

# UM SISTEMA PARA A DETERMINAÇÃO DE CAMPOS DE VENTOS UTILIZANDO SATÉLITES METEOROLÓGICOS GEOESTACIONÁRIOS

Eni Alvim de Oliveira  
Nelson D.A. Mascarenhas  
Alberto W. Setzer

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201, São José dos Campos, SP, Brasil

## RESUMO

Os campos de ventos, conjunto de vetores indicativos da velocidade e direção do vento numa região, possibilitam o estudo da dinâmica da atmosfera, pois descrevem o escoamento de fluidos que nela ocorre. Como as nuvens se movem pela ação do vento no nível em que elas se encontram, seu rastreamento permite determinar movimentos na atmosfera. Os campos de ventos podem ser obtidos através do rastreamento de nuvens em uma sequência de imagens de um satélite meteorológico geostacionário, geradas em intervalos de tempo conhecidos. Pode-se ter assim uma complementação de dados de altitude nos intervalos decorridos entre os lançamentos de radiossondas, bem como uma obtenção de dados em áreas não abrangidas por radiossondas, ou seja, oceanos, montanhas, desertos, etc. A permanência dos satélites geostacionários aproximadamente sobre uma mesma localização da Terra permite que se observe o deslocamento de nuvens em uma sequência de imagens, podendo-se então determinar os campos de ventos. Este trabalho descreve um sistema, ora em desenvolvimento no INPE, para determinar campos de ventos a partir destas sequências de imagens e através do rastreamento de nuvens baixas. Ele compõe-se dos seguintes módulos: navegação das imagens; seleção de nuvens candidatas a rastreamento; determinação do deslocamento das nuvens através do registro das imagens; atribuição da altitude das nuvens e consistência dos resultados. Este sistema, após implementado, deverá ser utilizado no Departamento de Meteorologia do INPE, na obtenção de dados para modelos de previsão numérica do tempo e na análise de situações sinóticas individuais.

## ABSTRACT

### A SYSTEM FOR THE DERIVATION OF WIND FIELDS BY USING GEOSTATIONARY METEOROLOGICAL SATELLITES

Wind fields are sets of vectors that indicate the velocity and the direction of the wind in a given region. These fields enable the study of the atmosphere dynamics, as it describes the fluid flow in it. Since the clouds move by the action of the wind at the level where they are, their tracking allows the derivation of movements in the atmosphere. The wind fields can be obtained through cloud tracking in a sequence of geostationary meteorological satellite images, generated in known time intervals. Therefore, one can complement altitude data in the intervals between radiosondes launchings, and it is also possible to acquire data in areas not covered by radiosounding, such as oceans, mountains, etc. The placement of geostationary satellites approximately over the same location on the Earth allows the observation of clouds displacement in a sequence of images and the determination of wind fields. This paper describes a system under development at INPE to determine wind fields through low cloud tracking in image sequences. Such system comprises the following modules: image navigation; selection of clouds suitable for tracking; cloud movement determination through image registration; cloud altitude assignment and validation of results. After completion, this system will be used by the Meteorology Department of INPE, in data acquisition for numerical weather prediction and in the analysis of individual synoptic situations.

## 1. INTRODUÇÃO

O escoamento de fluidos na atmosfera pode ser descrito por campos de ventos, conjuntos de vetores indicativos da velocidade e direção do vento numa região. Tais campos podem ser determinados através do rastreamento de nuvens, as quais se movem pela ação do vento no nível em que se encontram, sendo esse rastreamento feito ao longo de uma sequência de imagens de satélites meteorológicos geostacionários, separadas por intervalos de tempo conhecidos.

Os satélites meteorológicos geostacionários estão situados a 36.000 km de altitude sobre o Equador, e completam uma revolução orbital por dia na mesma direção que a rotação da Terra. Assim, cada satélite permanece aproximadamente fixo sobre uma mesma localização da Terra, permitindo a observação do deslocamento das nuvens em uma sequência de imagens.

