

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP

JONATHAN CASTRO AMANAJÁS  
RONE CLEITON MEDEIROS DE ARAÚJO

**USO DO MÉTODO DE CONTINGÊNCIA PARA ANÁLISE DA EFICÁCIA DE  
PREVISÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO MODELO ETA PARA O  
MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP EM 2007**

MACAPÁ - AP

2008

JONATHAN CASTRO AMANAJÁS  
RONE CLEITON MEDEIROS DE ARAÚJO

**USO DO MÉTODO DE CONTINGÊNCIA PARA ANÁLISE DA EFICÁCIA DE  
PREVISÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO MODELO ETA PARA O  
MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP EM 2007**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado ao curso de Licenciatura  
Plena em Matemática, da Universidade  
Federal do Amapá – UNIFAP, para  
obtenção do grau de Licenciado Pleno  
em Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Alan Cavalcanti da  
Cunha.

MACAPÁ - AP

2008

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**JONATHAN CASTRO AMANAJÁS  
RONE CLEITON MEDEIROS ARAÚJO**

**USO DO MÉTODO DE CONTINGÊNCIA PARA ANÁLISE DA EFICÁCIA DE  
PREVISÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DO MODELO ETA PARA O  
MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP EM 2007**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do título de Licenciado no curso de Licenciatura Plena em Matemática da Universidade Federal do Amapá – UNIFAP.

Aprovados em 17 de março de 2008.

Componentes da banca examinadora:

---

Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha  
NHMET/IEPA

---

Prof. Dr. José Walter Cárdenas Sotil  
UNIFAP

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Paula Pintado Wyse  
UNIFAP

MACAPÁ - AP  
2008

Dedicamos este trabalho a todos os familiares, irmãos e amigos pelo apoio durante a jornada acadêmica, que nos fizeram sempre acreditar em nossos objetivos, e a memória dos que já não se encontram presentes. Em especial aos nossos pais, que sempre se fizeram presentes ao longo de nossas vidas.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela família e pelos amigos que sempre estiveram ao nosso lado, e por termos tido a oportunidade de tornar realidade a conclusão deste curso que tanto almejamos.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha, pela confiança, por sua dedicação e paciência.

À equipe de pesquisadores do Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis (NHMET/IEPA), Edmir dos Santos Jesus, Leidiane Leão de Oliveira e George Tork Façanha, pelas sugestões valiosas e pelo auxílio na compreensão de conceitos fundamentais a pesquisa. E a todos os colegas pesquisadores e de iniciação científica que sempre nos apoiaram e acreditaram em nosso sucesso.

Aos professores do Curso de Matemática da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), pela contribuição à nossa formação profissional. E a todos os colegas de turma que durante os anos de formação estiveram conosco.

À pesquisadora Chou Sin Chan, do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), que gentilmente nos enviou dados importantes à realização de nossa pesquisa, sem os quais não teríamos conseguido executá-la.

Com abelhas ou sem abelhas,  
os problemas interessantes da  
Matemática têm, para o  
pesquisador, a doçura do mel.

Ary Quintela

## RESUMO

O presente estudo objetivou aplicar o Método da Análise de Contingência (MAC) para avaliar a eficácia da previsão do Modelo ETA utilizado operacionalmente no Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis (NHMET) do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA) para a elaboração da previsão de tempo de todo o Estado do Amapá. Apesar do sistema se encontrar em operação desde maio de 2006, era desconhecida a sua eficácia nas previsões para o Estado do Amapá, especialmente para a variável meteorológica precipitação pluviométrica. A relevância do estudo para a região é da mais alta importância porque insere os produtos e serviços científico-tecnológicos no contexto de qualidade e confiabilidade das previsões e seus reflexos sobre praticamente todas as áreas do conhecimento local. Com esta finalidade foi empregado o MAC para verificar as previsões do Modelo ETA a partir de análises comparativas entre as ocorrências de precipitação pluviométrica acumulada diária e as saídas gráficas do modelo. Utilizou-se a média de precipitação de quatro estações de coleta localizados na zona urbana do município de Macapá. Foram realizados testes de ANOVA ( $\alpha = 0,05$ ) para avaliar esta média e os resultados indicaram que as mesmas são significativamente iguais para fins de análise comparativa com as saídas gráficas do modelo ETA. O MAC quantificou a correspondência entre valores observados e previstos a partir de uma matriz de dupla entrada binária (duas categorias de eventos: sim e não). Os resultados foram obtidos a partir dos seguintes indicadores numéricos propostos pelo MAC: a) Proporção de Acertos (PA); b) Índice Crítico de Sucesso (ICS); c) Probabilidade de Detecção (POD); d) Relação de Alarme Falso (RAF); e) Vício (BIAS); f) Índice de Acerto Com Chuva (IACC) e g) Índice de Acerto Sem Chuva (IASC). Verificou-se que os melhores indicadores da precisão de previsão de chuva do modelo foram a PA (77% e 73%, respectivamente, período chuvoso e menos chuvoso), o BIAS (70% e 38%, respectivamente, período chuvoso e menos chuvoso) e o RAF (1% e 6%, respectivamente, período chuvoso e menos chuvoso). Foi observado ainda, a partir da análise metodológica aplicada, que o modelo tendeu a subestimar as ocorrências de chuva em 2007, quando comparadas às observações de superfície.

Palavras-chave: Eficácia da Previsão; Modelo ETA; Método de Análise de Contingência (MAC); Precipitação Pluviométrica; Macapá.

## ABSTRACT

The study seeks to apply the Contingency Analysis Method (CAM) to evaluate the effectiveness of the forecast of the Model ETA for Macapá City during 2007 year. The model is a forecast operational tools of the Hydrometeorology and Renewable Energies (NHMET) of the Scientific and Technological Researches Institute of the Amapá State (IEPA). The relevance of the study for the Amapá State is the generations of products and scientific-technological services, especially concerning on quality and reliability of the forecasting and their reflexes on human activities. The CAM purpose was used to compare the operational forecasts and observed data, starting from comparative analyses between the occurrences of daily rain and the accumulated precipitation graphic outputs of the ETA Model. CAM quantified the correspondence among observed and previewed values, starting from a couple binary entrance (only two modalities of events: yes and no). Four meteorological stations were used for data observation of the average of precipitation, which are located in the urban area of the municipal district of Macapá. ANOVA tests were carried out ( $\alpha = 0,05$ ) to compare four monthly series of the meteorological data. The results indicated equals significance level for 2007 year at the four collection data stations. Exception occurred only in August month. The principal results show some numeric indicators of quality, which were proposed: a) Successes Proportion (SP); b) Critical Index of Success (CIS); c) Probability of Detection (POD); d) False Alarm Relationship (FAR); e) Tendency (BIAS); f) Index of Success With Rain (ISWR) and g) Index of Success Without Rain (IAOC). The conclusion indicated that the best indicators were the SP (77% and 73%, respectively, rainy period and less rainy), BIAS (70% and 38%, respectively, rainy period and less rainy) and FAR (1% and 6%, respectively, rainy period and less rainy). The principal conclusion showed that the ETA Model tended to underestimate the rain occurrences in 2007, when compared to the surface observations.

Keywords: Skill of the Forecast; Model ETA; Contingency Analysis Method (CAM); Rain; Macapá.



## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
3.1. METEOROLOGIA E SEU PAPEL NOS CENTROS DE PREVISÃO DO TEMPO .....	16
3.2. PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO E MODELAGEM ATMOSFÉRICA .....	17
3.2.1. <i>Descrição do Modelo ETA</i> .....	23
3.2.1.1. Estrutura do modelo ETA.....	24
3.2.1.2. Integração .....	28
3.3. VERIFICAÇÃO DE PREVISÕES .....	29
3.3.1. <i>Método de Análise de Contingência (MAC) para Tabelas 2 x 2</i> .....	31
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
4.1. LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS CLIMÁTICOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
4.2. COLETA E REFINAMENTO DOS DADOS OBSERVADOS .....	39
4.3. CARACTERIZAÇÃO DO MODELO ETA OPERACIONAL NHMET/IEPA.....	41
4.4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE CONTINGÊNCIA (MAC).....	43
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
5.1. AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	48
5.2. DESEMPENHO DAS PREVISÕES DO MODELO ETA OPERACIONAL NHMET/IEPA.....	51
<b>6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>60</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>62</b>
<b>8. APÊNDICES .....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### FIGURAS

Figura 1: Fluxograma dos processos envolvidos na execução da previsão numérica.....	21
Figura 2: Grade horizontal tipo E de Arakawa.....	25
Figura 3: Estrutura vertical do Modelo ETA em 38 camadas .....	26
Figura 4: Orografia em forma de degraus na resolução de 40 Km (domínio com 24.531 pontos) .....	27
Figura 5: Localização da zona urbana de Macapá.....	37
Figura 6: PCD com pluviômetro registrador de sifão basculante.....	40
Figura 7: Saída gráfica da previsão de precipitação pluviométrica acumulada válida para as 18 horas do dia 03/03/07 .....	41
Figura 8: Grade horizontal de 15km x 15km e vertical em 38 camadas .....	42
Figura 9: Domínio de cobertura da previsão do Modelo ETA operacional NHMET/IEPA .....	43
Figura 10: Saída gráfica com previsão de chuva (a) e sem previsão de chuva (b) sobre Macapá válida para as 00 do dia 24/02/07 e as 09 horas do dia 21/11/07, respectivamente .....	45
Figura 11: Imagens em infravermelho do satélite GOES 10 mostrando aglomerado de nuvens sobre o Estado nos dias 13/03/07 às 12:15 horas (a), 27/04/07 às 11:45 horas (b) e 29/05/07 às 17:15 horas (c).....	50
Figura 12: Imagens em infravermelho do satélite GOES 10 mostrando aglomerado de nuvens sobre o Estado nos dias 29/06/07 às 13:15 horas (a), 19/07/07 às 17:45 horas (b) e 21/08/07 às 12:15 horas (c).....	50

### TABELAS

Tabela 1: Tabela de Contingência 2 x 2 para verificação da ocorrência ou não da previsão de chuva.....	35
Tabela 2: Teste ANOVA das precipitações observadas em 2007 .....	39
Tabela 3: Verificação da previsão de chuva do mês de janeiro de 2007 através do MAC .....	44
Tabela 4: Análise qualitativa das previsões para o período chuvoso de 2007 .....	58
Tabela 5: Análise qualitativa das previsões para o período menos chuvoso de 2007 .....	59

## GRÁFICOS

Gráfico 1: Normal Climatológica da Precipitação Pluviométrica em Macapá (1968 – 2007).	38
Gráfico 2: Distribuição temporal da precipitação pluviométrica em Macapá comparado a normal climatológica (1968 – 2007) .....	48
Gráfico 3: Predominância da direção do vento em Macapá em fevereiro de 2007.....	49
Gráfico 4: Proporção de Acertos das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá .....	51
Gráfico 5: Índice Crítico de Sucesso das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá	52
Gráfico 6: Probabilidade de Detecção das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá .....	53
Gráfico 7: Relação de Alarme Falso das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá.	54
Gráfico 8: BIAS das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá sobre Macapá.....	55
Gráfico 9: Índice de Acertos Com Chuva das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá.....	56
Gráfico 10: Índice de Acertos Com Chuva das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá.....	57

## LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas  
ANOVA – Análise de Variância  
CPTEC – Centro de Pesquisas de Tempo e Clima  
EDOs – Equações Diferenciais Ordinárias  
EDPs – Equações Diferenciais Parciais  
FTP – File Transfer Protocol  
GFDL – Geophysical Fluid Dynamics Laboratory  
SGT – Sistema Global de Telecomunicações  
IACC – Índice de Acerto Com Chuva  
IASC – Índice de Acerto Sem Chuva  
ICS – Índice Crítico de Sucesso  
IEPA – Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá  
INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais  
MAC – Método de Análise de Contingência  
NCEP – National Centers for Environmental Prediction  
NHMET – Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis  
PA – Proporção de Acertos  
PCDs – Plataforma Automática de Coleta de Dados  
POD – Probabilidade de Detecção  
RAF – Relação de Alarme Falso  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a Pré-História o homem vive em contínua busca para conhecer e compreender seu ambiente, explorando e valendo-se em parte da sua racionalidade. A capacidade do homem para raciocinar, refletir e pensar, permitiu-lhe questionamentos sobre a natureza e seus fenômenos, como: a chuva, o frio, o calor, o vento, as tempestades e as estiagens.

À medida que gerava esses conhecimentos, o homem começou a criar e desenvolver sua ciência. Algumas ciências, como a astronomia e a matemática, tiveram grande desenvolvimento, especialmente no quesito abstração da realidade.

O desenvolvimento da matemática culminou com o surgimento do Cálculo Diferencial e Integral, no fim do Século XVI e início do Século XVII, com Isaac Newton e Leibnitz, quando foi possível relacionar dois conceitos muito importantes – tempo e espaço (RUSSELL, 1981). Esse acontecimento marcou a passagem da matemática antiga para a contemporânea.

Dessa forma, o homem encontrou na matemática uma poderosa ferramenta na busca do conhecimento sobre a natureza dos seus fenômenos. A capacidade humana de pensar, questionar e criar, aliada ao espírito de investigação e da ferramenta matemática, permitiu-lhe explorar seu meio, modelando-o para melhor conhecê-lo. É a abstração a serviço da aplicação das ciências naturais, especialmente da física.

Segundo Burak (1987), a modelagem matemática constituiu-se em um conjunto de procedimentos cujo objetivo é construir um paralelo para explicar matematicamente os fenômenos do qual o homem é dependente no seu cotidiano, ajudando-o a fazer previsões e tomar decisões. Um modelo representa uma série de relações, quer sejam matemáticas, físicas ou conceituais que parecem ser apropriadas à compreensão de um conjunto de dados (HILGARD, 1973).

Pode-se observar na atualidade que não existe praticamente domínio do conhecimento humano que seja imune ao tratamento quantitativo e, por conseguinte, ao tratamento matemático. Em consequência, a cada dia, é maior o número de modelos matemáticos nas Ciências Aplicadas, em especial na Meteorologia.

De acordo com Bonatti (1996), a modelagem numérica que se usa para fazer a previsão do tempo, nada mais é do que aplicações das Leis de Newton aos movimentos e

transformações termodinâmicas da atmosfera, algo complexo, que envolve o conhecimento de conceitos numéricos acerca de como utilizar equações para representar a atmosfera.

As equações numéricas aplicadas aos movimentos de fluidos (ar) na atmosfera, normalmente, são chamadas de modelos de previsão, que, por sua vez, tentam representar os fenômenos que acontecem na atmosfera (os movimentos do sol em relação à Terra, que aquecem a superfície e os oceanos), os processos físicos de formação de nuvens, chuvas, ventos fortes e também a diferenciação de condições dos mares, continentes, solos e vegetações.

No Estado do Amapá, o serviço de previsão numérica de tempo tem se tornado instrumento importante e estratégico para o planejamento de ações e atividades econômicas e sociais locais. Desde maio de 2006, quando foram divulgados os primeiros boletins de previsão do tempo para o Estado, muito se progrediu em termos de conhecimento técnico-científico nesta área.

As principais respostas do Modelo Numérico de Previsão do Tempo ETA, instalado operacionalmente no NHMET/IEPA, serviram para alertar a população sobre as condições do tempo, bem como para os possíveis perigos que alterações climáticas poderiam proporcionar à Defesa Civil, agricultura, pecuária, infra-estrutura, transporte, construção civil e até mesmo sua influência sobre a saúde e ações do homem (bioclimatologia), cujas ações concentram-se a partir das massas de ar equatoriais e tropicais, da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e das brisas marítimas.

Contudo, nenhum estudo havia sido realizado para avaliar quantitativamente a eficácia do Modelo Atmosférico ETA operacional NHMET/IEPA, quanto a qualidade de suas previsões. Assim, o presente estudo teve como objetivo gerar informações específicas sobre a eficácia de previsibilidade do Modelo ETA.

A utilização do Método de Análise de Contingência (MAC), foi ferramenta essencial na comparação entre os dados observados e as saídas gráficas de previsão do modelo, condição básica e norteadora do presente estudo.

Portanto, trata-se de um estudo que indica a confiabilidade das previsões do Modelo ETA às condições de tempo local de modo inédito no Estado. Daí sua relevância para a região, já que praticamente todas as áreas do conhecimento tenderão a utilizar o sistema para os mais variados fins, que variam desde a aplicação ao setor econômico-produtivo do Estado até a simples verificação da temperatura para conhecimento da população.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Quantificar estatisticamente o nível de eficiência da previsão de precipitação pluviométrica do Modelo ETA, por intermédio de comparações entre os dados observados em superfície e as saídas gráficas do modelo para o município de Macapá no ano de 2007 com o uso do MAC.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar os índices padrão de precisão utilizados na literatura internacional da área para demonstrar a eficiência quanto à resposta de previsão do modelo em relação aos dados observados;
- Avaliar as tendências de previsibilidade do Modelo ETA operacional NHMET/IEPA;
- Indicar os sistemas meteorológicos que inibiram ou acentuaram os totais observados de precipitação pluviométrica em Macapá;
- Demonstrar as principais contribuições técnico-científicas do uso operacional do Modelo ETA como ferramenta de suporte à tomada de decisão para diversos setores da sociedade civil.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

Perceber como funcionam as condições meteorológicas, o tempo – estado médio da atmosfera num determinado instante e lugar, e prever como ele vai se comportar, depende de medições corretas das variáveis físicas envolvidas. Nenhum sistema de medição pode fornecer todas as informações necessárias para a realização de uma previsão. Por esse motivo são utilizados vários meios e métodos para obtenção de tais informações.

A previsão numérica é um método altamente especializado que está evoluindo continuamente neste ramo. Centros de previsão operacionais utilizam modelos de previsão complexos que requerem os maiores supercomputadores disponíveis para a solução das equações governantes envolvidas (VIANELLO, 1991). Nessas condições, aqui serão ilustrados aspectos a respeito da meteorologia com enfoque especial à previsão numérica de tempo, modelagem atmosférica e métodos estatísticos aplicados à ciência atmosférica.

#### **3.1. Meteorologia e seu papel nos Centros de Previsão do Tempo**

A previsão de nebulosidade, visibilidade e condições de vento nos aeroportos são necessárias para planejar a decolagem e aterrissagem de aeronaves, por razões óbvias de segurança. Certas condições meteorológicas perigosas podem aparecer durante vôos em elevadas altitudes, como a turbulência em ar limpo e gelo que ocorrem no interior das nuvens cumuliformes convectivas, que são caracterizadas por apresentarem grande extensão, desenvolvimento vertical, ocorrência isolada e chuvas fortes (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

As previsões destes fenômenos são fornecidas sob a forma de “cartas de tempo significativo”, como parte da documentação de vôo para a tripulação. Também são úteis aos aviões as informações a respeito da temperatura e vento, as quais podem levar à variações significativas no consumo de combustível necessário para uma determinada rota.

