1. Classificação *INPE-COM.4/RPE* *C.D.U: 551.509.324*	2. Período	4. Distribuição interna ☐ externa X
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) *PRECIPITAÇÃO* *PREVISÃO QUANTITATIVA*		
5. Relatório nº *INPE-1809-RPE/177*	6. Data *Junho, 1980*	7. Revisado por *Yoshihiro Yamazaki*
8. Título e Sub-Título *PREVISÃO QUANTITATIVA DE PRECIPITAÇÃO*		9. Autorizado por *Nelson de Jesus Parada* *Diretor*
10. Setor *DME* Código		11. Nº de cópias *09*
12. Autoria *Luiz Carlos Baldicero Molion* *Eduardo Engel* 13. Assinatura Responsável		14. Nº de páginas *13* 15. Preço

16. Sumário/Notas

A previsão da quantidade de chuva a ser precipitada (QPF: Quantitave Precipitation Forecast), de um sistema sinótico ou convectivo, é de interesse para diversos campos de atividades e de suma importância econômica, como geração de energia hidroelétrica, operação de barragens, previsão de enchentes e agricultura, entre outras. Este trabalho apresenta uma revisão dos métodos empregados para QPF, incluindo os mais recentes, os quais utilizam modelos numéricos de previsão de tempo, imagens de satélites meteorológicos geoestacionários e ecos de radar. Apresenta-se, também, a situação atual do Brasil no campo e uma alternativa de implantação operacional de QPF no país, com os recursos disponíveis.

17. Observações *Submetido a 32º Reunião Anual da SBPC. Julho de 1980 e à Revista de Hidrologia e Recursos Hídricos da Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos ABRH - C. Postal 50026, 20000 Rio de Janeiro, RJ.*

1809

PREVISÃO QUANTITATIVA DE PRECIPITAÇÃO

L.C.B. Molion e E.Engel

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq
São José dos Campos - SP

RESUMO -- A previsão da quantidade de chuva a ser precipitada (QPF: Quantitative Precipitation Forecast), de um sistema sinótico ou convectivo, é de interesse para diversos campos de atividades e de suma importância econômica, como geração de energia hidroelétrica, operação de barragens, previsão de enchentes e agricultura, entre outras. Este trabalho apresenta uma revisão dos métodos empregados para QPF, incluindo os mais recentes, os quais utilizam modelos numéricos de previsão de tempo, imagens de satélites meteorológicos geostacionários e ecos de radar. Apresenta-se, também, a situação atual do Brasil no campo e uma alternativa de implantação operacional de QPF no país, com os recursos disponíveis.

ABSTRACT -- The forecast of the amount of rain to be produced by a sinoptic or convective weather systems (QPF: Quantitative Precipitation Forecast) is of interest for several human activities, such as generation of hydroeletric power, reservoir operation, flood forecast and agriculture. This work, presents a review of methods used for QPF, including those which employ numerical weather prediction models, meteorological satellite imagery and radar echoes. An outlook of Brazil's position in this field and an alternative for establishing an operational QPF in the country, with the actual resources are also discussed.

PREVISÃO QUANTITATIVA DE PRECIPITAÇÃO

L.C.B.Molion e E.Engel

INSITITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNCOLOGICO - CNPq
São José dos Campos - SP

INTRODUÇÃO

Na produção de energia hidroelétrica, é de grande interesse o conhecimento da vazão futura, afluente ao reservatório. Tal afirmativa, decorre principalmente de característica conflitantes de que se reveste a geração de energia e a segurança de barragem.

Atualmente, o dimensionamento de vertedores ou comportas de emergência, baseia-se entre outros, no hidrograma de Vazões Máximas Prováveis (VMP) estimado a partir de uma configuração de Precipitações Máximas Prováveis (PMP), sobre a bacia hidrográfica que alimenta os reservatórios.

Tradicionalmente, o citado dimensionamento era feito a partir do hidrograma decamilenar (valor central), em se tratando de grandes barragens.

A comparação entre o hidrograma VMP e o hidrograma decamilenar pode eventalmente resultar em substancias aumentos dos volumes de espera para laminação de hidrograma VMP, em prejuízo dos volumes de reservação alocados para outras finalidades. Convém lembrar, outrossim, que o problema de revisão dos volumes de espera, para fins de segurança de grandes barragens, decorre também da disponibilidade de séries históricas de vazões afluentes aos reservatórios, ampliadas, relativamente, às disponíveis, por ocasião do projeto daquelas obras.

As soluções estruturais (aumento da capacidade dos extravasores) são dispendiosas, sugerindo a busca de alternativas, ditas não estruturais, para preservação da segurança das obras. Estas, espelhadas na alocação de volume de espera superiores aos projetados quando da concepção de obra, são usualmente de menor custo, comparadas à ampliação da capacidade de vertedura. Permitem ainda a introdução de meios eficazes de diminuição do custo (perda de geração), seja através da operação de reservatórios (a partir de um maior controle nas vazões afluentes aos reservatórios) , ou de utilização da previsão hidrológica.

A disponibilidade de estimativas de precipitação futura, feitas através da previsão meteorológica e com antecedência adequada, permite uma operação com volumes de espera inferiores aos preconizados, restabelecendo-os quando a previsão meteorológica aliada à previsão de vazões assim o determinarem.

A previsão do tempo, isto é, a previsão do futuro estado atmosférico, surge, então, como um fator importante de decisão, pois é ela quem pode dar indicações sobre uma taxa de precipitação mais realista. O volume de água, gerado por uma precipitação que atinge a superfície de uma bacia, depende, entre outros, de dois parâmetros: a intensidade e a duração de precipitação. A precipitação de origem convectiva local é, em geral, intensa, porém de curta duração, podendo atingir os valores críticos, próximos de PMPs (Precipitação Máxima Provável), para bacias hidrográficas de menor porte (<5.000 km^2). Em contraste, a precipitação associada a movimentos sinóticos de grande escala, também chamada "precipitação de origem frontal", pode apresentar grande intensidade, mas sua característica é a longa duração. Esse tipo de precipitação, portanto, pode assumir proporções comparáveis à de uma PMP para bacias hidrográficas de grande porte (>5.000 km^2).

