

# GARCIA DE ORTA

## SÉRIE DE GEOGRAFIA

VOL. 5 • N.º 1 e 2 • 1979



REVISTA DA  
JUNTA DE INVESTIGAÇÕES CIENTÍFICAS DO ULTRAMAR

L I S B O A

Sala .....

Est. ....

Tab. ....

N.º .....

CDU 91 (05)

# JUNTA DE INVESTIGAÇÕES CIENTÍFICAS DO ULTRAMAR

GARCIA DE ORTA

SÉRIE DE GEOGRAFIA

Vol. 5 • N.ºs 1 e 2 • 1979

## CORPO EDITORIAL

ILIDIO DO AMARAL  
JOSÉ FARINHA DA CONCEIÇÃO  
ALVARO DINIZ CAMPOS AMORES

---

**Preço de cada número 50\$00**

---

Os pedidos de assinatura, ou de número avulso, devem ser dirigidos ao Serviço de Publicações da  
JUNTA DE INVESTIGAÇÕES CIENTÍFICAS DO ULTRAMAR, Rua da Junqueira, 86  
1300 LISBOA



# Aplicação de satélites artificiais ao estudo da geodesia

MARIA OFÉLIA MADUREIRA

Centro de Geografia do Ultramar

(Recebido em 2-VIII-1978)

Os assuntos aqui referidos dizem respeito aos sistemas utilizados em geodesia com base na observação de satélites artificiais da Terra. Mereceram especial interesse os que tratam da fotografia sobre fundo de estrelas, bem como o sistema Secor, a telemetria laser, o sistema Transit e o sistema Géole. Apresentam-se ainda alguns sistemas previstos para os próximos anos, e faz-se referência a satélites geodésicos e métodos básicos para a sua observação.

The subjects here referred concern the systems utilized in geodesy based on the observation of artificial Earth satellites. Particular attention was payed to those which deal with photography against star background, as well as to the Secor system, the laser telemetry, the Transit system and the Géole system. Some systems foreseen for the next years are also presented and reference is made to geodetic satellites and basic methods for its observation.

## 1 — INTRODUÇÃO

Este trabalho é uma exposição que pretende dar uma ideia geral sobre a contribuição que os satélites artificiais trouxeram a uma das mais antigas ciências da Terra: a geodesia.

E, dando então uma visão muito generalizada, não pode dirigir-se a especialistas de geodesia espacial, como é uso designar a geodesia que utiliza satélites artificiais da Terra, mas aos que iniciam agora os primeiros contactos neste campo ou a todos os que, embora não desejando vir a dedicar-se à geodesia espacial, pretendam, no entanto, estar a par das novas técnicas da moderna geodesia.

Como sabemos, a geodesia pode considerar-se dividida em duas partes: a geodesia geométrica, que estuda a forma e tamanho da Terra, assim como a localização de pontos à sua superfície; e a geodesia dinâmica, que se dedica ao estudo do campo de gravidade terrestre.

No entanto, em geodesia espacial essas matérias de tal modo se combinam em certos métodos de observação que quase só teoricamente as podemos considerar dissociadas.

## 2 — O SATÉLITE E AS APLICAÇÕES GEODÉSICAS

O aparecimento do satélite artificial da Terra tornou possível, a par da resolução de vários problemas de ordem prática, o apuramento de técnicas complexas e o desenvolvimento de estudos de carácter mais científico e que continuam a dominar o espírito de investigação dos geodestas.

Os problemas práticos mais notáveis consistem na ligação geodésica entre continentes, entre continentes e ilhas e, de um modo geral, entre redes geodésicas cujos pontos, por muito distantes, não preenchem condições de intervisibilidade que permitam a sua observação directa. Utiliza-se então o satélite como marco geodésico intermédio. Além disto, as observações de satélites



permitem o estabelecimento de redes mundiais com cerca de 40 vértices e lados da ordem dos 4000 km que servirão de apoio a redes continentais; estes, por sua vez, permitirão novos adensamentos de redes num sistema tridimensional de origem comum, aptos para novas aplicações e investigações.

Assim, numerosos trabalhos têm sido levados a cabo, estando alguns já concluídos e com resultados publicados e outros ainda na fase de tratamento de dados e cálculo, geralmente moroso devido à redundância de observações, que, como é sabido, exige uma análise aturada, a fim de conduzir a soluções de confiança.

Entre os trabalhos já realizados ou em curso podemos citar: o estabelecimento de uma rede geodésica mundial na qual o vértice n.º 7 se situa no arquipélago dos Açores; o estabelecimento de

redes continentais na América do Norte e na América do Sul; a ligação da ilha da Trindade ao datum norte-americano e através da qual também se ligou a este o datum sul-americano; a ligação da Europa a África; a ligação da Europa à América do Sul, via África; a ligação do arquipélago dos Açores ao continente europeu; a ligação das ilhas Aleutas ao Alasca por intermédio de três estações canadianas; etc.

Quanto às novas técnicas, mais adiante se darão umas noções quando nos referirmos aos sistemas de observação.

No que diz respeito aos estudos para cujo desenvolvimento a geodesia espacial tanto tem contribuído, salientamos, por exemplo, que o conhecimento da variação dos parâmetros da órbita de um satélite (fig. 1), aliás indispensável para a sua observação, nos conduz paralelamente à geo-

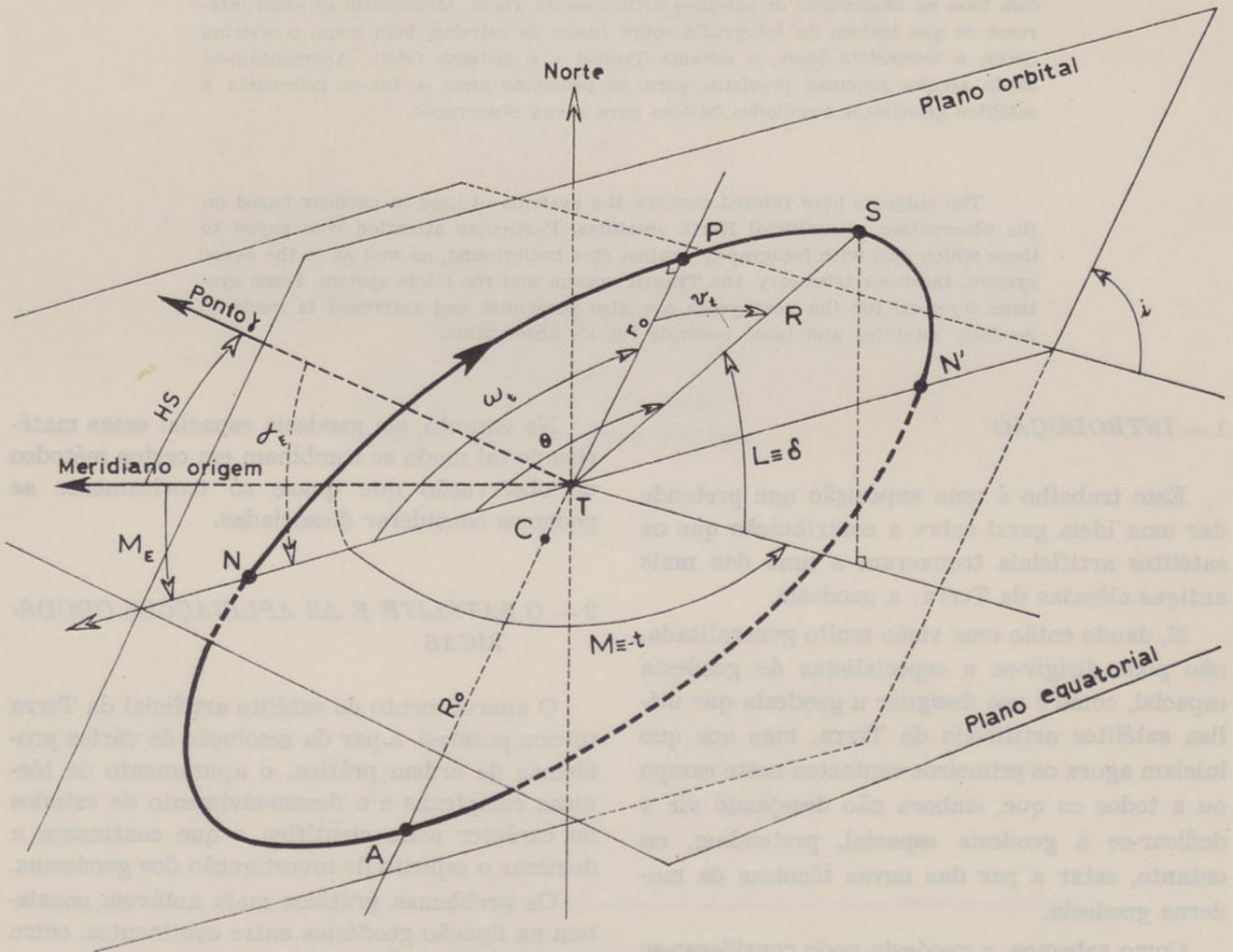


Fig. 1 — Elementos de uma órbita: A — apogeu; P — perigeu; S — posição do satélite no instante t; N — nodo ascendente; N' — nodo descendente; C — centro da elipse orbital; T — Terra (foco da elipse);  $R_0 = a(1+e)$ ;  $r_0 = a(1-e)$ ;  $CT = ae$ ;  $v_t$  — anomalia verdadeira;  $\omega_t$  — argumento do perigeu;  $\theta$  — argumento do satélite; M — longitude; L — latitude geocéntrica; t — ângulo horário;  $\delta$  — declinação;  $\alpha_E$  — ascensão recta do nodo ascendente; HS — hora sideral;  $M_E$  — longitude do nodo ascendente; i — inclinação; R — raio vector

