

600231 → Inscrigão



PROCESSOS FÍSICOS ASSOCIADOS AOS SISTEMAS DE TEMPO E CLIMA

No planeta, as áreas tropicais possuem excesso de energia, enquanto as áreas polares apresentam déficit de energia. Este é o principal mecanismo físico associado aos movimentos dos fluidos (ar e água), que dá origem aos fenômenos meteorológicos. A precipitação é uma das principais variáveis moduladas pela frequência e intensidade desses sistemas atmosféricos. Nesse contexto, ressalta-se aqui a influência dos principais sistemas de tempo e clima na precipitação sobre a América do Sul,

→ Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A ZCIT é o principal fenômeno causador de precipitação no extremo norte do Brasil entre o final do verão e início do outono. O sistema é comumente identificado em imagens de satélite como um cinturão de nuvens convectivas ao redor da porção equatorial.

Seus principais mecanismos físicos relacionados são: Zona de Confluência da Alísia^(ZCA), cavado equatorial, área de máxima temperatura da superfície do mar (TSM) e máxima convergência de massa. Em geral, a ZCA posiciona-se sobre o cavado equatorial e a maior cobertura de nuvens da ZCIT se estabelece ao sul dessa área no Hemisfério Norte. Já no Hemisfério Sul, essa banda de nuvens situa-se especialmente a norte da ZCA.

→ Linhas de Instabilidade (LI) na Amazônia

As LIs propagam-se da costa norte da região Norte do Brasil para o interior do continente. O principal processo físico envolvido é o aquecimento terrestre interagindo com a brisa marítima, modulando sua variabilidade diurna. As LIs são importantes no balanço energético, extraíndo calor da camada limite planetária e redistribuindo na ①

600 23 1 → Insuflação



alta troposfera. As LIs são altamente influenciadas pela presença da ZCIT. Além disso, os fluxos ascendentes associados à evapotranspiração da Amazônia contribuem para a manutenção de sua estrutura termodinâmica.

→ Vórtices Ciclônicos de Alto Níveis (VCANs)

Os VCANs são mais comuns na região Nordeste do Brasil no decorrer do verão. Sua gênese acontece nos altos níveis da troposfera e é praticamente estacionário. O discreto deslocamento dos VCANs se dá no sentido leste-oeste num intervalo de 4 a 11 dias, em média.

Os VCANs podem ser do tipo Palmín ou Palmer, sendo o primeiro com origem em regiões ^{sub}tropicais e o último em áreas tropicais. A presença do VCAN e da Alta da Bolívia configura um dos principais padrões de circulação atmosférica no verão da América do Sul, sendo eles originados pelas frentes físicas termodinâmicas na região tropical.

Os VCANs possuem movimentos descendentes no centro (supressão da precipitação) e ascendentes em sua periferia (principalmente à oeste), onde há precipitação mais acentuada.

→ Ondas de Leste ou Distúrbios Ondulatórios de Leste (OOLs)

As OOLs se propagam de oeste para leste dentro do escoamento dos ventos alísios em níveis de 850 a 750 hPa. Seus principais mecanismos físicos de formação estão associados à instabilidade barotrófica e baroclínica do jato africano e seu correspondente cisalhamento do vento entre 300 e 600 hPa. Em áreas mais equatoriais do Atlântico Norte, as OOLs podem dar origem a tempestades tropicais e furacões.

→ Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

Em regiões tropicais e subtropicais, quando há uma oscilação entre regiões chuvosas e áridas associadas a uma reversão sazonal dos ventos, há um padrão de monções. (2)

600231 → Inércias



O processo físico mais relevante em uma circulação de monções é o aquecimento diferenciado entre os oceanos e continentes, devido aos seus distintos valores de calor específico. Durante o verão, o continente se aquece mais rapidamente gerando um centro de pressão relativamente baixa em comparação com o oceano. Dessa forma, há um gradiente de pressão orientado oceano-continente. O ar quente e úmido oriundo do oceano ascende sobre o continente e a liberação de calor latente contribui para a convergência expressiva. Esse ar diverge em altos níveis, descendendo sobre os oceanos e fechando a célula de circulação. Esse é o principal panorama de circulação norte-sul das monções na Ásia. Aqui na América do Sul, há um padrão de circulação leste-oeste, com algumas particularidades.