A previsão para a navegação também se faz importante para que a tripulação e a carga cheguem ao seu destino. Previsões de tempestades, chuvas, ventos, formação de nevoeiros, auxiliam na determinação da melhor rota para navios. A previsão meteorológica também é utilizada para que o tempo gasto na viagem seja o mínimo, sendo importante selecionar as condições mais econômicas.



Muitos aspectos da indústria, comércio, geração de energia e agricultura são sensíveis ao tempo. As observações meteorológicas são valiosas por permitirem vários tipos de serviços de avisos nestas áreas. As influências do tempo nesses setores acabam interferindo no transporte de cargas, na execução de serviços, previsão de consumo, épocas de plantio e colheita. Um bom exemplo são as operações de hidrelétricas, parques eólicos e fotovoltaicos, por estarem diretamente relacionados a variações de precipitação pluviométrica, vento e radiação solar, respectivamente.

A utilização da meteorologia pela Defesa Civil é fundamental. Os dados meteorológicos são importantes para os alertas com a finalidade de evitar a perda de vidas, danos ambientais e ao patrimônio adotando medidas preventivas pela população e pelos governos estaduais e municipais. A previsão meteorologia é importante para o monitoramento das áreas de risco e para minimizar os impactos causados pelos eventos extremos, tais como: enchentes, tornados, ventos fortes, temporais e chuva de granizo.

Todos os aspectos do tempo podem ser importantes para as mais diversas áreas, tanto para a previsão de lucros como para a proteção de bens e pessoas. Por estas razões, hoje, a modelagem atmosférica é um produto estratégico dos centros de previsão de tempo. Um produto dessa sofisticação teórica da ciência, cujo propósito é constituir objetos mais simples com as ferramentas da matemática, em particular as equações diferenciais, visando à sofisticação de instrumentos que permitam não apenas uma compreensão adequada de um determinado fenômeno e de suas tendências no tempo, mas também a formulação de programas de intervenção que possam ordenar, organizar, mudar, prever e mesmo prevenir, no que diz respeito à sua ocorrência e seus desdobramentos, sejam eles físicos, naturais, sociais ou culturais.

### **3.2. Previsão Numérica do Tempo e Modelagem Atmosférica**

De acordo com Jacobson (1999), um modelo matemático é uma representação de um processo, ou seja, uma descrição matemática do mundo real que inclui o uso de variáveis e relações entre essas variáveis. Um modelo numérico de previsão do tempo é uma representação matemática dos processos dinâmicos, físicos, químicos e radioativos da atmosfera, e desta com a superfície.

A previsão numérica do tempo, realizada por métodos numéricos, é a mais importante aplicação da Meteorologia Dinâmica (VIANELLO, 1991). Historicamente, foi sugerida pela

primeira vez como uma possibilidade a ser discutida, em 1912, por V. Bjerknes (AYOADE, 2006). Porém somente em 1922 é que foram publicados pelo cientista britânico L. F. Richardson os primeiros resultados da tentativa para prever numericamente o tempo (VIANELLO, 1991; HOLTON, 2004).

Seu livro, *Previsão de Tempo através de Processo Numérico*, publicado em 1922, é clássico neste campo. Richardson mostrou como poderiam ser escritas as equações diferenciais que governam movimentos atmosféricos, aproximando um conjunto de equações de diferenças algébricas para valores das tendências de várias variáveis de campo a um número finito de pontos no espaço. Dado os valores observados das variáveis de campo a estes pontos de grade, as tendências poderiam ser calculadas numericamente resolvendo as equações de diferenças algébricas (HOLTON, 2004). Contudo, alguns erros metodológicos impediram que Richardson obtivesse uma previsão razoável, e por isso somente após muitos anos estudiosos voltaram a prever numericamente os processos que governam a atmosfera.

Finalmente, depois da Segunda Guerra Mundial o interesse por previsão numérica se renovou, devido em parte à vasta expansão da rede de observação meteorológica que proveu muitas melhorias nos dados iniciais. Porém, tal melhoria deveu-se ao desenvolvimento de computadores digitais que resolveram um volume enorme de operações de aritmética necessárias a previsão numérica (VIANELLO, 1991).

Ao mesmo tempo foi percebido que o esquema de Richardson não era o esquema mais simples para previsão numérica. Segundo Holton (2004), as equações de Richardson não só governaram os movimentos meteorológicos mais importantes, mas também incluíram ondas acústicas de alta velocidade e ondas gravitacionais como soluções. Tais ondas atuam como ruídos que são amplificados no decorrer da integração da previsão inutilizando os resultados.

Charney, meteorologista americano, mostrou em 1948 como as equações dinâmicas poderiam ser simplificadas através da aproximação hidrostática e geostrófica, de forma que as ondas acústicas e as oscilações da gravidade fossem filtradas fora do esquema de resolução. A aproximação de Charney utilizou as propriedades conservadoras de vórtice potencial. Seu modelo foi usado em 1950 para fazer a primeira previsão numérica próspera.

Este modelo proveu previsões do geopotencial com aproximação de 500 mb. Assim, não previu "tempo" no senso habitual. Porém, poderia ser usado por previsores para prever o tempo local associado com amplas circulações.

Com o desenvolvimento de computadores imensamente mais poderosos e técnicas de modelagem mais sofisticadas, a previsão numérica voltou com modelos bastante semelhantes à formulação de Richardson, e mais precisos que modelos quase-geostróficos (HOLTON, 2004).

Nos modelos atmosféricos, processos dependentes do tempo são matematicamente representados por Equações Diferenciais Ordinárias (EDOs). Processos dependentes do espaço-tempo são representados por EDPs, as quais são aproximações em diferenças finitas ou outros métodos para obter soluções segundo as aproximações computadorizadas (JACOBSON, 1999).

Segundo Jacobson (1999), condições de tempo podem ser modeladas levando-se em conta um fácil e bem conhecido grupo de equações das dinâmicas físico-química envolvidas nos processos atmosféricos.

Variáveis meteorológicas tais como: velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica e conteúdo de água, de acordo com Jacobson (1999), são simuladas para resolver um conjunto de equações diferenciais parametrizadas, incluindo a equação de momentum, a equação da hidrostática, a equação da energia termodinâmica, a equação da continuidade (conservação de massa para o ar) e a equação do vapor d'água.

A previsão numérica é atualmente feita nos centros meteorológicos nacionais de vários países desenvolvidos. Segundo Ayoade (2006), estão envolvidas no processo de previsão numérica as seguintes etapas gerais (Figura 1):

1. Uma grade é estabelecida sobre a área de interesse. Usualmente, a grade cobre uma área maior do que a de previsão para minimizar os erros que surjam provenientes do limite da grade, que artificialmente delimita a extensão horizontal da atmosfera. Contudo, a distribuição de dados na grade é totalmente irregular e os modelos necessitam de uma distribuição regular para poder efetuar as contas. Há, então, uma etapa do trabalho (a interpolação do campo irregular para o regular) que demanda uma técnica muito sofisticada. Divide-se a superfície do globo terrestre na horizontal, em retângulos ou quadrados (coordenadas esféricas), e na vertical, em camadas. Trabalha-se com quadrados de 200 x 200 km, 100 x 100 km, 40 x 40 km ou 15 x 15 km. Isto é o que se denomina resolução do modelo. No centro é preciso ter um valor que se supõe válido para todo esse quadrado. Na vertical, trabalha-se somente com alguns valores, que precisam ser divididos como se fossem camadas.

2. Daí é feita a transferência dos dados observados para uma grade do tipo tridimensional, num dado instante fixo. Uma transferência daquelas variáveis observáveis e totalmente irregulares para algo bem regular. Desta forma, o modelo consegue fazer a leitura;
3. Valores de pressão, umidade e temperatura são então designados para a interseção da grade por meio da manipulação estatística dos dados observados a partir das redes de postos de superfície e das camadas superiores da atmosfera;
4. A previsão mais recente do estado atual da atmosfera é lançada no modelo, em termos de número sobre a grade. As observações da previsão usualmente recebem menos peso do que as observadas, exceto quando feitas sobre os oceanos;
5. Com a utilização de várias equações que descrevem as leis físicas que governam o movimento atmosférico (como, por exemplo, as equações de movimento, de continuidade e de estado, a equação termodinâmica), os estados futuros da atmosfera são computados e apresentados na forma de mapa.

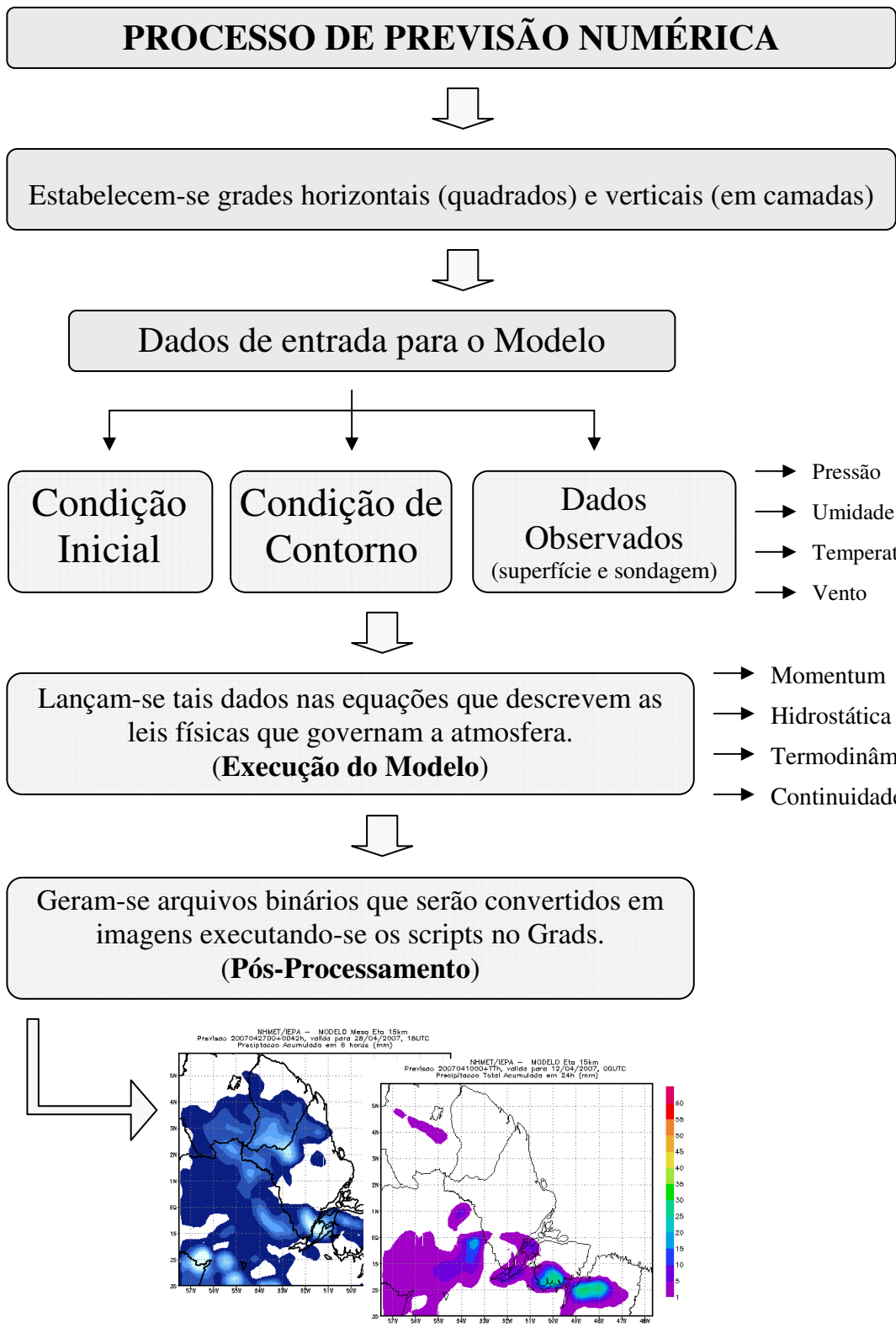


Figura 1: Fluxograma dos processos envolvidos na execução da previsão numérica.

Nessas condições a meteorologia dinâmica provê a base teórica e metodológica à previsão do tempo moderna. O objetivo da previsão dinâmica é prever o estado futuro da

circulação atmosférica conhecendo seu estado presente por uso de aproximações numéricas das equações dinâmicas. Cumprir este objetivo requer observações do estado inicial das variáveis de campo, um conjunto fechado de equações que relacionam as variáveis de campo, e um método para integrar as equações e obter a distribuição futura das variáveis de campo (HOLTON, 2004).

Para que seja realizada a previsão do tempo precisa-se reunir as várias observações meteorológicas, em conjunto. As observações de superfície e as sondagens de altitude são enviadas para centros coletores e depois para os centros nacionais, observações provenientes de aviões, navios, bóias, estações meteorológicas automáticas e balões são recolhidas via satélite. As próprias observações de satélite são recebidas em centros de processamento, onde as imagens são preparadas e as temperaturas e ventos calculados. Então, depois destes estágios iniciais de coleta de dados, começa a troca internacional de informação, livre, usando uma rede especial de ligações somente para fins meteorológicos, o Sistema Global de Telecomunicações (SGT).

Quando recebidos pelos maiores centros de previsão/observação em quantidade suficiente, são introduzidos em computadores potentes, programados para elaborarem cálculos conhecidos como “previsão numérica de tempo”. Essa fase é importante para a previsão moderna.

A atmosfera é observada em locais distribuídos irregularmente por toda a Terra e, embora algumas das observações sejam sinóticas, ou seja, aferidas em tempo real, muitas são realizadas a horas diferentes, ditadas pelos vôos dos aviões e as órbitas dos satélites. Por contraste, os computadores de previsão do tempo têm que começar com valores sinóticos do vento, pressão, temperatura e umidade, numa malha regular de localizações horizontais, conhecida como rede de pontos, e num conjunto fixo de níveis na vertical. Exatamente o modo como os valores sinóticos da rede de pontos são calculados a partir das medições que foram reunidas – processo conhecido por análise – é a parte importante.

Desde que a análise tenha terminado torna-se possível aplicar equações matemáticas que representam todos os processos físicos que interessam e, assim, calcular a modificação que ocorrerá em cada valor de cada ponto da rede num intervalo de tempo curto chamado incremento de tempo. O cálculo, em cada ponto da rede, implicará em adições, subtrações e multiplicações, utilizando-se valores dos pontos da rede à volta. Logo que tenham sido calculados novos valores das variáveis (vento, pressão, temperatura e umidade), para todos os pontos da rede e a todos os níveis, todo o processo pode ser repetido para se avançar outro

incremento temporal. Deste modo, pode, eventualmente, ser elaborada uma previsão para algumas horas, um dia ou alguns dias. Embora sejam feitos muitos cálculos, estes, na verdade, são aproximações da verdade.

O sistema de equações, aproximações e cálculos é chamado modelo numérico da atmosfera. Os modelos numéricos da atmosfera para previsão global requerem um número muito grande de cálculos a serem realizados em tempo reduzido, para tanto utilizamos os chamados “supercomputadores”. Outra saída é reduzir o número de iterações numéricas. O modelo pode apresentar diminuição ou aumento do espaço entre os pontos na rede.

### **3.2.1. Descrição do Modelo ETA**

O modelo atmosférico de área limitada ETA usado para pesquisa e propósitos operacionais, foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, e se tornou operacional no National Center for Environmental Prediction (NCEP) (MESINGER *et al.*, 1988; BLACK, 1994).

Nos anos oitenta, o código do modelo ETA foi melhorado ao estilo Arakawa advecção horizontal planejado por Janjic (1984), e então reescrito para usar a coordenada vertical ETA (MESINGER *et al.*, 1988). Subseqüentemente, a NCEP proveu o modelo ETA com um pacote de física avançado (JANJIC, 1990). Tornou-se oficialmente operacional no NCEP no dia 8 de junho de 1993 (BLACK, 1994). Em suas várias versões, o modelo ETA foi extensamente usado em numerosos países, inclusive a Argélia, Argentina, Bélgica, Brasil, Camarões, China, Costa Rica, Chipre, República Tcheca, Dinamarca, Egito, Finlândia, Alemanha, Grécia, Islândia, Índia, Israel, Itália, Malta, Tunísia, Turquia, Peru, Filipinas, Servia e Montenegro, África do Sul, Espanha, Suécia, e os Estados Unidos.

A versão do modelo ETA que roda operacionalmente no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) é hidrostático e cobre a maior parte da América do Sul e oceanos adjacentes, tendo sido instalado em 1996 com o fim de complementar a previsão numérica de tempo que vem sendo realizada desde o início de 1995 com o modelo de circulação geral atmosférica.

O modelo regional se propõe a prever com maiores detalhes fenômenos associados a frentes, orografia, brisa marítima, tempestades severas, sistemas convectivos organizados, cavados de onda curta, enfim, sistemas organizados em mesoescala.

Devido a maior não-linearidade dos sistemas nesta escala, a previsibilidade é menor e as previsões são de curto prazo. Estas previsões são fornecidas duas vezes ao dia em uma grade regular com resolução de 40km, uma gerada com condição inicial às 0000 e outra às 1200 UTC.

As saídas gráficas do Modelo ETA, operacionalizado no NHMET/IEPA desde maio de 2006 foram configuradas para uma integração de até 72 horas, em intervalos de saída de 3 em 3 horas, com resolução horizontal de 15 km e condições iniciais às 0000 e 1200 UTC. O domínio do modelo abrange o Estado do Amapá, parte do Estado do Pará, Suriname e Guiana Francesa (CUNHA, 2005; AMANAJÁS *et. al*, 2006).

O nome do modelo deriva da letra grega  $\eta$  (eta) que denota a coordenada vertical (MESINGER, 1984). A seguir, algumas das principais características do modelo ETA serão brevemente descritas.

### **3.2.1.1. Estrutura do modelo ETA**

Neste tópico serão apresentadas as características do modelo, dando uma ênfase maior aos aspectos relacionados à resolução, grade e condições iniciais e de contorno. A parte física e dinâmica do modelo será apresentada de forma sucinta.

#### **Grade horizontal**

A versão do modelo ETA operacional NHMET/IEPA possui resolução horizontal de 15km. As equações do modelo são discretizadas para a grade E de Arakawa (ARAKAWA e LAMB, 1977). Esse tipo de grade foi adotada devido às suas vantagens numéricas e computacionais em relação às outras grades. A distância entre dois pontos adjacentes de massa ou de vento define a resolução da grade. A grade E de Arakawa é definida sobre um sistema de coordenadas de latitude e longitude que sofreu uma rotação. Esta rotação do sistema de coordenadas consiste em girar toda a grade geográfica das latitudes e longitudes do globo de tal maneira que a interseção do Equador e Meridiano de  $0^\circ$  do sistema transformado coincida com o centro do domínio do modelo. Desta forma a convergência entre os paralelos e meridianos são minimizados nas altas latitudes.

