

PREVISÃO DE TEMPO E CLIMA

12

Rita Yuri Ynoue
Michelle S. Reboita
Tércio Ambrizzi
Gyrlene A. M. da Silva
Nathalie T. Boiaski

- 12.1** Introdução
 - 12.2** Breve histórico
 - 12.3** Princípios da previsão do tempo e do clima
 - 12.4** Etapas da previsão de tempo e de clima
 - 12.5** Tipos de Modelos
 - 12.6** Previsão de tempo
 - 12.7** Previsão do clima
- Referências

12.1 Introdução

Nos textos anteriores, foram apresentados alguns dos sistemas de tempo que atuam na atmosfera, bem como a definição de clima a partir da média dos registros das variáveis atmosféricas (temperatura, precipitação etc.) que sofrem a influência de tais sistemas. Através de equações físicas e métodos matemáticos e computacionais, é possível prever numericamente tanto o tempo quanto o clima. Por exemplo, prognosticar se daqui a 3 ou 6 dias choverá ou não (previsão do tempo) ou se uma dada estação do ano será mais quente ou mais fria do que a média climatológica (previsão do clima). Diante do exposto, o objetivo deste texto é apresentar uma introdução sobre a previsão numérica de tempo e de clima.

12.2 Breve histórico

A história da previsão numérica de tempo tem ponto relevante com **Vilhelm Bjerknes** (1904), que mencionou que o estado futuro da atmosfera poderia, em princípio, ser obtido pela integração das equações diferenciais que governam o seu comportamento. As condições iniciais utilizadas, ou seja, os dados que serviriam como entrada para as equações diferenciais seriam os dados que descrevem um estado observado da atmosfera. Porém, foi o cientista britânico **Lewis Fry Richardson** que realizou a primeira integração numérica compreensível dessas equações. Ele utilizou uma grade com resolução horizontal de cerca de 200 km e 4 níveis verticais espaçados, (em aproximadamente, em 200 hPa) centrada sobre a Alemanha (CHARNEY, 1951).

Richardson, com base nas observações dos dados meteorológicos das 7 UTC do dia 20 de maio de 1910, ele calculou a derivada temporal da pressão na Alemanha Central. A variação prevista na pressão no período de 6 horas foi de 146 hPa, valor muito maior do que aquele realmente observado. Entretanto, nem todo o trabalho de Richardson foi perdido, pois alguns dos obstáculos a serem percorridos para a realização da previsão numérica do tempo foram revelados. Para fazer a previsão de uma variável atmosférica para apenas um dia, era (e ainda é) necessário um enorme número de cálculos, os quais precisavam ser feitos com rapidez. Além disso, os dados utilizados para representar o estado inicial da atmosfera não eram suficientes. Verificou-se também que, se as técnicas matemáticas utilizadas não fossem bem aplicadas, poderiam resultar em pequenos erros que iriam se propagar durante os cálculos.

Em 1950, nos Estados Unidos, os cientistas **Jule Charney**, **Ragnar Fjørtoft** e **J. Von Neuman** realizaram a primeira previsão de tempo bem-sucedida para um dia com auxílio de um computador. Eles utilizaram um dos primeiros computadores eletrônicos – o *Electronic Numerical Integrator and Computer* (Eniac). A partir de 1955, também nos Estados Unidos, teve início a execução das previsões por computadores e de maneira contínua. Desde então, melhorias previsões vêm ocorrendo graças à evolução dos computadores, que permitem o uso de modelos cada vez mais complexos e, conseqüentemente, favorecem uma melhor representação da atmosfera. O surgimento da **Organização Meteorológica Mundial** (OMM), em 1963, também é um acontecimento importante, pois desde sua fundação vem possibilitando um maior conhecimento das condições iniciais da atmosfera devido à melhoria da quantidade e qualidade dos dados observados em todo o globo.

Há, aproximadamente, 50 anos teve início a utilização dos modelos numéricos globais de tempo em previsões climáticas, sendo possível prever a evolução da atmosfera a longo prazo. Como o tempo atmosférico e o clima possuem escalas temporais distintas, alguns ajustes nos modelos se tornaram necessários para a representação dos processos físicos que regem cada escala de tempo. A previsão de tempo e de clima é um ramo altamente especializado e em constante evolução.

12.3 Princípios da previsão do tempo e do clima

Inicialmente, é importante diferenciar a previsão de tempo da previsão de clima. Anteriormente, foi citado que a previsão de tempo é realizada para poucos dias consecutivos, fato que se deve ao conhecimento limitado das condições iniciais (estado observado da atmosfera) fornecidas aos modelos numéricos.

Então, como é possível fazer uma previsão climática em que é preciso deixar o modelo resolvendo as equações prognósticas para semanas, anos ou séculos?

A resposta dessa questão é que na previsão climática não se tem interesse em prever com exatidão o local e o momento da ocorrência de um sistema atmosférico como na previsão do tempo e, sim, que o fenômeno seja simulado pelo modelo. Por exemplo, se o objetivo é prever como

será a precipitação no outono austral, uma simulação é feita para essa estação; depois é calculado o total acumulado de precipitação e, por fim, este é comparado com o valor climatológico (que é proveniente da média de um longo período de precipitação observada). Assim, é possível saber se tal estação será mais úmida ou mais seca do que a climatologia observada.

A principal ferramenta utilizada para as previsões de tempo e de clima são os modelos numéricos conhecidos como **Modelos Numéricos de Circulação Geral** – MCG, que são constituídos por um conjunto de equações físicas descritas em forma numérica e resolvidas com o auxílio de computadores. Para entender o que um modelo numérico faz, considere a equação da aceleração média:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad 12.1$$

A equação apresentada é uma equação física e pode ser escrita numericamente como:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad 12.2$$

onde v_0 é a velocidade inicial de um objeto no instante de tempo inicial t_0 e v é a sua velocidade final no instante de tempo final t . Nos modelos numéricos, as equações são representadas como acima e são fornecidos os valores para as variáveis; o computador é utilizado para realizar os cálculos. No exemplo, considere que um carro esteja parado ($v_0 = 0$) no instante de tempo t_0 ($t_0 = 0$) e que começou a se movimentar e adquiriu velocidade de $v = 5 \text{ m s}^{-1}$, 5 segundos após iniciar o movimento ($t = 5 \text{ s}$). Dessa forma, a aceleração corresponde a 1 m s^{-2} :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5 - 0}{5 - 0} = 1 \text{ ms}^{-2} \quad 12.3$$

O que poderia acontecer com a aceleração média 10 segundos depois? O valor que queremos conhecer é o valor proveniente de uma previsão.