A área coberta por satélites geostacionários está indicada na Figura 1, onde os círculos de 50° em torno dos pontos subsatélites (pontos no Equador diretamente sob os satélites) delimitam as regiões em que se podem determinar ventos. Esta limitação é devida à distorção que ocorre no tamanho dos "pixels" (elementos da imagem), que causaria uma perda de precisão nos resultados.

O rastreamento de nuvens é feito rotineiramente com os seguintes satélites:

- . GOES-W, pela NOAA/NESDIS (EUA), desde 1975;
- . Meteosat, pela ESA (Europa), desde 1978, e
- . GMS, pela JMA (Japão), desde 1978.

A implementação de um sistema para a determinação de campos de ventos, no Departamento de Meteorologia do INPE, permitirá a obtenção de dados para modelos de previsão numérica do tempo

po e a análise de situações sinóticas individuais.

## 2. COMPONENTES DE UM SISTEMA PARA A DETERMINAÇÃO DE CAMPOS DE VENTOS

Os sistemas para a determinação de campos de ventos compõem-se das seguintes partes (Mosher, 1978; McPherson, 1984; Hamada, 1985):

- . Navegação das imagens.
- . Seleção de nuvens candidatas a rastreamento.
- . Rastreamento das nuvens.
- . Atribuição da altitude.
- . Controle de qualidade.

### 2.1 - NAVEGAÇÃO DAS IMAGENS

O deslocamento das nuvens só pode ser calculado com precisão se for conhecida a correspondência entre um ponto na imagem e sua localização na Terra, podendo-se então alinhar corretamente as imagens em sequência.

O processo que efetua a transformação matemática entre o sistema de coordenadas da imagem e um sistema de coordenadas terrestres tem o nome de navegação, e utiliza informações sobre a órbita e a atitude do satélite, o alinhamento entre o eixo do satélite e o da Terra, e a centralização da Terra na imagem.

### 2.2 - SELEÇÃO DE NUVENS CANDIDATAS A RASTREIO

A seleção de nuvens se faz necessária porque nem todas as nuvens são adequadas para rastreamento: algumas são muito pequenas, ou têm um tempo de vida muito curto em relação ao intervalo de tempo entre as imagens, ou têm um movimento aparente em função do seu desenvolvimento, e não por causa do vento. Estas situações devem ser detectadas, e as regiões correspondentes não po