A Figura 2 mostra a distribuição dos pontos na grade E, onde os pontos denominados por  $\underline{h}$  são os chamados pontos de massa (ou termodinâmicos) onde são definidas as variáveis (pressão em superfície, umidade específica, velocidade vertical, água líquida, energia cinética



turbulenta e variáveis termodinâmicas), enquanto que os pontos  $\underline{v}$  são os pontos de velocidade, onde são definidas as componentes horizontais do vento. O comprimento  $\underline{d}$  indica o espaçamento entre dois pontos de  $\underline{h}$  ou  $\underline{v}$  adjacentes, sendo que a magnitude desse comprimento é comumente usado para definir a resolução horizontal do modelo.

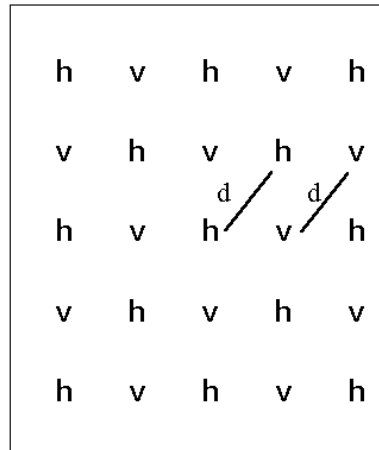


Figura 2: Grade horizontal tipo E de Arakawa. Fonte: Arakawa, 1977.

### Coordenada vertical

Uma das características principais deste modelo é a coordenada vertical  $\eta$  (ETA) definida por Mesinger (1984), no intuito de resolver um problema relacionado com a coordenada sigma em regiões montanhosas (Equação 1). O problema surge devido a erros associados através de interpolações verticais de geopotencial de superfícies de pressão sigma, que pode gerar erros significativos no gradiente horizontal de pressão nas redondezas das montanhas íngremes (MESINGER, 1984). Estes erros, que ocorrem em grande extensão, são aqueles obtidos a partir de derivadas horizontais, tais como advecção e difusão horizontal, ao longo de uma superfície de coordenada muito inclinada. A exemplo da coordenada sigma (PHILLIPS, 1957), a coordenada  $\eta$  é fundamentada na normalização da pressão, o que proporciona vantagens na solução das equações que governam a atmosfera. A coordenada  $\eta$  é definida através da seguinte relação:

$$\eta = \frac{p - p_t}{p_s - p_t} \left[ \frac{p_r(Z_s) - p_t}{p_r(0) - p_t} \right] \quad (1)$$

onde  $p_t$  é pressão no topo do domínio do modelo;  $p_s$  e  $Z_s$  são pressão e altitude à superfície, respectivamente e  $p_r$  é a pressão de referência que é a distância acima do nível do mar de uma atmosfera padrão. O topo do modelo se encontra em 50mb.

O modelo foi configurado com 38 camadas (Figura 3), sendo a resolução maior nos baixos níveis e diminuindo com a altura; a primeira camada tem 20m de espessura. Isto é feito no sentido de detalhar melhor os processos que ocorrem na camada limite planetária. As camadas acima aumentam a espessura gradativamente até a alta troposfera, onde começa a reduzir novamente resultando em um máximo secundário próximo a tropopausa. O aumento da resolução próximo à tropopausa empregado no sentido de representar melhor as regiões baroclínicas, como correntes de jato e inversão térmica.

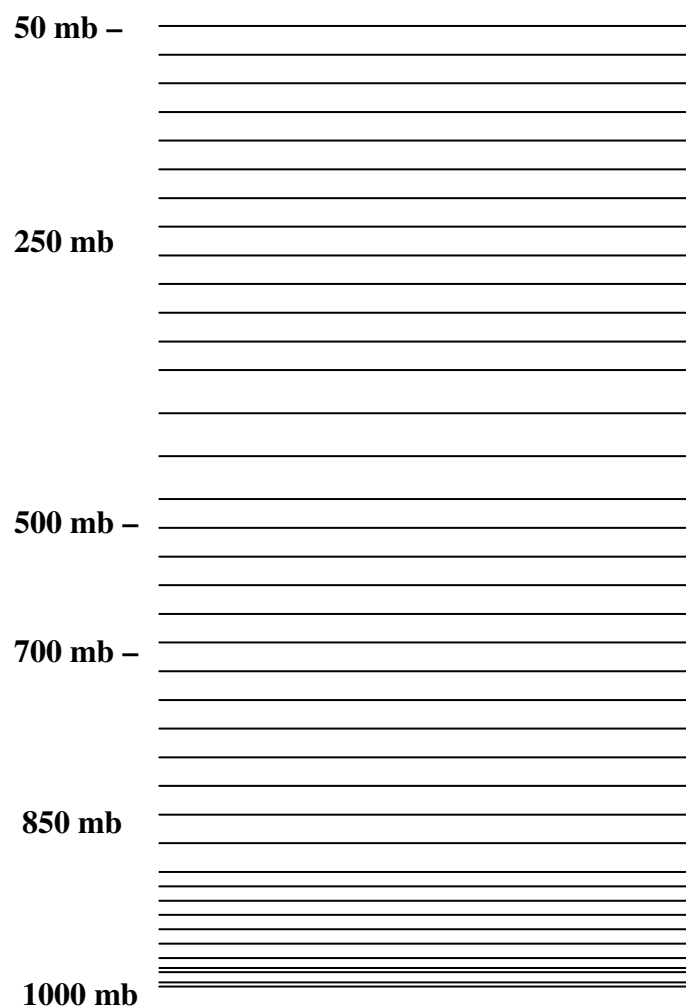


Figura 3: Estrutura vertical do Modelo ETA em 38 camadas. Fonte: Rozante, 2004 (adaptado por AMANAJÁS, 2007).

## Orografia do Modelo ETA

A orografia do modelo (Figura 4) é representada em forma de degraus discretos cujo topo coincide com a interface das camadas do modelo. A altura de cada degrau é obtida a partir do método de silhueta, que consiste nos seguintes passos:

- Divisão de cada grade horizontal em 16 subgrades, de tal maneira que apresente uma configuração de 4 linhas e 4 colunas;
- Cálculo do valor de altura média de cada subgrade obtido a partir dos dados de elevação do terreno;
- Escolha do maior valor de elevação para cada linha e cada coluna da grade resultando em oito valores máximos;
- Obtém-se uma altura intermediária a partir da média destes oito valores máximos;
- A altura final será obtida movendo, para cima ou para baixo, a altura intermediária em direção à interface da camada que estiver mais próxima.

As alturas das interfaces das camadas do modelo são previamente determinadas de acordo com a atmosfera padrão. A distribuição da resolução vertical é especificada de acordo com o modelo.

Um exemplo da topografia em forma de degraus do modelo ETA sobre a região, onde este estudo se propõe a realizar, esta indicado na Figura 4.

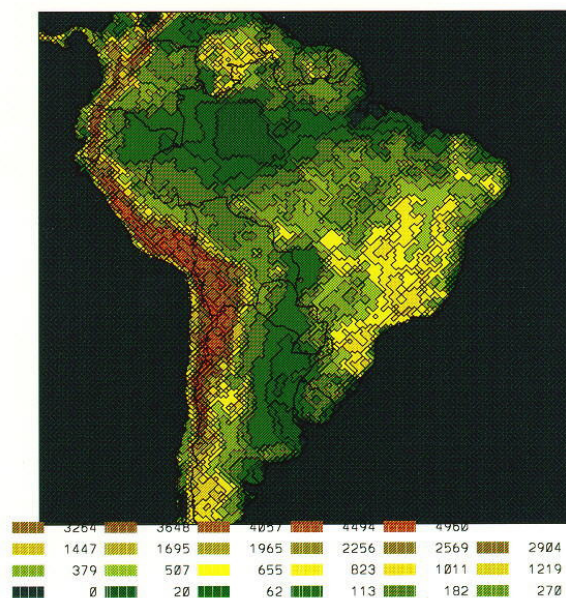


Figura 4: Orografia em forma de degraus na resolução de 40 Km (domínio com 24.531 pontos). Fonte: Chou, 1996.

### **3.2.1.2. Integração**

#### **Condições iniciais e de contorno**

A condição inicial do modelo é obtida a partir de uma análise estática, onde a estimativa inicial é ajustada de acordo com as observações do horário da análise. A condição é proveniente do NCEP em T126L28. A análise é, portanto realizada sobre uma grade de resolução correspondente à resolução do modelo global, e posteriormente, é interpolada para a grade do modelo ETA.

A temperatura da superfície do mar é obtida do valor médio da semana anterior e é mantida constante durante o período de integração. A umidade do solo e o albedo – proporção de radiação incidente refletida pela superfície - são obtidos de uma climatologia mensal e sazonal, respectivamente.

Nos contornos laterais, o modelo é atualizado a cada 6 horas com as previsões do modelo ETA de 40Km do CPTEC, assumindo que neste intervalo de tempo as tendências nas bordas são distribuídas linearmente. Os contornos laterais possuem duas fileiras de pontos mais externas da grade que são excluídas da integração do modelo, sendo que dessas duas fileiras, a mais externa é constituída apenas por informações do modelo global, enquanto que a outra é basicamente uma mistura entre informações provenientes dos dois modelos. Os dados são interpolados verticalmente para as superfícies ETA e horizontalmente para a grade E.

O Índice de Calor (*IC*) é calculado a partir dos dados de previsão pontual, de hora em hora, elaborados para 50 cidades brasileiras, incluindo todas as capitais e o Distrito Federal. Não é possível a elaboração desse tipo de previsão, com saídas a cada hora, para todas as cidades brasileiras devido ao limite computacional. Para preencher esta demanda, a previsão do *IC* é disponibilizada também através de mapas, para as cinco regiões brasileiras, para quatro horários do dia.

#### **Dinâmica**

As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura do ar, componentes zonal e meridional do vento, umidade específica, pressão à superfície, energia cinética turbulenta e hidrometeoros da nuvem. A integração no tempo utiliza a técnica de “split-explicit” (GADD, 1978) onde os termos devido ao ajuste pelas ondas de gravidade inerciais são integrados separadamente dos termos devido à advecção. Um esquema “forward-backward” modificado por Janjic (1979) trata dos termos responsáveis pelo ajuste, enquanto o esquema “Euler-

backward” modificado trata dos termos de advecção horizontal e vertical. O passo de tempo fundamental do modelo é o do ajuste, que equivale à metade do passo de tempo da advecção.

O esquema de diferenças finitas no espaço emprega o método de Janjic (1984) que controla o falso escoamento de energia para as ondas mais curtas. Um amortecimento na divergência combinado com uma difusão horizontal não-linear de 2ª ordem mantém os campos suaves.

### **Física**

O modelo utiliza um esquema de Betts-Miller modificado para parametrizar a convecção (JANJIC, 1994). O modelo representa processos de microfísica das nuvens. Os processos turbulentos na atmosfera livre são tratados através do esquema de Mellor-Yamada nível 2.5 que calcula a energia cinética turbulenta e os fluxos verticais. As funções de Paulson são empregadas na camada superficial.

O esquema de parametrização de radiação de ondas longas (FELS e SCHWARZKOPF, 1975) e curtas (LACIS e HANSEN, 1974) foi desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL). Esses esquemas são acionados a cada uma hora de previsão. A nebulosidade é baseada na umidade relativa e nas nuvens geradas pela microfísica. A distribuição dos gases atmosféricos é climatológica. As tendências da temperatura da atmosfera devido aos efeitos radiativos são aplicadas após cada passo de ajuste no tempo.

O esquema de previsão de nuvens, proposto por Ferrier (2002), considera diferentes hidrometeoros. As frações de nuvens calculadas nesse esquema são indiretamente usadas na parametrização de processos radiativos. Normalmente três camadas de nuvens são calculadas (altas, médias e baixas). Esse esquema calcula advecção horizontal da água líquida, precipitação a cada nível, tanto de neve quanto de chuva. Para prever precipitação convectiva o modelo se baseia no esquema de parametrização proposto por Betts e Miller modificado por Janjic (1994).

### **3.3. Verificação de Previsões**

Verificação de previsões é o processo complexo de avaliar a qualidade da previsão, podendo ter muitas medidas incluídas, por exemplo, a exatidão, o desvio e a habilidade (ARAVÉQUIA & QUADRO, 2003). Este processo foi desenvolvido nas ciências

atmosféricas, embora desenvolvimentos paralelos acontecessem satisfatoriamente dentro de outras disciplinas, onde a atividade às vezes é chamada validação, ou avaliação. Verificação de previsão do tempo foi empreendida desde então pelo menos a partir de 1884 (MURPHY, 1996 *apud* WILKS, 2006).

Talvez, não surpreendentemente, pode haver visões discrepantes do que constitui uma boa previsão. Uma ampla variedade de procedimentos de verificação de previsão existe. Mas todos envolvem medidas de relação entre uma previsão ou previsões, e a observação correspondente ao previsto. Qualquer método de verificação de previsão assim necessariamente envolve comparações entre pares de previsão e observações para as quais eles pertencem (WILKS, 2006).

Em um nível fundamental, verificação de previsão envolve investigação das propriedades da distribuição articulada de previsões e observações (MURPHY & WINKLER, 1987 *apud* WILKS, 2006). Quer dizer, qualquer determinado conjunto de dados de verificação consiste em uma coleção de pares de previsão/observação, que pode caracterizar o comportamento articulado das frequências relativas das possíveis combinações de resultados de previsão/observação.

Uma distribuição articulada paramétrica como a normal da bivariável, às vezes, pode ser útil representando esta distribuição articulada para um dado valor fixado, mas a distribuição articulada empírica destas quantidades normalmente forma a base de medidas de verificação de previsão. A associação entre previsões e as observações para as quais elas pertencem será razoavelmente forte, e serão refletidas a natureza e força desta associação na distribuição articulada deles.

As avaliações objetivas de qualidade de previsão são realizadas para uma variedade de razões. Brier e Allen (1951, *apud* WILKS, 2006) categorizaram estes como tendo propósitos administrativos, científicos, e econômicos. Nesta visão, uso administrativo de verificação de previsão pretende monitorar continuamente a previsão operacional. Por exemplo, é de interesse freqüente examinar tendências de desempenho da previsão do tempo. Avaliar a melhoria da previsão, qualquer que seja a localidade ou período que se deseje comparar. Verificação de previsão de fontes diferentes para os mesmos eventos também pode ser comparada. Aqui técnicas de verificação de previsão permitem comparação dos méritos relativos do previsor ou modelo.

Análise estatística de verificação e os componentes delas também podem ajudar na avaliação de acertos e falhas do previsor ou modelo. Segundo Brier e Allen (1951, *apud* WILKS, 2006) esta aplicação de verificação de previsão é considerada talvez melhor como verificação diagnóstica.

Aqui são investigados atributos específicos da relação entre previsão e os eventos subsequentes que pode realçar acertos e falhas em um conjunto de previsão. O previsor pode avaliar o desempenho da sua previsão em situações diferentes que esperançosamente conduzirão a previsões melhores no futuro. Semelhantemente, verificação de previsão pode apontar problemas em previsões produzidas por modelos, levando futuramente a previsões melhores com ajustes metodológicos (WILKS, 2006).

No final, os acertos na previsão justificarão as tomadas de decisão. A utilidade das previsões para apoiar decisão, claramente depende das características de seus erros que são elucidados por métodos de verificação de previsão. Assim a motivação econômica para verificação de previsão é o provimento da informação necessária para que os usuários possam agregar valor econômico às previsões. Porém, como o valor econômico da informação de verificação de previsão em situações de decisão diferentes deve ser avaliado para cada caso, não pode ser computado valor de previsão só estatístico. Superioridade com respeito a uma única medida de verificação necessariamente não insinua valor de previsão superior para todos os usuários.

### 3.3.1. Método de Análise de Contingência (MAC) para Tabelas 2 x 2

A distribuição conjunta de previsões e observações é de interesse fundamental com respeito à verificação de previsões. Em colocações práticas, as previsões e observações são variáveis discretas. Ou seja, até mesmo se as previsões e observações não forem quantidades discretas, elas são arredondadas operacionalmente a um conjunto finito de valores.

Tome a previsão por  $y_i$ , do qual pode assumir qualquer dos  $I$  valores  $y_1, y_2, \dots, y_i$ ; e a observação correspondente por  $o_j$ , que pode assumir qualquer dos  $J$  valores  $o_1, o_2, \dots, o_j$ . Então a distribuição conjunta das previsões e observações é dada por

$$p(y_i, o_j) = \Pr\{y_i, o_j\} = \Pr\{y_i \cap o_j\}; \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J. \quad (2)$$

Esta é uma função probabilidade de duas variáveis discretas de distribuição conjunta, que associa uma probabilidade com cada uma das  $I \times J$  possíveis combinações de previsão e observação.

Nos casos mais simples para o qual  $I = J = 2$ , esta distribuição conjunta pode ser difícil de usar diretamente. Da definição de probabilidade conjunta a distribuição conjunta pode ser fatorada de dois modos que são informativos sobre aspectos diferentes do problema de verificação. Para a previsão, o mais familiar e intuitivo dos dois é o chamado fatorizador de calibração-refinamento proposto por Murphy e Winkler (1987, *apud* WILKS, 2006),

$$p(y_i, o_j) = p(o_j|y_i) p(y_i); \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J. \quad (3)$$

Uma parte deste fatorizador consiste em um conjunto das  $I$  distribuições condicionais,  $p(o_j|y_i)$  das quais consiste de probabilidades de todos os  $J$  resultados  $o_j$  determinado um dos  $y_i$  de previsão. Ou seja, cada uma destas distribuições condicionais especifica com que frequência aconteceu cada possível evento de tempo nessas ocasiões quando o único  $y_i$  de previsão foi emitido, ou como cada  $y_i$  de previsão é calibrado. A outra parte deste fatorizador é a incondicional (marginal) de distribuição  $p(y_i)$  que especifica as frequências relativas de uso que cada previsão  $y_i$  avalia, ou com que frequência cada um dos  $I$  possíveis valores de previsão foram usados. Esta distribuição marginal às vezes é chamada de distribuição preditiva das previsões. O refinamento de um conjunto de previsão recorre à dispersão da distribuição  $p(y_i)$ . A distribuição de refinamento com uma extensão grande insinua previsões refinadas, e assim tem o potencial para discernir uma gama larga de condições. Reciprocamente, se a maioria dos  $f_i$  de previsão é o mesmo ou bem parecido,  $p(f_i)$  é o parâmetro que indica uma falta de refinamento. Este atributo de refinamento de previsão é freqüentemente chamado agudo no sentido de que são chamadas previsões refinadas.