PREVISÃO QUANTITATIVA DE PRECIPITAÇÃO

Além de dados precisos coletados por uma adequada e bem distribuída rede de observações, os modelos hidrológicos, especialmente os de simulação, necessitam de informações sobre as futuras possibilidades de precipitação, com suficiente períodos de antecedência, para avaliação de recursos hídricos. Estimativas confiáveis de quantidade de precipitação são, portanto, pré-requisitos fundamentais para precisões hidrológicas.

No estágio atual de desenvolvimento da Meteorologia, é possível se fazer previsão qualitativa confiável com 24 a 48 horas de antecedência, porém a previsão quantitativa de precipitação (QPF) ainda é praticamente impossível. Tentativas de previsão quantitativa de precipitação parecem ter começado em 1935, com a publicação dos trabalhos de Fulks, nos EEUU, e Takahashi, no Japão.

Os métodos de QPF encontrados na literatura podem ser divididos em três tipos: empírico, estatístico e físico.

Os métodos empíricos são baseados, fundamentalmente, na extrapolação das áreas existentes de precipitação e seus movimentos. A técnica é de aplicação a curto prazo, uma vez que a magnitude e intensidade das áreas de precipitação são altamente variáveis, tanto em espaço como em tempo. Tentativa de melhorar resultados obtidos levaram à utilização de certos parâmetros previsores que, em análises de situações passadas, demostraram estarem relacionados ao processo de precipitação, como por exemplo depressão do ponto de orvalho, cisalhamento vertical do vento, vorticidade, água precipitável, etc. Eles são relacionados à taxa apropriada de precipitação através de ábacos ou índices de precipitação. Exemplos desses métodos são os trabalhos de George (1960), Panofsky (1946) e Riehl (1952).

Os métodos estatísticos desenvolveram-se a partir dos métodos empíricos, usando as mesmas variáveis, porém, combinadas em equações de regressão que formam a base para a previsão de precipitação. Como uma equação de regressão só pode representar um pequeno número de parâmetros relacionados a pequenas áreas, não se pode obter, através dessa técnica, representação adequada das configurações da circulação atmosférica e seu desenvolvimento no tempo. O método tem, portanto, sua aplicação restringida à localidade de origem. Exemplos desses métodos estatísticos são encontrados nos trabalhos de Jorgensen (1953), Rapp (1949) e Thompson (1950).

Os métodos físicos são baseados nas equações do movimento e da termodinâmica. Os dois parâmetros principais relacionados à formação de nuvens e à precipitação são: a componente vertical da velocidade do vento e a disponibilidade de umidade. Consequentemente, esses métodos têm se preocupado em determinar os campos de movimento vertical e de umidade. A taxa de precipitação pode, então, ser obtida combinando esses dois campos através de um algoritmo de conexão. Os métodos sinóticos, usados anteriormente, combinavam estimativas de influxo de umidade em sistemas de pressão, produtores de convergência nos baixos níveis, movimentos ascendentes e subsidentes de massas de ar, relações entre campo de pressão e volume de precipitação, e os desenvolvimentos desses sistemas de pressão com o tempo. Esses métodos são bastante laboriosos e consumidores de tempo, pois implicam na construção de cartas sinóticas do tempo presente, em vários níveis, e de cartas previsoras (12, 24, 48 horas etc.) para os mesmos níveis, analisando áreas de precipitação, campos de pressão, vento, vorticidade e umidade, mantendo a consistência vertical nos vários níveis.

Atualmente, em países mais avançados, os modelos numéricos de previsão de tempo, baseados nas mesmas equações, produzem, através de rápidos computadores eletrônicos, os campos de movimento vertical e de umidade, e áreas e quantidade de precipitação associadas. Exemplos desses métodos são os trabalhos de Harley (1965), Miyakoda (1969) e Bellamy (1949).

Embora os métodos físicos sejam, teoricamente, bem fundamentados, na prática os resultados deixam a desejar, chegando a apresentar erros, muitas vezes, superiores a 100%. Essa falha acontece, em geral, devido a:

a) estimatvas inacuradas dos campos de movimento vertical e de umidade, e sua variação com o tempo; e,

b) conhecimento inadequado da física de formação de nuvens e de outros parâmetros, além do movimento vertical e da umidade, que tem papel importante na trasformação da umidade atmosférica disponível para a precitação.

A solução para tornar "QPF" operacional exige uma extensa rede aerológica - estações espaçadas, por exemplo de 500 km com um mínimo de 2 radiossondagens diárias - para uma boa cobertura espacial e temporal, computadores eletrônicos de grande porte e modelos numéricos multiníveis, adequados, de previsão de tempo. No caso da América do Sul, ainda ter-se-ia um outro problema: o continente é relativamente estreito ao sul de 20°S, com pequeno grau de continentalidade. Isto significa que, mesmo com uma boa rede aerológica sobre o continente, ainda faltariam informações sobre os oceanos, principalmente sobre o Oceano Pacífico, para inicialização e diagnose de modelos numéricos.

Felizmente, os modernos satélites meteorológicos dão ampla cobertura espacial e temporal, fornecendo informações das quais podem ser extraídos campos de: ventos, de temperatura e de umidade, além de perfis verticais de temperatura e de umidade, embora a precisão absoluta dessas medidas ainda não atinja aquela recomendada pela Organização Meteorológica Mundial.

ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO, UTILIZANDO-SE IMAGENS DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS

Dados de satélites geoestacionários, obtidos a cada 30 minutos, estão também, sendo utilizados para estimar precipitação de sistemas convectivos. Essas estimativas podem ser suplementadas por outros dados, porém, em muitos casos,

elas podem ser as únicas existentes, como por exemplo sobre áreas oceânicas ou regiões inabitadas.

A técnica mais conhecida é a de Scofield e Oliver (1977 a). Eles desenvolveram uma técnica que fornece, a cada meia-hora, ou a cada hora, estimativas de precipitação de sistemas convectivos, utilizando as imagens no infravermelho térmico e as imagens de alta resolução no visível. A técnica de Scofield/Oliver fundamenta-se em uma árvore de decisões que o analista utiliza para determinar as quantidades puntuais de precipitação. A técnica foi estabelecida para sistemas convectivos profundos, que ocorrem em massas de ar tropical com tropopausa elevada e, portanto, adequada para a região Sul do Brasil. Consiste em aplicar uma curva de realce, chamada Mb, às imagens no infravermelho, cuja característica é o realce do topo de células convectivas bem desenvolvidas.

