

# **Análise do Movimento vertical na América do Sul utilizando divergência do Vetor Q**

Cristina Schultz, Thalyta Soares dos Santos, Rômulo Augusto Jucá Oliveira, Bruna Barbosa Silveira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC  
e-mail: [cristina.schultz@cptec.inpe.br](mailto:cristina.schultz@cptec.inpe.br)

**ABSTRACT:** Given the difficulties in identifying vertical movements, once their magnitude is very small and there is not a reliable way of directly measuring them, the fields of Vector Q divergence, derived from the Omega equation, have been extensively used to represent the areas of ascension and subsidence of air. In this work, the fields of Omega and divergence of Vector Q were calculated for South America with reanalysis data, and compared with geopotential height and synoptic charts in low, mid and high levels, thus allowing qualitative validation of its potential as representation of vertical atmospheric movements. In general, vertical movements were better represented in low levels. Qualitatively, the analysis of the Vector Q showed to be satisfactory in the identification of areas of ascension and subsidence of air masses.

**Palavras-Chave:** Vetor Q, Omega, América do Sul

## **1 - INTRODUÇÃO**

O campo de movimento vertical tem um papel fundamental nos processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem na atmosfera, desde escalas de micrometeorologia até as escalas sinótica e planetária, participando de fluxos turbulentos verticais de momentum, energia e vapor d'água. No entanto, este movimento é de difícil identificação, dada sua pequena magnitude quando comparada aos movimentos horizontais correspondentes e a impossibilidade de serem diretamente observados.

A base conceitual para entender os sistemas sinóticos extratropicais é a teoria quase-geostrófica, e a expressão mais utilizada para verificar movimentos verticais é a equação Omega. No entanto, embora os termos da equação Omega tenham interpretações claras, pode haver anulações entre eles. Sendo assim, é por vezes vantajoso utilizar o vetor Q, derivado da equação Omega (Hoskins, 1978), e calculado apenas com dados de temperatura e geopotencial, em um único nível. Assim, o movimento vertical pode ser visualizado através da divergência do vetor Q de maneira que a convergência de Q representa movimento ascendente e divergência, movimento descendente.

Assim, este trabalho tem como objetivo testar a confiabilidade do vetor Q na representação do movimento vertical em alguns episódios na América do Sul ao longo do ano de 2009.

## **2 - DADOS E METODOLOGIA**

Neste trabalho foram utilizados dados de reanálises do *NCEP (National Center for Environmental Prediction) do NCAR (National Center for Atmospheric Research)*. Através destes dados pôde-se construir os campos de vento geostrófico, divergência do vetor Q, Omega e geopotencial sobre a América do Sul nos níveis de 700, 500, e 300 hPa, para os dias

10 de maio, 03 de junho e 11 de julho de 2009, todos às 18 UTC e representativos de dias com advecção significativa.

As variáveis utilizadas foram altura geopotencial e temperatura do ar. Para visualização dos dados, foi utilizado o software *GrADS (Grid Analysis and Display System)*. Para fornecer comparações com os eventos meteorológicos atuantes nestes dias, foram utilizadas imagens de satélite *GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) + METEOSAT* no canal do infravermelho e também as cartas sinóticas de superfícies plotadas pelo *CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos)* do *INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)*, para os dias e horários escolhidos para análise.

### 3 - RESULTADOS

#### 3.1 – Dia 10/05/2009

No dia 10 de maio de 2009 (Figura 1), pôde-se observar a presença da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) com cerca de 1027 hPa em seu centro, juntamente com uma família de ciclones extratropicais às suas proximidades (sudoeste da ASAS), associados a sistemas frontais atuando sob o sul/sudeste da América do Sul com o atlântico Sul. Identificou-se também um ciclone com baixa em torno de 990 hPa centrado entre 50°S/54°W.