O outro fatorizador das distribuições conjuntas de previsões e observações é o fatorizador de taxa de probabilidade-base (MURPHY & WINKLER, 1987 *apud* WILKS, 2006),

$$p(y_i, o_j) = p(y_i | o_j) p(o_j); \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J. \quad (4)$$

As distribuições condicionais  $p(y_i, o_j)$  expressam as probabilidades que cada uma das previsões  $y_i$  avaliadas teria sido emitida com antecedência de cada um dos  $o_j$  eventos de tempo observado. Em particular, estas distribuições condicionais relacionam bem como um conjunto de previsões pode discriminar entre os  $o_j$  eventos. O  $p(o_j)$  de distribuição



incondicional simplesmente consiste nas frequências relativas do  $J$  tempo eventos  $o_j$  nos dados de verificação fixados, ou as taxas subjacentes de ocorrência de cada um dos  $o_j$  eventos na amostra de dados de verificação.

Ambos, o fatorizador de taxa de probabilidade-base (Equação 4) e o fatorizador de calibração-refinamento (Equação 3) podem ser cálculos de distribuição conjunta,  $p(y_i, o_j)$ . Reciprocamente, a distribuição conjunta pode ser reconstruída de qualquer um dos dois fatorizadores. Adequadamente, o conteúdo da informação de distribuição conjunta  $(y_i, o_j)$ , é incluído em qualquer par de distribuições, Equação 3 ou Equação 4.

Segundo Wilks (2006), embora os dois fatorizadores da distribuição conjunta de previsões e observações possam ajudar a organizar a informação de verificação conceitual, nenhum reduz a dimensionalidade, ou grau de liberdade, do problema de verificação.

Para que haja perfeição no desempenho da previsão, requer-se um conjunto dimensional de medidas de verificação. Este nível mínimo de dimensionalidade é suficiente para entender e comparar estatisticamente a avaliação de previsão difícil. Como consequência, é comum para sintetizar desempenho de previsão usar um ou vários escalares estatísticos.

Muitos escalares estatísticos sumários foram incluídos por análise e foram experimentados para prover informação útil sobre desempenho de previsão, mas algumas informações na distribuição conjunta de previsões e observações estão inevitavelmente descartadas quando a dimensionalidade do problema de verificação estiver reduzida.

A seguir temos uma lista parcial de escalares, ou atributos, de qualidade de previsão. Estes atributos não são definidos exclusivamente, de forma que cada um destes conceitos expressos pode estar por mais de uma função de um conjunto de dados de verificação (WILKS, 2006).

**1) Precisão:** recorre à correspondência comum entre previsões individuais e os eventos que eles predizem. Mede a precisão e resume, em um único número, a qualidade global de um conjunto de previsões.

**2) Tendência ou Viés (BIAS):** mede a correspondência entre a previsão comum e a média observada do valor do predictando. Este conceito é diferente de precisão que mede a correspondência comum entre pares individuais de previsões e observações.

**3) Confiança:** pertence à relação da previsão à observação comum, para valores específicos da previsão. Estatísticas de confiança ordenam os pares de previsão/observação em grupos de

acordo com o valor da variável de previsão, e caracterizam as distribuições condicionais das observações dadas às previsões.

**4) Resolução:** recorre ao grau para o qual as previsões ordenam os eventos observados em grupos que são diferentes um do outro. Então, resolução relaciona-se ao fatorizador de calibração-refinamento da distribuição conjunta de previsões e observações. Porém, resolução pertence às diferenças entre as médias condicionais das observações para valores diferentes da previsão, considerando que confiança compara as médias condicionais das observações com a previsão.

**5) Discriminação:** o atributo de discriminação reflete a habilidade do sistema previsto para produzir previsões diferentes em ocasiões que têm resultados diferentes do preditando. Se uma previsão de sistema prevê  $y = \text{neve}$  com frequência igual quando  $o = \text{neve}$  e  $o = \text{granizo}$ , as duas probabilidades condicionais de uma previsão de neve são iguais, e as previsões não podem discriminar entre neves e eventos de granizo.

**6) Refinamento:** é um atributo somente das previsões, sem levar em conta suas observações correspondentes. Previsões que são frequentemente diferentes do valor climatológico do preditando são refinadas.

**7) Habilidade:** habilidade de previsão refere-se à precisão relativa de um conjunto de previsões, com respeito a algum conjunto de controle padrão, ou referência, de previsões. Escolhas comuns para as previsões de referência são valores de média climatológica do preditando, previsões persistentes, ou previsões fortuitas. Contudo, outras escolhas para as previsões de referência podem ser mais apropriadas em alguns casos. Por exemplo, ao avaliar o desempenho de um novo modelo, poderia ser apropriado para computar habilidade relativa às previsões que este novo modelo pudesse ser substituído.

Dessa forma, pode-se observar que no MAC de dupla entrada há normalmente uma correspondência de 1:1 entre probabilidades de valores previstos e observáveis, que avalia o preditando para qual eles pertencem. A situação possível mais simples é para o caso dicotômico  $I = J = 2$ , ou verificação de previsões probabilísticas de sim/não. Quando  $I = 2$  existem duas possibilidades para o evento previsto acontecer ( $i = 1$ , ou  $y_1$ ) ou não ( $i = 2$ , ou  $y_2$ ). Semelhantemente, há dois possíveis resultados para  $J = 2$ ; ou o evento acontece subsequentemente ( $o_1$ ) ou não ( $o_2$ ). Apesar da simplicidade deste método de verificação, tem-se desenvolvido uma gama de trabalhos com problemas de ordem  $2 \times 2$ .

Normalmente os pares de previsão/observação são exibidos dentro de tabelas de freqüências relativas  $I \times J$ . Se estas contas são transformadas a freqüências relativas, dividindo cada tabulado de entrada pelo tamanho da amostra, a distribuição conjunta de previsões e observações (Equação 2) é obtida. A Tabela 1 ilustra a equivalência essencial do MAC e a distribuição conjunta de previsões e observações para o simples caso  $I = J = 2$ . A porção destacada na Tabela 1a mostra o arranjo das quatro possíveis combinações de pares de previsão/observação como uma tabela de contingente quadrada, e a porção correspondente da Tabela 2b mostra estas contas transformadas a freqüências relativas conjuntas.

Tabela 1: Tabela de Contingência 2 x 2 para verificação da ocorrência ou não da previsão de chuva. Fonte: Wilks, 2006.

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a + b
	Não	c	d	c + d
		a + c	b + d	n = a + b + c + d

totais marginais da previsão
totais marginais da observação
tamanho da amostra

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a/n	b/n	(a + b)/n
	Não	c/n	d/n	(c + d)/n
		a + c	b + d	1

distribuição marginal da previsão, p(y)
distribuição marginal da observação, p(o)
probabilidade total

(b)

De acordo com a Tabela 1, o evento em questão aconteceria  $a$  vezes dentre  $n$  totais previstos. Estes  $a$  pares de previsão/observação são chamados êxitos, e a freqüência relativa deles,  $a/n$ , é a estimativa da amostra de probabilidade conjunta  $p(y_1, o_1)$  da Equação 2. Em  $b$  ocasiões, o evento previsto para acontecer não ocorreu, e o  $b/n$  de freqüência relativa a probabilidade conjunta  $p(y_1, o_2)$ , é chamado alarme falso. Também há casos em que ocorrem  $c$  eventos de interesse apesar de não estarem previstos, chamados erros, a freqüência relativa desta probabilidade conjunta é  $p(y_2, o_1)$ ; e casos de  $d$  eventos que não ocorrem e não foram previstos chamados rejeição correta, a freqüência relativa desta probabilidade conjunta é  $p(y_2, o_2)$ .

Também é comum a inclusão do que chamamos de totais marginais na tabela de contingência. São linhas e colunas somadas, em que são avaliados os totais de sim e não

previstos e observados, respectivamente. Um exemplo de tabela de contingência 2 x 2, é mostrado na Tabela 1a, cujo tamanho da amostra é  $n = a+b+c+d$ . Expressando os totais marginais em condições de frequência relativas, novamente dividimos pelo tamanho da amostra, os totais da distribuição marginal das previsões,  $p(y_i)$ , e as distribuições marginais das observações,  $p(o_j)$ . A distribuição marginal  $p(y_i)$  é a distribuição de refinamento, do fatorizador de calibração/refinamento (Equação 3) da distribuição conjunta 2 x 2 da Tabela 1b. Desde que existam  $I = 2$  possíveis previsões, há duas distribuições de calibração  $p(o_j|y_i)$ , cada qual consiste a  $J = 2$  probabilidades. Então, além da distribuição de refinamento  $p(y_1) = (a + b) / n$  e  $p(y_2) = (c + d) / n$ , o fatorizador de calibração-refinamento na verificação 2 x 2 consiste ajustes nas probabilidades condicionais.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os aspectos climáticos da área de estudo, os materiais e métodos utilizados na obtenção dos dados observados, as características operacionais do Modelo ETA, bem como as saídas gráficas do mesmo e a descrição dos índices utilizados para avaliação do comportamento das previsões de precipitação pluviométrica acumulada em Macapá.

### 4.1. Localização e aspectos climáticos da área de estudo

A região de estudo compreende a zona urbana do município de Macapá (Figura 5), capital do Estado do Amapá. Situada às margens do Rio Amazonas, pode ser localizada entre as latitudes de  $0^{\circ}06'04.14''\text{N}$  a  $0^{\circ}03'18.08''\text{S}$  e as longitudes de  $51^{\circ}02'21.40''\text{W}$  a  $51^{\circ}07'56.17''\text{W}$ . A área de estudo possui aproximadamente 344.153 habitantes, ocupando uma área territorial de 124,22 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2007).



Figura 5: Localização da zona urbana de Macapá. Fonte: Google Earth, 2008.

Localizada na faixa equatorial, esta região caracteriza-se por altas temperaturas e elevados índices pluviométricos. Segundo Vianello (1991) os principais mecanismos que explicam o regime pluvial na região resultam da combinação das brisas marítimas, da penetração de sistemas frontais oriundos do sul do continente, da fonte de vapor representada pela Floresta Amazônica e da atuação predominante da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), caracterizada pela elevação do ar quente e úmido, formando um cinturão de nuvens e chuva convectiva.

As altas temperaturas reinantes estão associadas à intensa radiação solar incidente na região, embora grande parte da energia seja convertida em calor latente de evaporação, uma vez que a região é, no globo, uma das principais fontes continentais de vapor d'água que será, em grande parte, advectado para as latitudes mais elevadas, sendo outra parte levada para a atmosfera superior e liberada na forma de calor sensível (VIANELLO, 1991).

Segundo a classificação de Köppen, a região de estudo possui clima do tipo megatérmico Af. Esta classificação microclimática caracteriza a área como de clima tropical úmido, com chuvas em todas as estações e temperatura média no mês mais frio acima de 18°C (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). A estação menos chuvosa é de curta duração, tendo uma quantidade pluviométrica no mês mais seco (outubro) de aproximadamente 27mm. A estação chuvosa estende-se do mês de dezembro a maio, sendo o mês de março o mais chuvoso, com totais pluviométricos de aproximadamente 414mm, como mostra o Gráfico 1 (JESUS; GONÇALVES; OLIVEIRA, 2000).

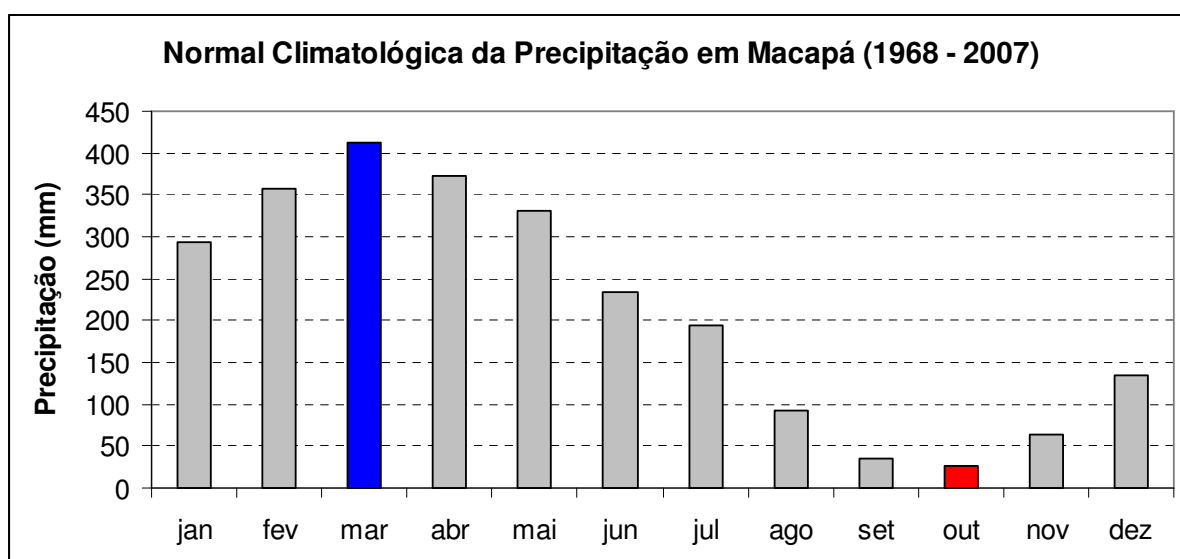


Gráfico 1: Normal Climatológica da Precipitação Pluviométrica em Macapá (1968 – 2007).  
Fonte: NHMET/INMET.

## 4.2 Coleta e refinamento dos dados observados

Para a realização deste estudo foram selecionadas as séries de dados obtidas junto ao banco de dados do NHMET/IEPA, provenientes de observações feitas pelas estações: PCD Agrometeorológica (CPTEC), situada no 34º Batalhão de Infantaria e Selva, de coordenada geográfica 0°02'10.28"N e 51°05'20.07"W; Estação Pluviométrica (ANA), situada às margens do Rio Amazonas, de coordenada geográfica 0°01'20.27"N e 51°03'07.81"W; Estação Meteorológica (INFRAERO), localizada no Aeroporto Internacional de Macapá, de coordenadas geográficas 0°02'54.53"N e 51°04'15.63"W; e a Estação Convencional de superfície (INMET), localizada no Distrito de Fazendinha, de coordenadas geográficas 0°02'42.36"S e 51°06'35.64"W ( ver Figura 5).

A escolha dessas estações deve-se ao fato das chuvas serem localizadas. Ou seja, não são bem distribuídas na área de estudo, o que levaria a erros sistemáticos nas comparações das saídas gráficas do modelo com as observações de superfície. Este procedimento induz à melhoria dos níveis de acerto da previsão de chuva prevista pelo modelo.

Os dados de precipitação pluviométrica acumulada (mm), utilizados neste estudo foram oriundos de coletas diárias realizadas de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2007. Antes da utilização dos dados para análise, fez-se a verificação da qualidade dos mesmos, em que se examinou sua consistência e possíveis falhas. Os totais observados de precipitação das quatro estações de coleta foram submetidos a testes de Análise de Variância (ANOVA), com confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ). Os resultados indicaram que as mesmas são significativamente iguais para fins de análise comparativa com as saídas do modelo ETA (Tabela 2).

Tabela 2: Teste ANOVA das precipitações observadas em 2007.

Mês	F <sub>real</sub>	F <sub>crítico</sub>	Hipótese Nula ou Alternativa
Janeiro	0,02	2,68	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Fevereiro	0,90	2,69	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Março	0,35	2,69	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Abril	1,61	2,68	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Mai	0,69	2,69	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Junho	0,57	2,68	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Julho	0,90	2,68	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
<b>Agosto</b>	<b>2,82</b>	<b>2,68</b>	<b>Uma média difere (<math>F_{real} &gt; F_{crítico}</math>)<sup>1</sup></b>
Setembro	0,63	2,68	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Outubro	2,12	2,68	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Novembro	0,76	2,68	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )
Dezembro	0,23	2,68	Médias Iguais ( $F_{real} < F_{crítico}$ )

<sup>1</sup> Observou-se que a estação meteorológica que registrou valores anormais foi a do INMET/Fazendinha.

Observa-se, na Tabela 2, os valores comparativos de  $F_{\text{real}}$  (Estatística F) com diferenças significativas entre as médias de precipitação no mês de agosto ( $F_{\text{real}} > F_{\text{crítico}}$ ). Isto é, apenas no mês de agosto a ANOVA acusou uma possível diferença significativa em pelo menos uma das estações. Na prática, os registros do mês de agosto apontam para uma pequena diferença em pelo menos uma das médias de precipitação observada, mas não houve implicações contundentes nas análises dos índices de acerto.

A precipitação pluviométrica foi medida com a ajuda de três pluviômetros registradores (ou autográficos) e um não registrador (Figura 6). No primeiro tipo de pluviômetro existe um mecanismo operador para medir o volume e a duração da chuva, o sifão basculante automático (detalhe circular na Figura 6).



Figura 6: PCD com pluviômetro registrador de sifão basculante. Fonte: NHMET/IEPA.

O medidor autográfico de sifão basculante automático, contém uma câmara coletora adaptada com um flutuador. A medida que a chuva precipita e a câmara se enche o flutuador sobe e uma caneta, ligada à extremidade superior, marca uma linha que se dirige para cima em um gráfico fixado em um tambor cilíndrico, impulsionado por um mecanismo de precisão. Quando a câmara está cheia de água da chuva, ela se inclina sobre seu eixo e o conteúdo é escoado do medidor. O flutuador retorna ao seu nível original e a caneta repousa na base do gráfico. A câmara se enche novamente à medida que a chuva continua a fluir e todo o processo é repetido até que a chuva termine. Um ciclo completo mede 5mm de chuva.



No caso do pluviômetro não-registrador, somente o volume total da precipitação pluviométrica pode ser medido. A chuva entra em um recipiente coletor através de uma abertura com a área distinta, sendo que o volume de água coletado é medido com o uso de uma proveta graduada em mililitros (ml). Esse processo é realizado por um operador técnico.

### 4.3. Caracterização do Modelo ETA operacional NHMET/IEPA

A metodologia implementada para análise da eficácia de previsão do Modelo ETA consistiu nos seguintes fundamentos e passos, segundo Jacobson (1999):

- Seleção da variável e intervalos: saída gráfica da previsão de precipitação pluviométrica acumulada a cada 3 horas (Figura 7);

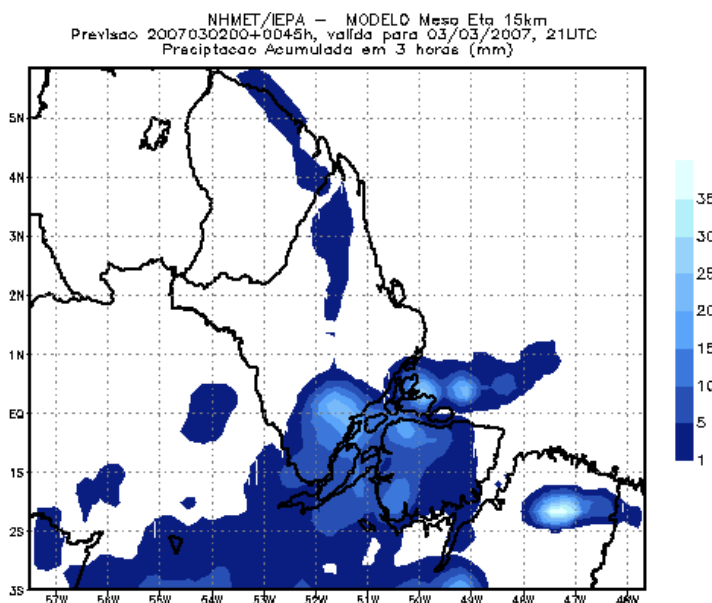


Figura 7: Saída gráfica da previsão de precipitação pluviométrica acumulada válida para as 18 horas do dia 03/03/07. Fonte: NHMET/IEPA.