(Adaptado de A. Lacomme-Lahourguette. IGN — França)

desia dinâmica, ou seja, ao campo do potencial terrestre. O conhecimento da órbita permite-nos chegar a bons resultados de posição; o estudo da variação dos parâmetros dessa órbita conduz-nos a um melhor conhecimento do potencial terrestre; e um bom modelo matemático do potencial leva-nos novamente a uma boa previsão da órbita. É evidente então a íntima relação entre a geodesia geométrica e a geodesia dinâmica quando se utilizam os satélites.

Voltando à dimensão e forma do nosso planeta, sabe-se que investigações referentes ao período e à aceleração de um satélite nos permitem melhorar o conhecimento da sua dimensão e que a variação da ascensão recta do nodo ascendente da órbita nos leva a conclusões sobre o achatamento da Terra.

Além do que já citámos, também a rotação terrestre e o movimento dos pólos podem ser objecto de investigações a partir de dados superabundantes obtidos em certos sistemas de observação de satélites, tratados em tempo diferido por meio de adequados métodos matemáticos, astronómicos e físicos.

### 3 — MÉTODOS BÁSICOS DE OBSERVAÇÃO

Anteriormente referimo-nos a ligações geodésicas. Para as efectuarmos, dispomos de dois métodos: o método das observações simultâneas e o método orbital. Nestes dois métodos podemos utilizar equipamento óptico, equipamento electrónico ou a combinação de ambos.

#### 3.1 — Método das observações simultâneas

O método das observações simultâneas, como o nome indica, exige que o satélite seja visível durante um certo espaço de tempo de todas as estações intervenientes no processo que há-de conduzir à ligação dos *data* que se pretende (fig. 2).

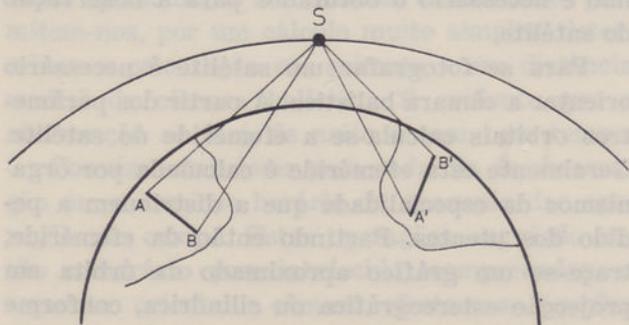


Fig. 2 — Observações simultâneas

Utilizando este método, se num dado instante e a partir de várias estações  $A, B, C, \dots$ , de coordenadas conhecidas, fotografarmos um objecto  $S$  (posição do satélite no instante dado) e bem assim as estrelas  $E$  que o rodeiam, podemos determinar as direcções  $AE, BE, CE, \dots$  num sistema de eixos tridimensional ligado à Terra, conhecendo as coordenadas equatoriais  $\alpha$  e  $\delta$  respectivamente ascensão recta e declinação de  $E$  no tempo considerado (tempo universal). Utilizando a fotografia com as imagens de  $E$  e de  $S$ , podemos, por comparação e cálculo, obter as direcções  $AS, BS, CS, \dots$  no mesmo sistema de eixos acima mencionado. Da intersecção destas direcções deriva uma posição para  $S$  (fig. 3). Ora,

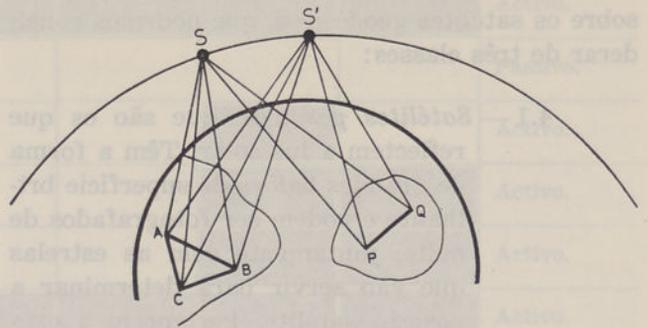


Fig. 3 — Determinação de posições por observações simultâneas

se a partir de estações  $P, Q, \dots$ , de coordenadas desconhecidas, e das estações  $A, B, C, \dots$ , de coordenadas conhecidas, observarmos simultaneamente as posições satélite  $S, S', \dots$ , a intersecção das direcções  $SP, SQ, \dots$  respectivamente com as direcções  $S'P, S'Q, \dots$  determinarão as posições de  $P, Q, \dots$

#### 3.2 — Método orbital

O método orbital (fig. 4) não requer a condição de intervisibilidade das estações intervenientes, mas exige um conhecimento preciso da órbita do satélite. Permite, como é evidente, ligações de

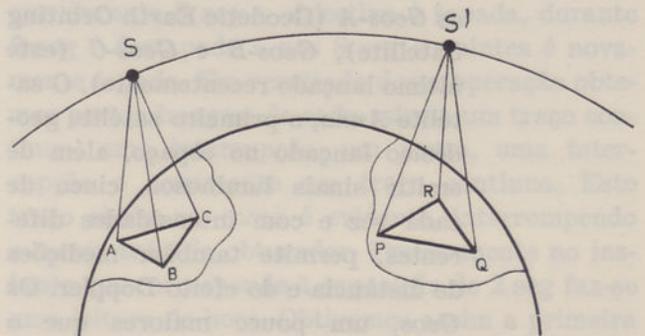


Fig. 4 — Método orbital

estações ainda mais distanciadas do que no método anterior. Neste método combinam-se as coordenadas obtidas na placa fotográfica para determinar as coordenadas espaciais do lugar de observação. Obtemos então as coordenadas geocêntricas, passando para as coordenadas geodésicas por fórmulas de transformação. Para calcular as posições relativas de dois *data* usam-se arcos de órbita previamente calculados para interpolação juntamente com os dados de observação.

#### 4 — O SATÉLITE GEODÉSICO

Antes de prosseguir convém falar um pouco sobre os satélites geodésicos, que podemos considerar de três classes:

4.1 — *Satélites passivos*, que são os que reflectem a luz solar. Têm a forma de grandes balões de superfície brilhante e podem ser fotografados de noite, juntamente com as estrelas que vão servir para determinar a posição satélite. Pertencem a esta classe os satélites *Echo-I* e *Echo-II* e o satélite *Pageos* (Passive Geodetic Satellite). São enorme balões de cerca de 30 m de diâmetro, permitindo ligações entre estações que distem de 2000 km a 5000 km (2000 km para o *Echo* e 5000 km para o *Pageos*).

4.2 — *Satélites activos*, equipados de fontes geradoras que lhes permitem emitir sinais, quer ópticos quer electrónicos, em tempos determinados. Geralmente possuem lâmpadas estroboscópicas com xénon de grande intensidade, mas com sinais luminosos de curta duração. São satélites activos, entre outros, o *Anna* (Air Force, Navy, NASA, Army) e os *Geos-A* (Geodetic Earth Orbiting Satellite), *Geos-B* e *Geos-C* (este último lançado recentemente). O satélite *Anna*, o primeiro satélite geodésico lançado no espaço, além de emitir sinais luminosos, cinco de cada vez e com intensidades diferentes, permite também medições de distância e do efeito Doppler. Os *Geos*, um pouco maiores que o *Anna*, além das possibilidades de

observação do *Anna*, permitem também, a partir de um grupo de reflectores especiais, a reflexão de raios laser.