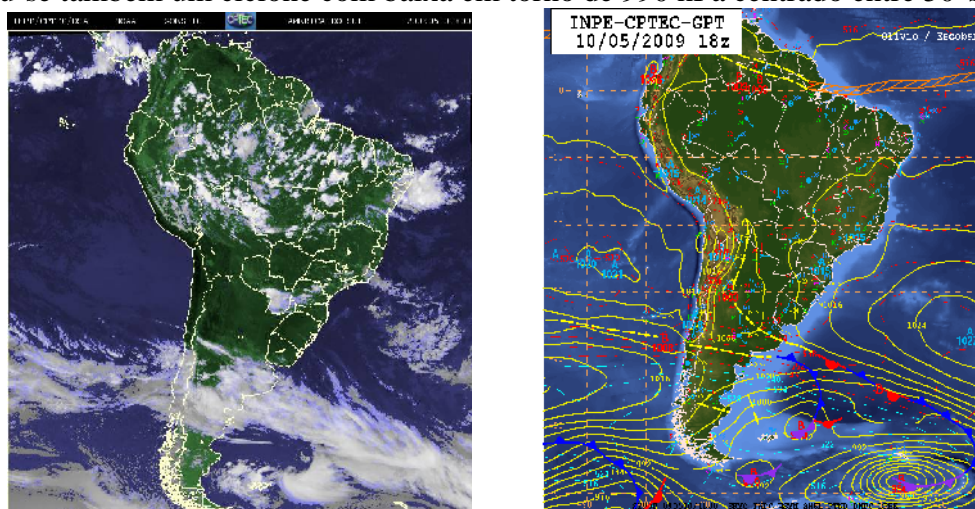


Figura 1 – a) Imagem de satélite do GOES-10 e b) Carta de superfície. Ambas para o dia 10/05/09 às 18:00 UTC (Fonte: CPTEC/INPE).

Através da Figura 2, que mostra o campo de vento geostrófico e de altura do geopotencial juntamente à divergência do vetor  $Q$ , no nível de 300 hPa, nota-se a presença do jato subtropical sobre o sul da América do Sul, atingindo cerca de 60 m.s-1 (Fig 2-a). É notável também que na vanguarda da frente fria, ou seja, a leste do cavado, tem-se divergência do vetor  $Q$  positiva, enquanto na retaguarda tem-se divergência negativa (Fig. 2-b). Comparando os valores da divergência do vetor  $Q$  com os campos de Omega, observou-se que estes foram compatíveis e representaram os fenômenos presentes satisfatoriamente. Ou seja, identificando as regiões de máximas convergências (divergências) e movimentos ascendentes (descendentes) a leste (oeste) do cavado. No entanto, em geral, os níveis apresentaram comportamentos semelhantes entre seus campos, porém, no nível de 300 hPa as magnitudes se apresentaram mais evidentes.

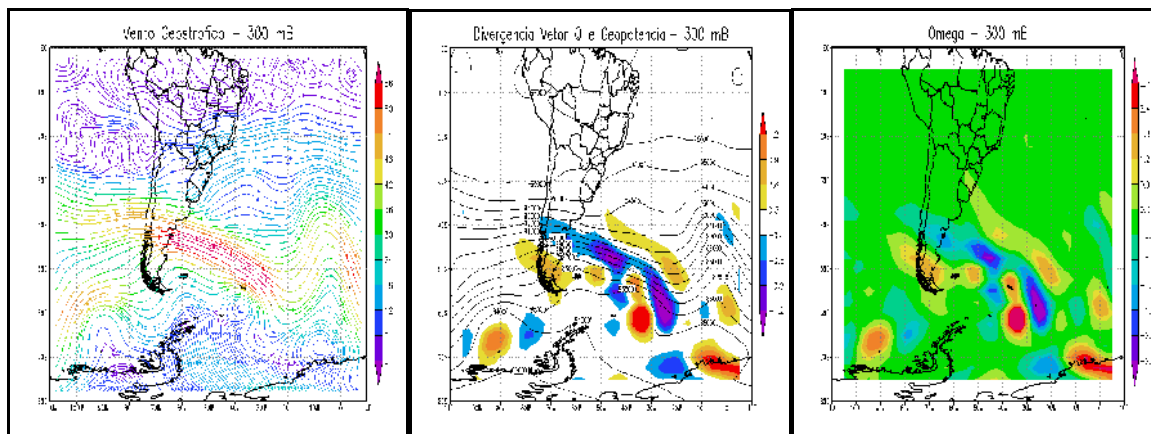


Figura 2 – Campo diagnóstico de (a) Vento Geostrofico em linhas de corrente e magnitude em m/s (b) da Divergência do Vetor Q [ $\times 10^{-17}$  Pa/s] (sombreado) e Geopotencial (contorno) e (c) de Omega em [ $\times 10^{-17}$  Pa/s] (sombreado) e Vetor Q (vetores), no nível de 300 hPa, para o dia 10 de maio de 2009 às 18:00 GMT, a partir das reanálises do NCEP.