- Código do Modelo: Fortran 90, linguagem C, operacional em Sistema Linux;
- Intervalos de integração e estrutura: a previsão do Modelo Operacional é da ordem de 72 horas de integração, cuja grade é da ordem de 15 x 15Km na malha horizontal e 38 camadas na vertical (Figura 8);

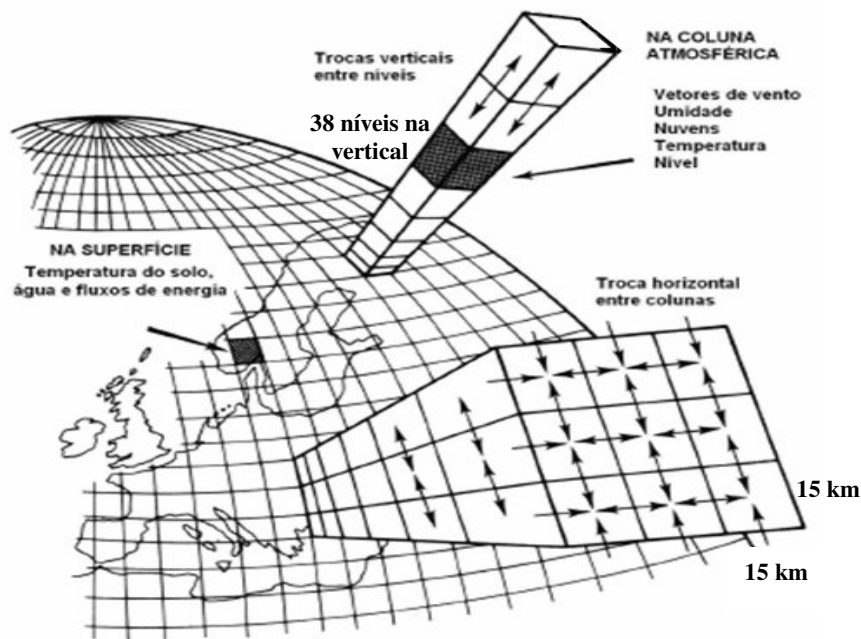


Figura 8: Grade horizontal de 15km x 15km e vertical em 38 camadas.

- Entrada de dados e condições iniciais: O Modelo ETA operacional NHMET/IEPA apresenta um “script” que é parte integrante do modelo e adiciona as condições iniciais da rodada. Este *script* utiliza FTP (*File Transfer Protocol* – Protocolo de Transferência de Arquivos) para obter os dados disponibilizados diariamente pelo CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Tendo obtido os dados, se inicia o processamento dos cálculos computacionais. A duração de cada rodada do modelo (duas vezes ao dia às 0000 UTC e 1200 UTC) é de aproximadamente 50 minutos, dependendo do volume e especificidade dos dados de entrada, condições de contorno e recursos computacionais.

Para este estudo foram utilizadas somente as saídas gráficas de 0000 UTC, de precipitação acumulada a cada 3 horas. Na presente metodologia, utilizou-se apenas o intervalo de integração entre 24 h e 48 h. Tal situação é recomendável porque melhora significativamente a eficiência operacional do modelo e o nível de acerto. Isto é, eliminam-se as perturbações iniciais do processo de integração, induzidas pelas condições iniciais e de contorno, as quais tendem a causar inconsistências nos resultados.

O modelo ETA operacional NHMET/IEPA cobre todo o Estado do Amapá, Guaiana Francesa e parte do Suriname e Estado do Pará. O Domínio computacional do modelo cobre explicitamente a região compreendida entre as longitudes de 57.5°W a 45.6°W e as latitudes de 6°N a 3°S (Figura 9).

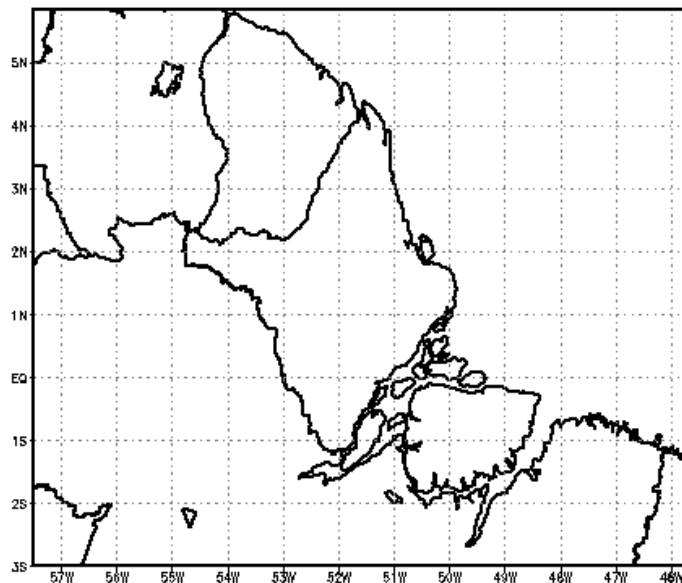


Figura 9: Domínio de cobertura espacial da previsão do Modelo ETA operacional NHMET/IEPA. Fonte: NHMET/IEPA.

A seguir é apresentado o item com a descrição metodológica detalhada do método estatístico MAC, utilizado para quantificar e comparar as saídas gráficas de precipitação acumulada do Modelo ETA, tal como mostrado na Figura 7, e os registros observados pelas estações meteorológicas.

#### 4.4. Descrição do Método de Análise de Contingência (MAC)

Os parâmetros estatísticos analisados a seguir definem a capacidade do modelo de prever a ocorrência de determinados sistemas atmosféricos. Nesta seção será apresentada a metodologia usada para quantificar os principais índices de acerto na previsão do Modelo ETA operacional NHMET/IEPA, em que as ocorrências previstas foram comparadas às observadas.

A avaliação da precipitação foi analisada através de categorias, isto é, o critério de erro ou acerto da previsão baseando-se na ocorrência ou não do evento de chuva. Para isto foram definidas as seguintes categorias para todos os meses dos períodos chuvoso e menos chuvoso de 2007, segundo os dados de entrada da Tabela 3 (WILKS, 2006):

- O modelo previu chuva e esta ocorreu na área de verificação (a);
- O modelo previu chuva na área e esta não ocorreu (b);
- O modelo não previu chuva na área e esta ocorreu (c);
- O modelo não previu chuva na área e esta não ocorreu (d).

Tabela 3: Verificação da previsão de chuva do mês de janeiro de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/jan	Não	Não
02/jan	Não	Sim
03/jan	Não	Sim
04/jan	Não	Não
05/jan	Sim	Sim
06/jan	Não	Não
07/jan	Não	Sim
08/jan	Não	Sim
09/jan	Não	Sim
10/jan	Não	Sim
11/jan	Não	Sim
12/jan	Sim	Sim
13/jan	Sim	Sim
14/jan	Não	Sim
15/jan	Sim	Sim
16/jan	Sim	Sim
17/jan	Não	Não
18/jan	Não	Não
19/jan	Não	Sim
20/jan	Não	Não
21/jan	Não	Não
22/jan	Não	Não
23/jan	Não	Não
24/jan	Não	Não
25/jan	Não	Não
26/jan	Não	Não
27/jan	Não	Não
28/jan	Não	Não
29/jan	Não	Não
30/jan	Não	Não
31/jan	Não	Não

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	5	0	5
	Não	9	17	26
		14	17	31

(c)

Para a avaliação das ocorrências (Sim) ou não (Não) dos eventos de chuva (Tabela 3a), foram utilizadas cartas de precipitação pluviométrica do Modelo ETA e dados observados de precipitação pluviométrica. As ocorrências e não-ocorrências, previstas pelo modelo, foram verificadas sobre o domínio e identificadas de acordo com a **escala de cores da saída gráfica** (Figura 10).

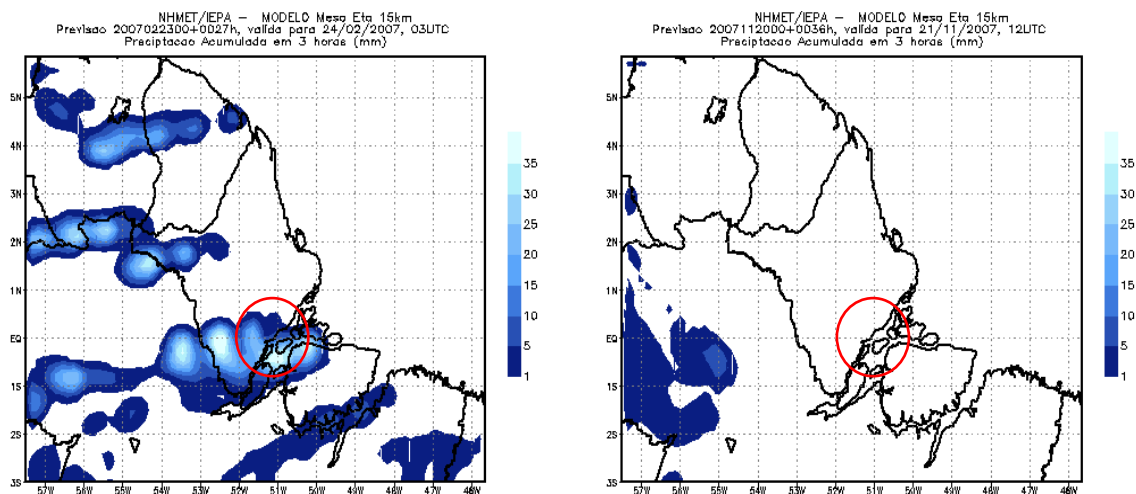


Figura 10: Saída gráfica com previsão de chuva (a) e sem previsão de chuva (b) sobre Macapá válida para as 00 horas do dia 24/02/07 e as 09 horas do dia 21/11/07, respectivamente. Fonte: NHMET/IEPA

O passo seguinte foi lançar os somatórios dos pares de combinações de previsão/observação nas tabelas de contingência, de acordo com as categorias (a), (b), (c) e (d), como mostram as Tabelas 3b e 3c. As avaliações objetivas de previsão do modelo referente aos meses dos períodos chuvoso e menos chuvoso foram realizadas utilizando a Proporção de Acertos (PA), o Índice Crítico de Sucesso (ICS), a Probabilidade de Detecção (POD), a Relação de Alarme Falso (RAF), o Viés (Bias), o Índice de Acerto Com Chuva (IACC) e o Índice de Acerto Sem Chuva (IASC), definidos abaixo:

### Proporção de Acertos (PA)

Medida mais direta e intuitiva das precisões de previsão para eventos discretos, proposta por Finley (1884 *apud* WILKS, 2006). Esta é a fração das  $n$  previsões ocorridas para as quais a probabilidade prevê corretamente, se antecipando ao evento subsequente ou nenhum evento (previsão de chuva e ocorrência da mesma ou previsão sem chuva em que ela não ocorreu). Em termos de cálculos a Equação 5 mostra a proporção de acertos do seguinte modo:

$$PA = \frac{(a + d)}{n} \quad (5)$$

A proporção de acertos satisfaz o princípio de equivalência de eventos, desde que credite sim e não corretamente para previsões iguais. Além disso, a proporção de acertos penaliza ambos os tipos de erros (falsos alarmes e erros) igualmente. A proporção de acertos

pior possível é zero (0%) e a melhor é um (100%). Como a proporção de acertos não difere entre previsões corretas do evento,  $a$ , e previsões corretas do não evento,  $d$ , esta fração de previsões corretas também foi chamada **taxa de golpe**.

### **Índice Crítico de Sucesso (ICS)**

O índice crítico de sucesso é o número de previsões corretas  $a$  divididas pelo número total de ocasiões nas quais aquele evento foi previsto e/ou observado. Pode ser visto como uma proporção de acerto para a quantidade prevista, depois de remover acertos não previstos considerados, dado por:

$$ICS = \frac{a}{(a + b + c)} \quad (6)$$

O pior índice crítico de sucesso é zero (0%). E o melhor índice crítico de sucesso é um (100%). Cada uma das categorias na tabela de contingência 2 x 2 pertence a uma ocasião prevista diferente. Assim,  $a$  representa a interseção das áreas em cima das quais o evento era previsto e conseqüentemente aconteceu;  $b$  representa a área em cima da qual o evento era previsto mas não aconteceu; e  $c$  é a área sobre a qual o evento aconteceu mas não foi previsto acontecer.

### **Probabilidade de Detecção (POD)**

O POD é a relação do evento de chuva prevista corretamente com os eventos previstos correta ou incorretamente. Ou seja, mostra o desempenho de detecção da chuva. A melhor previsão ocorre quando o POD for igual a um (100%). Conseqüentemente a pior previsão ocorrerá quando o POD for igual a zero (0%).

$$POD = \frac{a}{a + c} \quad (7)$$

### **Relação de Alarme Falso (RAF)**

O RAF nada mais é do que a proporção de previsões de ocorrência de chuva que na verdade não se materializaram. Por esta razão utiliza-se o termo “alarme falso”. O RAF tem uma orientação negativa, de forma que valores menores de RAF serão preferidos. O melhor possível RAF é zero (100%), e o pior possível RAF é um (0%).

$$RAF = \frac{b}{a + b} \quad (8)$$

### **Bias (B)**

O Bias, ou comparação da média prevista com a média observada (viés), normalmente é representado como uma relação para verificação de tabelas de contingência. Em termos de tabela 2 x 2 a relação do Bias é:

$$B = \frac{a + b}{a + c} \quad (9)$$

O Bias (B) simplesmente é a relação do número de sim previstos com o número de sim observados. Exibe previsões imparciais  $B = 1$  indicando que o número de eventos previstos e observados foram os mesmos. Note que o Bias não fornece nenhuma informação sobre a correspondência entre as previsões e observações do evento em ocasiões particulares, de forma que o Bias não é uma medida de precisão. Bias maiores que 1 indicam que o evento previsto ocorreu mais que o observado (superestimado). Reciprocamente, Bias menores que 1 indicam que o evento previsto ocorreu menos que o observado (subestimado).

### **Índice de Acerto Com Chuva (IACC)**

O IACC mostra o índice de acerto em função dos eventos de ocorrência de chuva. Quanto melhor forem as previsões o IACC se aproxima de 1 (100%). Quanto pior as previsões o IACC se aproxima de zero (0%).

$$IACC = \frac{a^2}{(a + c)(a + b)} \quad (10)$$

### **Índice de Acerto Sem Chuva (IASC)**

O IASC é o índice de acerto dos eventos de não-chuva, sendo que, quando o IASC fica próximo de 1, a previsão da não ocorrência de chuva é melhor (100%).

$$IASC = \frac{d^2}{(b + d)(c + d)} \quad (11)$$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção foram analisados e discutidos os resultados obtidos durante a pesquisa de acordo com a metodologia aplicada. Fez-se uma breve descrição das condições meteorológicas observadas durante o ano de 2007 e analisou-se, individualmente, o *desempenho do modelo* de acordo com os índices propostos.

### 5.1. Avaliação da Precipitação Pluviométrica

De acordo com as observações de superfície, observa-se no Gráfico 2 a distribuição temporal do total acumulado de precipitação pluviométrica mensal no município de Macapá, para o ano de 2007, em relação a normal climatológica (1969 – 2007).

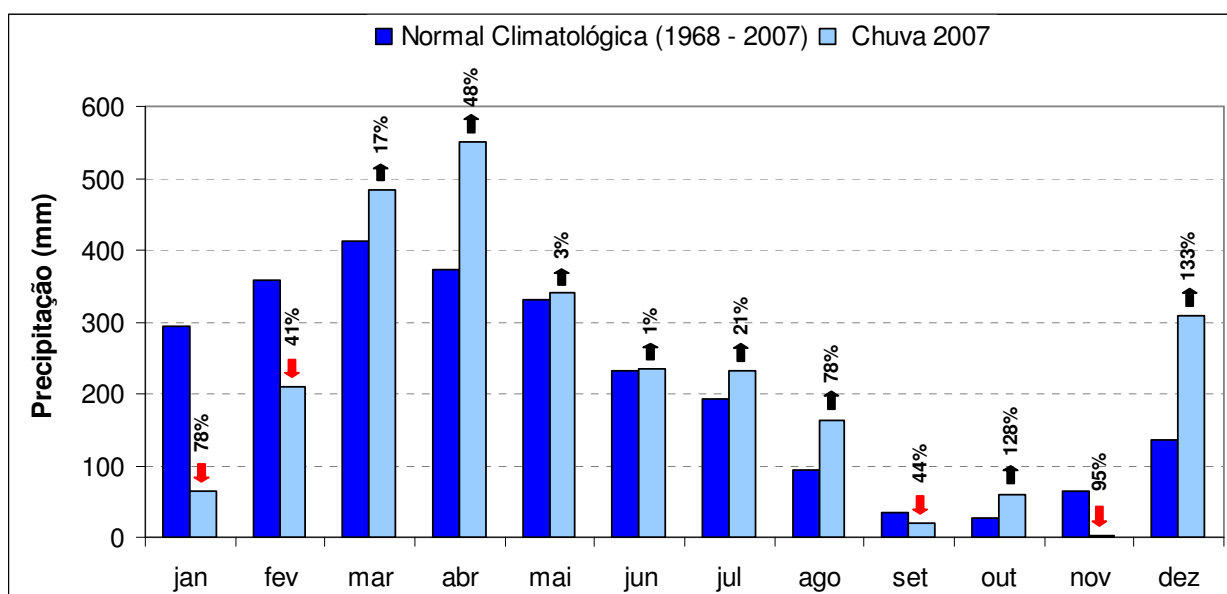


Gráfico 2: Distribuição temporal da precipitação pluviométrica em Macapá comparado com a normal climatológica (1968 – 2007). Fonte: NHMET/INMET.

Observou-se que o mês de janeiro caracterizado por chuvas intensas (293mm), ocasionadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ficou em 2007 com baixa de 78% (65mm) em relação a normal climatológica (Gráfico 2). Isso se deve ao posicionamento da ZCIT mais ao norte de sua climatologia, desfavorecendo a ocorrência de chuvas significativas sobre a região de estudo.



Semelhante ao mês anterior a permanência desse sistema de grande escala, mais ao Norte do Estado, inibiu em 41% a ocorrência das chuvas na região em fevereiro (210mm). A forte divergência de umidade na baixa e média troposfera, movimento descendente em grande parte do Amapá, com ventos intensos de leste e sudeste (Gráfico 3) foram os sistemas meteorológicos responsáveis pela redução das chuvas e formação de nuvens durante este mês.