4.3 — *Satélites cooperativos*, que não possuem qualquer fonte luminosa ou electrónica, mas estão providos de alvos capazes de reflectirem sinais, como, por exemplo, provenientes de raios laser emitidos de uma estação terrestre, onde serão novamente detectados.

#### 5 — SISTEMAS DE OBSERVAÇÃO

Como dissemos atrás, o satélite geodésico pode ser observado por meios ópticos e por meios electrónicos. Façamos uma descrição sumária de alguns sistemas de observação.

##### 5.1 — Fotografia sobre fundo de estrelas

As câmaras fotográficas utilizadas para fotografar o satélite e as estrelas podem ser do tipo Baker-Nunn, que segue o satélite, ou câmaras balísticas fixas como as câmaras *BC-4*, *PC-1000* e *IGN*, entre outras.

Se o satélite é activo, emite sinais luminosos, em grupos de 4, 5 ou 7, conforme o satélite, e assim a objectiva mantém-se aberta durante a passagem do engenho no campo de visão da máquina.

Se o satélite é passivo, então a câmara balística está munida de um obturador de alta precisão que se põe a funcionar uns minutos antes de o satélite entrar no campo. Por efeito do obturador, em vez de se obter por imagem do satélite um traço contínuo, obtém-se uma imagem pontuada.

No caso de o satélite ser cooperativo, já sabemos que podemos fotografar o reflexo do tiro laser na própria estação que o emitiu. Neste caso não é necessário o obturador para a observação do satélite.

Para se fotografar um satélite é necessário orientar a câmara balística. A partir dos parâmetros orbitais calcula-se a efeméride do satélite. Geralmente esta efeméride é calculada por organismos da especialidade que a distribuem a pedido dos utentes. Partindo então da efeméride, traça-se um gráfico aproximado da órbita em projecção estereográfica ou cilíndrica, conforme a localização da estação observadora. Rodando o

## QUADRO I

## Alguns satélites utilizados em geodesia

Satélite	Ano	País	Sinais luminosos	Radar	Emissor estável	Reflector laser	Classe
<i>Echo-I</i> ... ..	1960	USA					Passivo.
<i>Anna</i> (*) ... ..	1962	USA					Activo.
<i>Echo-II</i> .. ..	1964	USA					Passivo.
<i>Beacon-B</i> ... ..	1964	USA					Cooperativo.
<i>Beacon-C</i> ... ..	1965	USA					Cooperativo.
<i>Geos-A</i> (*) .. ..	1965	USA					Activo.
<i>Pageos</i> (*) .. ..	1966	USA					Passivo.
<i>Diapason (D1-A)</i> ... ..	1966	França					Activo.
<i>Diadème-1 (D1-C)</i> (*) ... ..	1967	França					Activo.
<i>Diadème-2 (D1-D)</i> (*) ... ..	1967	França					Activo.
<i>Geos-B</i> (*) .. ..	1968	USA					Activo.
<i>Peole</i> .. ..	1970	França					Cooperativo.
<i>Triad</i> .. ..	1972	USA					Activo.
<i>Geos-C</i> (*) .. ..	1975	USA					Activo.

(\*) Satélites cuja missão era exclusivamente geodésica.

gráfico sobre a projecção com início nas posições sucessivas da longitude do nodo ascendente, escolhamos as posições que melhor convenham à estação de observação. Obtemos assim um tempo de observação *TU* e uma posição correspondente dada por *M*, *L* e *H*, respectivamente longitude, latitude e altitude do satélite a fotografar. Estes elementos juntamente com os valores da latitude e da longitude aproximadas do local de observação (uma aproximação aos minutos é suficiente) permitem-nos, por um cálculo muito simples, determinar a orientação em azimute e em distância zenital da câmara balística. É evidente que a observação se fará de noite e com bom tempo.

Convém estabelecer para cada dia de observação um minucioso horário da execução das operações no campo. Estas operações, seguindo então o horário preestabelecido, compreendem o seguinte: orientar a câmara, efectuar as ligações eléctricas, colocar o cronómetro em marcha e re-

gistar o tempo; tirar a cobertura do *châssis* e destapar a objectiva; começar a fotografia das estrelas que dá origem na chapa a traços paralelos contínuos; colocar o obturador de estrelas a funcionar à cadência de 16-4-16 seg ou de 8-2-8 seg, conforme o eixo da câmara estiver a menos de 30° do pólo ou a mais de 30° do pólo. Suponhamos que pomos o obturador das estrelas a funcionar à cadência de 8-2-8 seg. Isto significa que durante 8 seg a objectiva é tapada, durante 2 seg é destapada e nos 8 seg seguintes é novamente tapada. Em resultado desta operação obtemos para a imagem de cada estrela um traço contínuo, uma interrupção, um ponto, uma interrupção e novamente um traço contínuo. Este traço obtém-se, como é evidente, interrompendo o movimento do obturador. Precisamente no instante que corresponde à exposição de 2 seg faz-se uma leitura de hora. Obtivemos assim a primeira *pose* das estrelas antes da passagem do satélite.

Aproximando-se então a hora da passagem, coloca-se o obturador do satélite em marcha no caso de satélite passivo ou deixa-se a objectiva aberta no caso de satélite activo. Como a velocidade aparente do satélite é superior à das estrelas, enquanto o satélite apresenta uma imagem pontuada, que atravessa toda a placa, as estrelas no mesmo espaço de tempo apresentam um traço de aparência mais fina, devido, como é óbvio, aos cortes do obturador. Durante a passagem do satélite são registadas as horas de ocultações efectuadas manualmente pelo observador, assim como a hora da passagem do satélite no centro do campo. Se existir alguma diferença entre esta hora observada e a hora que tinha sido prevista e que se encontra registada no horário a que atrás nos referimos, convém para as futuras observações corrigir os elementos de pontaria da câmara e deixar a hora de observação sem alteração.

Tanto à entrada do satélite no campo como à saída efectua-se leituras no cronoscópio.

Acabada esta fase, procede-se a uma segunda *pose* de estrelas que se desenrola como indicado para a primeira *pose*. Podemos aqui introduzir um pormenor, como, por exemplo, maior espaço de tempo de exposição, que servirá para nos indicar na fotografia o sentido do movimento diurno.

Finalmente, toma-se nota da temperatura e da pressão e faz-se novo registo da hora para o estado do cronómetro.

Este procedimento adapta-se às câmaras balísticas *IGN* e, como se vê, só se indicaram os passos gerais.

Obtidas as chapas fotográficas já reveladas e as reproduções em papel, procede-se à identificação de algumas estrelas, servindo-nos, por exemplo, de uma carta celeste.

No gabinete de cálculo, utilizando o cálculo automático, são seleccionadas as estrelas de cada placa e calculadas as suas coordenadas instrumentais, ou seja, do aparelho onde a placa vai ser lida. Evidentemente que entre estas coordenadas calculadas e as coordenadas medidas na placa existe uma discrepância, mas no entanto servem de base de orientação e identificação das estrelas durante a operação de medição das coordenadas instrumentais; estas constituem as verdadeiras observações que irão dar origem a todo o processo de cálculo e compensação que nos conduzirá às coordenadas das estações desconhecidas. Estas fases de medição e cálculo são delicadas e morosas, apesar da utilização de computadores com programações perfeitamente elaboradas.

## 5.2 — Sistema Secor

O sistema Secor (Sequential Collation of Range), desenvolvido nos USA, emprega equipamento electrónico de grande volume e complexidade para medir distâncias entre a estação terrestre e a posição satélite.

Cada estação está equipada com emissor, receptor, gerador, relógio de grande precisão e registador com fita magnética e fita de papel.

O satélite, colocado em órbita circular de cerca de 3000 km, transporta um radioreceptor-emissor associado a unidades abastecedoras de potência, recebendo e transmitindo as frequências utilizadas nas medições de distância.

O sistema Secor compreende quatro estações em terra, três das quais têm coordenadas conhecidas, sendo a quarta aquela cujas coordenadas pretendemos determinar.

Utilizando o método das observações simultâneas, o esquema é o seguinte (fig. 5):

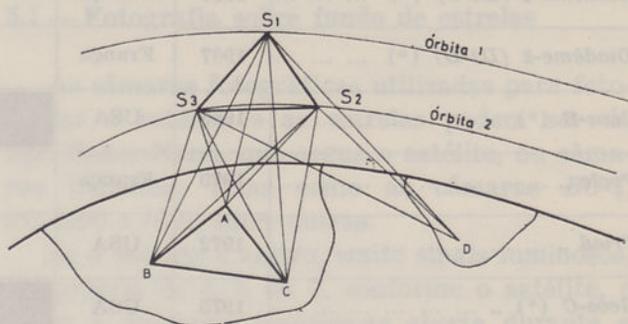


Fig. 5 — Esquema de observações simultâneas no sistema Secor

Três estações de coordenadas conhecidas *A*, *B* e *C* observam simultaneamente o satélite nas posições  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  não colineares, isto é, duas posições podem pertencer à mesma órbita mas a terceira não. Formam-se, assim, geometricamente três tetraedros de base comum *ABC* e de vértice respectivamente  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ . Se da estação *D*, cujas coordenadas pretendemos determinar, observarmos também o satélite nas posições  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , obtemos novo tetraedro de base  $S_1S_2S_3$  e vértice em *D*. Logo, determinando as posições  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , a partir de *A*, *B* e *C* podemos determinar *D* a partir de  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  e das distâncias observadas.