A imagem apresentada na Figura 1 mostra o "range" de temperaturas associadas aos níveis de cinza da curva Mb: "cinza-médio" (-32 a -41°C) representa os topos mais quentes, enquanto que o "branco" (abaixo de -80°C) representa os topos mais frios e, portanto, células convectivas mais desenvolvidas. A parte ativa, à barlavento do sistema convectivo, está do lado A-A' da tempestade e a parte inativa, a sotavento, do lado B-B'. Note que o lado A-A' apresenta um forte gradiente de temperatura e é o mais frio, enquanto que a parte inativa, B-B', é mais quente, com gradiente mais fraco.

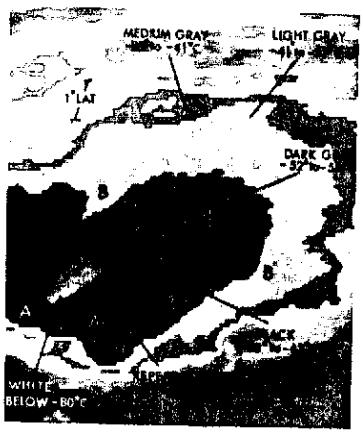


Figura 1 - Imagem no Infravermelho realçada com a curva-Mb para uma tempestade.

Fonte: McGINNIS et al. (1979).

A precipitação convectiva é estimada comparando as variações em duas imagens consecutivas, tanto no infravermelho como no visível. A técnica descrita em detalhes por Scofield e Oliver (1977 a) divide-se em três fases principais:

1) identificação da parte ativa do sistema convectivo;

2) estimativa inicial da precipitação, usando somente imagens realçadas no infravermelho; e,

3) pares sucessivos de imagens realçadas no visível e no infravermelho são examinados para detetar indícios adicionais, indicadores de precipitação intensa. Esses indícios incluem topos que estão crescendo rapidamente, células que se juntam, linhas de células convectivas que se aglomeram e "bigornas" que se expandem rapidamente.

Scofield e Oliver (1977 b) modificaram a técnica puntual para estimar a precipitação sobre as áreas. A Figura 2 mostra os resultados, de Scofield e Oliver, obtidos em tempo real, quando o furacão Dottie aproximava-se da costa da Carolina do Norte, nos dias 20 e 21 de agosto de 1976. As linhas contínuas são as isoietas estimadas a partir das imagens do satélite GOES, e os números, plotados esparsamente, são as precipitações observadas, com totais acumulados durante períodos de 6 horas (de Figura 2a a 2d) e de 24 horas (Figura 2e). Observa-se, na Figura 2, que, de um modo geral, as isoietas superestimaram as quantidades observadas, porém o núcleo de precipitação mais intensa foi detetado com grande precisão.

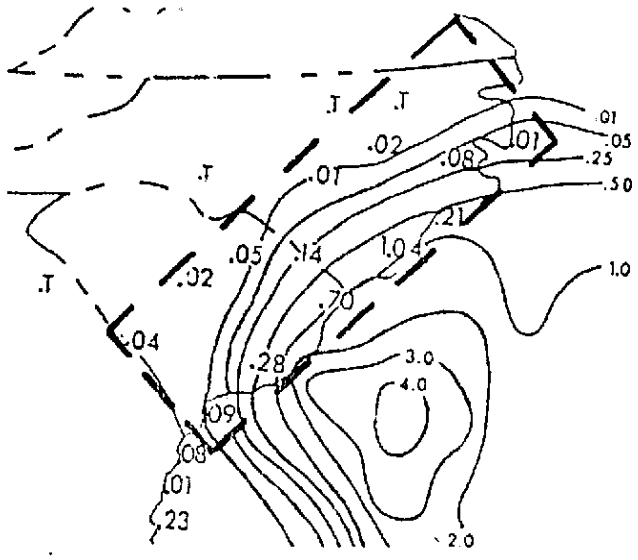
A Tabela 1, abaixo, mostra os totais médios, estimados e observados, sobre uma área de 120 x 360 milhas náuticas para os períodos de 6 horas e 24 horas para a mesma tempestade.

TABELA 1

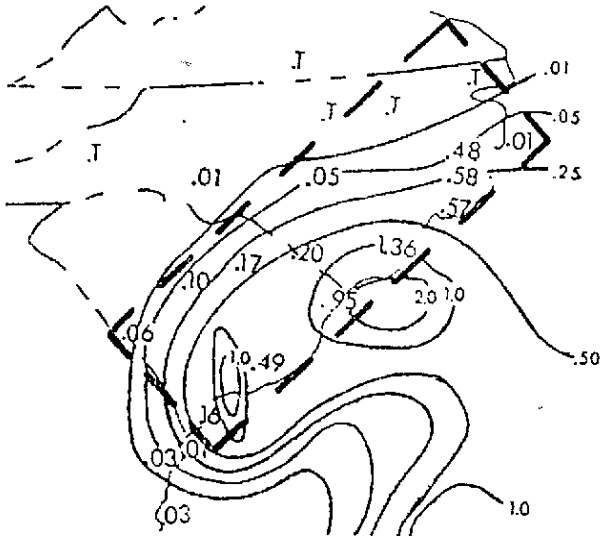
TOTAIS MÉDIOS ESTIMADOS POR SATÉLITES E OBSERVADOS POR REDE CONVENCIONAL
Fonte: SCOFIELD E OLIVER (1977 b)

20 - 21 agosto 1976 INTERVALOS DE TEMPO	1200 1800	1800 0000	0000 0600	0600 1200	1200 1200
Precipitação Média - observada sobre uma área de 120 x 360mn (em mm)	4.8	9.4	7.4	5.3	19.8
Precipitação Média - estimada sobre uma área de 120 x 360mn (em mm)	6.6	11.7	11.2	1.8	21.1
$\frac{\text{Estimada - Observada}}{\text{Estimada}}$ (%)	27	20	34	194	6

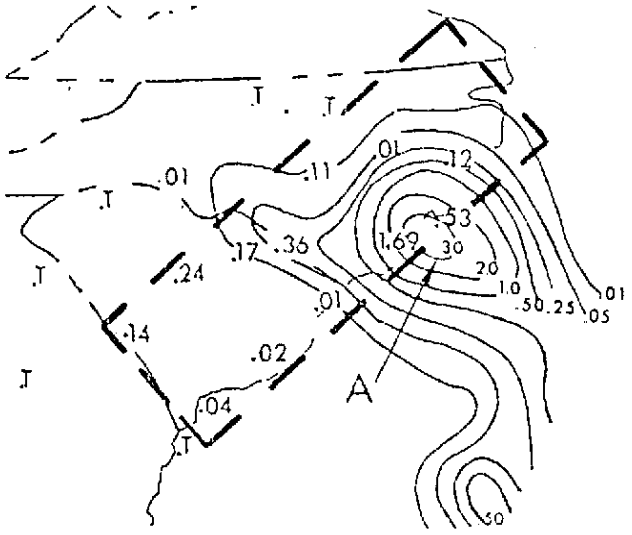
Nota-se que o erro, no total acumulado de 24 horas (última coluna), é de apenas 6% com relação ao total observado.