**Predominância da Direção do Vento em Macapá - Fevereiro de 2007**

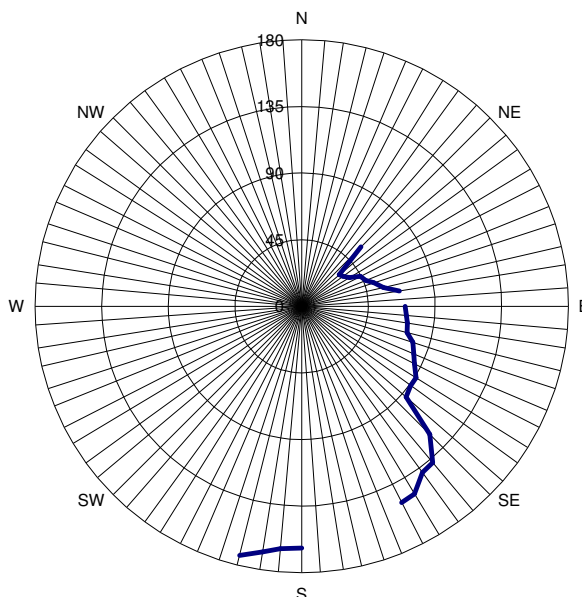


Gráfico 3: Predominância da direção do vento em Macapá em fevereiro de 2007.  
Fonte: NHMET/CPTEC.

Os meses de março, abril e maio, apresentaram ocorrências de chuva dentro da média histórica, destacando-se o mês de abril com 551mm de chuva, 48% acima da normal climatológica (372mm). O deslocamento da ZCIT mais próximo do litoral das Regiões Norte e Nordeste, foi o sistema meteorológico gerador de chuvas na região. As Figuras 11a, 11b e 11c mostram três dias com alta nebulosidade no trimestre em questão, provocando chuvas em Macapá, cujas ocorrências foram registradas pelo modelo.

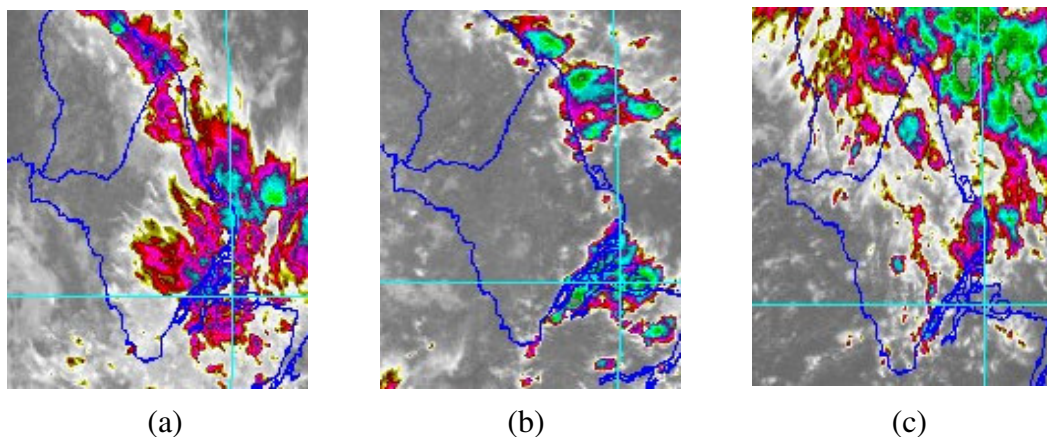


Figura 11: Imagens em infravermelho do satélite GOES 10 mostrando aglomerado de nuvens sobre o Estado nos dias 13/03/07 às 12:15 horas (a), 27/04/07 às 11:45 horas (b) e 29/05/07 às 17:15 horas (c). Fonte: Cira Colostate, 2007.

Ficou evidente que junho marca o início do período menos chuvoso na região, onde os totais acumulados de precipitação são menores nos meses de setembro, outubro e novembro, com médias de precipitação de 36mm, 26mm e 63mm, respectivamente. As imagens de satélite do canal infravermelho (Figura 12), mostram baixa nebulosidade sobre o Estado, o que não provocou chuva, não sendo esta prevista pelo modelo.

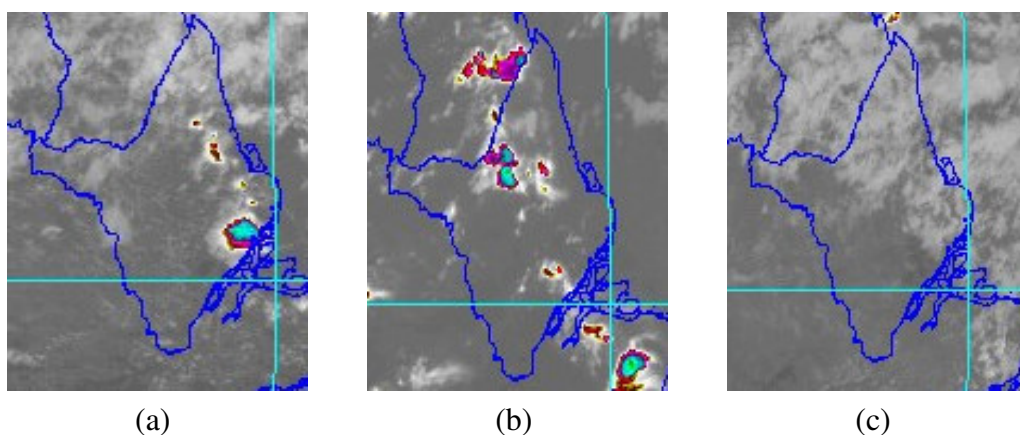


Figura 12: Imagens em infravermelho do satélite GOES 10 mostrando aglomerado de nuvens sobre o Estado nos dias 29/06/07 às 13:15 horas (a), 19/07/07 às 17:45 horas (b) e 21/08/07 às 12:15 horas (c). Fonte: Cira Colostate, 2007.

O mês de dezembro apresentou um acumulado de 309mm de chuva, 133% acima da normal climatológica (135mm) marcando o retorno do período chuvoso da região. As chuvas acima da média estiveram associadas à proximidade da ZCIT, com destaque a precipitação de 53,6mm no dia 03 de dezembro.

## 5.2. Desempenho das previsões do Modelo ETA operacional NHMET/IEPA

Nesta seção foi analisado individualmente cada índice de acordo com suas respostas à capacidade de previsão do modelo ETA, destacando os meses cujo modelo apresentou melhor e pior desempenho, bem como a média de desempenho para os períodos chuvoso e menos chuvoso, com o objetivo de avaliar a qualidade das previsões do modelo ETA, para Macapá em 2007.

### Proporção de Acertos (PA)

A Proporção de Acertos (PA) foi o melhor representante da precisão das previsões do modelo, pois não difere as previsões do evento *a*, das previsões do evento *d*, observando-se que fevereiro e novembro foram os meses cujo modelo ETA melhor detectou as ocorrências e não-ocorrências de chuva na região. As ocorrências *sim* e *não* foram corretamente creditadas para previsões iguais com nível de acertos de 93% para ambos os meses (Gráfico 4).

Maio, julho e agosto foram os meses que apresentaram os menores índices de acerto, 65%, 61% e 55%, respectivamente, de acordo com a metodologia aplicada. Os demais meses tiveram índices de acerto consideravelmente acima do ótimo estabelecido para uma previsão útil (60%).

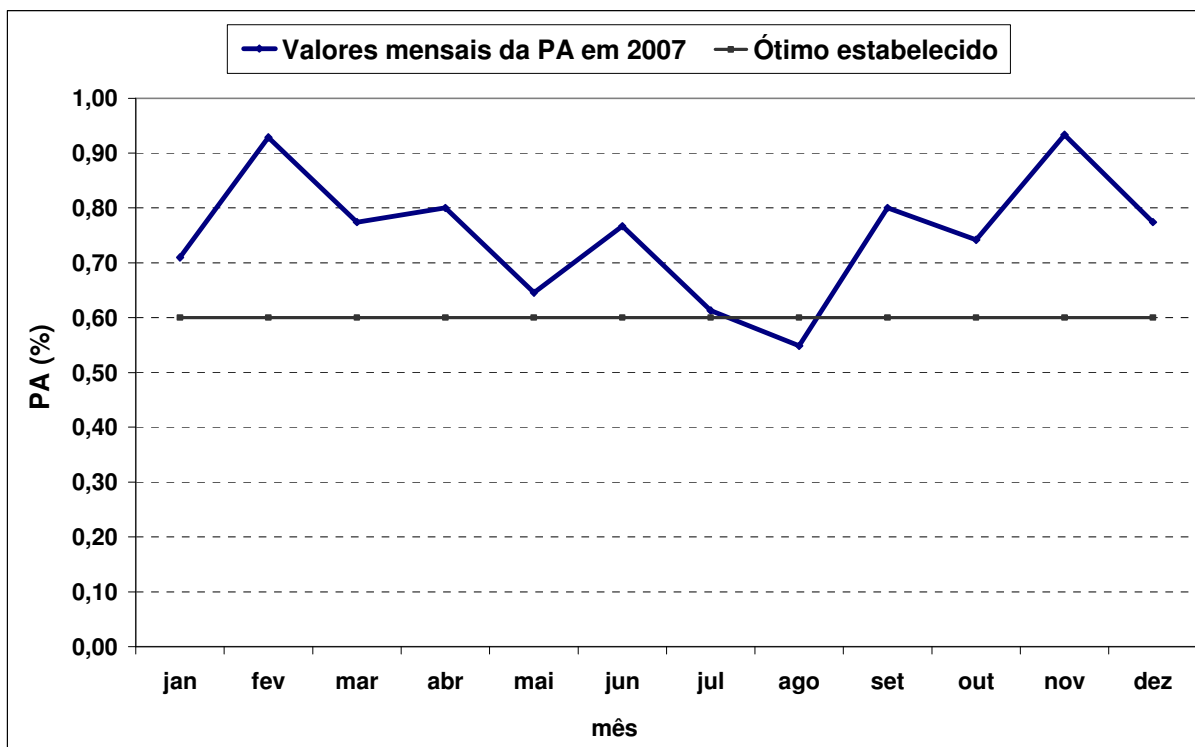


Gráfico 4: Proporção de Acertos das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá

## Índice Crítico de Sucesso (ICS)

O Índice Crítico de Sucesso (ICS), por ter relação direta com a ocorrência da chuva, apresentou resultado satisfatório nos meses chuvosos, com destaque para o mês de fevereiro (92%), quando somente em duas ocasiões o modelo não previu a ocorrência de chuvas sobre a região (Gráfico 5).

Para os meses do período menos chuvoso (junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro), em que os totais pluviométricos acumulados diários são em média inferiores a 5mm, os quais o modelo tende a subestimar, os resultados não foram satisfatórios. O trimestre agosto, setembro e outubro, considerado o mais seco, com precipitação acumulada diária inferior a 2mm, apresentou resultados da ordem de 22%, 14% e 0%, respectivamente.

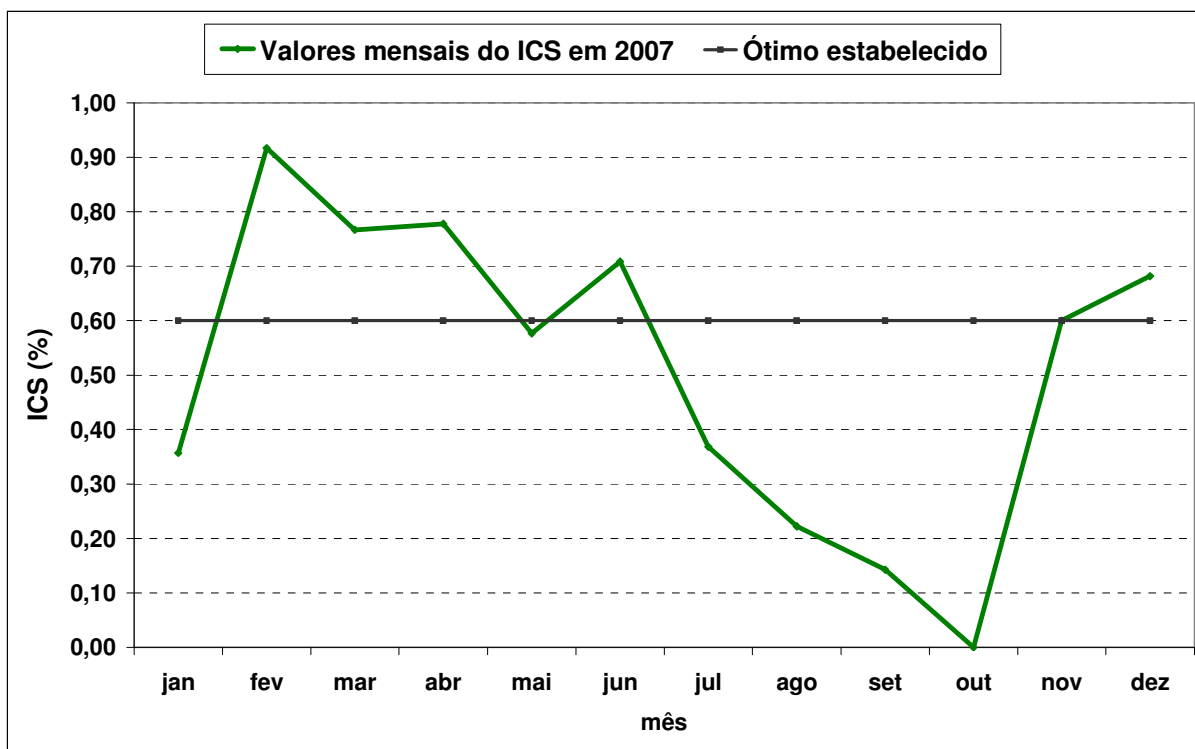


Gráfico 5: Índice Crítico de Sucesso das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá.

## Probabilidade de Detecção (POD)

A Probabilidade de Detecção (POD) é utilizada na verificação de previsões fortuitas do modelo. Esta foi mais significativa na análise dos meses chuvosos como já era esperado (Gráfico 6). Os meses de fevereiro, março e abril foram os que o modelo detectou com melhor

perfeição as ocorrências de chuva, com índices de acerto de 92%, 79% e 81%, respectivamente.

Nos meses de agosto, setembro e outubro o modelo obteve desempenho para a detecção de chuva semelhante ao índice anterior, com acertos de 22%, 14% e 0%, respectivamente, subestimando novamente os totais pluviométricos.

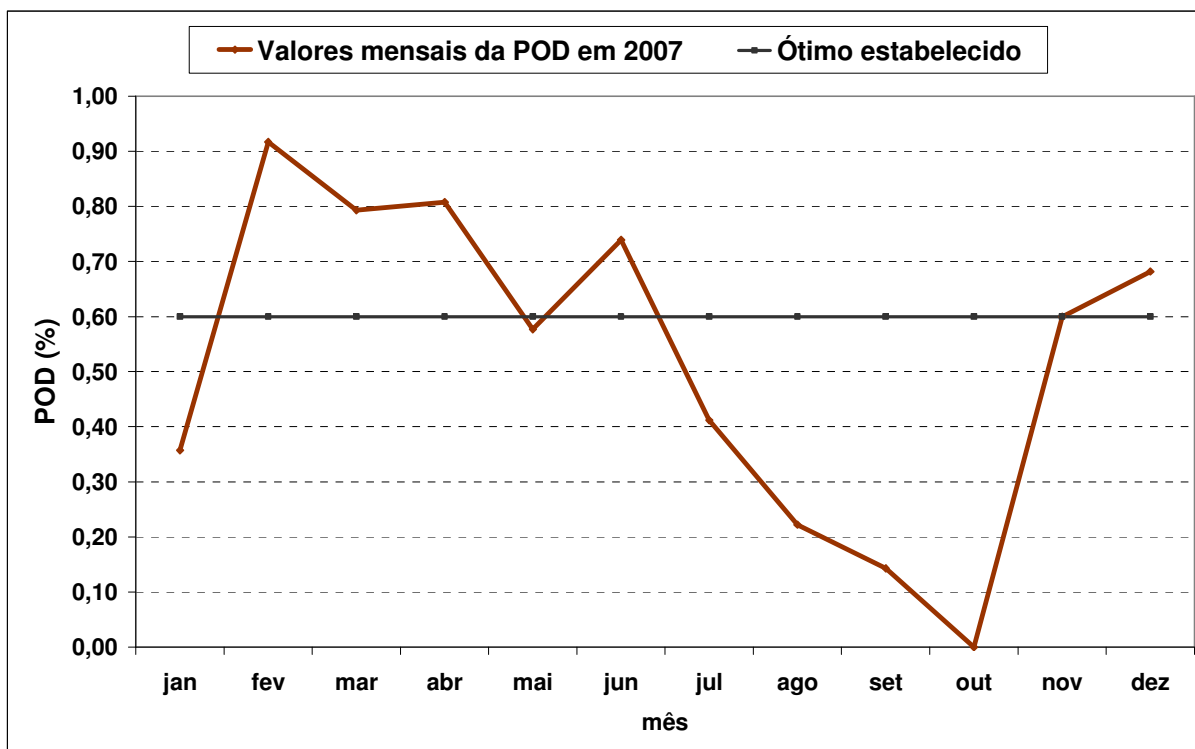


Gráfico 6: Probabilidade de Detecção das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá.

### Relação de Alarme Falso (RAF)

A Relação de Alarmes Falsos é o índice que indica a proporção de eventos sim que não se materializaram, segundo as previsões do modelo. O RAF mostrou índices de acertos satisfatórios em quase todos os meses do ano. O maior desvio na previsão ocorreu em julho, com 22% de erro, quando se observou sete acertos de chuva em nove ocorrências. Nos demais meses do ano os resultados se mostraram satisfatórios, com acertos de 95 a 100%. Para o mês de outubro os totais pluviométricos foram subestimados em 100% pelo modelo, não produzindo resultados para este índice segundo a metodologia adotada (Gráfico 7).

