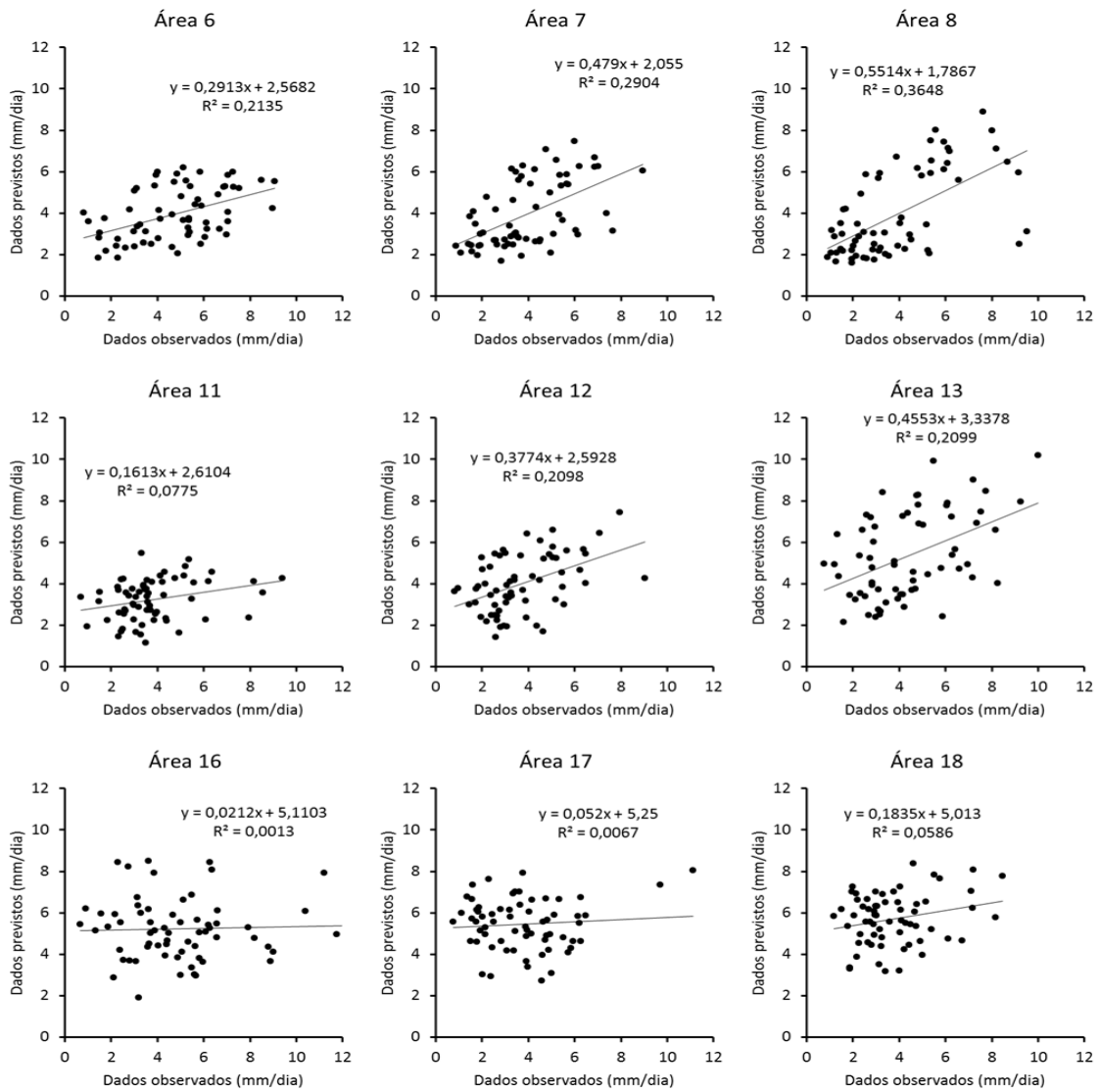
Analisando os dados acumulados, observa-se um RMSE médio igual a 62,24 mm. Este é o valor médio do erro do modelo para todas as áreas quando se trata do volume acumulado de precipitação entre os dias 27 de setembro e 30 de novembro, o que equivale a aproximadamente 1 mm por dia. Ressalta-se que este volume, se distribuído uniformemente durante o período de previsão, torna-se um baixo valor, todavia, se os 62,24 mm se concentrarem em um período curto, pode trazer consequências indesejáveis para economia e para sociedade.