### 3.2 – Dia 03/06/2009

A partir da Figura 3, para o dia 03 de junho de 2009, observa-se a presença de sistemas frontais em vários estágios sobre a América do Sul, um atingindo a região sul do Nordeste Brasileiro e Sudeste do Brasil com o oceano Atlântico, chegando até o sul do Estado do Pará. Outra, em estágio inicial, sobre o sul da América do Sul com o atlântico Sul.

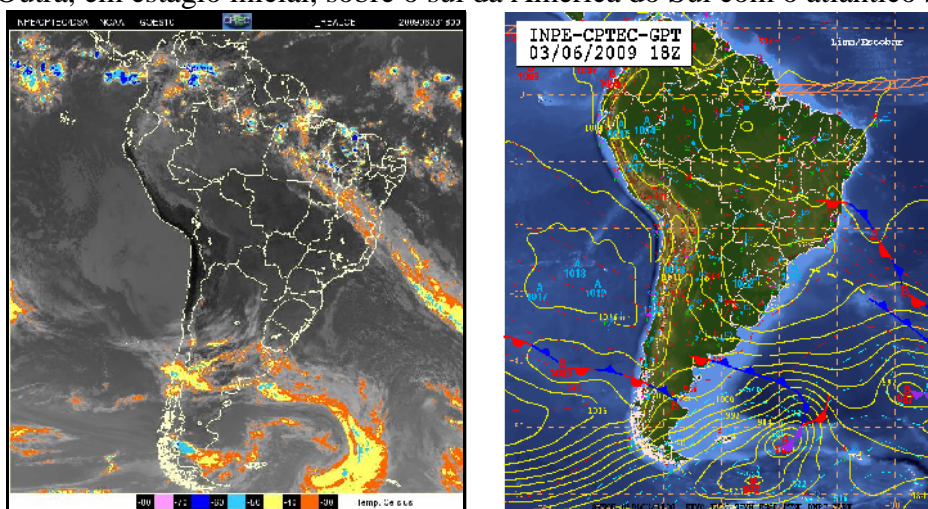


Figura 3 – a) Imagem de satélite do GOES-10, canal infravermelho (realçado) e b) Carta de superfície. Ambas para o dia 03/06/09 às 18:00 UTC (Fonte: CPTEC/INPE).

Neste dia pôde-se observar uma onda frontal formada no final do mês de maio, associada a uma massa de ar polar significativa, que penetrou o interior do Brasil levando a quedas de temperatura no sul, sudeste e centro-oeste do Brasil e sul da Amazônia entre os dias 1 e 3 de junho. Na madrugada do dia 2 de junho houve geada no sul do Brasil e em algumas áreas da serra houve neve fraca. A análise do campo de vetor Q em 300 hPa mostrou maiores valores próximo a cristas (pressão alta) entre 60 e 65°S. A região abaixo do estado do Rio Grande do Sul tem apresenta divergência do vetor Q, com indícios de convergência do vetor Q sobre o sul do país, consistente com a localização do cavado e com as geadas reportadas pela análise sinótica. Em 500 hPa, observou-se desintensificação do cavado sobre o sul do Brasil e uma maior definição da circulação anticiclônica sobre o noroeste da América do Sul. No nível de 700 hPa as regiões de máximas convergência (divergências) e movimentos ascendentes (descendentes) a leste (oeste) do cavado, chegam à  $-0,2 \times 10^{-17}$  Pa/s ( $0,1 \times 10^{-17}$  Pa/s) de divergência do Vetor Q e  $-0,2 \times 10^{-17}$  Pa/s ( $0,3 \times 10^{-17}$  Pa/s) de Omega.