No verão austral, as ventos alísios de Nordeste penetram na região tropical da América do Sul e por conservação de vorticidade absoluta e bloqueio das Cordilheiras dos Andes, esse fluxo é direcionado para sudoeste. A umidade do oceano Atlântico é reforçada pela evapotranspiração da Amazônia e é direcionada para o interior central do continente por meio do fato de baixos Níveis, oriundo uma circulação predominante de quadrante oeste em baixos níveis (900hPa). A Alta da Bolívia situa-se a sudoeste da máxima precipitação como resposta das forçantes termodinâmicas tropicais. No outono e no inverno, com a maior incursão de sistemas frontais, essa umidade é recuada para a Amazônia, há um aumento da pressão sobre o continente e a circulação é predominantemente de quadrante leste em 900hPa, fechando assim o ciclo leste-oeste do SMAS.

O SMAS começa a se desenvolver nos meses de setembro e outubro sobre o oeste da Amazônia e migra rumo ao sudoeste entre outubro e novembro. Nos meses de verão, há o pico das acumuladas pluviométricas associadas ao calor e à umidade. No outono, começa a degeneração do SMAS. (3)

000 233 → Inscrição



O principal padrão observado durante o SMAS é a presença de uma banda de nuvens orientada no sentido noroeste-sudeste, chamada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A passagem de frentes frias no verão é relacionada com o estabelecimento da ZCAS que habitualmente se estende até o oceano Atlântico Sul.

Em geral, frentes (frentes) ZCAS estão relacionadas com aumento (redução) da chuva no Sul do Brasil, num efeito denominado "gangorra" por alguns pesquisadores. O início (fim) do SMAS se dá especialmente pela redução (aumento) da pressão sobre o continente em função do afastamento (aproximação) do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Eventuais deficiências da chuva associada ao SMAS podem ocorrer em virtude da intensificação do ASAS, geralmente devido à propagação de trens de ondas de Rossby, como ocorreu no verão de 2014, quando o ASAS atuou como um bloqueio atmosférico. Vale ressaltar que pela definição formal, um bloqueio atmosférico é um sistema de alta pressão quase-estacionário em torno da latitude de 45° , que interrompe a progressão normal dos sistemas sinóticos transitórios de oeste para leste.

→ Jato de Alta Níveis (JAN)

Os JANs localizam-se entre 9 e 33 km de altura, com máxima velocidade do vento em seu núcleo. Ele pode ser dividido em Jato Subtropical (JS) e Jato Polar (JP). O JS está relacionado ao ramo descendente do cilió de Hadley e à conservação do momento angular em corpos em rotação (um corpo que se afasta do equador, se aproxima do eixo de rotação da Terra e aumenta a velocidade dos ventos de oeste). Os JPs são mais variáveis quanto à posição e estão diretamente relacionados ao gradiente de temperatura horizontal em superfície (fontes e massas de ar), o que origina também um gradiente de pressão em altas níveis, gerando o jato.



→ Ciclones

Os ciclones são fenômenos atmosféricos muito importantes na condução de calor, umidade e movimento. Os ciclones extra-tropicais são os mais comuns na América do Sul e estão associados a sistemas frontais. As áreas de maior incidência são norte da Argentina, Uruguai e região Sul do Brasil.

Em termos físicos, o ciclone se dá por uma zona de descontinuidade entre massas tropicais e polares. Os ciclones evoluem para a fase madura e oclusa, quando a frente fria se sobrepõe à frente quente. A conversão de energia potencial em energia cinética ocorre devido à baroclínia existente (gradiente horizontal de temperatura), o que provoca o movimento circular.

→ Frentes Frias

As frentes frias são os sistemas atmosféricos mais comuns na América do Sul e se deslocam de sudeste para nordeste. Além da precipitação associada, outros atributos incluem: aumento da pressão atmosférica, queda de temperatura e ventos de quadrante sul. As frentes frias ocorrem com frequência das altas para as baixas latitudes e são mais comuns entre abril e outubro.