É possível prever o tempo e o clima com base no seguinte princípio: a partir de um estado inicial (condições iniciais e de contorno), é possível obter um estado futuro (previsão) através de um conjunto de equações que representam os processos físicos e dinâmicos da atmosfera (modelo numérico).

12.4 Etapas da previsão de tempo e de clima

Os procedimentos gerais para uma previsão de tempo ou de clima incluem 3 etapas (análise, previsão e pós-processamento), que estão descritas a seguir e esquematizadas na **Figura 12.1**.

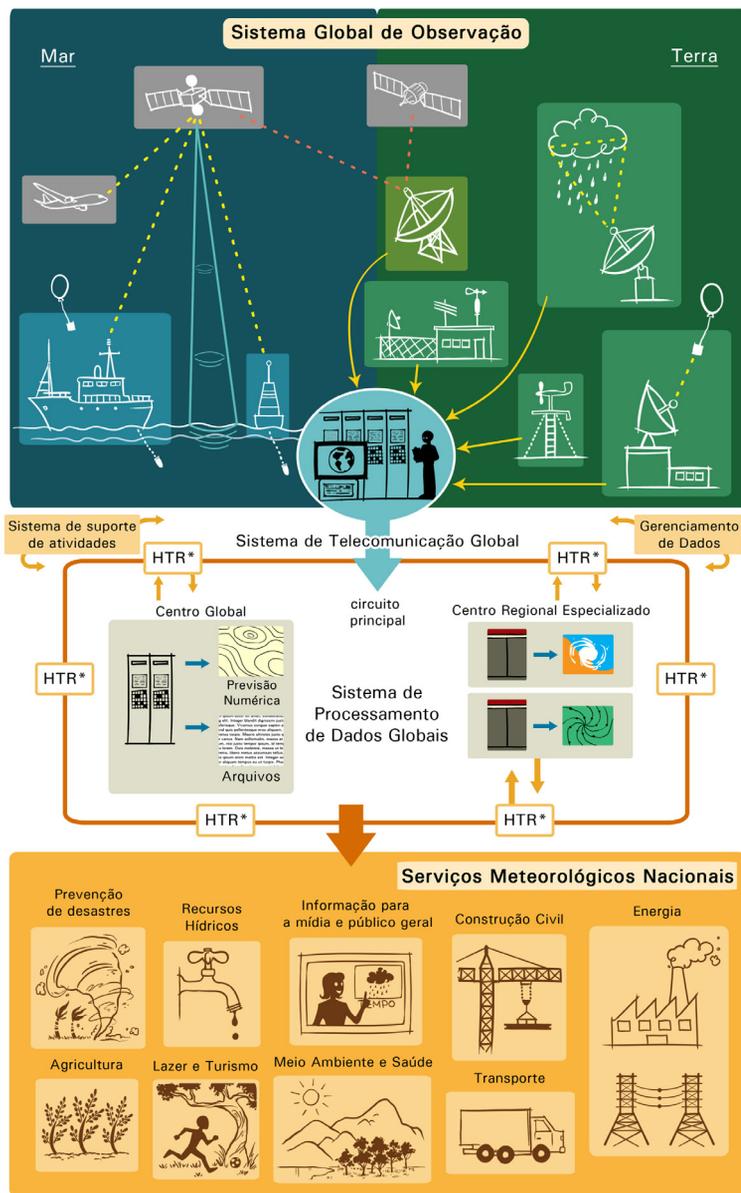


Figura 12.1: Representação esquemática das etapas envolvidas nas previsões de tempo e de clima.

* HTR: Hub de Telecomunicação Regional

a. Análise

Na fase da análise, as observações meteorológicas são fornecidas a programas computacionais, que preparam os dados para os modelos de previsão. Uma vez que a rede de observações global de dados não cobre regularmente a superfície da Terra, as observações meteorológicas são submetidas a métodos matemáticos para se tornarem uniformes, isto é, valores iniciais com espaçamento horizontal regular. Embora isso seja somente um passo preparatório, a tarefa é difícil, pois há milhões de dados provenientes de diferentes fontes (satélites, navios, estações meteorológicas de superfície etc.) e que não necessariamente foram medidos no mesmo horário. Além disso, nenhuma das medidas é completamente livre de erros. Assim, é necessário o máximo possível dos erros para produzir campos atmosféricos consistentes.

O procedimento da análise também inclui a junção de condições iniciais observadas e previsões do modelo numérico para a elaboração de condições iniciais para esse modelo. Em síntese, a fase da análise tem como objetivo criar um conjunto de dados com espaçamento horizontal uniforme para ser fornecido aos modelos de previsão como condição inicial. Terminada a etapa da análise, o modelo pode ser executado para produzir as previsões.

b. Previsão

O trabalho de um modelo numérico é resolver as equações básicas que descrevem o comportamento da atmosfera. A **Tabela 12.1** sumariza tais equações. Vale a pena lembrar que o vento possui 3 componentes nas direções ortogonais x, y e z , ou seja, $\vec{V} = (u, v, w)$. Informações detalhadas dessas equações podem ser obtidas em Kalnay (2003).

Tabela 12.1: Breve enumeração das equações que descrevem os processos fundamentais que ocorrem na atmosfera.

Equação	Descrição
$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} = -\frac{\nabla p}{\rho} - 2\vec{\Omega} \times \vec{V} + \vec{g} + \vec{F}_v$	Conservação do movimento: Força = massa · aceleração Descreve como o movimento horizontal do ar (o vento meridional: norte-sul e o vento zonal: leste-oeste) evolui ao longo do tempo cronológico.
$C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T \right) = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} + Q + F_T$	Conservação da energia: entrada de energia = aumento da energia interna + trabalho realizado Descreve quais mudanças na temperatura do ar resultam da adição/subtração de calor ou devido à expansão/compressão do ar.
$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \rho = -\rho \nabla \cdot \vec{V}$	Conservação da massa: A soma dos gradientes do produto da densidade e velocidade do vento nas 3 direções ortogonais é zero. Descreve que a massa do volume de ar não muda, ou seja, a massa que entra no volume de ar é igual à massa que sai.
$\frac{\partial q}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q = \frac{S_q}{\rho} + F_q$	Conservação da água: Descreve o complexo transporte de água em suas diversas formas e estágios dentro do ciclo hidrológico.
$p = \rho R T$	Conservação do estado: Descreve a relação entre a pressão, o volume, a temperatura e quantidade de um gás ideal.