O coeficiente de Pearson indica uma correlação linear crescente quase perfeita entre previsão e dados observados, fato que pode ser observado na Figura 10.

Já em relação ao coeficiente de Nash-Sutcliffe, é importante atentar para o que fora dito no parágrafo anterior. Neste caso, existem áreas onde o modelo é melhor preditor do que a climatologia (áreas: 6, 7, 8, 11, 13 e 16), e áreas onde a climatologia é melhor preditora do que o modelo (áreas 12, 17 e 18). Quando é feita a média, embora um número menor de áreas apresente essa característica, tem-se como resultado final que os dados observados médios são melhores preditores do que o modelo.

Outro fato que deve ser observado é que um valor alto de correlação linear ( $r$ ) entre dados previstos e observados não quer dizer, necessariamente, que o modelo seja um bom preditor. Por esta razão é que se faz necessário o uso de múltiplas análises dos dados para uma melhor descrição dos resultados.

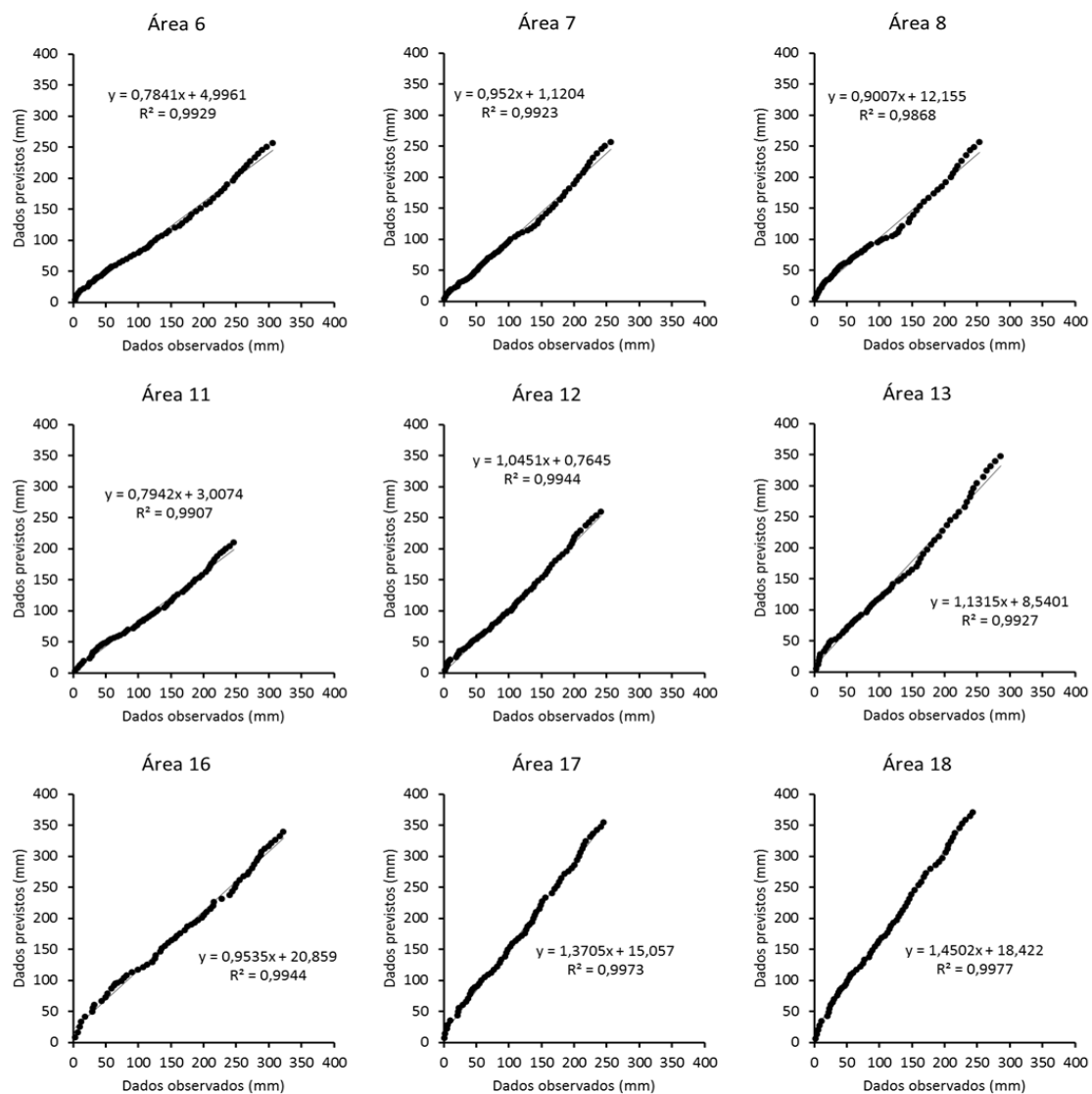
Figura 9 – Relação entre as climatologias de dados diários de precipitação ( $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) previstos (Eta) e observados (MERGE).