Algumas pesquisas descrevem alguns fatores físicos relacionados à passagem de frentes frias, como: aumento da pressão sobre o continente, movimentos subsidentes em 300hPa, ventos de norte na área de confluência nos oceanos, advecção de vorticidade absoluta sobre a região Sul do Brasil. É comum durante o inverno a ocorrência de geadas nas regiões Sul e Sudeste e o fenômeno da friagem na Amazônia.

A circulação pré-frontal é bastante comum no litoral de região Sudeste do Brasil. Ventos de sul/sudeste fomentam o aumento da umidade na baixa troposfera dessas zonas costeiras. O ar frio e úmido se condensa por ser forçado a subir e ocasiona chuvas comumente contínuas, de nuvens estratiformes.

600238 → Insoyção



→ Jato de baixos Níveis da América do Sul (JBNAS)

Como já descrito anteriormente como um componente do SMAS, o JBNAS encontra-se (exorre) a leste dos Andes em uma altura de aproximadamente 3 km. Alguns outínios foram definidos para sua caracterização, como o cisalhamento do vento de pelo menos 6 m/s entre 850 e 700 hPa. A saída do JBNAS modula a convergência em sua área de atuação.

→ Complexos Convectivos de Mesoscala (CCMs)

Os CCMs são a classe mais energética dos Sistemas Convectivos de Mesoscala (SCMs), que também incluem as linhas de instabilidade. A saída do JBNAS modula a frequência e a intensidade dos CCMs, especialmente no acoplamento com a entrada equatorial e a saída sobre o JAO, sendo pelo vetor α . Além disso, a passagem de frentes frias e a influência do fluxo catabático dos Andes contribuem para a manutenção dos CCMs.

Alguns outínios também foram especificados para sua determinação, como a temperatura de brilho nas imagens de satélite e sua excentricidade (Madden 1980). Os CCMs, habitualmente, se formam entre o final da tarde e início da noite, ganham intensidade na fase madura entre noite e madrugada, e decaem em intensidade pela manhã, quando cessa o fluxo de umidade que o alimenta.

→ Teleconexões e Influências no Clima

Teleconexões explicam como perturbações atmosféricas em certas áreas podem influenciar regiões remotas através da propagação de trens de onda. Os fenômenos mais conhecidos ocorrem em escala intrasezonal (Oscilação de Madden-Julian) e interanual (El Niño - Oscilação Sul). A OMS é uma circulação zonal equatorial de 30-60 dias que modula o movimento da célula de Walker. ENSO é uma interação oceano-atmosfera caracterizada por alterações nos ventos, pressão e fluxos de calor ^{TSM} na região do Oceano Pacífico Equatorial e que influencia o clima em diversas áreas. (6)

TÉCNICAS OBSERVACIONAIS IN SITU E REMOTAS PARA PREVISÃO DE TEMPO, SAZONAL E PROJEÇÃO CLIMÁTICA

→ Introdução

Para a concepção de estudos diagnósticos e prognósticos de tempo e clima, faz-se necessário um amplo sistema de observações meteorológicas sobre continentes e oceanos, vários níveis verticais e em intervalos de tempo suficiente para acompanhar fenômenos atmosféricos. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) coordena atividades de operação e pesquisa na meteorologia e possui um departamento chamado Vigilância Meteorológica Mundial (VMM), do inglês "World Weather Watch (WWW)". Nesse contexto, faz-se necessário conhecer sua estrutura e sua importância para modelos numéricos.

→ Vigilância Meteorológica Mundial (VMM)

A VMM engloba 3 principais sistemas para coordenar o sistema de observações meteorológicas em todo o globo:

- Sistema Global de Observações (SGO) → inclui todos os instrumentos e métodos para realização de observações meteorológicas em todo o mundo.
- Sistema Global de Telecomunicações (SGT) → inclui técnicas para a coleta, armazenamento e troca de informações (observações) entre todos os membros da OMM.
- Sistema Global de Processamento de Dados e Serviço (SGPD) → garante que todas as análises e previsões feitas no planeta estejam disponíveis.

→ Tipos de Observações (Técnicas Observacionais)

- Estações de Superfície

Segundo a OMM, há cerca de 33 mil estações de superfície em todo o globo. Essas informações incluem dados METAR (de aeródromos), SHIP (de navios) e SYNOP (das demais estações de superfície). Um técnico treinado, geralmente um observador meteorológico, faz as medições nos horários pré-determinados (00, 06, 12 ou 18 UTC), enquanto as estações automáticas enviam os dados automaticamente para computadores.