As determinações de distâncias pelo sistema Secor desenvolvem-se a uma cadência de 50 msec para as quatro estações. Assim, em poucos minutos obtêm-se alguns milhares de observações. Esta superabundância de medições, com adequada atribuição de pesos e a aplicação do mé-

todo dos mínimos quadrados, conduz-nos ao valor mais provável das coordenadas de *D*.

Se o satélite não for observável simultaneamente das quatro estações, poderemos aplicar o método orbital (fig. 6). Neste caso arcos de duas

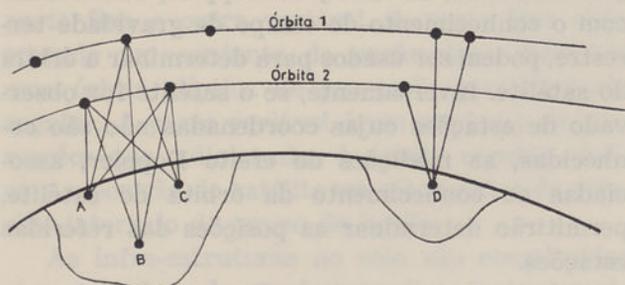


Fig. 6 — Método orbital

ou mais órbitas de satélites determinados com precisão pelas três estações conhecidas serão extrapolados na vizinhança da estação a localizar. As distâncias observadas entre a estação desconhecida e a posição satélite na vizinhança citada permitem determinar as coordenadas que pretendemos.

As medições de distância obtidas são corrigidas dos erros de calibração dos aparelhos, dos erros devidos à refração troposférica e ionosférica e do efeito Doppler.

### 5.3 — Telemetria laser

O laser («light amplification by stimulated emission of radiation») foi concebido em 1958 por Charles Hard Townes (Prémio Nobel de Física, 1964), mas só foi realizado em 1960 por Maiman.

Daremos uma noção muito sumária de um laser sólido, o laser de rubi. É fundamentalmente constituído por uma barra cilíndrica de rubi, ou seja, de cristal de óxido de alumínio e de óxido de crómio trivalente com as bases polidas e reflectoras, sendo uma semitransparente. Esta barra está envolvida por uma lâmpada de xénon em forma de espiral (fig. 7).

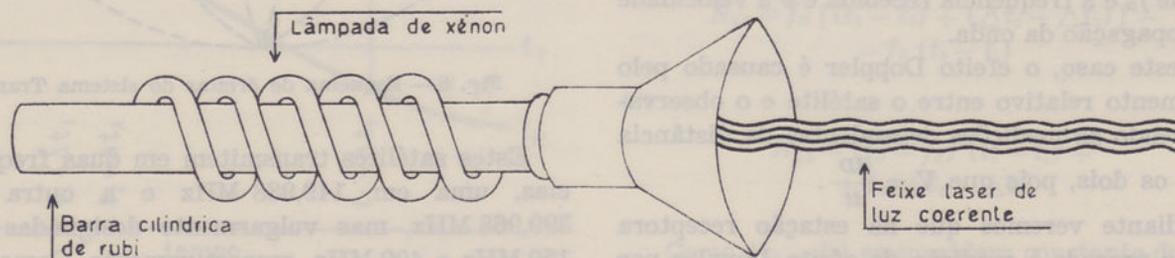


Fig. 7 — Laser

Sabe-se que os átomos do rubi podem existir em três estados de energia, respectivamente  $E_0 < E_1 < E_2$ .

A diferença entre o nível de energia fundamental  $E_0$  e o nível excitado de energia  $E_2$  corresponde à luz verde e a diferença entre o nível  $E_0$  e o nível excitado de energia  $E_1$  corresponde à luz vermelha. Como veremos, será a este último nível de energia que se dará a emissão de raios laser.

A luz verde, proveniente do tubo de xénon, vai excitar e elevar os átomos ao nível de energia mais elevado  $E_2$ . Ao passarem espontaneamente ao nível de energia  $E_1$ , dão origem à chamada inversão de população, isto é, haver mais átomos no nível excitado de energia  $E_1$  do que no estado normal  $E_0$ . Os átomos estimulados ao passarem ao estado de energia fundamental emitem fotões de energia  $E_1 - E_0$ , ou seja, de luz vermelha, que, por sua vez, vão colidir com novos átomos, produzindo nova emissão de fotões que irão emergir pela face semitransparente com a formação de um feixe laser.

Este feixe laser é, na verdade, um feixe de luz muito especial porque os fotões emitidos por estimulação produzem uma radiação coerente com a que lhes deu origem. Assim, a radiação de saída tem uma única frequência, e, por consequência, o mesmo comprimento de onda (luz vermelha), e está em fase. O feixe laser tem ainda grande intensidade e é excepcionalmente estreito e paralelo, podendo percorrer grandes distâncias em linha recta e praticamente sem dispersão.

Em telemetria o laser é utilizado como radar, sendo a distância observada uma distância de ida e volta entre a estação e o satélite. A cadência de tiro dos telémetros de origem francesa é de 2 seg, podendo mesmo atingir 1 seg. Outros telémetros só actuam a uma cadência de 20 seg. Como já dissemos, o satélite necessita de estar equipado com reflectores cata-fotos. Estes prismas reflectores quando atingidos por um tiro laser proveniente de uma estação terrestre reflectem-no na mesma direcção, mas em sentido in-

verso, sendo possível detectá-lo na estação que lhe deu origem. O receptor terrestre utiliza uma célula fotoelétrica de registo e no cálculo de distância intervém a duração da propagação e a velocidade da luz.

O laser pode ser utilizado não só em telemetria, mas também em goniometria. Utilizando um laser em que toda a potência é aplicada para iluminar os prismas cata-fotos, é possível fotografar os seus reflexos, obtendo-se observações de direcção, em vez de observações de distância.

Durante a ligação geodésica entre a Europa e a África utilizaram-se milhares de medições de ecos laser dirigidos aos satélites *Geos-A*, *D1-C* e *D1-D* e muito especialmente ao satélite *Geos-B*.

Nesta ligação utilizaram-se paralelamente a telemetria e meios ópticos, fotografando não só os sinais luminosos emitidos pelo satélite, mas também os reflexos laser. A maioria das imagens foi obtida com o telescópio Schmitt.

Convém acrescentar, embora seja óbvio, que na determinação de posições geodésicas por meio de telemetria laser podemos aplicar quer o método das observações simultâneas, quer o método orbital, e conjugar as observações de distância com as observações ópticas num aproveitamento pleno do material de observação disponível.

#### 5.4 — O sistema Transit

Em 1957, o lançamento do satélite soviético *Sputnik I* permitiu que cientistas de uma universidade americana efectuassem medições Doppler das transmissões rádio do referido satélite.

Convém recordar que o efeito Doppler é a variação de frequência  $\Delta f$  com que um sinal de frequência  $f_T$  é recebido numa estação, quando o emissor e a estação estão animados de velocidade relativa  $V$ .

Prova-se que:

$$\Delta f = f_T - f_R = \frac{f_T}{v} \cdot V$$

em que  $f_R$  é a frequência recebida e  $v$  a velocidade de propagação da onda.

Neste caso, o efeito Doppler é causado pelo movimento relativo entre o satélite e o observador, sendo as medições dependentes da distância entre os dois, pois que  $V = \frac{dD}{dt}$ .

Adiante veremos que na estação receptora não se procede à medição do efeito Doppler por meio da lei de variação da frequência  $\Delta f$ . O que

na realidade se mede é o número de ciclos ganhos ou perdidos pelo sinal recebido, integrando o efeito Doppler num dado intervalo de tempo.

Se um satélite convenientemente equipado for observado por uma rede de estações de localização conhecida, as medições Doppler, combinadas com o conhecimento do campo de gravidade terrestre, podem ser usados para determinar a órbita do satélite. Inversamente, se o satélite for observado de estações cujas coordenadas não são conhecidas, as medições do efeito Doppler, associadas ao conhecimento da órbita do satélite, permitirão determinar as posições das referidas estações.