Fonte: Do autor (2017).



Figura 10 – Relação entre as climatologias de dados acumulados ( $\text{mm} \cdot 65\text{dias}^{-1}$ ) previstos (Eta) e observados (MERGE) no período de previsão subsazonal estudado.



Fonte: Do autor (2017).

## 6. CONCLUSÃO

Diante dos resultados encontrados, pode-se concluir que o início da estação chuvosa na porção da região Sudeste estudada acontece, em média, na pântada 57 do ano, com desvio padrão de 1,7 pântada. O modelo conseguiu prever bem o comportamento climatológico desta região, embora em escala diária o desempenho do modelo tenha sido baixo.

A utilização de diferentes critérios ou uma simples variação no limiar para determinação da data de início da estação chuvosa influencia na variabilidade espaço-temporal das datas de início das chuvas.

Também é importante destacar a dificuldade existente em se encontrar a data exata de início das chuvas, uma vez que, após um período de chuvas, pode ocorrer um período seco, caracterizando um falso início da estação chuvosa.

A região Sudeste é caracterizada como sendo de baixa previsibilidade climática devido às características intrínsecas da sua atmosfera. Localizada entre duas regiões onde a previsibilidade é considerada alta, o Sul e o Nordeste, o clima do Sudeste tem um caráter de transição, onde a previsão em escalas sazonal e subsazonal de clima é difícil e o índice de acerto dos modelos climáticos é baixo. As previsões apresentam, portanto, baixo grau de confiabilidade, especialmente nas estações de transição entre o período seco e chuvoso.

Embora o modelo Eta tenha conseguido prever relativamente bem o volume de chuvas no período analisado, o mesmo não foi capaz de prever satisfatoriamente a distribuição espaço-temporal da precipitação, implicando em pântadas diferentes das que foram observadas de início da estação chuvosa.

Outro ponto a ser destacado é a intermitência de bons resultados do modelo na escala subsazonal. Em alguns anos, o modelo acertou a pântada de início das chuvas, em outros, errou. Por esta razão, não se pode dizer que o modelo seja totalmente confiável, pois não se sabe em qual ano ele irá acertar e em qual irá errar.

A resolução espacial e temporal dos dados utilizados também influencia na qualidade dos resultados. Foi observado no decorrer deste trabalho que quando se trabalha com áreas menores e com períodos maiores (5, 10 ou mais dias de precipitação acumulada), a qualidade dos resultados é melhor, ou seja, evita-se mascarar eventos que possam estar ocorrendo em pontos distantes de uma grande área através da média dos

dados e também dá-se maior importância à intensidade dos eventos em detrimento da ordem cronológica dos mesmos.