000233 → Insucação



Handwritten initials and a signature, possibly 'A-17'.

Essas observações realizadas em horários determinados auxiliam na realização de mapas sinóticos que permitem diagnosticar o tempo e inferir o tempo futuro.

As estações convencionais possuem sensores para medição de diversas variáveis meteorológicas através de instrumentos como termômetros, pluviômetros, heliógrafo, psicrômetro, barógrafo e evaporímetro. Essas estações convencionais são um abrigo com devida ventilação e que protege alguns dos instrumentos da luz do Sol. A porta do abrigo deve estar sempre voltada para o hemisfério em que ele está, para a luz do Sol não incidir diretamente no momento da abertura das portas. Além disso, o abrigo deve ser pintado de tinta branca com alta refletividade para evitar absorção de radiação solar.

As estações automáticas, ou simplesmente plataforma de coleta de dados (PCD) são torres ligadas a uma unidade de memória central para onde os dados são transmitidos automaticamente.

A OMM criou horários específicos baseados no meridiano de Greenwich para que todas as observações e análises fossem realizadas no mesmo momento. Isso facilita a confecção de mapas sinóticos fundamentados nos chamados horários UTC (do inglês 'Universal Coordinated Time') ou Zulu (Z), que são 00, 06, 12 e 18 UTC.

• Estações de Ar Superior

A sondagem da atmosfera até cerca de 30 km de altura é feita por meio de sondagens puxadas a balões. Elas são chamadas de estações de ar superior ou estações aerológicas. Trata-se de um equipamento dotado de sensores para temperatura, umidade e pressão com um pequeno transmissor preso a um balão inflado com gás hélio e geralmente monitorado por GPS (Global Position System).

Cerca de 2/3 das estações aerológicas realizam medições às 00 e 12 UTC, enquanto as demais realizam uma única vez ao dia. Como a velocidade de ascensão é por volta de 300 m/min, as sondagens são enviadas ⑧

600231 → Inscrição



cerca de 2 hora antes do horário de medição.

• Observações Marítimas e Aéreas

Em relação a observações marítimas, há cerca de 4000 em todo o mundo, incluindo boias de fundo (amarodadas) e de deriva, além de plataformas estacionárias fazendo medições atmosféricas (temperatura, umidade, vento, etc.) e oceânicas (TSM, salinidade, etc.).

A OMM informa que há em torno de 3000 aeronaves no planeta que disponibilizam informações meteorológicas como temperatura, pressão e vento.

• Observações por Satélites

Os satélites possuem sensores passivos, ou seja, que detectam a energia do espectro transmitida por uma dada superfície. As observações por satélite se diferenciam das demais observações de superfície por essas serem discretas (ou pontuais). Já o satélite conseguem capturar informações contínuas em uma área bem mais abrangente.

Os satélites podem ser divididos em geostacionários e polares. Os satélites geostacionários estão numa altitude de 35800 km acima da linha do equador com período orbital igual à rotação da Terra (24 horas), sendo muito úteis portanto no acompanhamento da formação e do desenvolvimento de sistemas meteorológicos. Já os satélites polares estão a uma altitude de cerca de 850 km e orbitam no plano norte-sul com ciclo total de 2 a 2 horas.

• Outras Plataformas de Observação

Os radares (Radio Detection and Ranging) emitem micro-ondas de alta frequência na atmosfera (sensores ativos). Quando essa energia encontra um obstáculo (como gotículas de água e cristais de gelo), parte do sinal é refletido ao radar (eco). Fazendo uma relação entre a intensidade do sinal emitido e recebido, é possível estimar a intensidade da precipitação.

O SODAR (Sonic Detection and Ranging) e o LIDAR (Light Detection and Ranging) tem funcionamento similar ao radar, mas através de ondas acústicas e visíveis, respectivamente.

600233 → Inserções



• Inerções Associadas às Observações

Alguns erros associados à observação ou ao próprio instrumento podem acontecer no momento da medição e da transmissão dos dados. Assim, valores promíscuos (ou outliers) precisam ser removidos para os próximos passos em que as observações são utilizadas. Peixoto e Oort (1992), por exemplo, sugerem a exclusão de dados que ultrapassem 4 vezes o desvio-padrão de uma determinada variável numa série temporal.