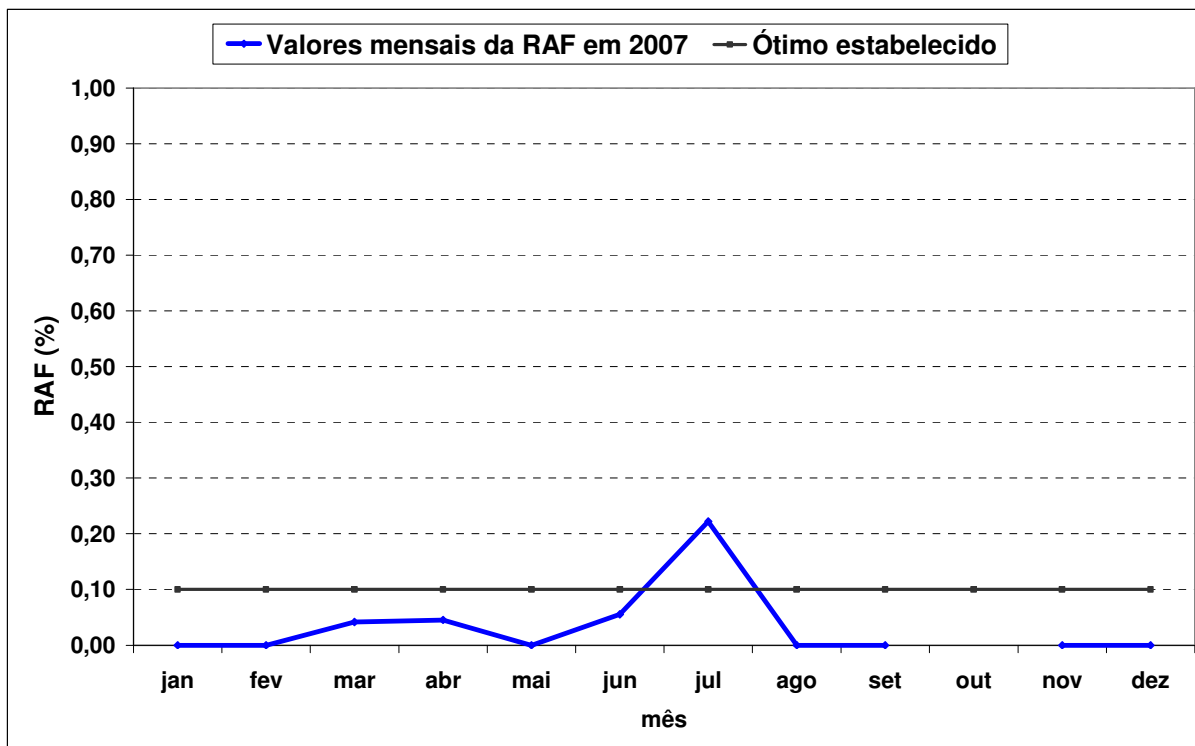


Gráfico 7: Relação de Alarme Falso das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá.

## BIAS (B)

De maneira geral observou-se que, tanto no período chuvoso como no menos chuvoso, o BIAS, índice que expressa a tendência do modelo em subestimar ou superestimar as ocorrências de chuvas previstas pelo modelo em relação às observações, mostrou tendência deste em subestimar tais ocorrências em todos os meses do ano de análise (Gráfico 8).

Os meses de fevereiro, março, abril, junho e dezembro, apresentaram as melhores correlações quanto ao número de ocorrências de chuva e suas respectivas previsões, com percentuais de correlação de 92%, 83%, 85%, 78% e 68%, respectivamente.

Notou-se que o modelo não representou bem as ocorrências de precipitação para os meses de janeiro, maio, julho, agosto, setembro, outubro e novembro. Para os meses de janeiro, agosto e setembro, este subestimou em mais de 50% e em outubro 100% as frequências de chuva observadas como mostra o Gráfico 8.

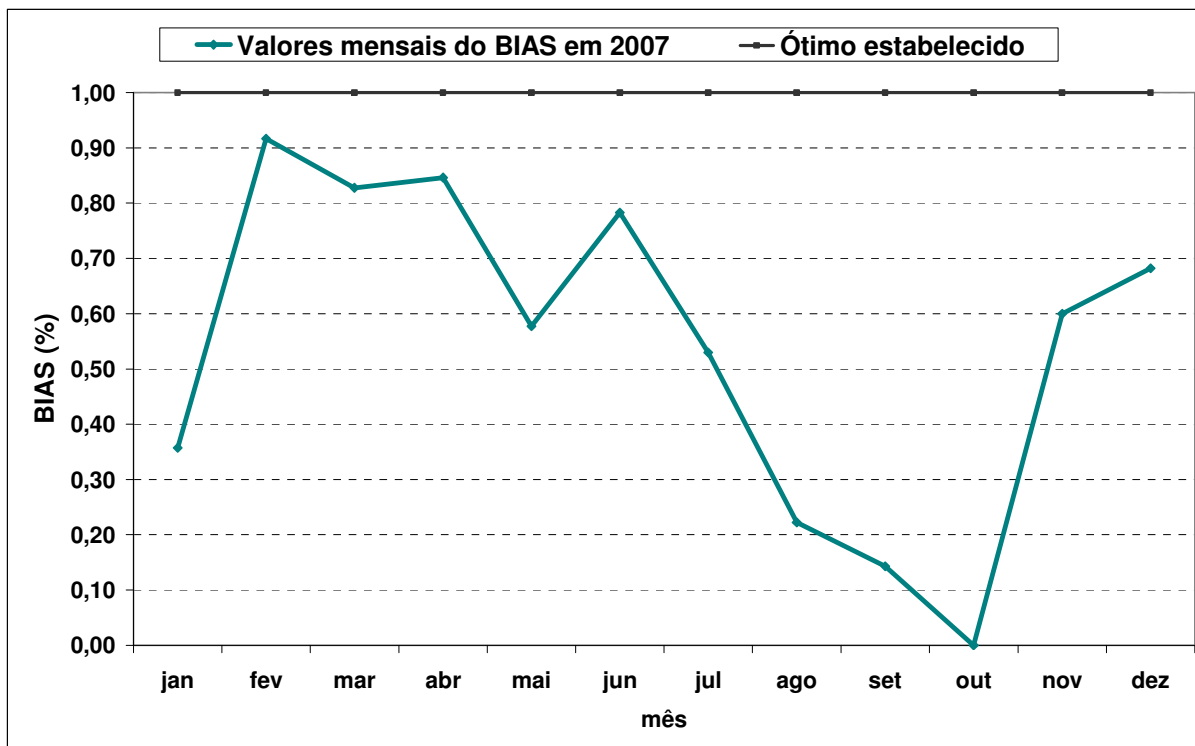


Gráfico 8: BIAS das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá sobre Macapá.

### Índice de Acertos Com Chuva (IACC)

Os acertos do modelo em função dos eventos de ocorrência de chuva foram significativos para os meses fevereiro, março, abril, junho e dezembro, com percentuais de acerto de 92%, 76%, 77%, 70% e 68%, respectivamente (Gráfico 9).

Mostrou-se, conforme análise, que os meses janeiro, maio, julho, agosto, setembro e novembro tiveram seus totais de precipitação pluviométrica subestimados pelo modelo, com previsões de chuva entre 14 a 60% em relação às ocorrências. De acordo com as saídas gráficas de previsão do modelo, o mês de outubro não contribuiria com os totais observados de precipitação para a região. Desta forma não houve produção de resultados segundo a metodologia aplicada para outubro, como mostra o Gráfico 9.

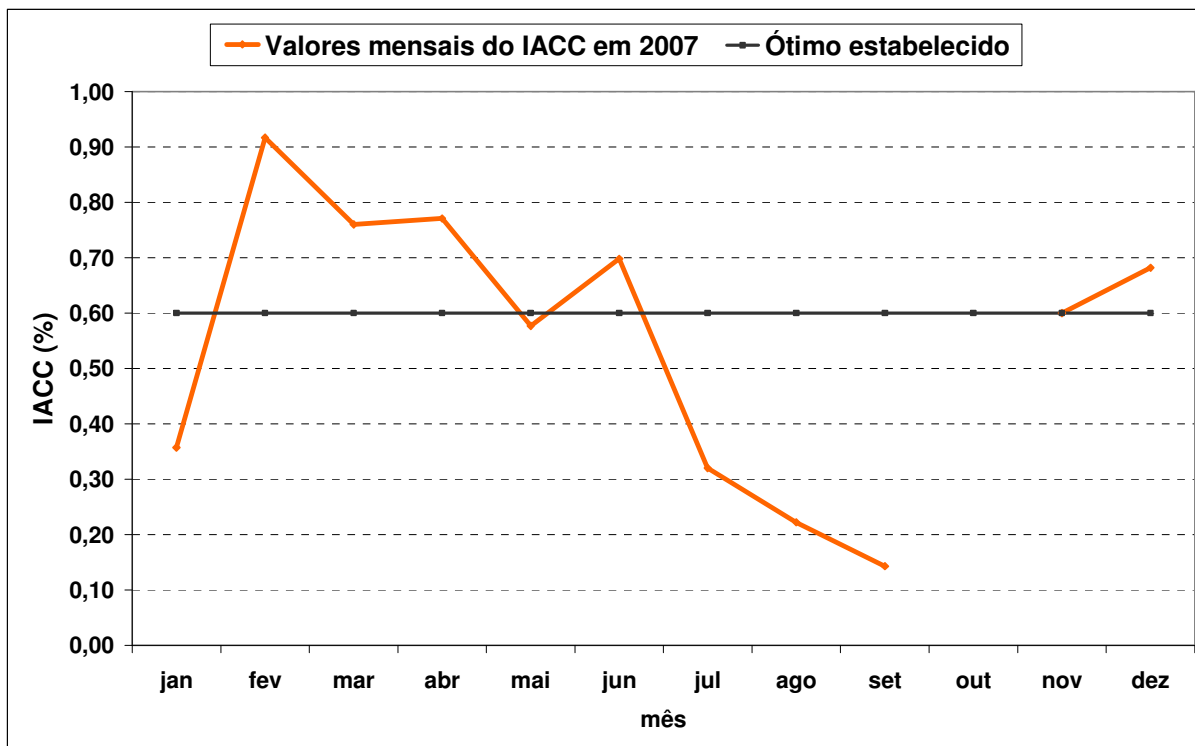


Gráfico 9: Índice de Acertos Com Chuva das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá.

### Índice de Acertos Sem Chuva (IASC)

O Índice de Acertos Sem Chuva (IASC) mostra que o modelo não representou satisfatoriamente as ocasiões com pouca chuva (Gráfico 10). Em março, o mês mais chuvoso do ano, o modelo representou satisfatoriamente as ocorrências de chuva, contudo os dias com pouca precipitação foram subestimados. Isso explica os 7% de acerto nas previsões de não chuva.

Para os meses de pouca chuva, setembro, outubro e novembro, o modelo representou as não-ocorrências de chuva com maior acurácia. No mês de novembro, o modelo acertou em 93% das ocasiões a falta de chuva sobre Macapá, o que já se era esperado.



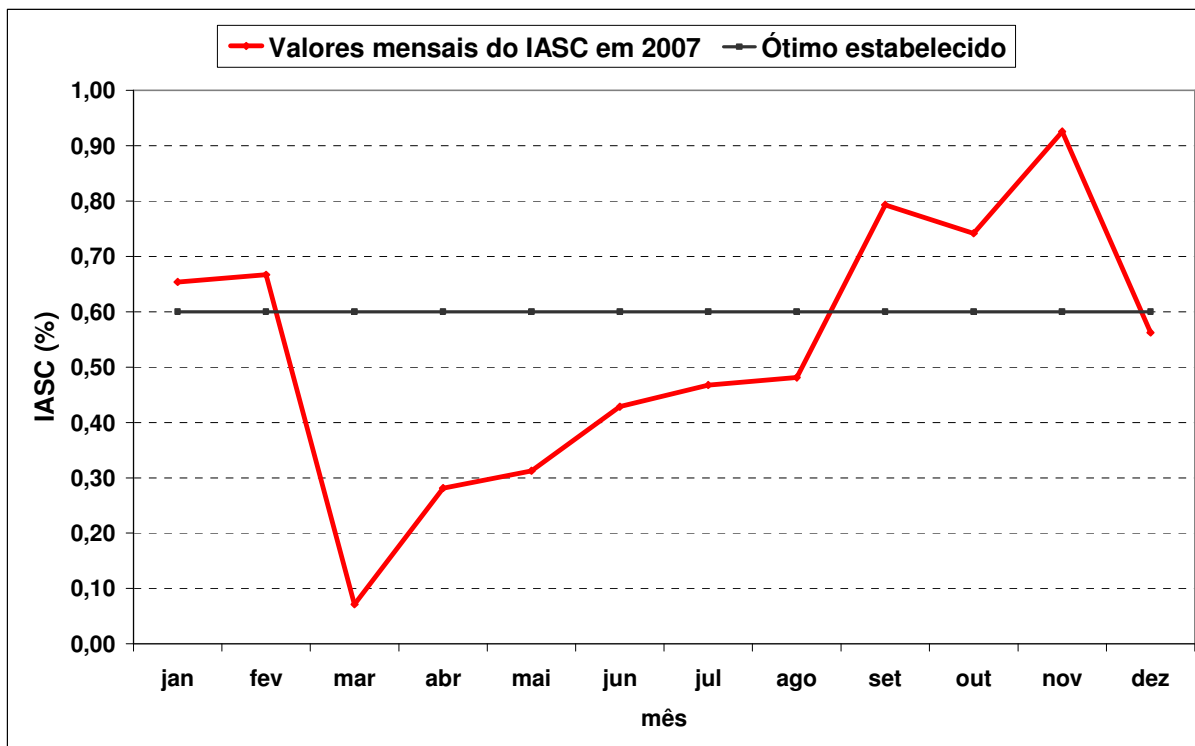


Gráfico 10: Índice de Acertos Com Chuva das previsões de chuva do modelo ETA sobre Macapá.

### Período chuvoso

Na Proporção de Acertos (PA), índice que melhor representa a precisão das previsões do modelo observou-se que em 77% das vezes este detectou corretamente as ocorrências e não-ocorrências de chuva para o período. Em outras palavras, creditou sim e não corretamente para previsões iguais.

Durante os meses do período chuvoso (Tabela 4), com índices pluviométricos elevados, o qual contribui com 75% do regime de chuvas na região, observou-se uma tendência do modelo em subestimar as ocorrências de precipitação pluviométrica observada na área de estudo. O desempenho do modelo nas previsões de chuva se refletiu no BIAS, cuja média de correlações entre as ocorrências de chuva previstas e observadas foi de 70%. Desse modo percebeu-se que o modelo subestimou as ocorrências de chuva neste período em pelo menos 30%.

Em apenas 1% das vezes o modelo previu chuva e esta não foi confirmada, como pode ser observada na média da Relação de Alarme Falsos (RAF). O índice com pior desempenho para o período chuvoso foi o Índice de Acertos Sem Chuva (IASC), visto que por ser um

período com precipitações frequentes, o modelo não foi sensível à escassez de precipitação observada.

Como mostra a Tabela 3, os demais índices que avaliam o desempenho do modelo tiveram acertos superiores ao ótimo estabelecido para uma previsão útil.

Tabela 4: Análise qualitativa das previsões para o Período Chuvoso de 2007.

ÍNDICE	dez	jan	fev	mar	abr	mai	Ótimo	Média do período (%)
PA	77%	71%	93%	77%	80%	65%	60%	<b>77%</b>
ICS	68%	36%	92%	77%	78%	58%	60%	<b>68%</b>
POD	68%	36%	92%	79%	81%	58%	60%	<b>69%</b>
RAF	0%	0%	0%	4%	5%	0%	10%	<b>1%</b>
BIAS	68%	36%	92%	83%	85%	58%	100%	<b>70%</b>
IACC	68%	36%	92%	76%	77%	58%	60%	<b>68%</b>
IASC	56%	65%	67%	7%	28%	31%	60%	<b>42%</b>

### Período menos chuvoso

Para o período menos chuvoso observou-se que o modelo subestimou consideravelmente as ocorrências de chuva na região, principalmente no trimestre setembro, outubro e novembro. A Proporção de Acertos (PA) mostrou-nos que em 73% das vezes o modelo detectou corretamente as ocorrências e não-ocorrências de chuva para o período.

Durante os meses do período menos chuvoso (Tabela 5), com *deficit* pluviométrico moderado, contribuindo com apenas 25% dos totais pluviométricos acumulado (645mm), observou-se uma tendência do modelo em subestimar as ocorrências de precipitação pluviométrica observada na área de estudo.

Pela análise do BIAS, percebe-se a tendência do modelo ETA em subestimar a ocorrência do evento chuva consideravelmente durante o período menos chuvoso de 2007, obtendo uma média de correlações de 38%. Neste aspecto percebeu-se que o modelo subestimou as ocorrências de chuva neste período em pelo menos 60%. No entanto, este valor foi mascarado pela análise do mês de outubro, que subestimou em 100% a ocorrência de chuvas sobre Macapá.

A previsão de precipitação em um período muito seco é geralmente fácil, desde previsões nulas, ou próximas à média climatológica, exibindo precisão satisfatória na maioria das previsões, como foi observado no baixo índice de alarmes falsos emitidos pelas previsões

do modelo durante os meses do período menos chuvoso de 2007. Em apenas 6% das vezes o modelo previu chuva e esta não foi confirmada, como mostra a Tabela 5.

Os demais índices adotados na verificação de previsão do modelo ETA não apresentaram resultados satisfatórios, o que pode ser explicado pelo *déficit* observado em 2007 nos valores acumulados de chuva, o qual o modelo tendeu a subestimar.

Tabela 5: Análise qualitativa das previsões para o período menos chuvoso de 2007.

<b>ÍNDICE</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>set</b>	<b>out</b>	<b>nov</b>	<b>Ótimo</b>	<b>Média do período (%)</b>
PA	77%	61%	55%	80%	74%	93%	60%	<b>73%</b>
ICS	71%	37%	22%	14%	0%	60%	60%	<b>34%</b>
POD	74%	41%	22%	14%	0%	60%	60%	<b>35%</b>
RAF	6%	22%	0%	0%		0%	10%	<b>6%</b>
BIAS	78%	53%	22%	14%	0%	60%	100%	<b>38%</b>
IACC	70%	32%	22%	14%		60%	60%	<b>40%</b>
IASC	43%	47%	48%	79%	74%	93%	60%	<b>64%</b>

Do ponto de vista físico, um dos sistemas meteorológicos que influenciou nos resultados da previsão do modelo está o fenômeno El Niño, caracterizado pelo aquecimento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, provocando escassez no regime de chuvas na Região Amazônica e Nordeste.

Estudos observacionais e de modelagem do clima realizados por Marengo *et al.* (1993), mostram que, durante anos de grande aquecimento das águas do Pacífico Equatorial (fenômeno do El Niño), como o ano de 2007, a ZCIT situa-se anômala mais ao norte do que sua posição normal sobre o Atlântico Equatorial. Conseqüentemente os ventos alísios de NE são mais fracos, reduzindo a umidade que penetra no interior da Região Amazônica.

Comparando com os estudos realizados por Chou *et al.* (2004) e Alves *et al.* (2004) para o ano de 2003, em que foi avaliado o desempenho do modelo regional ETA climático operacional do CPTEC, sobre a América do Sul e Brasil, respectivamente, os resultados deste estudo estão dentro do esperado para a região. Os três estudos foram realizados em anos de El Niño (2002/2003 e 2006/2007, respectivamente, moderado e fraco) e demonstram que o modelo tendeu a subestimar as ocorrências de chuva mostrando-se sensível aos fenômenos de grande escala.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste estudo observou-se que em média o modelo ETA operacional NHMET/IEPA apresentou desempenho satisfatório quanto a seus acertos nas ocorrências e não-ocorrências de chuva para o ano de 2007. Notou-se ainda tendência deste em subestimar tais ocorrências para o ano de análise, devido ao *déficit* no regime de chuvas sobre a região, ocasionado pelo fenômeno de grande escala El Niño e pelo deslocamento mais ao norte da ZCIT, principal sistema gerador de chuvas sobre a região.