As equações nos modelos de previsão de tempo e clima são resolvidas em pontos de grade, isto é, a superfície do planeta é dividida em latitudes e longitudes e a intersecção delas fornece os pontos de grade. Já a distância entre 2 pontos de grade vizinhos fornece a resolução horizontal do modelo (**Figura 12.2**). A atmosfera também é dividida em níveis verticais, a chamada resolução vertical. No lado esquerdo da **Figura 12.2a** é mostrado um volume utilizado para representar parte da atmosfera, e o conjunto deles é mostrado na **Figura 12.2b**, representando toda a extensão horizontal e vertical da atmosfera no globo. Em cada um dos vários volumes são calculados os valores de temperatura, pressão, umidade, componentes do vento etc. para um determinado intervalo de tempo futuro.

Para uma previsão do futuro, o modelo é iniciado com as condições iniciais observadas e a previsão para aquele momento. Também é informado no intervalo de tempo (resolução temporal previamente determinada), que ele vai fazer a integração das equações até chegar ao final do tempo desejado (por exemplo, 24 h, 48 h, 72 h). As condições da atmosfera observadas são utilizadas apenas na primeira integração, pois nas demais o modelo utilizará a previsão feita anteriormente como condição inicial. Com isso, é elaborado um conjunto de previsões: para algumas horas, um dia ou alguns dias etc.

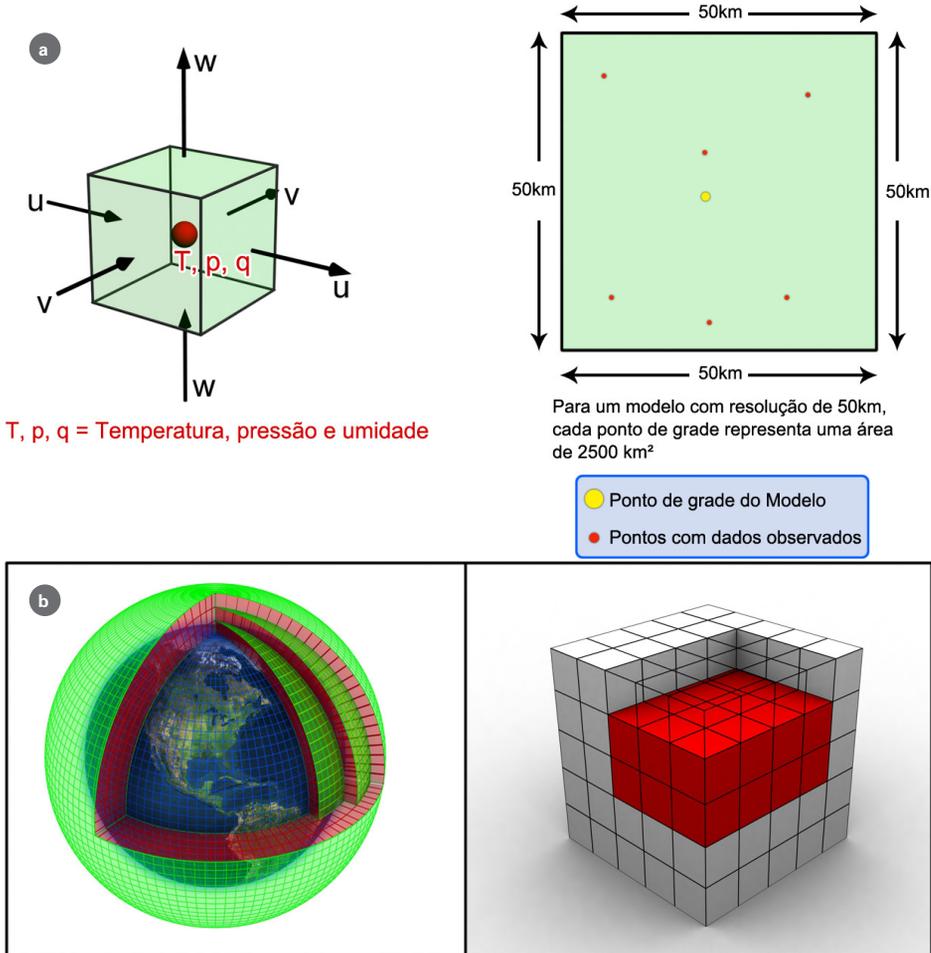


Figura 12.2: a. Lado esquerdo: volume representando parte da atmosfera; lado direito: ponto de grade e observações vizinhas; b. Vários volumes representando toda a extensão horizontal e vertical da atmosfera no globo.

c. Pós-processamento

Embora os modelos numéricos façam cálculos para intervalos de tempo de minutos, os arquivos de saída com os resultados dos cálculos são reduzidos para intervalos regulares de horas (por exemplo, a cada 12 horas) e em pontos de grade. Com os arquivos de saída dos modelos, os meteorologistas elaboram mapas de diferentes variáveis atmosféricas e, após o estudo desses mapas, elaboram os boletins da previsão de tempo e clima, dependendo do modelo utilizado. Essas atividades são chamadas de pós-processamento. Os boletins são importantes para o planejamento de várias atividades como ilustra a **Figura 12.1**.

12.5 Tipos de Modelos

Os modelos utilizados para a previsão de tempo e clima podem ser globais ou regionais (**Figura 12.3**). Os **modelos globais** simulam as condições atmosféricas de todo o planeta. A maioria deles tem grade com resolução horizontal em torno de 200 km, 28 níveis verticais e são inicializados com condições iniciais de todo o globo. Esses modelos são eficientes para simular as características gerais da circulação atmosférica de grande escala, mas não as características locais como, por exemplo, brisas de vale e de montanha. Atualmente, não é viável aumentar a resolução horizontal de tais modelos, pois isso envolve alto custo computacional devido ao maior tempo de processamento das previsões e mais espaço físico necessário para armazená-las. Por isso, para obtenção de informações mais detalhadas da atmosfera, são utilizados os **modelos regionais (ou de área limitada)**, que simulam as condições atmosféricas em pequenas porções do planeta e possuem grade com resolução horizontal, em torno de 20 km. Esses modelos, por terem resolução horizontal maior do que os globais, representam melhor a superfície e os fenômenos mais regionais. Os modelos de área limitada, além das condições iniciais, precisam de condições de fronteira lateral, já que abrangem pequenas porções do globo. As fronteiras laterais podem ser provenientes das saídas de modelos de circulação geral da atmosfera.