• Preparação dos Dados Observados

As estações e observações meteorológicas em todo o globo são bastante irregulares, havendo, por exemplo, uma boa cobertura de dados nos Estados Unidos e na Europa e menor cobertura na América do Sul e na África. Dessa forma, esses dados exigem passar por técnicas matemáticas associadas à teoria da estimagem para que as informações fiquem distribuídas de maneira mais homogênea e de modo que sejam fisicamente consistentes com a realidade da atmosfera. Isso comumente é feito para grades regulares, num processo conhecido como assimilação de dados, ou simplesmente análise. Essa análise servirá como condição inicial para os modelos numéricos atmosféricos, que através de equações que representam uma aproximação do movimento atmosférico, poderão inferir o tempo ou clima futuro.

Esses mesmos dados observados podem ser analisados para períodos pretéritos em um mesmo esquema de assimilação de dados e mesosca estrutura de modelo, para a geração de campos e variáveis atmosféricas convencionais e não-convencionais (que não podem ser observadas diretamente, como geopotencial e vorticidade). Esse processo é chamado de análise retrospectiva ou reanálise, sendo muito útil para pesquisas climáticas, incluindo avaliação de modelos, estudos de variabilidade climática, entre outros. 10



A 18

→ Previsão de Tempo e Clima

Até aqui, notou-se a relevância dos dados observados para os modelos numéricos atmosféricos que realizam as previsões de tempo e clima. Relembrando a história, a primeira previsão bem-sucedida só pôde ser realizada com um esquema automático de assimilação de dados e um modelo que representasse as equações que governam o escoamento atmosférico (conservação de massa, energia, água, movimento, equação de estado). Isso ocorreu na década de 1950 com o Electronic Numerical Integrator Computer (ENIAC) nos Estados Unidos. Desde então, melhorias em termos computacionais e observacionais vem permitindo um gradual aprimoramento das previsões.

Portanto, para se realizar uma previsão de tempo ou clima, há o seguinte princípio: a partir de um estado inicial da atmosfera (análise), pede-se inferir o tempo ou clima futuro (previsão) através de equações de um modelo numérico. Dessa maneira, a previsão divide-se em 3 etapas principais: análise, previsão e pós-processamento.

Análise → como visto, é a etapa da assimilação de dados. Os dados observados são processados através de programas computacionais para os modelos. A tarefa é difícil, pois envolve um grande número de observações que não necessariamente foram medidas no mesmo horário. Aqui, frequentemente, utiliza-se também a previsão anterior do modelo (background ou first guess).

Previsão → é a solução das equações que governam o escoamento atmosférico. Sua resolução espacial é dada em função do espaçamento latitude x longitude e sua resolução temporal em virtude dos intervalos de tempo em que as variáveis para cada elemento volumétrico do modelo são calculadas.

Pós-processamento → atinidades com os dados de saída dos modelos, como a elaboração de mapas e boletins informativos.



De fato, os modelos como os de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) são códigos computacionais que calculam a previsão de tempo para 7 a 10 dias à frente, ou a previsão climática para a próxima estação do ano. E até mesmo, com base em informações de gases de efeito estufa, uso do solo e outros, projeção de mudanças climáticas para as próximas décadas.

Contudo, há incertezas quanto à observação e às aproximações feitas pelos modelos numéricos. Além disso, há incertezas associadas às técnicas de assimilação de dados e às áreas onde não há observação. Necessita-se um conhecimento ainda mais profundo da atmosfera e melhores meios computacionais e observacionais. Entretanto, a maior incerteza reside na natureza caótica da atmosfera.

Em 1963, Edward Lorenz definiu que a atmosfera possui um limite teórico de previsibilidade de 2 semanas. Lorenz identificou que sistemas dinâmicos (estado que evolui no tempo), não-lineares (pode adquirir múltiplos sentidos) e determinísticos (estado final depende das condições iniciais) são imprevisíveis a longo prazo, como a atmosfera. Pequenas diferenças nas condições iniciais podem levar a previsões completamente divergentes umas das outras. Os erros se propagam no tempo, assim como os arredondamentos nos cálculos numéricos.