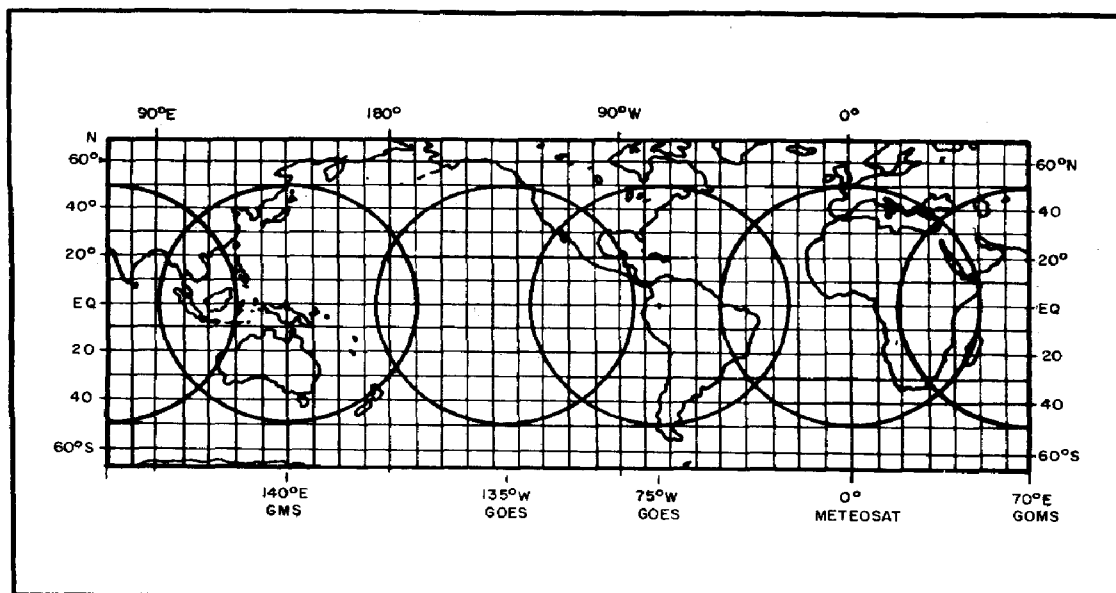


Fig. 1 - Área coberta por satélites geostacionários válida para a determinação de ventos.

FONTE: Hamada (1985). Fig. 2.

dem ser utilizadas no rastreo.

### 2.3 - RASTREIO DAS NUVENS

O objetivo do rastreo é a determinação do deslocamento da configuração escolhida na sequência de imagens; dividindo-se o deslocamento pelo intervalo de tempo decorrido, tem-se o vetor velocidade do vento.

A seleção e o rastreo podem ser feitos de duas maneiras, que podem também estar combinadas:

- método manual, em que um analista seleciona as nuvens, visualizando a sequência de imagens animadas (Mosher, 1978);
- método automático, baseado em técnicas de reconhecimento de padrões (Endlich et alii, 1971) (agregação de dados - "clustering") e em correlação cruzada (Leese et alii, 1971).

### 2.4 - ATRIBUIÇÃO DE ALTITUDE

A atribuição da altitude pode ser feita por duas técnicas. Uma baseia-se na climatologia da região, e atribui aos vetores as altitudes associadas ao tipo de nuvem rastreada. A outra técnica utiliza a temperatura da nuvem, a emissividade e um perfil vertical de temperatura para a determinação da altitude.

### 2.5 - CONTROLE DE QUALIDADE

Os vetores incorretos eventualmente gerados pelas etapas anteriores devem ser eliminados; para isto utilizam-se procedimentos manuais e automáticos durante todo o processo e também ao final dele.

## 3. O SISTEMA EM DESENVOLVIMENTO NO INPE

O sistema para a determinação de campos de ventos em desenvolvimento no INPE segue a filosofia do sistema da Japanese Meteorological Agency, descrito por Hamada (1985). A implementação está sendo feita em um minicomputador SISCO MB8000, com a configuração apresentada na Figura 2.

Trata-se de um sistema automático para seleção e rastreo de nuvens baixas (cumulus), densas, com contornos bem definidos.

Os módulos já implantados estão descritos a seguir.

### 3.1 - NAVEGAÇÃO

Foram implantadas as rotinas desenvolvidas por Hambrick e Phillips (1980), para o VIRGS (VISSR Image Registration and Gridding System), do NESS/NESDIS, que têm a finalidade de navegar as imagens obtidas dos satélites GOES, geradas normalmente a cada meia hora.

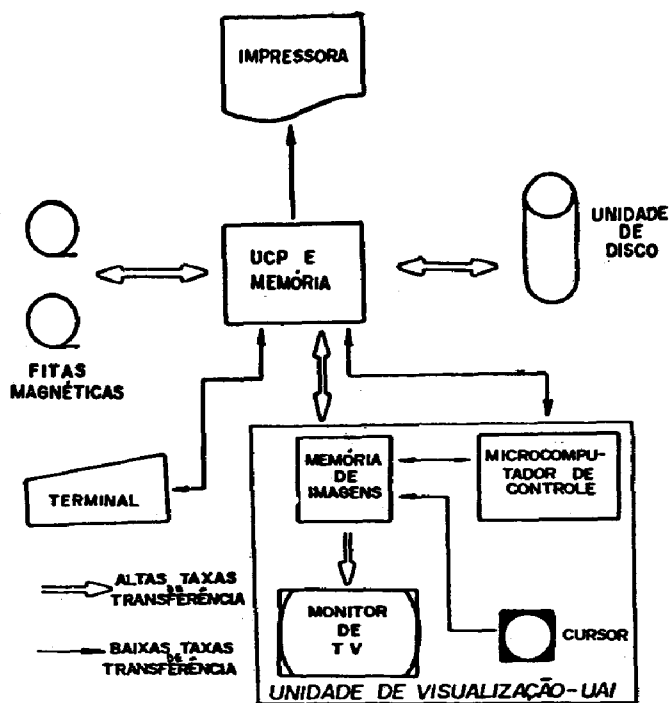


Fig. 2 - Configuração do sistema utilizado, baseado no computador SISCO MB8000.