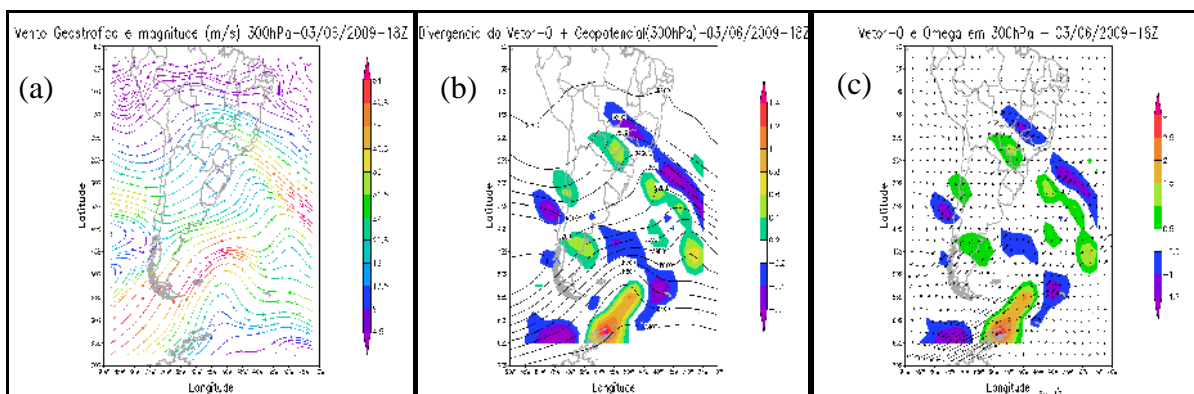


Figura 4 – Campo diagnóstico de (a) Vento Geostrófico em linhas de corrente e magnitude em m/s (b) da Divergência do Vetor Q [ $\times 10^{-17}$  Pa/s] (sombreado) e Geopotencial (contorno) e (c) de Omega em [ $\times 10^{-17}$  Pa/s] (sombreado) e Vetor Q (vetores), no nível de 300 hPa, para o dia 03 de junho de 2009 às 18:00 GMT, a partir das reanálises do NCEP.

### 3.3 – Dia 11/07/2009

No dia 11 de Julho, foi presenciada a passagem do sistema frontal, atuando principalmente sobre as regiões sul e sudeste do Brasil, como mostra a Figura 5. Pode-se notar valores de pressão relativamente baixos sobre estas localidades, chegando até 1002 hPa (Fig 5-b).

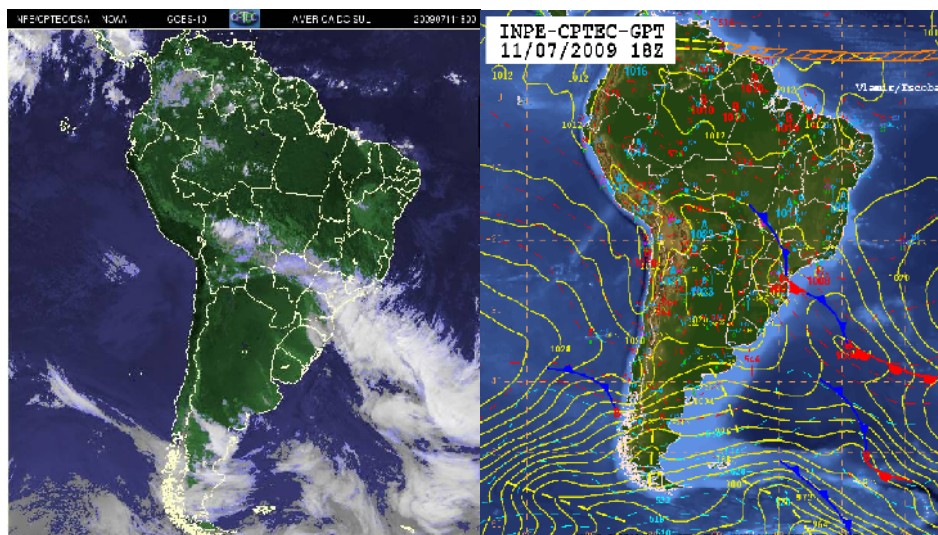


Figura 5 – a) Imagem de satélite do GOES-10 e b) Carta de superfície. Ambas para o dia 11/07/09 às 18:00 UTC (Fonte: CPTEC/INPE).

Em geral, notou-se que os campos de divergência do vetor Q foram mais representativos do movimento vertical em médios e baixo níveis. Já no nível de 700 hPa este campo não representou de maneira satisfatória a condição sinótica deste dia. A Figura 6-a mostra a direção e a magnitude (m/s) do vento geostrófico no nível de 300 hPa através das linhas de corrente, pode ser notado um cavado em altos níveis, que está dando suporte para a frente em superfície. Comparando os campos vetor Q e Omega (Fig. 6-b com Fig. 6-c), pode-se notar que há uma região de movimento ascendente (convergência do vetor Q), na região da sistema frontal e uma região de movimento descendente (divergência do vetor Q) na retaguarda deste sistema. Pode-se dizer que esse campo descreveu de maneira satisfatória qualitativamente o movimento vertical nesse nível. E quando comparado com o campo de Omega, nota-se que eles são bem semelhantes qualitativamente na região de interesse.