→ Previsão de clima

Mas então como seria possível fazer previsões para os próximos meses, dada a natureza caótica da atmosfera? As previsões climáticas não se preocupam com o valor exato nem do local e numa determinada data, mas sim com os valores médios ou tendências médias de circulação, por exemplo. Isso poderia influir mais ou menos precipitação, por exemplo. Além disso, o clima depende das chamadas condições de contorno, que evoluem lentamente no tempo cronológico, como a TSM, a umidade do solo, etc.



Essas condições influenciam a previsão climática. Por exemplo, as regiões Norte e Nordeste do Brasil possuem uma previsibilidade climática maior do que a de tempo. Mudanças de TSM na porção equatorial do planeta influenciam células de circulação zonal (Walker). Já em termos meteorológicos, o domínio da termodinâmica em escalas espaciais e temporais reduz a eficácia da previsão. Já na região Sul, a previsão de tempo é melhor em função dos sistemas sinóticos transitórios mais regulares, melhor capturados pelas observações e pelos modelos numéricos atmosféricos. A previsibilidade climática é considerada média, pois esses sistemas de maior frequência competem com as variações lentas das condições de contorno.

→ Projeção Climática

O estado da arte em modelagem são os Modelos do Sistema Terrestre que, além de representar as complexas interações entre os membros do sistema terrestre (atmosfera, biosfera, criosfera, geosfera e hidrosfera), incluem também ciclos biogeoquímicos e vegetação dinâmica, especialmente para projeções de mudanças climáticas para as próximas décadas. Aqui, os modelos são avaliados no chamado "clima presente" por meio das observações meteorológicas, buscando representar de melhor maneira os principais aspectos espaciais e temporais (sazonais) das variáveis climáticas.

Com base em cenários propostos pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), como os Representative Concentration Pathways (RCPs, do 5º relatório), os modelos são rodados até o final do século XXI, buscando-se analisar as tendências das principais variáveis climáticas ao longo das próximas décadas. Contudo, a incerteza associada aos próprios cenários e às estruturas dos modelos, exige que essa incerteza seja quantificada, principalmente por meio da previsão por conjunto (ensemble).



PREVISÃO POR CONJUNTO (ENSEMBLE)

Como apresentado nos Temas anteriores, necessitamos de um bom conjunto de observações meteorológicas para tentar elaborar uma boa previsão de tempo ou clima. Contudo, diversos incertezas envolvem uma previsão, como as observações (instrumentos), seu processamento, a aproximação das equações que representam a atmosfera, além das próprias técnicas de assimilação de dados. Contudo, uma das maiores limitações é a natureza caótica da atmosfera.

A B
A-

Para tentar minimizar o efeito do caos, uma técnica conhecida como previsão por conjunto (ensemble forecasting) vem sendo utilizada. Basicamente consiste em "rodar" o mesmo modelo numérico para um conjunto de condições iniciais ligeiramente distintas para se avaliar a taxa de divergência das previsões (members) e informá-la em termos probabilísticos.

→ Características de uma Previsão por Conjunto

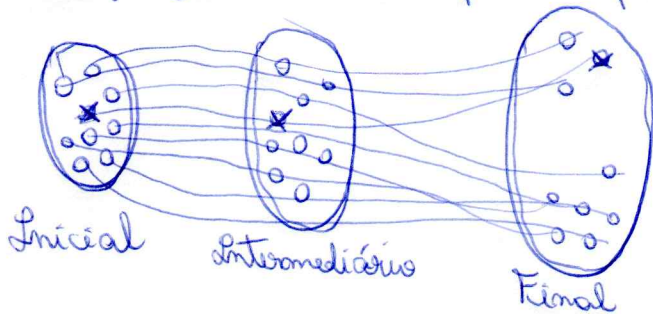
Previsões em escala sinótica ~~de~~ possuem boa performance geralmente para 7 a 10 dias (variando para mais ou menos, dependendo da condição atmosférica, como passagens suaves de sistemas frontais ou o estabelecimento de um bloqueio atmosférico). Em mesoescala, esse limite é ainda menor, uma vez que mais incertezas passam a ser consideradas. Previsões em ambas as escalas podem ser ainda mais úteis se aspectos de distribuições de probabilidades das previsões puderem ser apresentadas e informadas, justificando-se assim o uso de uma previsão por conjunto.