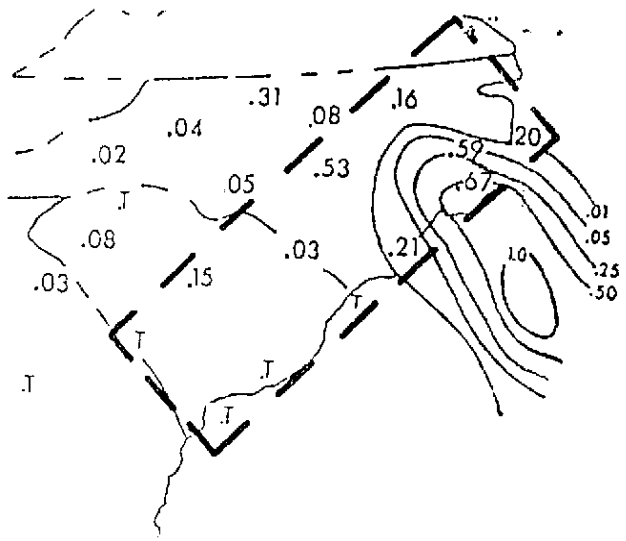
a. 1200-1800 GMT, 20 Agosto 1976.



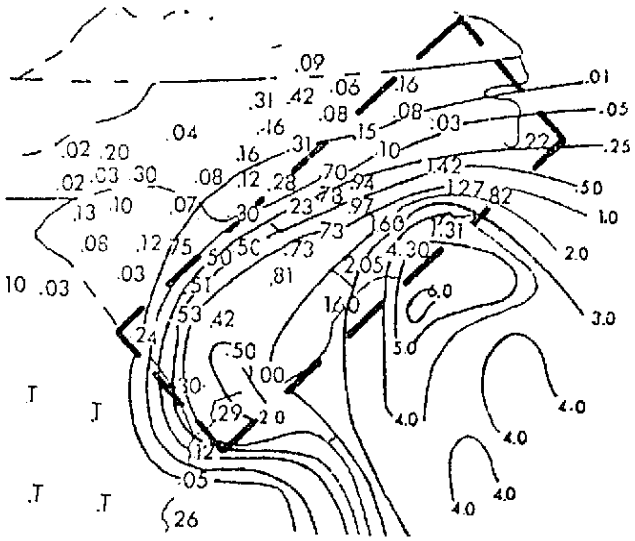
b. 1800-0000 GMT, 20-21 Agosto 1976.



c. 0000-0600 GMT, 21 Agosto 1976.



d. 06000-1200 GMT, 21 Agosto 1976.



e. 1200-1200 GMT, 20-21 Agosto 1976.

Figura 2 - Precipitação estimada e observada: as isolinhas representam as isoetas estimadas e os valores plotados são as precipitações observadas; os pontos localizam posições de observação. A altura de precipitação é dada em polegadas. A parte 2e é o total de 24 horas.

Fonte: SCOFIELD e OLIVER (1977b).

Lembrando-se de que erros em precipitação, captada por pluviômetros, podem atingir até -80% (Kurtyka, 1953), resta a dúvida de qual dos dois dados, estimado ou observado, melhor representa a realidade. Um outro exemplo de estimativa de precipitação em regiões tropicais é o trabalho de Stout et al. (1979). A precipitação é estimada de áreas com cobertura de cumulonimbos (Cbs), através da equação:

$$P = aA + b \frac{dA}{dt},$$

onde P é a precipitação volumétrica e A é a área coberta por cumulonimbos. Os coeficientes a e b são calculados pelo "best-fit", utilizando o método dos mínimos quadrados. As estimativas horárias, a partir das imagens no infravermelho, apresentaram boas correlações (coeficiente de correlação = 0,84) com os totais horários obtidos por radar para uma área de 10^5 km^2 (Figura 3).

Esses dois estudos demonstram que os produtos de satélites geoestacionários podem ser utilizados para uma boa previsão, se não quantitativa, pelo menos qualitativa, de precipitação. Muito embora existam restrições, quer espaciais quer temporais, esses produtos podem contribuir com informações úteis para solucionar os problemas de recursos hídricos de meso e macro escalas. Como as técnicas ainda são incipientes, elas deveriam ser mais apreciadas pela comunidade de hidrologistas e mais pesquisas deveriam ser desenvolvidas para torná-las ferramentas valiosas no manejo de recursos hídricos.

UMA ALTERNATIVA PARA IMPLANTAÇÃO DE QPF NO BRASIL

Em países mais adiantados, a previsão quantitativas de precipitação é um serviço prestado rotineiramente pelos Serviços Nacionais de Meteorologia. No Brasil, tal fato não ocorre. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, não divulga previsões que possam ser utilizadas para fins hidrológicos, mais especificamente, para operação de barragens. A CESP está implantando um Centro de Previsões Meteorológicas (CPM) que, se bem orientado e conduzido, poderá fornecer tais previsões, pelo menos para sua área de atuação, isto é, o Estado de São Paulo.

Para se estimar uma "precipitação provável" realista é necessário que se utilize informações coletadas em quatro escalas espaciais básicas, apresentadas a seguir.

Escala de bacia hidrográfica

Uma vez que se tem um modelo simulador de vazões, adequado à bacia em questão, uma rede bem distribuída de pluviômetros permite a avaliação do volume de precipitação sobre a bacia e sua consequente transformação, através do simulador, em vazão. Wiesner (1970) sugere uma densidade mínima de 1 (um)pluviômetro por 600-900 km^2 para áreas planas e 1 (um) por 100-500 km^2 para regiões montanhosas em zonas temperada e tropical. Convém lembrar que é necessário um cuidado extremo ao se estabelecer uma rede pluviométrica e utilizar suas observações, pois precipitação não é, como se pensa, um parâmetro fácil de ser medido. A Tabela 2, extraída de Kurtyka (1953), mostra as causas mais comuns dos erros e de suas magnitudes.