Os índices que demonstraram maior eficácia na precisão do modelo, quanto as suas respostas de previsão com relação aos dados observados para o ano de 2007, foram a Proporção de Acertos (77% e 73%, de acerto, respectivamente, para os períodos chuvoso e menos chuvoso), o BIAS (70% e 38% de acerto, respectivamente, para os períodos chuvoso e menos chuvoso) e a Relação de Alarmes Falsos (99% e 94% de acerto, respectivamente, para os períodos chuvoso e menos chuvoso).

Através dos resultados obtidos pelo Método de Análise de Contingência, mostrou-se que o modelo ETA constituiu-se numa ferramenta eficaz no serviço de previsão do tempo. Com estes resultados o NHMET/IEPA poderá emitir com maior confiabilidade alarmes meteorológicos (tempestades severas, enchentes, secas e focos de incêndio) para diversos setores da sociedade: energético, agrícola, defesa civil, turismo e de infra-estrutura, principais usuários do serviço de previsão do tempo.

No setor energético um dos principais impactos de pesquisas semelhantes seria na otimização da operação de reservatórios das usinas hidrelétricas. No agrícola, as informações de previsão meteorológicas constituem-se em ferramentas importantes para os usuários na aplicação de insumos – adubo, fertilizante e irrigação.

Para a Defesa Civil o serviço meteorológico é imprescindível no planejamento e excussão de ações em resposta a desastres, com o objetivo de salvar vidas, patrimônios e visando minimizar os efeitos nocivos do mesmo, após sua ocorrência.

Sugere-se como estudos futuros, para melhor previsibilidade das quantidades nas ocorrências de chuva previstas pelo modelo ETA operacional NHMET/IEPA, análises comparativas das quantidades previstas pelo modelo e observadas em superfície. Ou seja, estudos a partir de comparações entre os resultados numéricos das previsões e dados observados.

Com os resultados obtidos neste estudo sugere-se ainda, trabalhos futuros experimentais que possam avaliar a sensibilidade do modelo para diferentes domínios e resoluções horizontais, como 10km x 10km ou 5km x 5km, bem como a necessidade de mais estações automáticas que possam melhorar as condições iniciais e diminuir os efeitos de interpolação sobre a grade do modelo, causados pela baixa densidade de dados observados, o que resultará em melhores previsões do modelo.

Cada índice proposto pelo MAC, com suas características próprias e devidas interpretações, poderão ser usados como elementos norteadores das possíveis mudanças no Modelo, cujo objetivo será a máxima confiabilidade de suas previsões.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALVES, L. M.; CHOU, S. C.; MARENGO, J. A. **Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo ETA climático sobre o Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII, 2004, Fortaleza-CE. CD de Anais, Fortaleza-CE, 2004.

AMANAJÁS, J. C.; NEVES, D. G.; ROCHA, V. S.; CUNHA, A. C. **Avaliação Preliminar da Precipitação Pluviométrica do Modelo Meso ETA do NHMET/IEPA para o Trimestre Junho, Julho, Agosto de 2006 em Macapá – AP**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIV, 2006, Florianópolis-SC. CD de Anais, Florianópolis-SC, 2006.

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

ARAVÉQUIA, J. A.; QUADRO, M. F. L. **Aspectos Gerais da Previsão Numérica de Tempo e Clima**. Cachoeira Paulista: CPTEC, 2003. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.23.10.21>. Consultado em: 28 de fevereiro de 2007.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 11ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

BLACK, T. L. **The new NMC mesoscale ETA model: Description and forecast examples**. Wea. and Forecasting, 1994.

BONATTI, J. P. **Modelo de Circulação Geral Atmosférico do CPTEC**. Climanálise Especial, edição comemorativa de 10 anos, 1996. Disponível em: <http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/bonatti.html>. Consultado em: 05 de maio de 2007.

BURAK, D. **Modelagem Matemática: Uma metodologia alternativa para a matemática na 5ª Série**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1987. Dissertação de Mestrado.

CHOU, S. C. **Modelo Regional ETA**. Climanálise Especial, edição comemorativa de 10 anos, 1996. Disponível em: <http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/27.html>. Consultado em: 10 de abril de 2007.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. **Previsões sazonais utilizando o modelo ETA sobre a América do Sul.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XII, 2004, Fortaleza-CE. CD de Anais, Fortaleza-CE, 2004.

CUNHA, A. C. **Implantação do Centro Tecnológico de Hidrometeorologia do Estado do Amapá.** CPAQ/IEPA, Macapá-AP. Dossiê Técnico - Relatório Anual, 2005.

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

FERRIER, B. **A new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta model.** In: Spring Colloquium on the Physics of Weather and Climate: Regional Weather Prediction Modelling and Predictability. Trieste, Italy, 8-19 abril de 2002.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Clima da Amazônia.** Climanálise Especial, edição comemorativa de 10 anos, 1996. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/fish.html>. Consultado em: 23 de maio de 2007.

GADD, A. J. **A split-explicit integration scheme for numerical weather prediction.** Quart. J. Roy. Met. Soc., 1978.

HILGARD, R. E. **O aparecimento dos modelos matemáticos.** In: HILGARD, R. E. Teoria da Aprendizagem. São Paulo: Editora EPU, 1973.

HOLTON, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology.** 4ª Edition. New York: Elsevier Science & Technology Books. Academic Press, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Portal Cidades.** Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Consultado em: 07 de janeiro de 2008.

JACOBSON, M. Z. **Model design, application and testing.** In: Fundamentals of Atmospheric Modeling. 2ª Edition. New York: Cambridge University Press, 1999.

JANJIC, Z.I. **Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-internal noise and its application in sigma coordinate models.** Contrib. Atmos. Phys., 1979.

JANJIC, Z.I. **Nonlinear advection schemes and energy cascade on semi-staggered grids.** Monthly Weather Review, 1984.

- JANJIC, Z. I. **The step-mountain coordinate: Physical package.** Monthly Weather Review, 1990.
- JANJIC, Z.I. **The step-mountain Eta coordinate Model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes.** J. Atmos. Sci., 1994.
- JESUS; GONÇALVES; OLIVEIRA. **A variabilidade dos elementos meteorológicos associados ao Fenômeno El Niño na cidade de Macapá-AP.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XI, 2000, Rio de Janeiro-RJ. CD de Anais, Rio de Janeiro-RJ, 2000.
- LACIS, A. A.; E J. E. HANSEN. **A parameterization of the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere.** J. Atmos. Sci., 1974.
- MELLOR, G. L., YAMADA, T. **A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers.** J. Atmos. Sci., 1974.
- MESINGER, F. **A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models.** Riv. Meteor. Aeronautica, 1984.
- MESINGER, F., Z. I. JANJIC, S. NICKOVIC, D. GAVRILOV, E D. G. DEAVEN. **The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment.** Mon. Wea. Rev., 1988.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002.
- PHILLIPS, N. A. **A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting.** In: Journal of Meteorological, 1957.
- ROZANTE, J. R. **O Impacto do Aninhamento no Modelo ETA nas Previsões de Tempo.** São José dos Campos: INPE, 2001. Dissertação de Mestrado. Disponível em <http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/11.23.15.00/doc/publicacao.pdf>. Consultado em: 07 de janeiro de 2007.
- RUSSELL, B. **Introdução à Filosofia Matemática.** 4ª Edição. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1981.
- VIANELLO, R. L. **Meteorologia Básica e Aplicações.** Viçosa: UFG, Impr. Univ., 1991.
- WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences.** 2ª Edition. California: Elsevier Science & Technology Books. Academic Press, 2006.



ZHAO, Q.; BLACK, T.; BALDWIN, M. E. **Cloud prediction scheme in the Eta model at NCEP**. In: ECMWF/GEWEX Workshop on Validation and Assimilation of Clouds. Reading: ECMWF/GEWEX, 1994.

## 8. APÊNDICES

Apêndice 1: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de fevereiro de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/fev	Sim	Sim
02/fev	Sim	Sim
03/fev	Sim	Sim
04/fev	Não	Sim
05/fev	Não	Não
06/fev	Sim	Sim
07/fev	Sim	Sim
08/fev	Sim	Sim
09/fev	Sim	Sim
10/fev	Sim	Sim
11/fev	Sim	Sim
12/fev	Não	Não
13/fev	Não	Não
14/fev	Sim	Sim
15/fev	Sim	Sim
16/fev	Sim	Sim
17/fev	Sim	Sim
18/fev	Não	Não
19/fev	Sim	Sim
20/fev	Sim	Sim
21/fev	Sim	Sim
22/fev	Sim	Sim
23/fev	Sim	Sim
24/fev	Sim	Sim
25/fev	Sim	Sim
26/fev	Não	Sim
27/fev	Sim	Sim
28/fev	Sim	Sim

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	22	0	22
	Não	2	4	6
		24	4	

(c)

Apêndice 2: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de março de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/mar	Não	Sim
02/mar	Sim	Sim
03/mar	Sim	Sim
04/mar	Sim	Sim
05/mar	Sim	Sim
06/mar	Sim	Sim
07/mar	Sim	Sim
08/mar	Sim	Sim
09/mar	Sim	Não
10/mar	Não	Sim
11/mar	Não	Não
12/mar	Não	Sim
13/mar	Sim	Sim
14/mar	Sim	Sim
15/mar	Sim	Sim
16/mar	Sim	Sim
17/mar	Sim	Sim
18/mar	Sim	Sim
19/mar	Sim	Sim
20/mar	Não	Sim
21/mar	Sim	Sim
22/mar	Sim	Sim
23/mar	Sim	Sim
24/mar	Não	Sim
25/mar	Não	Sim
26/mar	Sim	Sim
27/mar	Sim	Sim
28/mar	Sim	Sim
29/mar	Sim	Sim
30/mar	Sim	Sim
31/mar	Sim	Sim

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	23	1	24
	Não	6	1	7
		29	2	

(c)

Apêndice 3: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de abril de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/abr	Sim	Sim
02/abr	Sim	Sim
03/abr	Sim	Sim
04/abr	Sim	Sim
05/abr	Não	Não
06/abr	Não	Sim
07/abr	Não	Sim
08/abr	Sim	Sim
09/abr	Não	Sim
10/abr	Não	Sim
11/abr	Sim	Sim
12/abr	Sim	Sim
13/abr	Sim	Sim
14/abr	Não	Não
15/abr	Não	Sim
16/abr	Sim	Sim
17/abr	Sim	Sim
18/abr	Sim	Não
19/abr	Sim	Sim
20/abr	Sim	Sim
21/abr	Não	Não
22/abr	Sim	Sim
23/abr	Sim	Sim
24/abr	Sim	Sim
25/abr	Sim	Sim
26/abr	Sim	Sim
27/abr	Sim	Sim
28/abr	Sim	Sim
29/abr	Sim	Sim
30/abr	Sim	Sim

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	21	1	22
	Não	5	3	8
		26	4	

(c)

Apêndice 4: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de maio de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/mai	Não	Sim
02/mai	Não	Não
03/mai	Não	Não
04/mai	Não	Sim
05/mai	Não	Sim
06/mai	Sim	Sim
07/mai	Sim	Sim
08/mai	Sim	Sim
09/mai	Não	Sim
10/mai	Sim	Sim
11/mai	Não	Não
12/mai	Não	Sim
13/mai	Sim	Sim
14/mai	Sim	Sim
15/mai	Sim	Sim
16/mai	Sim	Sim
17/mai	Não	Sim
18/mai	Não	Sim
19/mai	Não	Sim
20/mai	Não	Sim
21/mai	Não	Sim
22/mai	Não	Não
23/mai	Sim	Sim
24/mai	Não	Sim
25/mai	Não	Não
26/mai	Sim	Sim
27/mai	Sim	Sim
28/mai	Sim	Sim
29/mai	Sim	Sim
30/mai	Sim	Sim
31/mai	Sim	Sim

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	15	0	15
	Não	11	5	16
		26	5	

(c)

Apêndice 5: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de junho de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/jun	Sim	Sim
02/jun	Sim	Sim
03/jun	Sim	Sim
04/jun	Não	Sim
05/jun	Não	Não
06/jun	Sim	Sim
07/jun	Não	Não
08/jun	Não	Sim
09/jun	Não	Sim
10/jun	Não	Sim
11/jun	Sim	Sim
12/jun	Sim	Sim
13/jun	Sim	Não
14/jun	Sim	Sim
15/jun	Sim	Sim
16/jun	Sim	Sim
17/jun	Sim	Sim
18/jun	Sim	Sim
19/jun	Sim	Sim
20/jun	Sim	Sim
21/jun	Sim	Sim
22/jun	Não	Não
23/jun	Não	Sim
24/jun	Não	Sim
25/jun	Não	Não
26/jun	Sim	Sim
27/jun	Sim	Sim
28/jun	Não	Não
29/jun	Não	Não
30/jun	Sim	Sim

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	17	1	18
	Não	6	6	12
		23	7	

(c)

Apêndice 6: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de julho de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/jul	Sim	Não
02/jul	Não	Não
03/jul	Não	Sim
04/jul	Sim	Sim
05/jul	Sim	Sim
06/jul	Não	Sim
07/jul	Não	Sim
08/jul	Não	Sim
09/jul	Não	Sim
10/jul	Sim	Sim
11/jul	Sim	Sim
12/jul	Sim	Sim
13/jul	Sim	Sim
14/jul	Não	Não
15/jul	Não	Não
16/jul	Não	Não
17/jul	Sim	Sim
18/jul	Não	Não
19/jul	Não	Não
20/jul	Não	Não
21/jul	Não	Sim
22/jul	Não	Não
23/jul	Não	Não
24/jul	Não	Não
25/jul	Não	Não
26/jul	Não	Não
27/jul	Não	Sim
28/jul	Não	Sim
29/jul	Não	Sim
30/jul	Sim	Não
31/jul	Não	Sim

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	7	2	9
	Não	10	12	22
		17	14	

(c)

Apêndice 7: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de agosto de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/ago	Não	Não
02/ago	Não	Sim
03/ago	Não	Sim
04/ago	Não	Sim
05/ago	Não	Não
06/ago	Não	Não
07/ago	Não	Não
08/ago	Não	Sim
09/ago	Não	Sim
10/ago	Não	Sim
11/ago	Não	Não
12/ago	Não	Não
13/ago	Sim	Sim
14/ago	Sim	Sim
15/ago	Não	Sim
16/ago	Sim	Sim
17/ago	Não	Não
18/ago	Não	Não
19/ago	Não	Sim
20/ago	Não	Sim
21/ago	Não	Não
22/ago	Sim	Sim
23/ago	Não	Sim
24/ago	Não	Não
25/ago	Não	Sim
26/ago	Não	Sim
27/ago	Não	Sim
28/ago	Não	Não
29/ago	Não	Não
30/ago	Não	Sim
31/ago	Não	Não

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	4	0	4
	Não	14	13	27
		18	13	

(c)



Apêndice 8: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de setembro de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/set	Não	Não
02/set	Não	Sim
03/set	Não	Não
04/set	Sim	Sim
05/set	Não	Sim
06/set	Não	Sim
07/set	Não	Sim
08/set	Não	Não
09/set	Não	Não
10/set	Não	Não
11/set	Não	Não
12/set	Não	Não
13/set	Não	Sim
14/set	Não	Não
15/set	Não	Não
16/set	Não	Não
17/set	Não	Sim
18/set	Não	Não
19/set	Não	Não
20/set	Não	Não
21/set	Não	Não
22/set	Não	Não
23/set	Não	Não
24/set	Não	Não
25/set	Não	Não
26/set	Não	Não
27/set	Não	Não
28/set	Não	Não
29/set	Não	Não
30/set	Não	Não

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	1	0	1
	Não	6	23	29
		7	23	

(c)

Apêndice 9: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de outubro de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/out	Não	Não
02/out	Não	Não
03/out	Não	Não
04/out	Não	Sim
05/out	Não	Sim
06/out	Não	Sim
07/out	Não	Não
08/out	Não	Não
09/out	Não	Não
10/out	Não	Sim
11/out	Não	Sim
12/out	Não	Não
13/out	Não	Não
14/out	Não	Não
15/out	Não	Não
16/out	Não	Não
17/out	Não	Não
18/out	Não	Não
19/out	Não	Não
20/out	Não	Não
21/out	Não	Não
22/out	Não	Sim
23/out	Não	Não
24/out	Não	Não
25/out	Não	Sim
26/out	Não	Sim
27/out	Não	Não
28/out	Não	Não
29/out	Não	Não
30/out	Não	Não
31/out	Não	Não

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	0	0	0
	Não	8	23	31
		8	23	

(c)

Apêndice 10: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de novembro de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/nov	Não	Não
02/nov	Não	Não
03/nov	Não	Não
04/nov	Não	Não
05/nov	Não	Não
06/nov	Não	Não
07/nov	Não	Não
08/nov	Não	Não
09/nov	Não	Não
10/nov	Não	Não
11/nov	Não	Não
12/nov	Não	Sim
13/nov	Não	Não
14/nov	Não	Não
15/nov	Não	Não
16/nov	Não	Não
17/nov	Não	Não
18/nov	Não	Não
19/nov	Não	Não
20/nov	Não	Não
21/nov	Não	Sim
22/nov	Não	Não
23/nov	Não	Não
24/nov	Não	Não
25/nov	Não	Não
26/nov	Não	Não
27/nov	Não	Não
28/nov	Sim	Sim
29/nov	Sim	Sim
30/nov	Sim	Sim

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	3	0	3
	Não	2	25	27
		5	25	

(c)

Apêndice 11: Tabela de verificação da previsão de chuva do mês de dezembro de 2007 através do MAC.

Precipitação Pluviométrica		
Dia/Mês	Previsto	Observado
01/dez	Sim	Sim
02/dez	Sim	Sim
03/dez	Sim	Sim
04/dez	Não	Não
05/dez	Não	Não
06/dez	Não	Sim
07/dez	Não	Não
08/dez	Sim	Sim
09/dez	Sim	Sim
10/dez	Sim	Sim
11/dez	Sim	Sim
12/dez	Sim	Sim
13/dez	Sim	Sim
14/dez	Não	Sim
15/dez	Sim	Sim
16/dez	Não	Sim
17/dez	Sim	Sim
18/dez	Não	Sim
19/dez	Não	Não
20/dez	Não	Sim
21/dez	Não	Não
22/dez	Não	Não
23/dez	Não	Não
24/dez	Não	Sim
25/dez	Não	Sim
26/dez	Não	Não
27/dez	Não	Não
28/dez	Sim	Sim
29/dez	Sim	Sim
30/dez	Sim	Sim
31/dez	Sim	Sim

(a)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
		a+c	b+d	a+b+c+d

(b)

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	15	0	15
	Não	7	9	16
		22	9	

(c)