As previsões por conjunto em escala subsazonal do modelo regional Eta tendem a se comportar de maneira similar à climatologia no período e área analisados, mas ainda sofrem variações interanuais imprevisíveis que precisam ser corrigidas para que as previsões se tornem mais confiáveis e possam ser utilizadas seguramente nos diversos setores socioeconômicos.

Portanto, o modelo pode ser utilizado para prever o comportamento médio do clima de uma região em um determinado período, mas não é uma boa opção quando o objetivo é analisar anos isolados ou dados em escala diária em um domínio extenso.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. Acesso em: 7 jun. 2017.

ALVES, J. M. B. et al. Uma avaliação preliminar de simulações climáticas de um modelo regional espectral aninhado em um modelo global (ECHAM4.5) sobre o setor norte da região Nordeste do Brasil (1971-2000). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 191-206, 2005.

ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; NASCIMENTO, L. S. V. Sensibilidade intrasazonal de um downscaling dinâmico de precipitação (1971-2000): uma análise na bacia hidrográfica do açude Castanhão-Ce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 73-87, 2008.

ALVES, L. M. et al. Estudo comparativo entre a precipitação sazonal simulada pelo modelo ETA e observada sobre o Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 16-20 out., Rio de Janeiro (RJ). **Anais... SBMET**, 2000. Artigos, p. 1029-1035. CD-ROM.

ALVES, L. M. et al. Início da estação chuvosa na região sudeste do Brasil: parte 1 – Estudos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 385-394, 2005.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. Início das chuvas na região Sudeste do Brasil: Análise Climatológica. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu – PR.

ARAKAWA, A.; LAMB, V. R. Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. **Methods in Computational Physics**, 17, 173-265, 1977.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas - Aplicações na agricultura**. 20. ed. Brasília: EMBRAPA, 1988. 434p.

BARBIERI, P. R. B. **Caracterização da estação chuvosa nas regiões sul e sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica**. 2005. 118 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. **Wea. And Forecasting**, 9, 265-278, 1994.

BUSTAMENTE, J. F.; GOMES, J. L.; CHOU, S. C. Influência da temperatura da superfície do mar sobre as previsões climáticas sazonais do modelo regional ETA. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12.; Seminário Brasileiro de Hidrometeorologia, 3.; Encontro Brasileiro de Interação Oceano-Atmosfera, 3.; Seminário Brasileiro de Química e Poluição do Ar, 4-9 ago., 2002, Foz do Iguaçu (PR), 2002. p. 2145-2152.

Comitê Temático 3 - Hidrometeorologia, Poluição, Interação Oceano-Atmosfera e Química da Atmosfera.

CABRAL, S. L. et al. O Intervalo de Tempo para uma Máxima Previsibilidade da Precipitação sobre o Semiárido Brasileiro The Time Interval for Maximum Predictability of Precipitation over Brazilian Semi Arid. p. 105–113, 2016.

CALBETE, N. O.; LIRA, A. C.; SANSIGOLO, C. A. Estimativas do início da estação chuvosa no Vale do Paraíba e Litoral Norte de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14., Florianópolis. **Anais eletrônicos...CBMET**, 2006.

CASTRO, C. L.; R. A. PIELKE S. R.; LEONCINI, G. Dynamical downscaling: Assessment of value retained and added using the Regional Atmospheric Modeling System (RAMS). **Journal of Geophysical Research**, v. 110, p. 1-21, 2005.

CAVALCANTI, I. F. A. et al. Características climatológicas sobre a América do Sul nos resultados de uma simulação de 10 anos com o MCGA CPTEC/COLA na versão T62L28. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 16-20 out., Rio de Janeiro (RJ). **Anais... SBMET**, 2000. Artigos, p. 3552-3556. CD-ROM.

CAVALCANTI, I. F. A. et al. Global Climatological Features in a Simulation Using the CPTEC-COLA AGCM. **Journal of Climate**, v. 15, n. 21, p. 2965-2988, 2002.

CAVALCANTI, I. F. A.; NOBRE, P.; TROSNIKOV, I. Simulação de verão e outono de 92/93 e 93/94 com o GCM CPTEC/COLA. In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. Nov. 1996, 807-811.