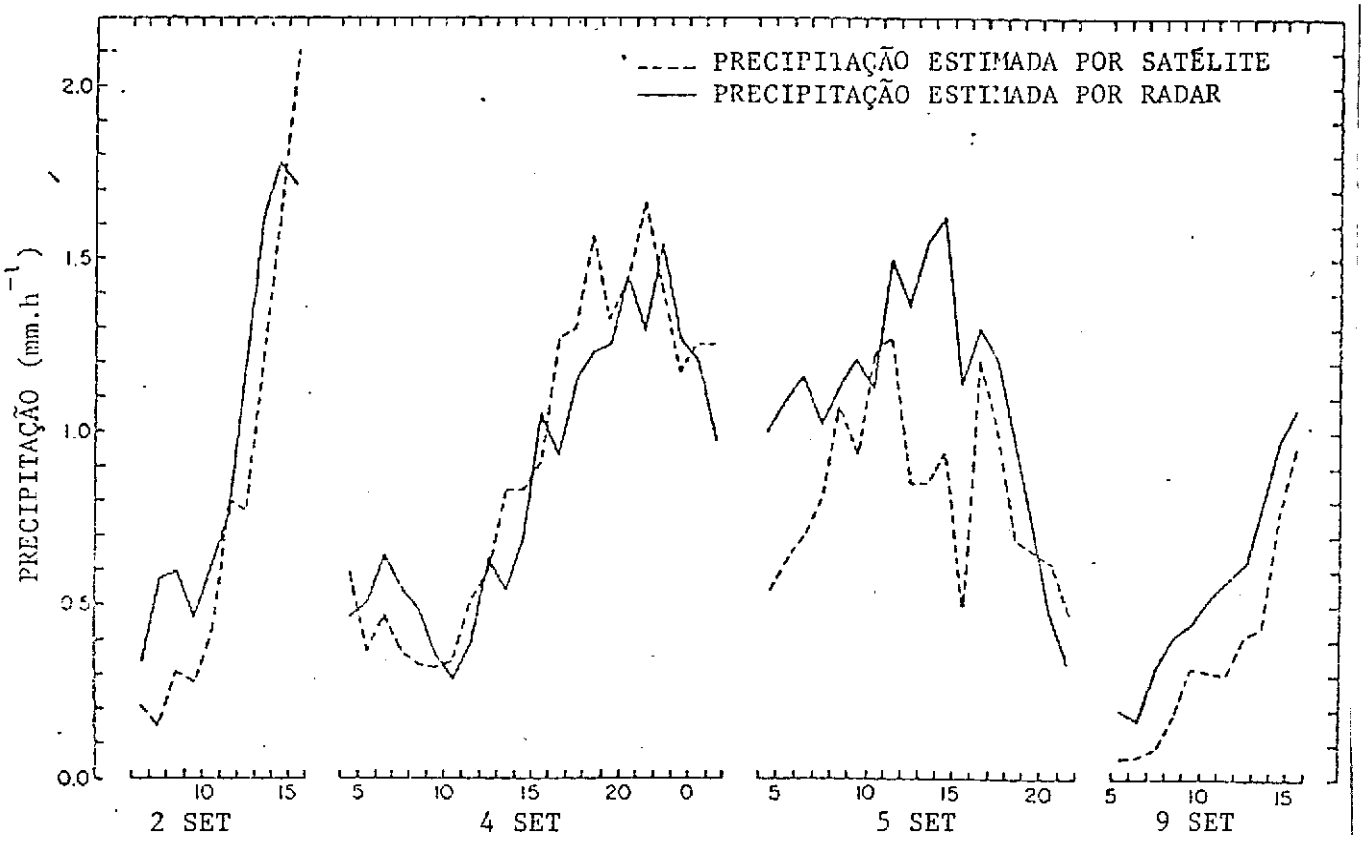


Figura 3 - Estimativas horárias de precipitação obtidas por satélite geoestacionário, comparado com estimativas de precipitação obtidas por radar. Na abcissa está plotado o tempo em TMG.

Fonte: STOUT et al. (1979).

TABELA 2

FONTES DE ERROS EM REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS
Fonte: KURTYKA (1953)

EVAPORAÇÃO	ADESÃO	COR	INCLINAÇÃO	RESPINGOS	TOTAL
- 1,0%	- 0,5%	- 0,5%	+ 0,5%	+ 1,0%	- 1,5%
Exposição: - 5,0% a - 80,0%					

Nota-se que os erros devido à exposição, principalmente os relativos aos efeitos do vento, podem atingir até -80% ou seja, precipitações subestimadas de até 80%. Consequentemente, as vazões simuladas podem também ser subestimadas. Os dados da rede pluviométrica servem para previsões a curto prazo, tempo de percurso da bacia, diagnóstico de situações e calibração de estimativas de radar, e satélites meteorológicos, que cobrem áreas maiores.

Escala regional

Define-se, aqui, escala regional como sendo a escala abrangida por radares meteorológicos, que apresentam, de maneira geral, uma alcance efetivo de observação de 40 a 200 km. Há muito, que os ecos de radar têm sido utilizados para estimar quantitativamente a precipitação. Segundo Kessler e Wilk (1968), as estimativas da quantidade de precipitação são aceitáveis até cerca de 120km de distância, apresentando erros entre 20 a 40%, quando comparados às medidas de pluviômetros; acima de 200km, as estimativas são questionáveis com erros muitas vezes superiores a 100%. Indubitavelmente, os radares produzem excelentes estimativas semiquantitativas. Baseando-se apenas na potência do eco, pode-se classificar a intensidade de precipitação em fraca, moderada, forte e muito forte. Os problemas atuais de utilização de radar, para medida de precipitação, são basicamente, os seguintes:

1) variabilidade das relações Z-R, onde Z = fator de refletividade do sinal e R = taxa de precipitação;

2) associação entre a precipitação medida por pluviômetros, e a estimada pela potência do eco do radar;

3) meios para a utilização de dados de precipitação, estimada por radar, em sistemas operacionais, isto é, processamento dos dados e comunicação desses para os usuários.

