

Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

IMPACTO DA VEGETAÇÃO EM MODELOS NUMERICOS DE SIMULAÇÃO DA CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA

Pedro Leite da Silva Dias

Os processos hidrodinâmicos puros aplicados à atmosfera são relativamente bem conhecidos, assim como as técnicas de resolução das equações de Navier-Stokes aplicados à atmosfera. Entretanto, vários processos físicos são pouco conhecidos como, por exemplo, as interações envolvendo a água em suas diversas fases, radiação solar e infravermelha na presença de nuvens, transporte de calor, umidade e momentum por processos turbulentos em diversas escalas, desde a superfície até os grandes turbilhões associados às nuvens profundas e precipitantes. Esses processos físicos são parametrizados nos modelos atmosféricos tendo em vista a resolução espacial e temporal imposta pelas limitações de memória, capacidade de cálculo dos atuais computadores (mesmo no caso dos supercomputadores) e pelo nosso limitado conhecimento dos processos físicos.

Na atmosfera há um forte acoplamento entre o processo de transferência de energia na superfície, sob a forma de calor sensível e calor latente (evaporação) e o saldo de radiação (onda curta e longa). Há um déficit energético na atmosfera sob

¹ Departamento de Meteorologia - IAG/USP

o ponto de vista puramente radioativo, equivalente a um resfriamento da ordem de 1° a 2° C/dia. Por outro lado, há um saldo positivo de energia radioativa no solo, sobretudo nas regiões tropicais. Portanto, é necessário transferir este excesso de energia do solo para a atmosfera e dos trópicos para as latitudes mais altas. Grande parte do transporte de energia da superfície para a atmosfera é realizado nos oceanos, em regiões em que a temperatura da superfície do mar é superior à temperatura do ar em contato e durante o período diurno nas regiões continentais. É também nessas regiões em que ocorre grande parte da transferência de vapor de água do solo, sobretudo em regiões vegetadas ou de superfícies líquidas, para a atmosfera onde ocorre a condensação do vapor (aquecendo a atmosfera), formando as nuvens e compensando o resfriamento radioativo. Portanto, fica evidente que o processo de aquecimento por liberação de calor latente está intimamente ligado ao processo de evaporação e transferência de calor sensível na superfície.

Uma parte significativa da fonte tropical de calor associada à liberação de calor latente está concentrada sobre regiões úmidas como a América do Sul, África e Indonésia, embora o último exemplo é algo misto no que concerne as características oceânicas/terrestres da superfície. Os modelos numéricos são capazes de simular as características básicas do escoamento atmosférico, determinadas pela localização das fontes tropicais e da topografia. A evaporação nos oceanos é razoavelmente bem determinada nos modernos modelos mas os fluxos continentais, sobretudo sobre superfícies vegetadas, ainda diferem significativamente das observações diretas ou estimativas por balanço de energia na superfície.

Os transportes turbulentos sobre regiões tropicais continentais úmidas é altamente complicado pela presença da vegetação e do intenso ciclo diurno do aquecimento solar. Em modelos simples, a evaporação é considerada como sendo

proporcional à diferença do vapor de saturação na temperatura do solo e à pressão de vapor do ar logo acima do solo, sendo também proporcional à velocidade do vento e à umidade do solo. O fator de proporcionalidade depende da estabilidade da atmosfera na camada limite e das características da rugosidade da superfície. A determinação da umidade do solo é crucial nesse processo e normalmente é obtida através de modelos hidrológicos bastante simplificados e sem envolver as características detalhadas da vegetação. O resultado é que vários modelos exageram a evaporação sobre as florestas tropicais, subestimando o transporte de calor sensível. As observações indicam um pico de evaporação da ordem de $300-400 \text{ Wm}^{-2}$ e calor sensível da ordem de $100-200 \text{ Wm}^{-2}$ (Fitzjarrald et al., 1988 in Journal of Geophysical Research, Vol. 93, 1551-1563) enquanto que um modelo (como o do National Meteorological Center), produzia cerca de 600 Wm^{-2} e $0-50 \text{ Wm}^{-2}$ respectivamente, com uma parametrização usual.