Surgiu então o sistema Transit, inicialmente com a função de localizar submarinos e navios, mas que persistentes aperfeiçoamentos e paralela simplificação da aparelhagem de recepção em terra levaram à sua aplicação geodésica.

O sistema compreende três blocos essenciais: os satélites, a rede de trajectografia, incluindo as estações de injeção, e o equipamento de recepção utilizado pelos utentes.

Actualmente os satélites deste sistema em boas condições de funcionamento são em número de cinco; colocados em órbitas polares, com 88° de inclinação, a cerca de 1100 km de altura e com um período de 108 min, cobrem todo o globo terrestre (fig. 8).

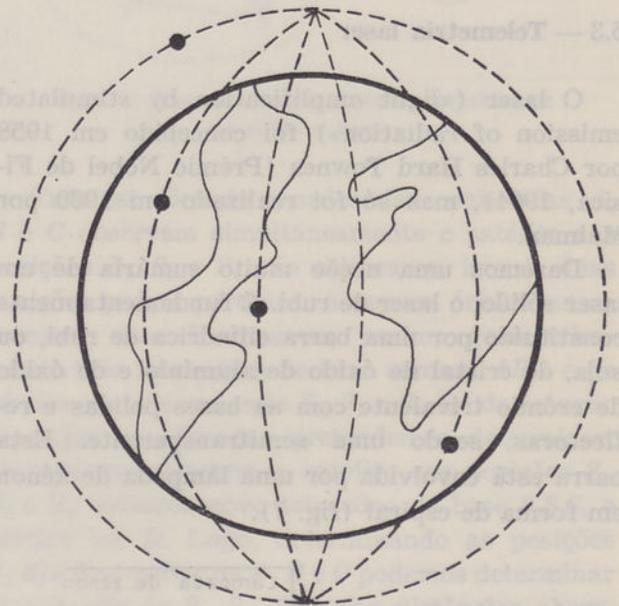


Fig. 8 — Esquema de órbitas do sistema Transit

Estes satélites transmitem em duas frequências, uma em 149,988 MHz e a outra em 399,968 MHz, mas vulgarmente designadas por 150 MHz e 400 MHz, respectivamente. Como são derivadas, por multiplicação directa do oscilador

(5 MHz) colocado a bordo do satélite, transmitem continuamente não só uma frequência constante de referência e uma mensagem de localização, mas também sinais de tempo. A mensagem dura exactamente 2 min e começa e acaba ao minuto exacto. Cada mensagem consta de uma parte fixa e outra variável. A parte fixa compreende um conjunto de parâmetros definindo uma órbita elíptica de precessão perfeitamente regular. A parte variável é um conjunto de correcções que, adicionadas à órbita regular, definem a posição do satélite em oito pontos do referido intervalo de tempo de 2 min.

As infra-estruturas no solo são constituídas por estações de trajectografia (actualmente cerca de 14 designadas por rede Tranet), um centro de cálculo e duas estações de injeção.

Por meio de antenas direccionais, cada estação de trajectografia recebe os sinais de frequência 150 MHz e 400 MHz, mede a variação dessas frequências, regista-as em função do tempo e envia-as para o centro computador, onde são calculados os novos elementos de definição das futuras órbitas. Convém fazer notar mais uma vez que para determinar uma órbita e a sua previsão é necessário dispor de um adequado modelo matemático do potencial terrestre.

O centro de cálculo envia a mensagem às estações de injeção, que a transferem para a memória do satélite apropriado. A transferência faz-se numa frequência diferente das que são utilizadas pelo satélite e demora só alguns segundos.

O satélite fica apto a transmitir a sua mensagem de 2 min durante cerca de 12 h.

Cada utente, ao receber a mensagem, fica a conhecer a posição satélite e as marcas de tempo e efectua as medições do efeito Doppler.

Para uma melhor interpretação convém atender à figura 9:

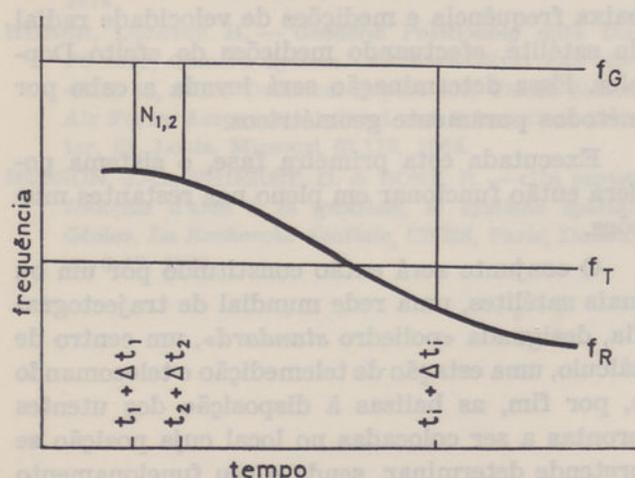


Fig. 9

em que  $f_G$  é uma frequência constante gerada na estação receptora,  $f_T$  a frequência transmitida,  $f_R$  a frequência recebida e  $N_{1,2}$  representa o número de ciclos medidos no intervalo de tempo  $(t_2 - t_1)$ .

A equação que traduz a contagem de  $N_{1,2}$  é:

$$N_{1,2} = \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} (f_G - f_R) dt \quad (1)$$

Notemos que  $t_1 + \Delta t_1$  é o tempo de recepção do sinal horário que tinha sido transmitido no tempo  $t_1$ . Assim,  $\Delta t_1$  e  $\Delta t_2$  representam a demora de propagação dos sinais nas distâncias  $D_1$  e  $D_2$  entre o satélite e o receptor.

Podemos escrever:

$$N_{1,2} = \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} f_G dt - \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} f_R dt \quad (2)$$

O primeiro integral de (2) é facilmente integrável, pois que  $f_G$  é constante, mas o segundo refere-se a  $f_R$ , que é variável. Contudo, este integral representa um número de ciclos recebidos entre os dois tempos de recepção de sinais horários. Por meio de um argumento de conservação de ciclos esta quantidade deve igualar identicamente o número de ciclos transmitidos durante o intervalo de tempo entre a transmissão desses sinais horários. Assim, temos:

$$\int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} f_R dt \equiv \int_{t_1}^{t_2} f_T dt \quad (3)$$

Substituindo em (2):

$$N_{1,2} = \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} f_G dt - \int_{t_1}^{t_2} f_T dt \quad (4)$$

Resultando:

$$N_{1,2} = f_G [(t_2 - t_1) + (\Delta t_2 - \Delta t_1)] - f_T (t_2 - t_1) \quad (5)$$

ou

$$N_{1,2} = (f_G - f_T) (t_2 - t_1) + f_G (\Delta t_2 - \Delta t_1) \quad (6)$$

Como  $(f_G - f_T)$  se considera constante durante uma passagem do satélite e como  $(t_2 - t_1)$  cor-

responde neste caso a 120 seg, o seu produto é constante.

Como o tempo de propagação  $\Delta t_i$  pode ser dado por:

$$\Delta t_i = \frac{D_i}{v} \quad (7)$$

e como o comprimento da onda é:

$$\lambda_G = \frac{v}{f_G} \quad (8)$$

substituindo em (6), temos:

$$N_{1,2} = (f_G - f_T) (t_2 - t_1) + (1/\lambda_G) (D_2 - D_1)$$

É evidente que a contagem dos ciclos do efeito Doppler está directamente relacionada com a diferença de distâncias do satélite à estação no intervalo de tempo correspondente.

Para determinar as coordenadas da estação é suficiente determinar a posição dessa estação em relação à posição conhecida do satélite. O sistema integra uma medição do efeito Doppler num intervalo de tempo  $(t_2 - t_1)$ , sendo conhecidas as duas posições satélites  $S_1$  e  $S_2$  nos tempos considerados, e o seu integral dá-nos a diferença das distâncias  $D_1$  e  $D_2$  entre a estação e as posições  $S_1$  e  $S_2$ . O problema orienta-se para uma intersecção de lugares geométricos, sendo necessário um mínimo de três medições do integral do efeito Doppler.

Com o fim de obter a precisão que satisfaça as exigências geodésicas, utilizam-se as observações de várias passagens para as submeter a um tratamento matemático especialmente elaborado para esta aplicação.

São também fontes de erro a que temos de atender quando se efectuam as observações: o ruído dos instrumentos de medição, as anomalias de propagação devidas à refacção e o erro na predição da órbita.

O primeiro pode ser determinado colocando lado a lado dois conjuntos idênticos de aparelhagem de recepção e comparar os resultados.