Imagine que você queira fazer uma previsão numérica apenas para o sudeste do Brasil utilizando um modelo regional. Como a atmosfera é dinâmica, os sistemas de tempo se deslocam e mudam de intensidade a todo instante. Vamos supor que uma frente fria que está no estado do Paraná irá avançar para a região sudeste.

Como o modelo regional conhecerá essa informação se ele não abrange a área além da região sudeste?

Nesse caso, as saídas dos modelos globais que correspondem às bordas (fronteiras) da região que está em estudo são fornecidas ao modelo regional a cada instante de tempo.

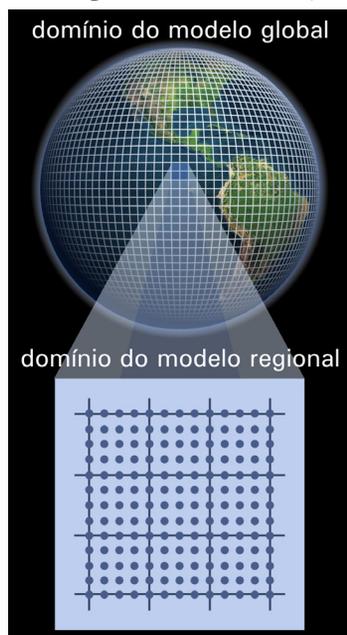


Figura 12.3: Representação esquemática do domínio de um modelo global e de um modelo regional.

12.6 Previsão de tempo

O cientista **Edward Norton Lorenz** contribuiu muito para o avanço da previsão numérica de tempo. Em 1963, ele observou que pequenas diferenças nas condições iniciais podem levar a diferentes soluções (diferentes saídas das simulações numéricas). Em 1972, Lorenz publicou o artigo “Previsibilidade: o bater de asas de uma borboleta no Brasil desencadeia um tornado no Texas?”, onde ressaltou a ideia de que pequenas diferenças nas condições iniciais podem produzir resultados diferentes nas simulações. Como as observações da atmosfera não são livres de erros, estes e os arredondamentos nos cálculos nos modelos podem produzir previsões errôneas quando são simulados vários dias (mais de uma semana), pois os erros vão se propagando ao longo do tempo. Assim, a previsão do tempo é um problema de condição inicial e tem limite de dias para a simulação ser a mais representativa possível da realidade. Isso implica que a atmosfera é caótica e que a confiabilidade nas previsões decaem com o passar do tempo (isto é, dias de simulação).

Agora vamos analisar alguns produtos de previsão de tempo disponibilizados gratuitamente na internet (**Figuras 12.4 e 12.5**) pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, órgão vinculado ao Ministério da Agricultura e pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE, órgão vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia.

Na **Figura 12.4a** é mostrada a previsão de precipitação acumulada no período de 24 horas (mm dia⁻¹) pelo modelo MBAR utilizado pelo INMET. O modelo foi inicializado às 12 UTC do dia 07/06/2011, gerando uma previsão válida até às 12 UTC do dia 08/06/2011 (veja as informações contidas no topo da **Figura 12.4**). Com base nesses dados, é mencionado, por exemplo, que o estado de São Paulo estará sob a influência de uma frente fria, que pode causar totais pluviométricos de 10 mm em 24 horas. Já a **Figura 12.4b** mostra a precipitação acumulada em 24 horas (mm) e a PNMM (em hPa) prevista pelo modelo regional do CPTEC/ INPE. O modelo foi inicializado à 00 UTC do dia 24/05/2004, gerando uma previsão válida para a 00 UTC de 25/05/2004. É possível dizer que os maiores totais pluviométricos ocorrerão no noroeste da América do Sul e nos Estados do Paraná e São Paulo.

A **Figura 12** mostrou a previsão do tempo para dois dias distintos. Entretanto, a previsão do tempo não é divulgada apenas com base na informação gerada por um único modelo numérico. Em geral, os meteorologistas analisam os resultados provenientes de vários modelos

e os relacionam com os conhecimentos atmosféricos que são específicos de sua formação. Só depois que as previsões são divulgadas ao público.

Fenômenos como geada e nevoeiro também são previstos pelo CPTEC/INPE. A previsão de geada é mostrada na **Figura 12.5a** juntamente com uma legenda indicativa das condições de ocorrência do fenômeno: círculos vermelhos indicam condições favoráveis, verdes indicam pouca condição de ocorrência e azuis, nenhuma condição para a ocorrência de geada. Já a previsão de nevoeiro é apresentada na **Figura 12.5b** e a ocorrência desse fenômeno é indicada por regiões hachuradas em amarelo.