Um outro problema é a atenuação do sinal de radar. Comprimentos de onda menores são mais, significativamente, atenuados ao se propagar através de precipitações pesadas. Os comprimentos de onda, utilizados em radares meteorológicos são 3cm (Banda X), 5cm (Banda C) e 10cm (Banda S). O Radar instalado na Fundação Educacional de Bauru (FEB), por exemplo, opera na banda C. Se existirem duas linhas de instabilidade (ou de aglomerado de cumulonimbos) paralelas e consecutivas, o radar tenderá a subestimar a intensidade da segunda, devido a forte atenuação do eco, imposta pela primeira.

Um conceito mais recente, que poderia ser explorado, envolve a aplicação dos dados de radar diretamente à vazão de rios. Os resultados de comparações

iniciais entre dados de refletividade, pluviômetros e vazões indicam que, mesmo quando as estimativas de radar e de pluviômetros discordam significantemente com respeito à quantidade precipitada, os dados de radar fornecem excelentes previsões com relação ao tempo em que os cursos d'água afetados terão seus picos de descarga (Kessler e Wilk, 1968).

De maneira geral, os radares possibilitam previsões semi - quantitativas com antecedência de 3 a 4 horas, para linhas de instabilidade (velocidade de deslocamento 40 a 70 km/hora) e de 6 a 8 horas, para sistemas frontais (com deslocamento de 15 a 25 km/hora).

Escala sinótica continental

Sobre todo o continente Sul-americano são coletados dados por estações de superfície (frequências: 4 vezes por dia) e de ar-superior (frequência: 2 vezes por dia), que fazem parte da Vigilância Meteorológica Mundial. Esses dados são transmitidos através do sistema internacional de telecomunicações. Os transmitidos por Brasília e Buenos Aires, podem facilmente ser recebidos, via teletipo, em um Centro de previsão. Os meteorologistas utilizam esses dados para confeccionar cartas sinóticas em vários níveis e, através destas, fazem as previsões meteorológicas para 24, 48 e 72 horas, com frequência de 12 horas. Esses dados também são utilizados para inicialização de modelos numéricos de previsão de tempo e verificação dos resultados previstos.

O grande problema no continente Sul-americano é que as densidades de estações de superfície e aerológicas são baixas, formando uma rede extremamente deficiente para a análise de situações sinóticas. Essa, talvez, seja a causa principal do baixo índice de acerto de nossas previsões meteorológicas.

Escala sinótica global

Como foi dito inicialmente, o grau de continentalidade da América do Sul é pequeno. Por outro lado, é impraticável manterem-se estações oceânicas, especificamente, para coletar dados meteorológicos.

Os satélites meteorológicos, principalmente os geoestacionários que cobrem metade do globo, transmitindo informações a cada 30 minutos, surgem, então, como ferramenta valiosa de trabalho e de pesquisa. Eles coletam informações sobre áreas oceânicas e áreas remotas, desprovidas de estações de terra. Dessas informações, podem-se extrair campos de vento, de temperatura e de umidade em vários níveis, e, através da cobertura de nuvens, em várias faixas do espectro eletromagnético, pode-se, também, determinar áreas de movimentos convectivos e seus deslocamentos. As Figuras 4 e 5 (Kousky, 1978) comprovam, parcialmente, as afirmações acima.

A Figura 4 é uma análise sinótica, feita por um meteorologista experiente, que não dispunha de informações de satélite. A Figura 5 é a mesma situação sinótica, analisada com o auxílio do satélite geoestacionário. Observa-se, por exemplo, que sobre o Pacífico, ao sul do continente, o primeiro analista perdeu totalmente uma frente fria, já formada, que seria importante para uma previsão, uma vez que o tempo que se assola, nessas latitudes, vem de oeste; no Atlântico, o analista colocou uma frente fria inexistente; na Região Amazônica, ele localizou mal a frente fria, e, ao mesmo tempo, não tinha informações sobre a linha de instabilidade que avançava em direção à costa do Pará.