Quanto às anomalias devidas à refacção, consideramos a refacção ionosférica, que pode ser determinada comparando a variação da frequência Doppler a 400 MHz e a 150 MHz, e a refacção troposférica, corrigida matematicamente em função das condições climáticas observadas no local.

A previsão da órbita, já o sabemos, depende do conhecimento do campo gravítico terrestre.

Ao longo da aplicação deste sistema conseguiu-se uma notável simplificação e automatização nos aparelhos de recepção destinados aos utentes. Entre esses aparelhos de recepção Doppler podemos citar, por exemplo, o *Geoceiver*, o *J. M. R.* e o *GSS 2001*. Todos têm já um microcalculador associado, que permite calcular directamente as passagens no local de observação e possibilidade de actuar cerca de 40 h com autonomia própria, isto é, sem assistência. As observações ficam geralmente gravadas em *cassettes* para tratamento ulterior. Foi com muito êxito que a aparelhagem *Geoceiver* foi utilizada no estabelecimento de uma rede no Quénia.

### 5.5 — Sistema Géole

Ao contrário do sistema Transit, o sistema Géole foi concebido fundamentalmente para desempenhar missões geodésicas:

- Estabelecimento de uma rede geodésica mundial de 1.<sup>a</sup> ordem;
- Melhor conhecimento do potencial de gravidade terrestre;
- Localização de pontos.

Este sistema, actualmente em estudo no CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), irá, em princípio, utilizar um só satélite, mas prevê sucessivos lançamentos espaçados de aproximadamente um ano, de modo a assegurar uma cobertura permanente do Globo.

A primeira missão do satélite terá em vista a determinação precisa dos vértices da rede mundial, utilizando medições de distância obtidas em função do tempo de propagação de um sinal de baixa frequência e medições de velocidade radial do satélite, efectuando medições do efeito Doppler. Essa determinação será levada a cabo por métodos puramente geométricos.

Executada esta primeira fase, o sistema poderá então funcionar em pleno nas restantes missões.

O conjunto será então constituído por um ou mais satélites, uma rede mundial de trajectografia, designada «*poliedro standard*», um centro de cálculo, uma estação de telemedição e telecomando e, por fim, as balizas à disposição dos utentes prontas a ser colocadas no local cuja posição se pretende determinar, sendo o seu funcionamento totalmente automático.

Para efectuar as medições de distância e do efeito Doppler são utilizadas ondas electromagnéticas de duas frequências ligadas em fase (400 MHz-2000 MHz). A utilização destas duas frequências permite a eliminação do erro ionosférico.

Esquemáticamente o funcionamento deste sistema para a determinação de uma posição é o seguinte:

A estação de telecomando envia ao satélite as ordens de trabalho, tais como: balizas a interrogar, hora de interrogação e mensagem a transmitir às balizas. Estas ordens são registadas na memória do satélite. Quando este se encontra em posição de intervisibilidade com as balizas, geralmente três conhecidas e uma de coordenadas desconhecidas, executa as ordens recebidas e cada baliza emite, por sua vez, os sinais de localização, quer de distância, quer do efeito Doppler, assim como informações sobre a temperatura, pressão e humidade que servirão para o cálculo das correcções troposféricas.

Quando o satélite passa novamente sobre a estação de telecomando, transmite todas as informações anteriormente recebidas, sendo então enviadas ao centro de cálculo, onde rapidamente são obtidas as posições das balizas desejadas.

## 5.6 — Alguns sistemas previstos para os próximos anos

Para finalizar não podemos deixar de referir que, além do sistema Géole, em estudo, e que se espera estar operacional por 1980, também na mesma época o sistema Transit deverá ser substituído pelo Navstar (Global Positioning System), da responsabilidade das forças militares dos USA, que irá operar com um conjunto de 24 satélites para localização de pontos fixos e móveis.

Também a física da Terra e dos oceanos vai continuar a ser objecto de estudos. Para tal, o programa EOPAP (Earth and Ocean Physics Application Program), da NASA, irá utilizar os satélites *Geos-C*, já em órbita; *Lageos* para telemetria laser; *Seasat-A*, primeiro satélite de investigação dos oceanos, previsto para 1978; e ainda os satélites *Gravsat* e *Geopause*, o primeiro destinado a estudos sobre o campo de gravidade terrestre e o segundo para transmissão de dados e para a trajectografia do *Gravsat*.

O satélite *Geos-C* pode operar com radar, laser e efeito Doppler, levando também a bordo um sistema de radar para funcionar como altímetro, que irá permitir o estudo das ondulações do geóide.

## BIBLIOGRAFIA

- GULLEY, F. L. — «Measuring Around the Earth by Electronic Tracking of Satellites». *Revista Cartográfica*, Buenos Aires, ano 14, n.º 14.
- HENRY, RE, Major W. M. — «Doppler geodetic point positioning using artificial earth satellites.» *Geodesy in Africa and field operations in Kenya*. Presented to the International Association of Geodesy, Symposium on Geology in Africa, Khartoum, Sudam, 1974.
- HUBER, Donovan H. — *Geodetic Positioning with the PC-1000, Camera System (AF 65-WGS 2) (AF 65-ETR 1)*, ACIC Technical Report 105, United States Air Force, Aeronautical Chart and Information Center, St. Louis, Missouri 63 118, 1968.
- HUSSON, J.-C., THIERET, D. & BOST, R. — «Un projet français d'aide à la géodésie, le système spatial Géole». *La Recherche Spatiale*, CNES, Paris, Dunod, IX, 8-12, 1970.
- «Le programme Géole proposé par le Centre National d'Etudes Spatiales». *Bulletin d'information*, Paris, Institut Géographique National, 28, 1975.
- KLOSKO, S. M. & KRABILL, W. B. — «C — Band Station coordinate determination for the *Geos-C* altimeter calibration area». *Bulletin Géodésique*, Paris, Bureau Central de l'AIG, 114, 1974.
- LEVALLOIS, J. J. & KOVALEVSKY, J. — *Géodésie Générale*, tome 4, *Géodésie Spatiale*, Paris, Eyrolles, 1969.
- STANSELL, JR., Thomas A. — *The Navy Navigation Satellite System — Description and Status*, Magnavox, Torrance, Calif. 90 503.
- WALKER, James W. — «Doppler geodetic point positioning using artificial earth satellites.» *Data reduction and analysis of results in Kenya*. Presented to the International Association of Geodesy. Symposium on Geodesy in Africa, Khartoum, Sudan, 1974.



# Um processo para substituir um sistema de equações linearmente independentes $AX=B$ por um sistema equivalente $CX=D$ tal que as linhas de $C$ sejam vectores unitários e mutuamente ortogonais

MARIE ANGE JEANNE TOURET

Centro de Geografia do Ultramar

(Recebido em 2-VIII-1978)

A finalidade deste texto é apresentar um processo para substituir um sistema de equações linearmente independentes  $AX=B$  por um sistema equivalente  $CX=D$  tal que as linhas de  $C$  sejam vectores unitários e mutuamente ortogonais, mas julgou-se oportuno discutir em primeiro lugar em que condições poderá um sistema ser formado por equações linearmente independentes antes de se proceder à elaboração do processo acima referenciado. Em aditamento ao método elaborado, aponta-se no terceiro parágrafo a simplificação das operações de cálculo na resolução de um sistema de equações constituído por uma matriz coeficiente cujas linhas sejam vectores unitários e mutuamente ortogonais.

The aim of this work is to present a process of replacing a system of linearly independent equations  $AX=B$  by an equivalent system  $CX=D$  such that the rows of  $C$  are mutually orthogonal unit vectors, although it is convenient to discuss first which are the conditions of forming a system by linearly independent equations before beginning with the process above mentioned. The simplification of the accounts in the solution of a system of equations constituted by a coefficient matrix, in which the rows are mutually orthogonal unit vectors is presented as a supplement in the third paragraph.