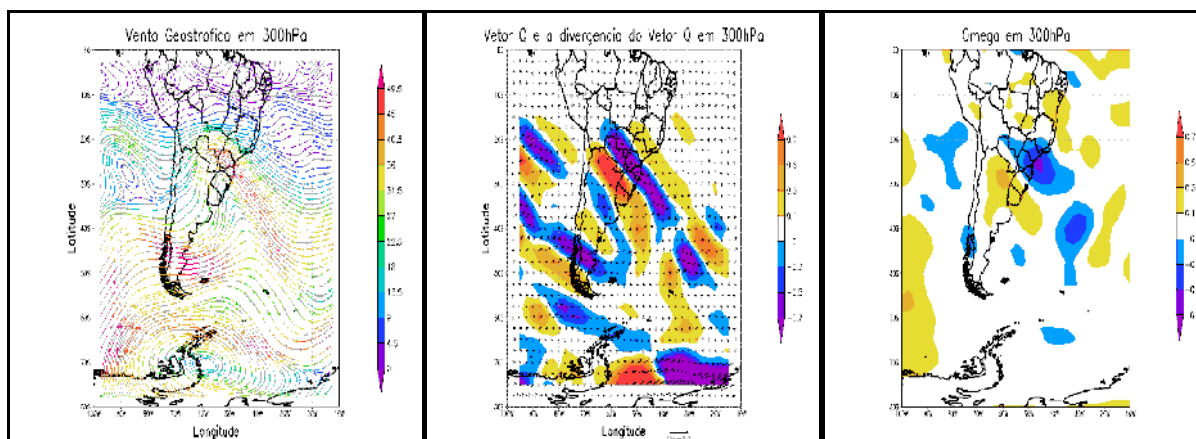


Figura 6 – Campo diagnóstico de (a) Vento Geostrofico em linhas de corrente e magnitude em m/s (b) da Divergência do Vetor Q [ $\times 10^{-17}$  Pa/s] (sombreado) e vetor Q na forma vetorial e (c) de Omega em [ $\times 10^{-17}$  Pa/s] (sombreado), no nível de 300 hPa, para o dia 11 de julho de 2009 às 18:00 GMT, a partir das reanálises do NCEP.

#### 4 - CONCLUSÕES

Os dados do NCEP e as análises feitas mostraram ser ferramentas eficientes na representação de eventos de escala sinótica, representando de maneira correta as áreas de movimentos ascendentes/descendentes, de acordo com os eventos reportados pela análise da carta de superfície. Ainda assim, na maior parte das situações (com exceção do dia 11 de julho), esses eventos foram melhor representados nos baixos níveis.

O Vento Geostrofico apresentou-se de forma bastante coerente, com valores mais intensos em altos níveis e com o padrão de onda bem mais definido, onde é possível se notar a intensidade de Omega e Vetor Q, tal como seus menores e maiores valores, vistos a leste e oeste do cavado, ou seja, antes e depois da passagem do sistema frontal.

Todavia, em grande parte, foi observado que na região de frente fria tem-se convergência do vetor Q na sua vanguarda e divergência do vetor Q na retaguarda, concordando com as considerações realizadas no início do trabalho.

As maiores dificuldades em representar os campos a que se propôs este trabalho ocorreu no campo de Omega, e fica claro que os termos da equação Omega tendem a se anular.

#### 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOLOSSI, R. Um estudo comparativo entre a velocidade vertical Q de Hoskins, com aplicação em sistemas sinóticos típicos do sul e sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. INPE, São José dos Campos-SP, 1988.
- CUADRA, S. V. Influência do Termo de Aquecimento Diabático na Aplicação da Teoria Quase-Geostrofica e Análise dos Termos da Equação da Vorticidade. Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 2004.
- GOMES, H. B.; LEMES, M.A.M. Revisão de métodos de cálculo da divergência e uma aplicação usando o método cinemático para determinação de movimentos verticais na atmosfera. Rev. Bras. Meteorol., v.22, n.1, Abril 2007.
- HOLTON J. R. Synoptic-Scale Motions I: Quasi-geostrophic Analysis.. In:.. An Introduction to Dynamic Meteorology. 4ª edição. p. 140 a 176. Washington, 2004.
- HOSKINS, B.J., DRAGHICI, I., DAVIES, H. 1978: A new look at the  $\omega$ -equation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **104**, 31–38.
- SANDERS, F.; HOSKINS, B. J. An Easy Method for Estimation of Q-Vectors from Weather Maps. *Weather and Forecasting*. v.5, p.356-353, 1989.