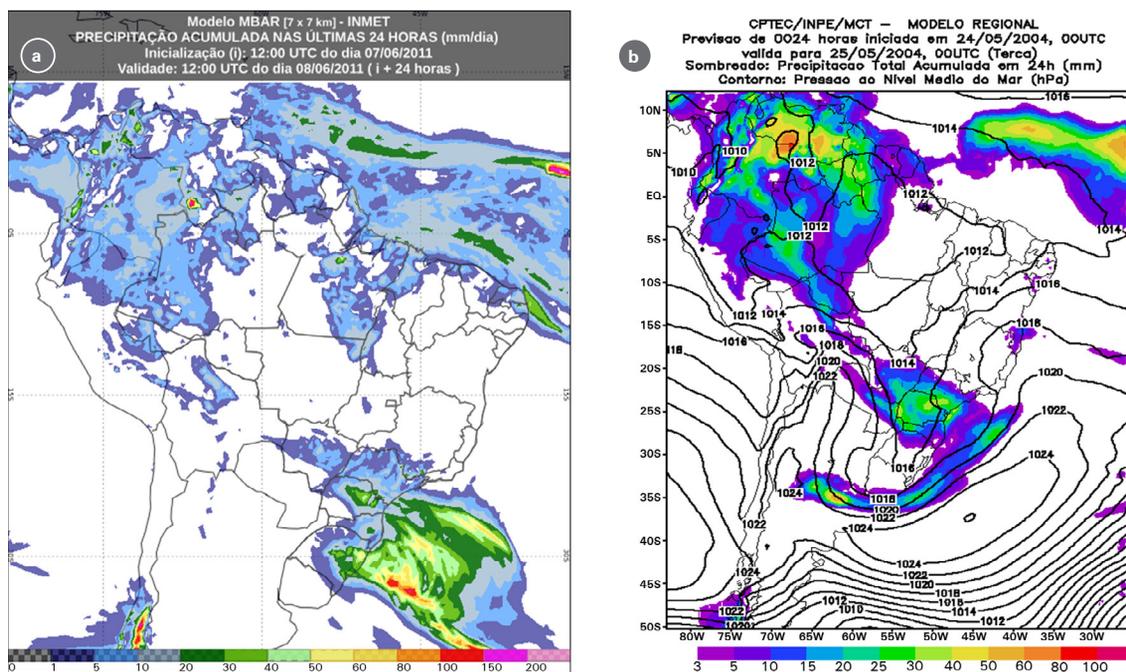
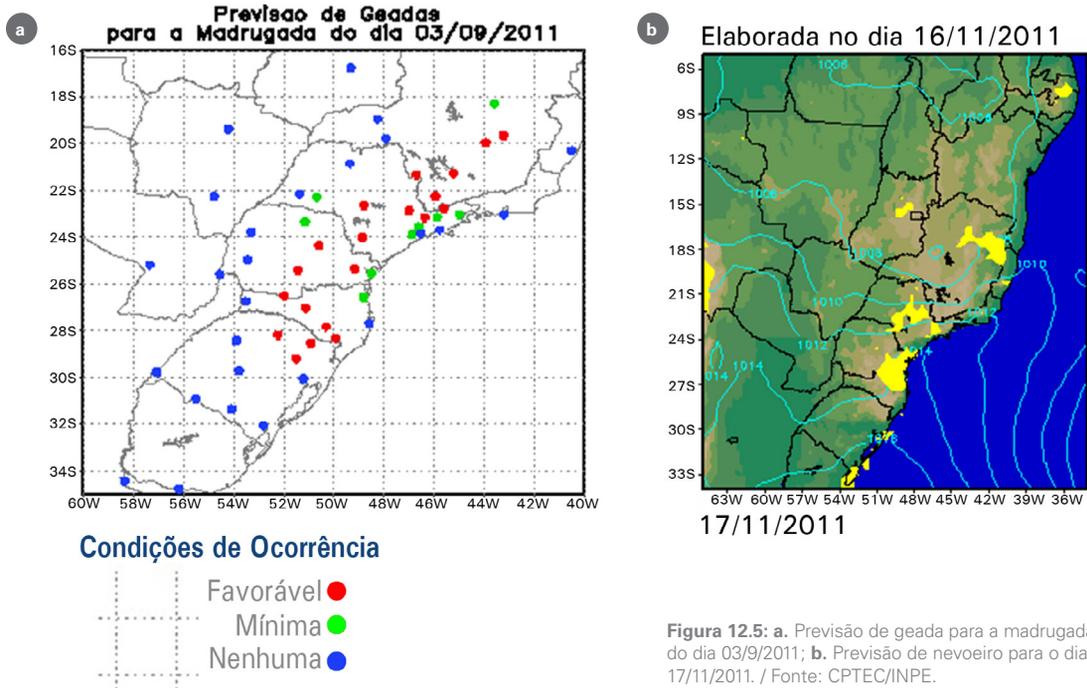


Figura 12.4: a. Previsão de chuva acumulada em 24 horas do modelo MBAR válido para 12 UTC de 08/6/2011 ; b. Previsão de chuva acumulada em 24 horas e PNMM do modelo regional para 00 UTC de 25/5/2004. / Fonte: a. INMET; b. CPTEC/INPE.



12.7 Previsão do clima

Como é possível prever a evolução da atmosfera para períodos maiores do que 10 dias levando em conta a natureza caótica da atmosfera? Essa questão é respondida com base em dois fatores:

1. a previsão climática não se preocupa em prever com exatidão a hora e local da ocorrência dos fenômenos atmosféricos, mas sim em simulá-los de forma que num determinado período consiga representar o valor médio das variáveis atmosféricas observadas (temperatura, umidade, precipitação, etc);
2. o clima é influenciado por condições de contorno inferior que variam lentamente no tempo cronológico. Segundo Frederiksen et al. (2001), essas condições podem ser a **Temperatura de Superfície do Mar (TSM)**, cobertura de gelo (marinho e continental), umidade do solo, relevo, vegetação, albedo e rugosidade de superfície. Com relação à TSM, suponha condições de normalidade ao longo do Pacífico equatorial e que passados alguns dias a TSM do Pacífico equatorial e que passados alguns dias a TSM do Pacífico comece a aumentar no setor central e leste. Suponha

ainda que essa TSM se mantenha mais quente do que a climatologia por cerca de meses. A situação descrita está associada à ocorrência de um vento El Niño e já é sabida que esse causa alteração na circulação em várias regiões do globo. Entre essas tem-se a subsidência do ar sobre o norte da região norte do Brasil e na região nordeste. Logo, a precipitação é alterada nessas regiões e, portanto, as condições climáticas. Ainda é importante lembrar que os modelos climáticos necessitam de condições iniciais e de contorno inferior. A topografia, tipo de cobertura do solo é a TSM. De forma geral as duas primeiras são consideradas estáticas enquanto a TSM é variável ao longo do tempo. Portanto, em geral, são utilizados modelos de circulação oceânica para prever essa variável e fornece-lá aos modelos atmosféricos.

As **Figuras 12.6 e 12.7** exemplificam as etapas envolvidas na previsão climática trimestral do CPTEC/INPE para a América do Sul. Suponha que o objetivo seja a previsão de chuva para a estação do verão (de dezembro a fevereiro). A previsão para essa estação será inicializada em novembro (ver canto superior esquerdo da **Figura 12.6**). Para minimizar os efeitos do caos atmosférico, várias simulações são realizadas para o mesmo período. A seguir, a média dessas simulações é calculada a fim de fornecer a previsão sazonal do conjunto (de simulações).

O resultado obtido com a previsão sazonal do conjunto é apresentado através de mapas de anomalias (por exemplo, anomalia de chuva mostrada no canto direito da **Figura 12.6**), isto é, a diferença entre previsão sazonal e a climatologia do modelo. Esta última (ver canto inferior esquerdo da **Figura 12.6**) é obtida executando o modelo para um período passado longo, por exemplo, os últimos 30 anos. Entretanto, também são realizadas várias simulações a fim de obter a climatologia do conjunto (de simulações).