CHARNEY, J. G.; SHUKLA, J. Predictability of monsoons. In Monsoon dynamics. Ed. J. Lighthill and R. Pearce. Cambridge University Press. 1981

CHATFIELD. C. Wet and dry spells. **Monthly Weather Review**, v. 21, p. 308-310, 1966.

CHOU, S. C. Modelo regional Eta. **Climanálise**, v.1, p.203-207, 1996.

CHOU, S. C. **Modelo Regional Eta**. 2015. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/27.html>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 12, p. 537-555. 2005.

CHOU, S. C.; NUNES; A. M. B.; CAVALCANTI, I. F. A. Extended range forecasts over South America using the regional ETA model. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.105, p. 10147-10160, 2000.

CHOU, S. C.; ROZANTE, J. R.; BUSTAMANTE, J. F. Influencia da resolução horizontal nas condições iniciais e contorno nas previsões de chuvas tropicais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 16-20 out., Rio de Janeiro (RJ). **Proceedings...** 2000. Artigos, p. 1592-1598. CD-ROM.

COELHO, L. L.; STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A. Caracterização prévia do início da estação chuvosa no Distrito Federal: Estudo de caso da bacia do Lago Paranoá. **Revista Geonorte, Edição Especial 2**, v. 1, n. 5, p. 441-450, 2012.

COSTA, A. A.; MENEZES NETO, O. L. Modelagem de mesoescala da variabilidade climática interanual sobre o nordeste brasileiro. **Anais do III Simpósio Internacional de Climatologia**, 2009.

DE MOURA et al. Avaliação da precipitação do Modelo Regional Eta utilizando as análises do CPTEC e NCEP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 46-53, 2010.

DERECZYNSKI, C. P.; NOBRE, C. A. Avaliação das previsões climáticas do modelo global do cptec para o trimestre chuvoso de 1997 na região nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** CBMET, 2002.

DOS SANTOS, L. F.; GARCIA, S. R. Início e fim da estação chuvosa no Estado de Minas Gerais: Comparação de duas metodologias diferentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 92-104, 2016.

FELS, S. B.; SCHWARZKOPF, M. D. The simplified exchange approximation: A new method for radiative transfer calculations. **J. Atmos. Sci.**, 32, 1475-1488, 1975.

FERREIRA, C. C. M. Estudo do comportamento do período chuvoso em Juiz de Fora-MG. **Revista Geonorte, Edição Especial 2**, v. 1, n. 5, p. 953-963, 2012.

GAN, M.; MOSCATI, M. L. Estação chuvosa de 2001/2002 na região centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 183-196, 2003.

GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Determination of the onset dates of the rainy season in Central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 97, p. 361-372, 2009.

GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Some considerations on onset dates of the rainy season in Western-Central Brazil with antisymmetric outgoing longwave radiation relative to the equator. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 188-198, 2013.

GODDARD, L. et al. Current approaches to seasonal-to-interannual climate predictions. **International Journal of Climatology**, Londres, v. 21, p. 1111-1152, 2001.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of climate**, v. 2, p. 1388-1403, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE - **Censo Demográfico**, 2010. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=264529>>. Acesso em: 03 jul. 2017.

JANJIC, Z. I. The stepmountain Eta coordinate Model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. **J. Atmos. Sci.**, 122, 927-945, 1994.

KASSAM, A. H. **Multiple cropping rainfed productivity in Africa**. 5 ed. Rome, Italy: FAO, 1979. 88p.

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

LACIS, A. A.; HANSEN, E. J. E. A parameterization of the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere. **J. Atmos. Sci.**, 31, 118-133, 1974.

LEMOS, C.; CALBETE, N. O. Sistemas Frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1991. **Climanalise, edição comemorativa de 10 anos**, Cachoeira Paulista-SP. 1996.

LIEBMANN, B. et al. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1877-1891, 1999.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. The Seasonality and Interannual Variability of Rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 4308-4318, 2001.