FONTE: Santellano (1986), Fig. 4.

### 3.2 - SELEÇÃO DE ÁREAS CONTENDO NUVENS BAIXAS

Este módulo emprega dados de radiossonda para a determinação do perfil vertical de temperatura da área sob análise, e também utiliza o histograma correspondente. A partir destas duas fontes de dados, extraem-se parâmetros que servirão para a seleção de áreas com nuvens baixas.

O desenvolvimento e os testes foram feitos em uma região sobre o Oceano Pacífico, centrada na estação meteorológica de Puerto Montt, e mostrada na Figura 3.

### 3.3 - RASTREIO DAS NUVENS

O rastreo das nuvens é feito pelo método do coeficiente de correlação. Este método de determinação de similaridade entre uma área da primeira imagem e a área correspondente da segunda imagem foi escolhido por ter o melhor desempenho, porém a um alto custo computacional.

Para a redução deste custo pode-se fazer o registro translacional em dois estágios, visando ao aumento da velocidade do processo de busca. No primeiro estágio, faz-se uma amostragem da área de busca e da área de referência, e determina-se um primeiro coeficiente, grosseiro. Se este coeficiente for superior a um dado limiar, escolhido empiricamente, calcula-se um novo coeficiente de correlação e determina-se a posição de registro, trabalhando-se agora com as imagens na resolução original.

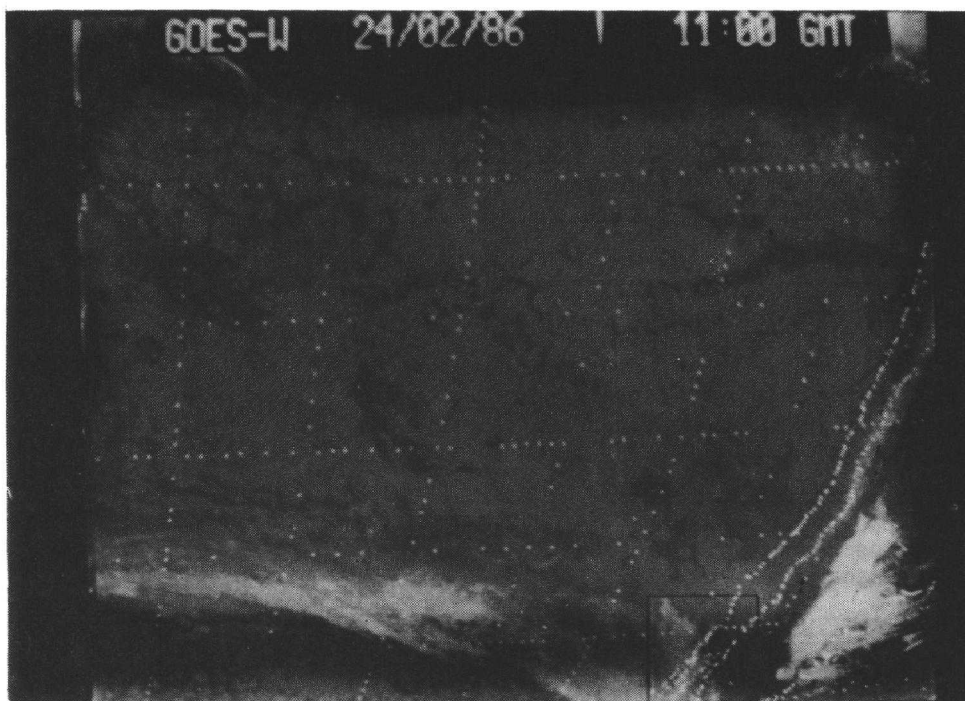


Fig. 3 - Região utilizada para os testes do módulo de seleção de áreas contendo nuvens baixas (canal infravermelho).