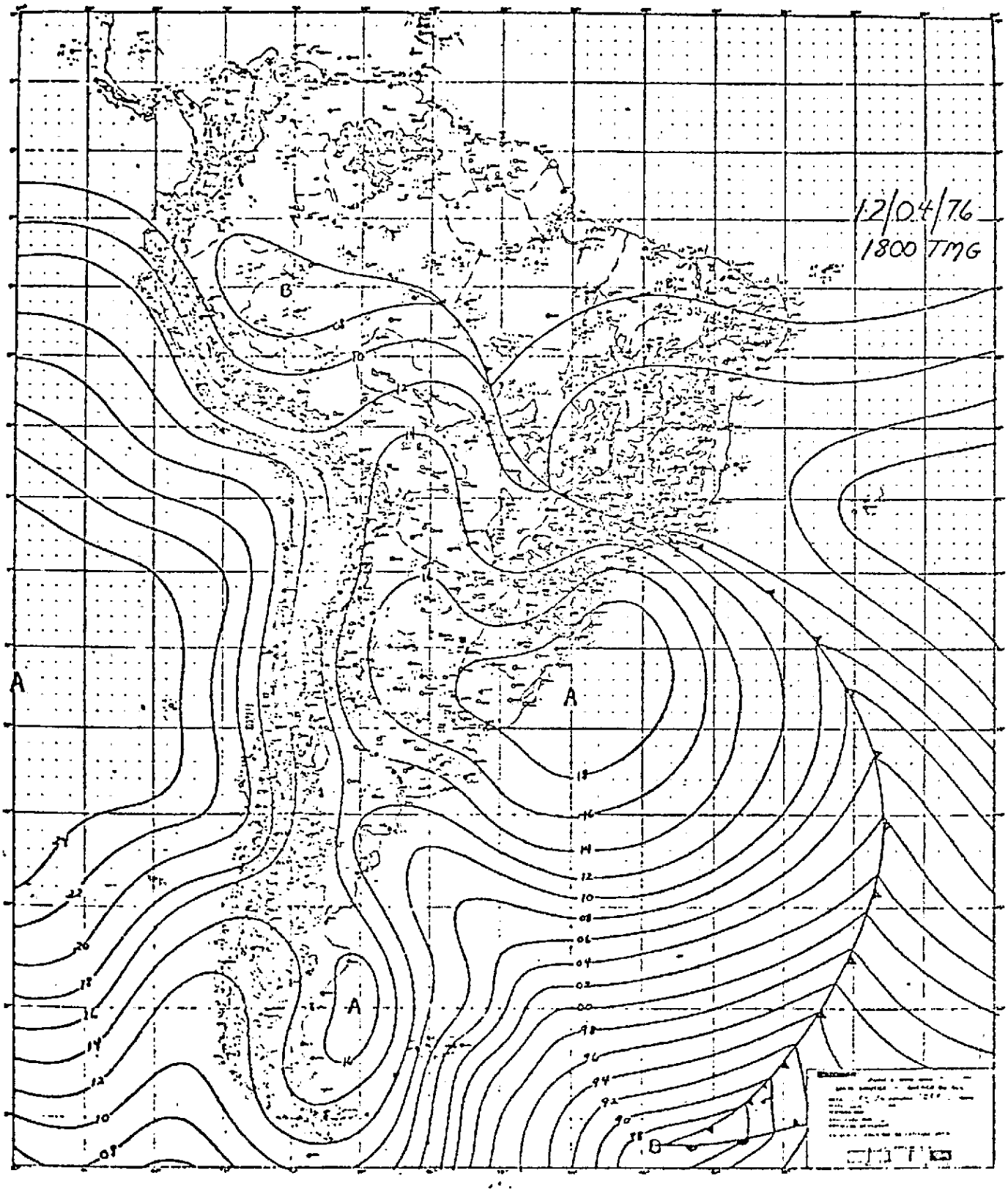


Figura 4 - Carta sinótica do dia 12/04/79, analisada por meteorologista experiente, porém sem o auxílio das fotos de satélite geoestacionário. (Kousky, 1978).

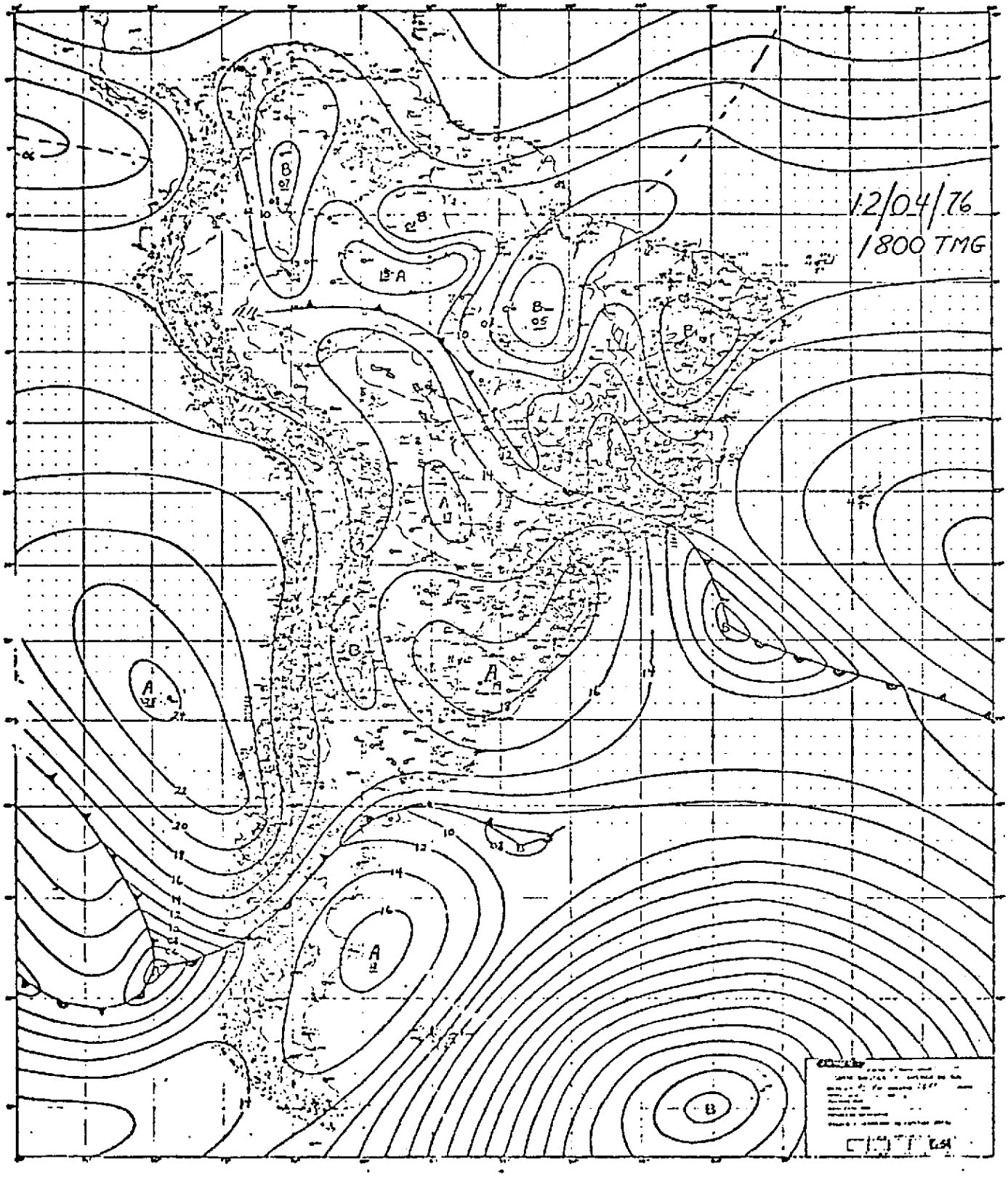


Figura 5 - Carta sinótica do dia 12/04/79, analisada com auxílio de fotos de satélite geoestacionário. (Kousky, 1978).

Um outro exemplo da utilidade dos satélites, em monitorar as configurações de tempo da grande escala, é o fenômeno de frentes frias estacionárias sobre a região de São Paulo, Minas Gerais, Sul de Goiás e Mato Grosso, durante a estação chuvosa, que está associado a um bloqueio no escoamento atmosférico próximo à Austrália. O bloqueio se estabelece naquela parte do Pacífico e, 4 a 5 dias depois, a frente estaciona sobre a região, causando chuvas contínuas nas cabeceiras do Rio São Francisco e dos afluentes da margem direita do Amazonas, e estiagem no Sul do País. Esta situação pode permanecer por 2 a 6 semanas e ser acompanhada pelo satélite geoestacionário localizado a 140°W (Kousky, comunicação pessoal).