## LISTA DE SIMBOLOS

- ${}_m A_n$  ..... Matriz constituída por  $m$  linhas e  $n$  colunas.
- ${}_n A_m^T$  ..... Matriz transposta da matriz  ${}_m A_n$ .
- ${}_m \bar{A}_n$  ..... Matriz conjugada da matriz  ${}_m A_n$ .
- ${}_n A_m^*$  ..... Matriz associada da matriz  ${}_m A_n$ .
- ${}_n A_m^{-1}$  ..... Matriz inversa à direita da matriz rectangular  ${}_m A_n$  se  $m < n$ .
- ${}_m A_n^{-1}$  ..... Matriz inversa à esquerda da matriz rectangular  ${}_n A_m$  se  $n > m$ .
- ${}_n I_n$  ..... Matriz identidade:

$$1) \quad {}_n I_n = {}_n A_n^{-1} {}_n A_n = {}_n A_n {}_n A_n^{-1};$$

- 2) Matriz identidade ordinária (definição de Bjerhammar):

$${}_m I_m = {}_m A_n {}_n A_m^{-1} \quad \text{se } m < n$$

$${}_m I_m = {}_m A_n^{-1} {}_n A_m \quad \text{se } n > m$$

- ${}_n A_n^0$  ..... Matriz identidade extraordinária (definição de Bjerhammar):

$$1) \quad {}_n A_n^0 = {}_n A_m^{-1} {}_m A_n \quad \text{se } m < n;$$

$$2) \quad {}_n A_n^0 = {}_n A_m {}_m A_n^{-1} \quad \text{se } n > m.$$

- $|{}_n P_1|$  ..... Comprimento ou norma do vector  ${}_n P_1$ , que é igual a:

$$\left( ({}_n P_1^* {}_n P_1) \right)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\sum_{j=1}^n p_j \cdot p_j}$$

1 — DISCUSSÃO DOS CASOS POSSÍVEIS DE EXISTÊNCIA DE SISTEMAS DE EQUAÇÕES LINEARMENTE INDEPENDENTES  $AX = B$

Para que um sistema  ${}_m A_n \cdot {}_n X_1 = {}_m B_1$  possa ser formado por equações linearmente independentes é necessário, pelo menos, que o número de equações seja inferior ou igual ao número de incógnitas.

Se se representar por  $C_i$  o vector constituído pelos elementos da linha  $i$  da matriz aumentada  $[AB]$  do sistema  ${}_m A_n \cdot {}_n X_1 = {}_m B_1$ , a matriz  $C$  compreendida pelos  $m$  vectores  $C_i$  será  ${}_{n+1} C_m = [AB]^T$ . Por conseguinte,  ${}_{n+1} C_m$  é um conjunto de  $m$  vectores  $C_i$  pertencentes a um espaço vectorial  $\mathcal{V}_{n+1}$ .

Consideremos o seguinte teorema para a discussão de independência de vectores: «A condição necessária e suficiente para que  $k$  vectores de um  $\mathcal{V}_n$  sejam independentes, é que o seu determinante de Gram seja positivo.»

Por «matriz de Gram» de  $m$  vectores  $C_i$  pertencentes a um  $\mathcal{V}_{n+1}$ , entende-se uma matriz de produtos internos, isto é:

$$G = \begin{bmatrix} C_1^* \\ C_2^* \\ \vdots \\ C_m^* \end{bmatrix} \cdot [C_1 \ C_2 \ \dots \ C_m] = {}_m C_{n+1}^* \cdot {}_{n+1} C_m$$

Consideremos o teorema: «Um sistema qualquer  ${}_m A_n \cdot {}_n X_1 = {}_m B_1$  é consistente, isto é, admite soluções não triviais, se e só se a característica da matriz coeficiente  $[{}_m A_n]$  for igual à característica da matriz aumentada  $[{}_m A_n \ {}_m B_1]$ .»

Que valor toma o determinante de Gram da matriz dos  $m$  vectores  $C_i$  correspondentes à matriz aumentada transposta do sistema  ${}_m A_n \cdot {}_n X_1 = {}_m B_1$ ?

Se num sistema consistente  ${}_m A_n \cdot {}_n X_1 = {}_m B_1$  for:

$$1.1 — m < n$$

$${}_{n+1} C_m = [{}_m A_n \ {}_m B_1]^T,$$

$$G = {}_m C_{n+1}^* \cdot {}_{n+1} C_m$$

O determinante de Gram será igual à soma dos correspondentes determinantes maiores  $M$  de  $C^*$  e de  $C$ , isto é:

$$\det G = \sum_{i=1}^m (\det M_i^*) (\det M_i)$$

Visto o determinante de  $M_i^*$  ser o conjugado do determinante de  $M_i$ , o produto  $(\det M_i^*) \cdot (\det M_i)$  é um número não negativo, obtendo-se para  $\sum_{i=1}^m (\det M_i^*) (\det M_i)$  um somatório de números não negativos, portanto:

$$\det G \geq 0$$

Se  $\det G = 0$ , a característica de  ${}_{n+1} C_m$  é inferior a  $m$  e os  $m$  vectores  $C_i$  são linearmente dependentes.

Se  $\det G > 0$ , a característica de  ${}_{n+1} C_m$  é igual a  $m$ , os  $m$  vectores  $C_i$  são linearmente independentes e, por conseguinte, são linearmente independentes as equações do sistema  ${}_m A_n \cdot {}_n X_1 = {}_m B_1$ .

$$1.2 — m = n$$

$${}_{n+1} C_n = [{}_n A_n \ {}_n B_1]^T,$$

$$G = {}_n C_{n+1}^* \cdot {}_{n+1} C_n$$

O determinante de Gram é, como no caso anterior, igual ao somatório dos correspondentes determinantes maiores  $M$  de  $C^*$  e de  $C$  e, por conseguinte,

$$\det G \geq 0$$

Se  $\det G = 0$ , a característica de  ${}_{n+1} C_n$  é inferior a  $n$  e os  $n$  vectores  $C_i$  são linearmente dependentes.

Se  $\det G > 0$ , a característica de  ${}_{n+1} C_n$  é igual a  $n$  e os  $n$  vectores  $C_i$  são linearmente independentes e, por conseguinte, são linearmente independentes as equações do sistema  ${}_n A_n \cdot {}_n X_1 = {}_n B_1$ .

$$1.3 — m > n$$

A matriz  ${}_{n+1} C_m$  é quadrada para  $m = n + 1$  e rectangular para  $m > n + 1$ .

$$1.3.1 — m = n + 1$$

$${}_{n+1} C_m = {}_{n+1} C_{n+1} = [{}_m A_n \ {}_m B_1]^T,$$

$$G = {}_{n+1} C_{n+1}^* \cdot {}_{n+1} C_{n+1}$$

Visto a característica de  $C^T$  ter de ser a mesma de  ${}_{n+1} A_n$  para que o sistema seja consistente,

$$\det {}_{n+1} C_{n+1}^* = {}_{n+1} \bar{C}_{n+1} = 0,$$

então

$$\det G = (\det {}_{n+1} C_{n+1}^*) \cdot (\det {}_{n+1} C_{n+1}) = 0$$

1.3.2 —  $m > n + 1$ :

$${}_{n+1}C_m = [{}_{m}A_n \quad {}_{m}B_1]^T,$$

$$G = {}_{m}C_{n+1}^* \cdot {}_{n+1}C_m$$

e  $\det G = 0$ , visto que  $m > n + 1$ .

Quando  $m > n$  os  $m$  vectores  $C_i$  são linearmente dependentes e, por conseguinte, são linearmente dependentes as equações do sistema  $AX = B$ .

2 — **ELABORAÇÃO DE UM PROCESSO PARA SUBSTITUIR UM SISTEMA DE EQUAÇÕES LINEARMENTE INDEPENDENTES  $AX = B$  POR UM SISTEMA EQUIVALENTE  $CX = D$  TAL QUE AS LINHAS DE  $C$  SEJAM VECTORES UNITÁRIOS E MUTUAMENTE ORTOGONAIS**

Dois sistemas de equações lineares

$${}_{m}A_n \quad {}_nX_1 = {}_mB_1 \quad (1)$$

$${}_{m}C_n \quad {}_nX_1 = {}_mD_1 \quad (2)$$

dizem-se equivalentes, se cada solução particular do sistema (1) for também solução do sistema (2).

Dado o sistema  ${}_{m}A_n \quad {}_nX_1 = {}_mB_1$ , constituído por equações linearmente independentes, pretende-se obter um sistema equivalente  ${}_{m}C_n \quad {}_nX_1 = {}_mD_1$  tal que as linhas de  ${}_{m}C_n$  sejam vectores unitários e mutuamente ortogonais.

Para o efeito, há que se proceder em primeiro lugar à construção da matriz coeficiente  ${}_{m}C_n$  do sistema a determinar, para em seguida se poder calcular o valor do seu termo independente  ${}_mD_1$ .

Representando-se por  $A_i$  o vector constituído pelos elementos da linha  $i$  da matriz  ${}_{m}A_n$ , esta matriz escrever-se-á:

$${}_{m}A_n = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix}$$

Normalizando e tornando mutuamente ortogonais aqueles  ${}_{m}A_i$  vectores, ficamos de posse dos

elementos necessários para estabelecer a matriz  ${}_{m}C_n$ , constituída do seguinte modo:

$${}_{m}C_n = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix}$$

As operações que tornam unitários e mutuamente ortogonais um conjunto de vectores independentes podem ser efectuadas mediante diversos métodos — Gram-Schmit, alternativo, etc. As deduções que se seguem apoiam-se no processo alternativo, processo este que oferece mais comodidade e menos dificuldades no cálculo manual.