As Figuras 4 e 5 apresentam a primeira imagem de uma sequência utilizada nos testes, e a Figura 6 mostra os vetores gerados, traçados manualmente, correspondentes ao deslocamento das nuvens no quadrante superior esquerdo da área assinalada, escolhida como região de trabalho para desenvolvimento.

Os resultados obtidos para vários tamanhos de área de referência (15x15 e 7x7 pontos) e da área de busca (31x31 e 15x15 pontos), respectivamente, indicam que:

- a) janelas de 7x7 para a área de referência e 15x15 para a área de busca são muito pequenas, produzindo vetores incorretos;
- b) janelas de 15x15 para a área de referência e 31x31 para a área de busca são adequadas para o registro, produzindo resultados satisfatórios, porém incluindo vetores velocidade com erro, e exigindo um tempo de processamento excessivamente longo, apesar do rastreamento ser feito em dois estágios; isto se deve à não inclusão de um processo de otimização na escolha do limiar.

#### 4. CONCLUSÕES

Tendo em vista estes testes preliminares, conclui-se pela necessidade de:

- a) melhoria do registro por técnicas correlacionais, estudando-se outros tamanhos de janelas e vários limiares para o coeficiente de correlação, quando determinado em dois estágios;
- b) pesquisa de outros métodos de rastreamento e medidas de similaridade, tais como testes sequenciais de hipóteses (Pereira e Mascarenhas, 1984; Mascarenhas e Erthal, 1984) e SSDA - "sequential similarity detection algorithm" (Barnea e Silverman, 1972).

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNEA, D.I.; SILVERMAN, H.F. A class of algorithms for fast digital image registration. IEEE Transactions on Computers, C-21(2): 179-186, 1972.
- ENDLICH, R.M.; WOLF, D.E.; HALL, D.J.; BRAIN, A.E. Use of a pattern recognition technique for determining cloud motions from sequences of satellite photographs. Journal of Applied Meteorology, 10: 105-117, 1971.
- HAMADA, T. Improvements in geostationary satellite wind observations as a result of the global weather experiment and applications of these in the context of the WWW system. A lecture to be submitted to the Conference on the Results of the Global Weather Experiment and their Implications for the WWW, Geneva, May 27-31, 1985.
- HAMBRICK, L.N.; PHILLIPS, D.R. Earth location image data of spin stabilized geosynchronous satellites. Washington, D.C., NOAA/NESS, 1980.
- LEESE, J.A.; NOVAK, C.S.; CLARK, B.B. An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchronous satellite data using cross correlation. Journal of Applied Meteorology, 10: 118-132, 1971.
- MASCARENHAS, N.D.A.; ERTHAL, G.J. On the relationship between gaussian and binomial models for image registration by sequential tests of hypotheses. 15th International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing. Rio de Janeiro, Brasil, Junho 17-29, 1984.
- McPHERSON, R.D. Cloud drift wind estimates during FGGE. Lecture prepared for the FGGE Workshop, Woods Hole, Massachusetts, July 9-20, 1984.

MOSHER, F.R. Cloud drift winds from geostationary satellites. *Atmospheric Technology*, 10: 53-60, Winter 1978-1979.

PEREIRA, J.A.G.; MASCARENHAS, N.D.A. Digital image registration by sequential analysis. *Computer and Graphics*, 8(3): 247-253, 1984.

SANTELLANO, J. Projeto e implementação do módulo supervisor de um sistema de processamento de imagens. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, Mar. 1986 (INPE-3835-TDL/211).