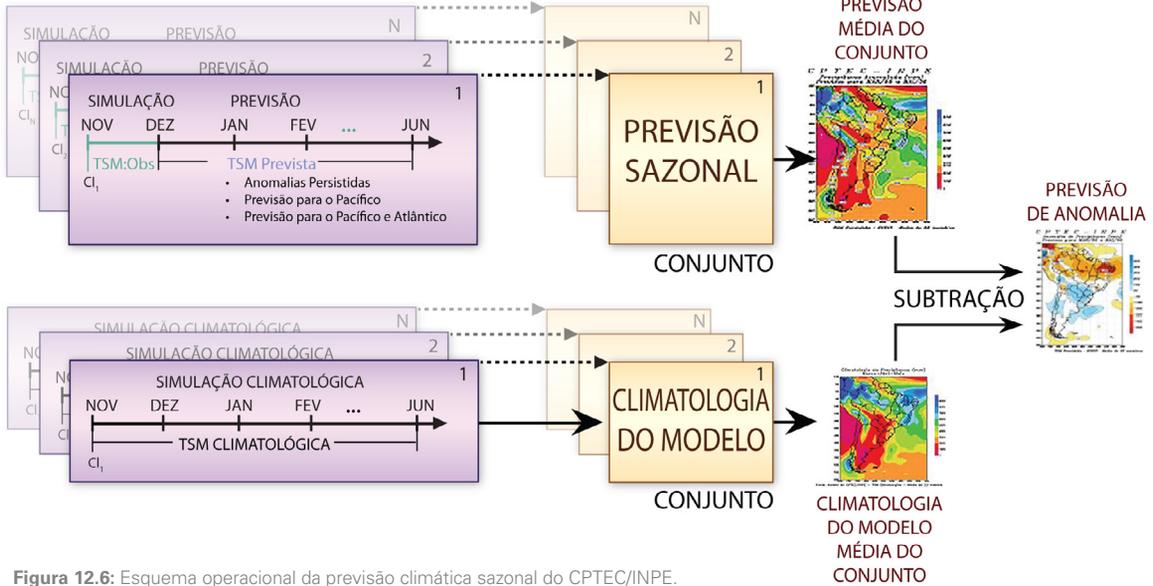


Figura 12.6: Esquema operacional da previsão climática sazonal do CPTEC/INPE.

CONDIÇÕES DE CONTORNO PARA A PREVISÃO NUMÉRICA DO GCM NO CPTEC

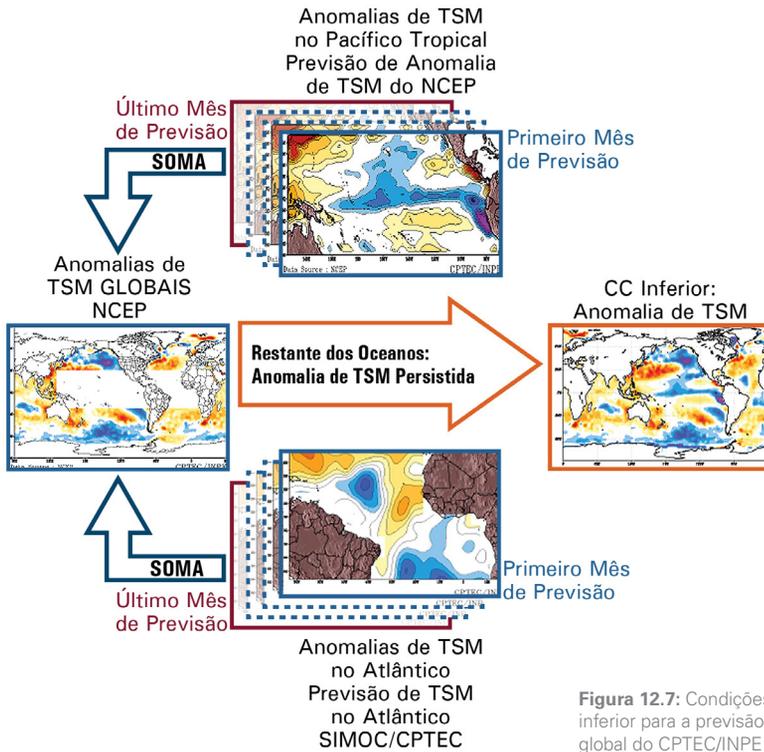


Figura 12.7: Condições de contorno inferior para a previsão do modelo global do CPTEC/INPE.

A **Figura 12.8** faz uma síntese da habilidade dos modelos numéricos de prever o clima na América do Sul. Os modelos climáticos possuem bom desempenho na região equatorial, uma vez que a variabilidade do clima nessa área é influenciada pela TSM, que é uma forçante climática com variação lenta. No texto **Circulação Geral da Atmosfera**, foi mostrado que a circulação em torno do equador é diretamente influenciada pelas células de Hadley e Walker e que anomalias na TSM nessa região influenciam a intensidade e posições de tais células. Com isso, é de se esperar que haja mudanças nos padrões médios sazonais de circulação, quando há alterações na TSM (OLIVEIRA, 2001). Com relação às circulações em latitudes



Figura 12.8: Previsibilidade climática para a América do Sul.

médias e altas, estas são grandemente influenciadas pelos sistemas sinóticos, que possuem variabilidade temporal mais rápida do que a dos efeitos das condições de contorno inferior de variações lentas, como as associadas à TSM. Por isso, os modelos apresentam razoável previsibilidade em latitudes médias e altas. Nas regiões onde não existe um forte acoplamento entre a TSM dos oceanos tropicais e a variabilidade climática, os modelos apresentam baixa previsibilidade, como é o caso, por exemplo, do sudeste do Brasil. Nessa região do Brasil, a previsão climática ainda se torna mais difícil uma vez que ela é uma região de transição entre dois regimes diferentes: o tropical e o extratropical. Portanto, é afetada por sistemas atmosféricos de ambos os regimes.

Os meteorologistas utilizam seus conhecimentos sobre o comportamento da atmosfera juntamente com os resultados obtidos dos modelos numéricos para produzirem os boletins informativos sobre o clima (e também sobre o tempo). No Brasil, o **Grupo de Estudos Climáticos** (GrEC) do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo elabora, com fins didáticos, reuniões mensais de monitoramento do clima para o Brasil e trimestrais para a previsão climática.



Para conhecer o site do GrEC acesse: <http://www.grec.iag.usp.br>.