LIEBMANN, B. et al. Onset and End of the Rainy Season in South America in Observations and the ECHAM 4.5 Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, v. 20, p. 2037-2050, 2007

LIMA, J. P. R.; ALVES, J. M. B. Um estudo de downscaling dinâmico de precipitação intrasazonal acoplado a modelo chuva-vazão na bacia hidrográfica alto-médio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 323-338, 2009.

MACHADO, R. D.; DA ROCHA, R. P. Previsões climáticas sazonais sobre o Brasil: avaliação do RegCM3 aninhado no modelo global CPTEC/COLA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 121-136, 2011.

MARENGO, J. et al. On the onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 833-852, 2001.

MARENGO, J. A. et al. Assessment of Regional Seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM. **Climate Dynamics**. 21: 459-475, 2003.

MARENGO, J. A. 2015. **Início da Est. Chuvosa nas Reg. SE/CO/S do NE do Brasil, afetadas pela crise de energia.** Disponível em: <<http://energia1.cptec.inpe.br/regiaoafetadas/pt>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

MESINGER, F. et al. The stepmountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Mon. Wea. Rev.**, 116, 1493-1518, 1988.

MELLO et al. Esosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 537-545, 2007.

MILLER, N. L. et al. Downscaling climate on stream flow study on Southwestern on Unite States. **Journal American Water Resources Association**, v. 35, p. 1525-1537, 1999.

MINUZZI, R. B. et al. Estudo climático do comportamento do período chuvoso no Estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 306, p. 266-275, mar-abr., 2006.

MINUZZI, R. B. et al. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 338-344, 2007.

NOBRE, P.; MOURA, A. D.; SUN, L. Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's regional spectral models at IRI. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 82, p. 2787-2796, 2001.

NICHOLLS, N.; MCBRIDE, J. L.; ORMEROD, R. On predicting the onset of the Australian set season at Darwin. **Monthly Weather Review**, v. 110, p. 14-17, 1982.

OLIVEIRA, K. F. **Previsão de vazão em uma bacia do semiárido usando previsões climáticas numéricas de precipitação.** 2006. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande-PB. 2006.

PAZ, A. R. D.; COLLISCHONN, W. Avaliação de estimativas de campos de precipitação para modelagem hidrológica distribuída. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 109-120, 2011.

PAIVA, C. M. **Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranicos na Bacia do Rio Doce.** 1997. 65f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PESQUERO, J. F.; CHOU, S. C.; NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. Climate downscaling over South America for 1961-1970 using the Eta Model. **Theoretical and Applied Climatology**, v.99, n.1-2, p.75-93, 2010



PIELKE, R. A.; COTTON, W. R.; WALKO, R. L. A comprehensive meteorological modeling system RAMS. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 49, n. 1, p. 69-91, 1992.

RAES, D. et al. Evaluation of first planting dates recommended by criteria currently used in Zimbabwe. **Agric. For. Meteorol**, v. 125, p. 177-185, 2004.

RAUSCHER, S. A. et al. Regional climate model–simulated timing and character of seasonal rains in South America, **Monthly Weather Review**, 135, 2642– 2657, 2007

ROZANTE, J. R. et al. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, p. 885-894, 2010.

SAMPAIO, G. et al. **O início da estação chuvosa no sudeste do Brasil pelo MCGA CPTEC COLA**. 2014. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/266893069>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

SANSIGOLO, C. A. Variabilidade interanual da estação chuvosa em São Paulo. **Climanálise**, v. 4, n. 9, p. 40-43, 1989.

SANSIGOLO, C. A. Variabilidade interanual da estação chuvosa no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 101-105, 1996.

SEN, O. L.; WANG, Y.; WANG, B. Impact of Indochina deforestation on the East-Asian summer monsoon. **Journal of Climate**, v. 17, p. 1366-1380, 2004a.

SEN, O. L.; WANG, Y.; WANG, B. Re-greening the desertification lands in northern China: Implications from a regional climate model experiment. **Journal of Meteorological Society of Japan**, n. 6, v. 82, p. 1679-1693, 2004b.