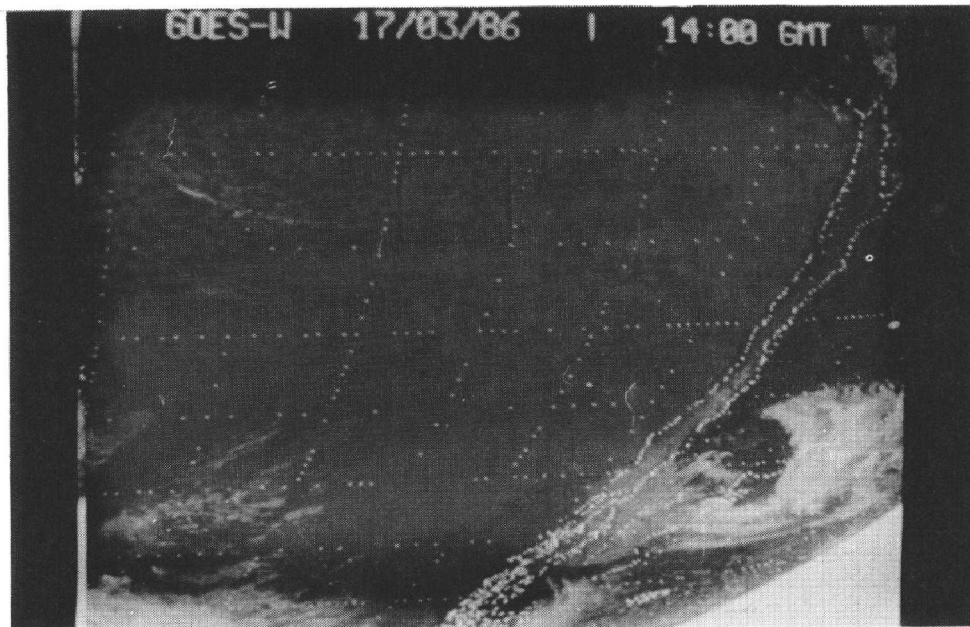


Fig. 4 - Imagem no canal infravermelho, utilizada para teste.

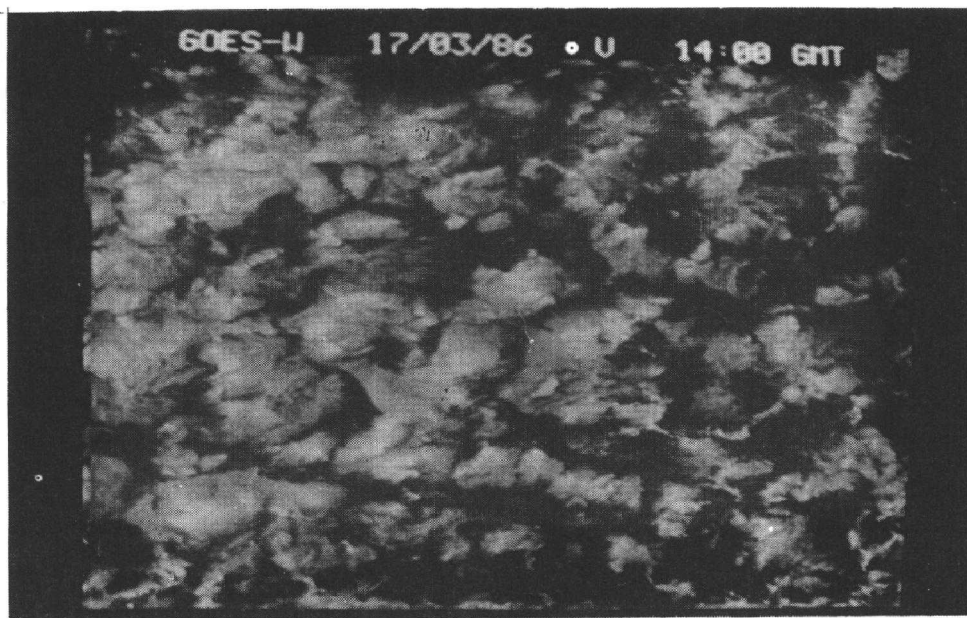


Fig. 5 - Setor de trabalho no canal visível.