O INMET e o CPTEC/INPE também disponibilizam as previsões climatológicas sazonais gratuitamente na Internet. A **Figura 12.9** mostra um dos produtos de previsão climática do CPTEC/INPE. Na **Figura 12.9a** tem-se a precipitação acumulada para o outono de 1998 prevista pelo modelo; na **Figura 12.9b**, a climatologia de precipitação também simulada pelo modelo e, por fim, na **Figura 12.9c** a anomalia prevista, isto é, a diferença entre a previsão para o outono de 1998 e a climatologia da estação. As anomalias mostradas na figura indicam chuva acima do valor climatológico no sul do Brasil e abaixo, nas regiões norte e nordeste.

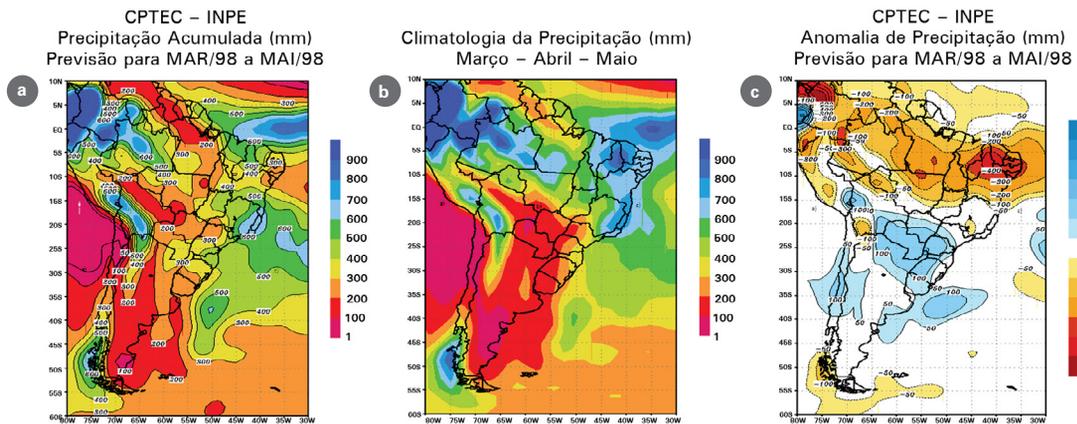


Figura 12.9: a. Previsão de precipitação acumulada (mm) para o outono de 1998; b. climatologia da precipitação simulada pelo modelo para o outono; e c. previsão da anomalia de precipitação acumulada (mm) para o outono de 1998. / Fonte: CPTEC/INPE.

O CPTEC/INPE utiliza a técnica de previsão por conjunto para avaliar em que regiões um modelo possui menor ou maior habilidade de um dado modelo prever o clima. Por exemplo, um modelo climático é iniciado várias vezes para gerar múltiplas saídas (membros). É possível avaliar para quais regiões houve menor ou maior previsibilidade com base na dispersão de cada membro em relação à média de todos eles. A seguir tem-se a comparação de uma avaliação para a previsão de precipitação nas regiões sudeste e norte do nordeste do Brasil entre outubro de 1998 e maio de 1999 (**Figura 12.10a** e **12.10b**, respectivamente). A linha tracejada em preto representa a média das saídas do modelo e as linhas coloridas, os 25 membros para o período. A maior dispersão entre os membros (linhas coloridas mais afastadas da linha preta tracejada) na região sudeste (**Figura 12.10a**) indica menor previsibilidade para essa região; e a menor dispersão entre os membros (**Figura 12.10b**) na região norte do nordeste, maior previsibilidade.

Avaliação da previsibilidade climática

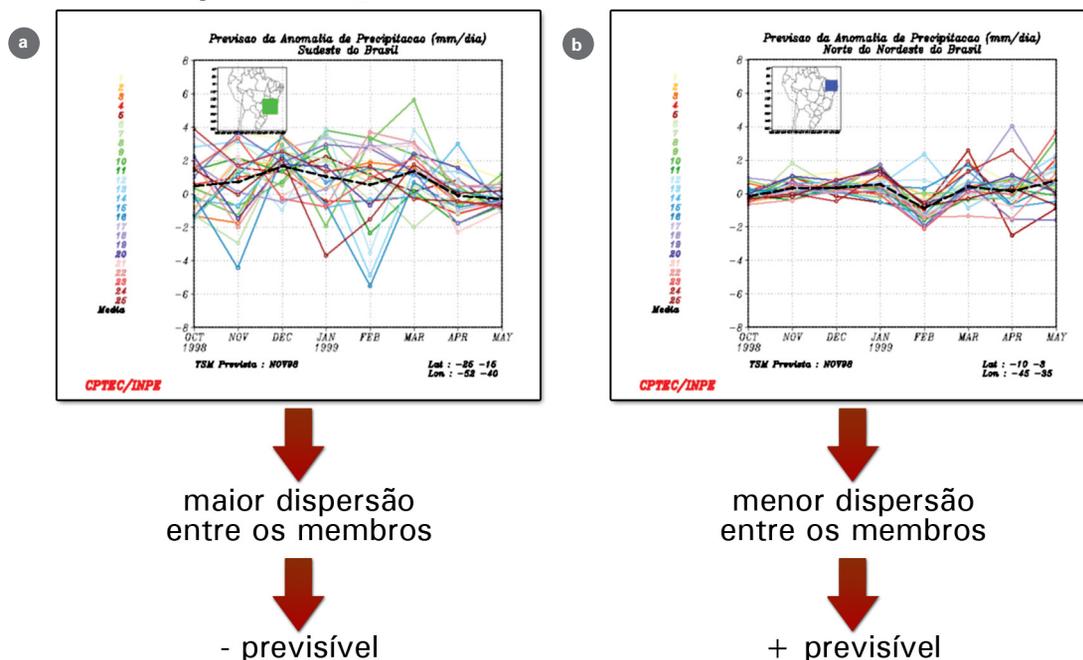


Figura 12.10: Exemplo de avaliação da previsibilidade climática da previsão de precipitação para as regiões a. sudeste e b. norte do nordeste. / Fonte: CPTEC/INPE.