SETH, A. et al. RegCM3 regional climatologies for South America using reanalysis and ECHAM global model driving fields. **Climate Dynamics**, v. 28. p. 461–480, 2007.

STERN, R. D.; DENNETT, M. D.; DALE, I. C. Analysing Daily Rainfall Measurements to Give Agronomically Usefull Results I. **Exp. Agric**, v. 18, p. 223-236. 1982a.

STERN, R. D.; DENNETT, M. D.; DALE, I. C. Methods for Analysing Daily Rainfall Measurements to Give Agronomically Usefull Results II. A Modelling Approach. **Exp. Agric**. v. 18, p. 237-253. 1982b.

SUGAHARA, S. **Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais de precipitação no estado de São Paulo**. 1991. 140p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Curso de pós-graduação em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

SUN, L. et al. Climate downscaling over Nordeste, Brazil, using the NCEP RSM97, **Journal of Climate**, v. 18, p. 551-567, 2005.

VEIGA, J.; MARENGO, J.; RAO, V. B. A influencia das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico sobre as chuvas de monção da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 2, p. 181-194, 2002.

VIRMANI, S. M. The agricultural climate of the Hyderabad regions in relation to crop planning. Internal Report, Farming systems program. **ICRISAT**, Hyderabad, India, p. 22, 1975.

WILBY, R. L. et al. Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, n. 11, p. 2995-3008, 1998.

ZENG, X.; LU, E. Globally Unified Monsoon Onset and Retreat Indexes. **Journal of Climate**, v. 17, p. 2241-2248. 2004.

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

## 8. ANEXOS

Quadro 1 - Pêntadas do ano e datas correspondentes.

Pêntada	Datas	Pêntada	Datas
1	1-5 de Janeiro	38	5-9 de Julho
2	6-10 de Janeiro	39	10-14 de Julho
3	11-15 de Janeiro	40	15-19 de Julho
4	16-19 de Janeiro	41	20-24 de Julho
5	20-24 de Janeiro	42	25-29 de Julho
6	25-29 de Janeiro	43	30 de Jul. a 3 Agosto
7	30 de Jan. a 4 Fev	44	4-8 de Agosto
8	5-9 de Fevereiro	45	9-13 de Agosto
9	10-14 de Fevereiro	46	14-18 de Agosto
10	15-19 de Fevereiro	47	19-23 de Agosto
11	20-24 de Fevereiro	48	24-28 de Agosto
12	25 de Fev. a 1 de Mar	49	29 de Ago. a 2 Set.
13	2-6 de Março	50	3-7 de Setembro
14	7-11 de Março	51	8-12 de Setembro
15	12-16 de Março	52	13-17 de Setembro
16	17-21 de Março	53	18-22 de Setembro
17	22-26 de Março	54	23-27 de Setembro
18	27-31 de Março	55	28 de Set. a 2 de Out.
19	1-5 de Abril	56	3-7 de Outubro
20	5-10 de Abril	57	8-12 de Outubro
21	11-15 de Abril	58	13-17 de Outubro
22	16-20 de Abril	59	18-22 de Outubro
23	21-25 de Abril	60	23-27 de Outubro
24	26-30 de Abril	61	28 Out. a 1 de Nov.
25	1-5 de Maio	62	2-6 de Novembro
26	6-10 de Maio	63	7-11 de Novembro
27	11-15 de Maio	64	12-16 de Novembro
28	16-20 de Maio	65	17-21 de Novembro
29	21-25 de Maio	66	22-26 de Novembro
30	26-30 de Maio	67	27 Nov. a 1 de Dez.
31	31 de Maio a 4 Junho	68	2-6 de Dezembro
32	5-9 de Junho	69	7-11 de Dezembro
33	10-14 de Junho	70	12-16 de Dezembro
34	15-19 de Junho	71	17-21 de Dezembro
35	20-24 de Junho	72	22-26 de Dezembro
36	25-29 de Junho	73	27-31 de Dezembro
37	30 de Jun. a 4 de Jul.		

Fonte: Alves, Marengo e Castro (2002).