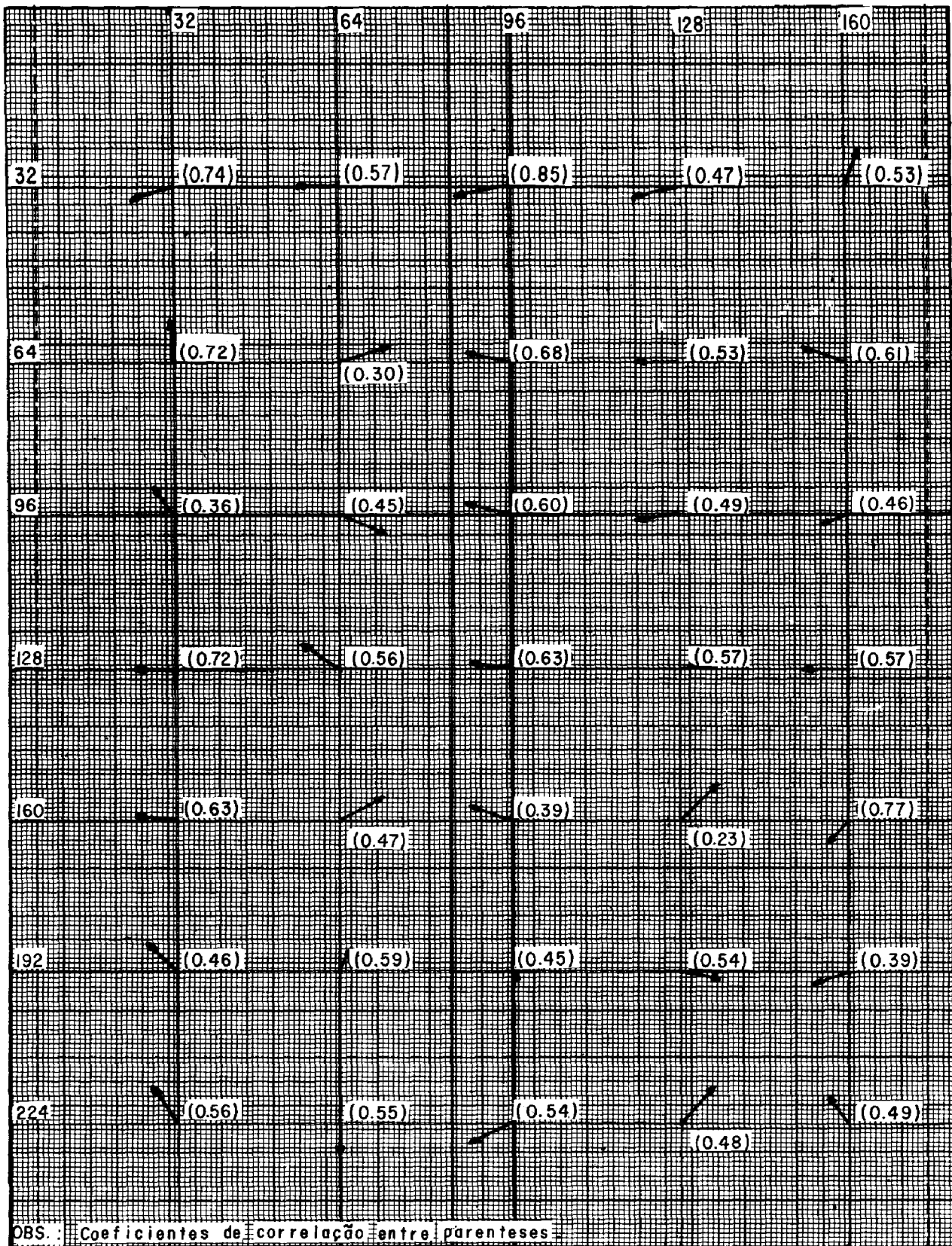


Fig. 6 - Vetores correspondentes ao deslocamento das nuvens da primeira para a segunda imagem da sequência