Essas questões foram ressaltadas há muitos anos (décadas de 1950 e 1960), quando pesquisadores como Eric Eady (autor do modelo baroclínico), Charney e Lorenz mostraram que as perturbações crescem exponencialmente nas previsões. Nesse momento, uma primeira abordagem dinâmica-estatística era feita para as previsões de tempo e clima. Afinal, qualquer sistema dinâmico parte de uma indeterminação, mas quando suas condições iniciais são conhecidas, ele é determinístico.



L B
A -

Nesse contexto, uma previsão por conjunto envolve um conjunto de condições iniciais perturbadas (aleatoriamente ou não). O desenho abaixo é de Wilks (2013), mostrando uma exemplificação de uma previsão por conjunto.



Cada círculo indica um membro de uma dada previsão por conjunto (condições iniciais ligeiramente distintas). O X denota a média das condições iniciais.

Nota-se que a dispersão é pequena entre os cenários inicial e ~~intermediária~~ ^{intermediária}. Isso mostra que uma aproximação de Monte-Carlo (amostras aleatórias para obtenção de resultados numéricos) μ , de certa forma, uma abordagem da previsão por conjunto. Contudo, entre os cenários intermediária e final, as simulações divergem significativamente, assumindo uma representação física do modelo razoavelmente satisfatória. Isso comprova o que Palmer (1993) afirmou, que a média do ensemble é representativa até uma mudança brusca de padrão, assim como aparece no "outletor estranho" de Lorenz.

Esse fato também mostra que a média dos membros das condições iniciais nunca será igual à média das previsões finais do conjunto; ou seja:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i) \neq f\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\right)$$

onde n é o número de membros, $f(x_i)$ a previsão e x_i as condições iniciais.

Assumir uma média das previsões seria assumir um conjunto com distribuição normal, onde a média é a máxima probabilidade, o que não é verdade.

→ Tipos de Ensemble

- Condições Iniciais
- * Brind Vector (Vetores de Crescimento)
- * Vetores Impulsivos
- * Múltiplas Assimilações de Dados
- * Perturbação por Funções Ortogonais Empíricas

Em geral, identifica-se as perturbações de máximo crescimento durante as previsões para ajuste da análise. (15)

• Parametrizações

Uma previsão por conjunto também pode ser realizada por meio da adoção de diferentes conjuntos de parametrizações, por exemplo, de convecção ou microfísica das nuvens. Esse tipo de parametrização é especialmente adotado em previsões de mesoescala, onde fatores que variam em escalas espaciais e temporais menores podem ser determinantes para certas variáveis atmosféricas, como os volumes de chuva numa dada região em um determinado dia.

• Multi-Modelo

A previsão por conjunto pode ser explorada também através do emprego de distintas estruturas de modelos numéricos atmosféricos. Assim, explora-se também simultaneamente diferentes condições iniciais e distintos esquemas de parametrização. Um uso bastante conhecido deste tipo de previsão por conjunto é em projeções de mudanças climáticas, onde diversos modelos de vários centros de pesquisa são adaptados para gerar as cenários.

• Combinação dos Métodos

Por fim, há a possibilidade de embeber os diferentes tipos de previsão por conjunto, incorporando a incerteza das condições iniciais, os diferentes esquemas de parametrização de alguns processos, assim como as distintas estruturas de modelos numéricos.

→ Avaliação do Desempenho do Ensemble

O Diagrama Talagrand (ou Rank Histogram) pode ser utilizado para verificar a performance de uma dada ^{técnica de} previsão por conjunto. Os valores das variáveis prognosticadas são distribuídos conforme o número de membros da previsão. As variáveis observadas são contabilizadas e "rankeadas" no histograma. Histogramas iguais indicam bom desempenho do ensemble. Histogramas na forma de U indicam pouco espalhamento dos membros, enquanto A indica espalhamento excessivo.



600 23 2 → Inscricao



Portanto, a grande vantagem de uma previsão por conjunto é considerar uma previsão probabilística (onde pode-se avaliar a previsibilidade) do que uma única previsão determinística. Previsões (membras) mais (menos) divergentes possuem menor (maior) previsibilidade.