Portanto, os produtos de satélite são imprescindíveis para análise sinótica, principalmente nas condições da América do Sul.

O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/CNPq), localizado em São José dos Campos, S.P., é a Instituição no continente Sul-americano que recebe, operacionalmente, informações de satélites geoestacionários e de órbita polar. As imagens de satélites podem ser transmitidas em tempo real, via telefone, para qualquer localidade brasileira.

Considerações finais

O objetivo final QPF com 24 e 48 horas de antecedência, só poderá ser atingido quando as informações provenientes das quatro escalas forem incorporadas a modelos numéricos de previsão de tempo. Esses modelos, como já foi dito, podem apresentar, como subproduto, previsão quantitativa de precipitação. No Brasil, atualmente, não existem modelos multiníveis operacionais. Lemes et al. (1978) desenvolveram um modelo de apenas um nível, que obviamente não é apropriado para cálculo de velocidades verticais e, consequentemente, QPF. É necessário, portanto, que sejam intensificados os esforços para desenvolver, implantar e operacionalizar modelos multiníveis de previsão de tempo.

Por outro lado, os modelos numéricos necessitam de dados de ar superior da grande escala. Espera-se que a rede aerológica seja expandida em ambas as escalas, de espaço e de tempo. E, também, que os sensores a bordo de satélites e os equipamentos que auxiliam a extração de dados dos produtos de satélites sejam aprimorados, e tornem-se capazes de produzir dados meteorológicos mais precisos, para melhorar a cobertura sobre os oceanos e as áreas continentais desprovidas de observações.

A curto prazo, pode-se ter uma previsão qualitativa, com boa localização dos centros de atividades convectivas, utilizando-se imagens de satélites geoestacionários e técnicas de extração de precipitação, como, por exemplo, as descritas na seção 3. É claro que, em ambos os casos, a utilização dessa informação de QPF deverá estar associada ao uso do modelo determinístico de transformação chuva versus vazão, para que, dada uma previsão de precipitação de 24 ou 48 horas, se tenha ampliado o prazo de antecipação na previsão das vazões, resultado, este, altamente desejável para o uso na operação de reservatórios.

BIBLIOGRAFIA

BELLAMY, J.C. (1949) "Objective Calculations of Divergence, Vertical Velocity and Vorticity", Bulletin of the American Meteorological Society Volume 30, number 2, pages 45-49

CANJANI, A.S., e STOCK, R. (1979), "Sistemas de Informações Hidrometeorológicas para Previsão de Vazões Afluentes aos Reservatórios", - V Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife.

GEORGE, J.J. (1960), Weather Forecasting for Aeronautics, Academic Press, New York, pp.375-406.

GRULL, D., e MYASAWA, H. (1979), Operação de Reservatórios em Situação de Emergência: Enfoque Probabilístico e Determinísticos de Vazões Afluentes - V Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife-1979.

HARLEY, W.S. "An Operational Method for Qantitative Precipitation Forecasting" - Journal of Applied Meteorology Volume 4, number 3, pages 305-319.

JORGENSEN, D.L. (1953) "Estimating Precipitation at San Francisco from Concurrente Variables" - Monthly Weather Review, volume 81, number 1, pages 101-110.

KESSLER, E., e WILK, K.E. Radar Measurement of Precipitation for Hydrological Purposes Report nº 5 WMD/IHD Projects WMO, Geneve Switzerland.

KOUSKY, V.E. (1978), Comunicação Pessoal - 1978.

KURTYKA; J.C. (1953), Precipitation Measurements Study - Report of Investigation nº 20, State Water Survey, Illinois, pp.178.

LEMES, M.A.M., SANTOS, R.P., e SATYAMURTY, P., Experimentos de Previsão Numérica de tempo com um Modelo Barotrópico de Equações Primitivas Usando Dados Teóricos, INPE-1336-NTI/112. São José dos Campos, INPE.

McGINNIS, J.R., SCOFIELD, R.A. SCHNEIDER, S.R., e BERG, C.P., Satellites as An Aid to Water Resources Managers, Preprint 3486, American Society of Civil Engineeres Convention and Exposition April 2-6, 1979 - Boston, Mass.

MYAKODA, K. et al. (all, Geophysical Fluid Dynamics Lab., ESSA, N.J.) (1969) - "Experimental Extended Predictions with a Nine - Level Hemispheric Model, Monthly Weather Review, volume 97, number 1, pages 1-76.

PANOFSKY, H.A. (1946), "Vertical Motion and Changes in Cloudiness" Bulletin American Meteorological Society, volume 27, number 4, pages 472-477.

RAPP, R.P. (1949) On forecasting Winter Precipitation Amounts at Washington DC, Monthy Weather Review, volume 77, number 3, pages 291-298.

RIEHL, H., NORQUEST, K.S., and SUGGI, A.L. (1952) "Qantitative Methods for Prediction of Rainfall Patterns", Journal of Meteorology, volume 9, number 5, pages 291-298.

RODDA, J.C. (1971), The Precipitation Measurement Paradox: The Instrument Accuracy Problem, Report nº 16 WMO/IHD Projects, WMO nº 316 - Geneva, Switzerland.

SCOFIELD, R.A. e OLIVER, V.J. (1977a), A scheme for Estimating Convective Rainfall from Satellite Imagery NOAA/NESS Thechnical Memorandum 86 Washington, DL. USA.

SCOFIELD, R.A., e OLIVER, V.J. (1977b), Using Satellite Imagery to Estimate Rainfall from two Types of Convective Systems, 11th Technical Conference on Hurrincanes and Tropical Meteorology, Dec. 13-16, 1977b Publication, Miami Beach, Flo. AMS.

STOUT, J.E.; MARTIN, D.W.; SIKDAR, D.N. (1979), "Estimating GATE Rainfall With Geosynchronous Satellite Images - Monthly Weather Review, volume 107, number 5, pages 585-598.

THOMPSON, J.C. (1950) "A Numerical Method of Forecasting Rainfall in Los Angeles Area" - Monthly Weather Review, volume 79, number 7, pages 113-124.

WIESNER, C.J. (1970), Hydrometeorology. Chapman and Hall, Ney York.