Como solucionar o problema da determinação precisa do transporte de energia entre a superfície e a atmosfera em regiões vegetadas? Há soluções baratas em termos de carga computacional que podem ser usadas em modelos de previsão de tempo que exigem grande tempestividade e, portanto, eficiência nos cálculos. Por outro lado, em modelos de simulação climática é necessário simular o processo de evaporação com detalhes, incluindo o transporte de água desde a raiz das plantas até os estômatos das folhas, através de um processo conhecido como "plant resistance". Modelos desta categoria foram desenvolvidos pelo grupo de modelagem climática do National Center for Atmospheric Research em Boulder, Colorado (Dickinson, 1983 in Advances in Geophysics, Vol. 25, 305-353) e na University of Maryland (Sellers et al., 1986 in Journal of Atmospheric Sciences, Vol. 43, 505-533). Alternativas relativamente simples foram desenvolvidas em centros operacionais de previsão de tempo, como no National Meteorological Center em Washington (Silva Dias e Pan, 1988 in

Anais do V Congresso Brasileiro de Meteorologia, Vol. 2, VI1-VI4) e no European Center for Medium Range Weather Forecasting.

O impacto da parametrização da vegetação na precipitação tropical em regiões como a Amazônia e Brasil Central é substancial, e o efeito na atmosfera não é simplesmente local pois a energia associada à liberação de calor latente é propagada a longas distâncias, sobretudo em direção ao hemisfério de inverno (Kasahara e Silva Dias, 1986 in Journal of Atmospheric Sciences, Vol. 43, 1893-1911). Recentes estudos sobre o impacto de fontes tropicais de calor localizadas na América do Sul indicam que pode haver um significativo deslocamento do trem de ondas em latitudes altas, acarretando modificações significativas no regime pluviométrico nessas regiões (Silva Dias e Kasahara, 1987, Anais da Conferência International sobre El Niño, INPE, São José dos Campos, julho de 1987).

Diversos estudos sobre o impacto da cobertura vegetal foram realizados com modelos bastante simplificados da interação solo/planta/atmosfera. Portanto, é necessário analisar criticamente os resultados obtidos. Em recente estudo comparativo entre simulações do impacto do aumento do CO₂, obtidas com diversos modelos, ficou evidente uma grande discrepância de resultados, em parte associados às diferenças no tratamento da superfície. Delworth e Manabe (Journal of Climate, 1988, Vol. 1, 523-547) enfatizam a necessidade de modelos acoplados na superfície, permitindo a interação entre a vegetação e os fluxos turbulentos de energia.

Em resumo, a cobertura vegetal sobretudo em regiões tropicais continentais úmidas afeta significativamente a precipitação tropical. Esta, por sua vez, representa o aquecimento da atmosfera. O impacto causado pelo aquecimento local é propagado para latitudes mais altas através de ondas planetárias, afetando o clima em regiões remotas. O estado da arte indica que os modelos simplificados do processo de

interação solo/planta/atmosfera não apresentam resultados perfeitamente coerentes. Portanto, são necessários modelos mais complexos que exigem computadores de grande porte. Estudos nessa linha estão sendo conduzidos no NCAR e na University of Maryland, sendo que nesta última há um interesse particular sobre o impacto da região amazônica (Carlos Nobre, 1988 - comunicação pessoal).

A simulação adequada dos processos superficiais é um ótimo exemplo de uma área multidisciplinar, envolvendo especialistas em modelagem numérica da atmosfera, em fisiologia de plantas, solos e hidrologia. Fica aqui uma sugestão para a criação de um grupo de trabalho formado por pesquisadores da USP nos processos de interação solo/planta/atmosfera.

PROGRAMA GEOCIT: UM ESTUDO DE MUDANÇAS PALEOCLIMATICAS

François Soubiès¹
Kenitiro Suguio²
Bruno Turcq³
Michel Servant⁴
Louis Martin⁵

INTRODUÇÃO

O programa GEOCIT vem sendo desenvolvido pela ORSTOM

1ORSTOM - Univ. de Toulouse (França)

2Instituto de Geociências (USP)

3ORSTOM - Instituto de Geociências (USP)

4ORSTOM - Bondy (França)

5ORSTOM - Observatório Nacional (CNPq)