Com o intuito de minimizar os efeitos da natureza caótica da atmosfera nas previsões numéricas, alguns centros de meteorologia realizam previsões de consenso que têm caráter qualitativo. Por exemplo, os grupos de cientistas do CPTEC/INPE, INMET e GrEC comparam as previsões climáticas de diferentes modelos e, juntamente com seus conhecimentos sobre a evolução observada das condições atmosféricas e oceânicas globais e regionais dos últimos meses, elaboram a previsão de consenso. Um exemplo está na **Figura 12.11**, referente à previsão de consenso do CPTEC/INPE e INMET para os meses de novembro de 2011 a janeiro de 2012 sobre o Brasil, a qual é mostrada através da probabilidade de ocorrência de chuva em torno, acima ou abaixo da média climatológica. No extremo sul do país, há cerca de 45% de probabilidade de ocorrer chuva abaixo da média climatológica, 35% de ocorrer o valor climatológico e 25% de ser maior do que a climatologia. Já no norte do Brasil, as porcentagens são de 25,35 e 40%, respectivamente. Esses valores indicam que há maior chance de ocorrência de chuva abaixo do valor climatológico. As áreas em cinza na **Figura 12.11** indicam falta de informações concordantes entre os modelos e, portanto, falta de confiabilidade na previsão.

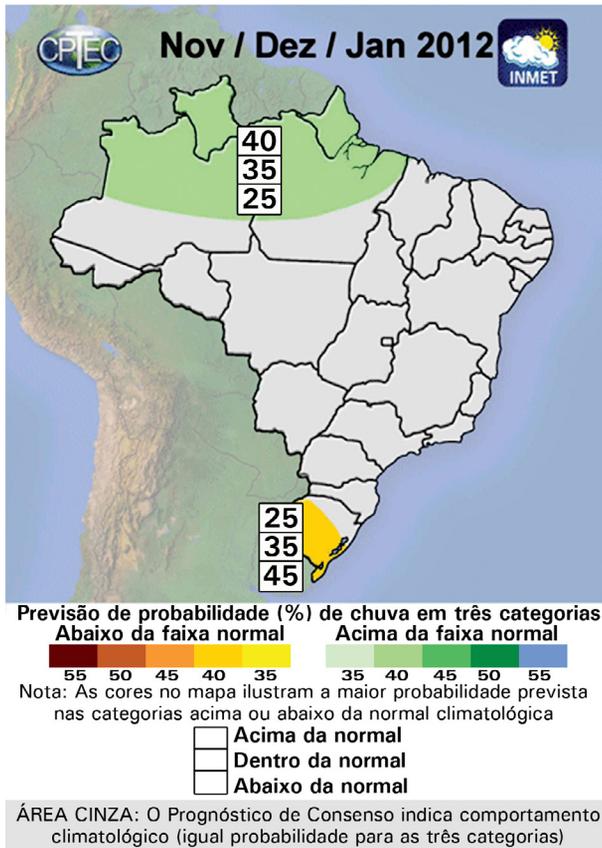


Figura 12.11: Exemplo de previsão de consenso mostrada através da probabilidade (%) de chuva. / Fonte: CPTEC/INPE.

Referências

- BJERKNES, V. Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkt der Mechanik und der Physik. **Meteor. Zeits**, 1904. 21, p. 1-7.
- CAVALCANTI, I.F.A. et al. Global climatological features in a simulation using the CPTEC-COLA AGCM. **J. Climate**, v. 15, p. 2965-2988, 2002.
- CHARNEY, J.G. Dynamical forecasting by numerical process. Compendium of meteorology. **American Meteorological Society**, Boston, 1951.
- _____; FJØRTOFT, R.; NEUMAN, J. Von. Numerical integration of the barotropic vorticity equation. **Tellus**. 2, 237-254. 1950.
- _____. On a physical basis for numerical prediction of large-scale motions in the atmosphere. **J. Meteor.** 6, 371-385. 1949.

- _____. On the scale of atmospheric motions. **Geofys. Publikasjoner**. 17, 1-17. 1948.
- ELIASSEN, A. The quasi-static equations of motion with pressure as independent variable. **Geofys. Publikasjoner**. 17, n. 3. 1949.
- FREDERIKSEN, S.C. et al. Dynamical seasonal forecasts during the 1997/98 ENSO using persisted SST anomalies. **J. Climate**, v. 14, p. 2675-2695. 2001.
- KALNAY, E. **Atmospheric modeling, data assimilation and predictability**. Cambridge University Press, 2003.
- LORENZ, E.N. Deterministic nonperiodic flow. **J. Atmos Sci**. 20, 130-141. 1963.
- _____. Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set off a Tornado in Texas? In **139th meeting of the American Association for the Advancement of Science**. Washington, 1972. Disponível em: <http://eapsweb.mit.edu/research/Lorenz/Butterfly_1972.pdf>. Acesso em: jun/2011.
- OLIVEIRA, G.S. **Avaliação de previsões sazonais para o Brasil entre dezembro de 1995 e maio de 1999 realizadas com o MCGA-CPTEC/COLA**. 2001. Tese (Mestrado) - INPE, São José dos Campos, Brasil. 2001.
- QUADRO, M. **Previsão de tempo**. Curso Técnico de Meteorologia, Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina.
- SILVA, F. das N.R. **Utilização de um modelo de circulação geral da atmosfera para previsões sazonais: sensibilidade a dois esquemas de convecção e a duas resoluções espaciais**. 2005. 133 p. Tese (Mestrado) - COPPE/UFRJ, 2005.

Glossário

Condições de fronteira lateral: modelos numéricos regionais (também chamados de modelos de área limitada) representam apenas porções do globo. Assim, esses modelos a cada tempo de integração (resolução das equações) necessitam ser “alimentados” nas fronteiras (laterais) por dados provenientes de modelos globais.

Condições iniciais: dados de atmosfera (pressão, temperatura, umidade, ventos e altura geopotencial, por exemplo) espaçados em pontos de grade e em vários níveis verticais de um determinado instante que são fornecidos aos modelos numéricos para poderem realizar as previsões do estado futuro da atmosfera.

Modelo numérico global: simulam as condições atmosféricas de todo o planeta.

Modelo numérico regional: simulam as condições atmosféricas em pequenas regiões do planeta.

Modelo numérico: conjunto de equações matemáticas que representam os processos físicos na natureza.

Previsão de clima: prever, por exemplo, se uma dada estação do ano será mais seca ou chuvosa, quente ou fria comparada ao valor médio climatológico.

Previsão do tempo: previsão de até uma semana das condições atmosféricas. O objetivo é saber quando e onde irá chover, por exemplo.

Previsão por conjunto: no inglês recebe o nome de ensemble; corresponde a várias simulações executadas para um mesmo período, mas condições iniciais ligeiramente diferentes em cada simulação.