As fórmulas do processo alternativo que fornecem os  $m$  vectores  $C_1, C_2 \dots C_m$  unitários e mutuamente ortogonais obtidos de  $m$  vectores independentes  $A_1, A_2, \dots, A_m$  são:

$$C_1 = \frac{A_1}{|A_1|}$$

e

$$C_i = \frac{A_i - \sum_{j=1}^{i-1} (C_j^* A_i) C_j}{\left| A_i - \sum_{j=1}^{i-1} (C_j^* A_i) C_j \right|}$$

para todos os valores de  $i$  tais que  $2 \leq i \leq m$ .

Conhecida a matriz

$${}_{m}C_n = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix}$$

procede-se à determinação dos elementos do termo independente

$$D = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_m \end{bmatrix}$$

do segundo sistema.

Para maior percepção do caminho adoptado, torna-se conveniente escrever os dois sistemas equivalentes (1) e (2) numa forma mais detalhada:

$$\left. \begin{array}{l} A_1X = b_1 \\ A_2X = b_2 \\ A_3X = b_3 \\ \vdots \\ A_mX = b_m \end{array} \right\} (1') \quad \text{e} \quad \left. \begin{array}{l} C_1X = d_1 \\ C_2X = d_2 \\ C_3X = d_3 \\ \vdots \\ C_mX = d_m \end{array} \right\} (2')$$

Do sistema (2'):

$$d_1 = C_1 X$$

ou

$$d_1 = \frac{A_1}{|A_1|},$$

mas  $A_1 X = b_1$ , então

$$d_1 = \frac{b_1}{|A_1|};$$

$$d_2 = C_2 X$$

ou

$$d_2 = \frac{A_2 - (C_1^* A_2) C_1}{|A_2 - (C_1^* A_2) C_1|} X,$$

mas  $A_2 X = b_2$  e, como se determinou anteriormente o valor de  $d_1$ , fica conhecido  $d_2$ , que é:

$$d_2 = \frac{b_2 - (C_1^* A_2) d_1}{|A_2 - (C_1^* A_2) C_1|};$$

$$d_3 = C_3 X$$

ou

$$d_3 = \frac{A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2}{|A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2|} X,$$

que, por  $A_3 X = b_3$  e já se conhecer  $d_1$  e  $d_2$ , fornece o valor:

$$d_3 = \frac{b_3 - (C_1^* A_3) d_1 - (C_2^* A_3) d_2}{|A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2|}.$$

Prosseguindo, vemos que as fórmulas que dão origem aos elementos do termo independente

$${}_m D_1 = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_m \end{bmatrix}$$

do sistema  ${}_m C_n \quad {}_n X_1 = {}_m D_1$  são:

$$d_1 = \frac{b_1}{|A_1|}$$

e

$$d_i = \frac{b_i - \sum_{j=1}^{m-1} (C_j^* A_i) d_j}{|A_i - \sum_{j=1}^{m-1} (C_j^* A_i) C_j|}$$

para todos os valores de  $i$  tais que  $2 \leq i \leq m$ .

Um exemplo numérico:

Substituição do sistema  ${}_3 A_4 \quad {}_4 X_1 = {}_3 B_1$ :

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = -1 \\ x_1 - x_2 + x_3 = 2 \\ x_2 + x_3 - x_4 = -5 \end{cases}$$

por um sistema equivalente  ${}_3 C_4 \quad {}_4 X_1 = {}_3 D_1$  tal que as linhas de  ${}_3 C_4$  sejam vectores unitários e mutuamente ortogonais.

No sistema proposto:

$${}_3 A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}; \quad {}_3 B_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ -5 \end{bmatrix}$$

e os vectores  $A_i$  constituídos pelos elementos da linha  $i$  de  ${}_3 A_4$ :

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad A_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Normalizando e tornando mutuamente ortogonais estes 3 vectores, através das fórmulas do processo alternativo, obteremos:

$$C_1 = \frac{A_1}{|A_1|} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix};$$

$$C_2 = \frac{A_2 - (C_1^* A_2) C_1}{|A_2 - (C_1^* A_2) C_1|},$$

$$A_2 - (C_1^* A_2) C_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} -$$

$$- \left( \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{4} \\ -\frac{5}{4} \\ \frac{3}{4} \\ -\frac{1}{4} \end{bmatrix}$$

$$|A_2 - (C_1^* A_2) C_1| = \frac{\sqrt{11}}{2},$$

$$C_2 = \frac{2}{\sqrt{11}} \begin{bmatrix} \frac{3}{4} \\ -\frac{5}{4} \\ \frac{3}{4} \\ -\frac{1}{4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{2\sqrt{11}} \\ -\frac{5}{2\sqrt{11}} \\ \frac{3}{2\sqrt{11}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{11}} \end{bmatrix};$$

$$C_3 = \frac{A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2}{|A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2|},$$

$$A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} -$$

$$\left( \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix} -$$

$$\left( \begin{bmatrix} \frac{3}{2\sqrt{11}} & -\frac{5}{2\sqrt{11}} & \frac{3}{2\sqrt{11}} & -\frac{1}{2\sqrt{11}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} \right) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \frac{3}{2\sqrt{11}} \\ -\frac{5}{2\sqrt{11}} \\ \frac{3}{2\sqrt{11}} \\ -\frac{1}{2\sqrt{11}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2}{11} \\ \frac{7}{11} \\ \frac{9}{11} \\ -\frac{14}{11} \end{bmatrix},$$

$$|A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2| = \frac{\sqrt{330}}{11}$$

$$C_3 = \frac{11}{\sqrt{330}} \begin{bmatrix} -\frac{2}{11} \\ \frac{7}{11} \\ \frac{9}{11} \\ -\frac{14}{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{2}{\sqrt{330}} \\ \frac{7}{\sqrt{330}} \\ \frac{9}{\sqrt{330}} \\ -\frac{14}{\sqrt{330}} \end{bmatrix}$$

A matriz  ${}_3C_4$  do sistema  ${}_3C_4 X_1 = {}_4D_1$  será:

$${}_3C_4 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{3}{2\sqrt{11}} & -\frac{5}{2\sqrt{11}} & \frac{3}{2\sqrt{11}} & -\frac{1}{2\sqrt{11}} \\ -\frac{2}{\sqrt{330}} & \frac{7}{\sqrt{330}} & \frac{9}{\sqrt{330}} & -\frac{14}{\sqrt{330}} \end{bmatrix}$$

Determinação dos elementos de  ${}_4D_1$  através das fórmulas anteriormente deduzidas

$$d_1 = \frac{b_1}{A_1}$$

e

$$d_i = \frac{b_i - \sum_{j=1}^{m-1} (C_j^* A_i) d_j}{|A_i - \sum_{j=1}^{m-1} (C_j^* A_i) C_j|}$$

para todos os valores de  $i$  tais que  $2 \leq i \leq m$ ;

$$d_1 = \frac{b_1}{|A_1|} = -\frac{1}{2};$$

$$d_2 = \frac{b_2 - (C_1^* A_2) d_1}{|A_2 - (C_1^* A_2) C_1|},$$

$$b_2 - (C_1^* A_2) d_1 = 2 - \left( \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right) \cdot \left( -\frac{1}{2} \right) = \frac{9}{4},$$

$$|A_2 - (C_1^* A_2) C_1| = \frac{\sqrt{11}}{2},$$

$$d_2 = \frac{2}{\sqrt{11}} \cdot \frac{9}{4} = \frac{9}{2\sqrt{11}};$$

$$d_3 = \frac{b_3 - (C_1^* A_3) d_1 - (C_2^* A_3) d_2}{|A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2|},$$

$$b_3 - (C_1^* A_3) d_1 - (C_2^* A_3) d_2 = -5 -$$

$$\left( \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} \right) \cdot \left( -\frac{1}{2} \right) -$$

$$\left( \begin{bmatrix} \frac{3}{2\sqrt{11}} & -\frac{5}{2\sqrt{11}} & \frac{3}{2\sqrt{11}} & -\frac{1}{2\sqrt{11}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} \right) \cdot$$

$$\frac{9}{2\sqrt{11}} = -\frac{50}{11},$$

$$|A_3 - (C_1^* A_3) C_1 - (C_2^* A_3) C_2| = \frac{\sqrt{330}}{11},$$

$$d_3 = -\frac{11}{\sqrt{330}} \cdot \frac{50}{11} = -\frac{50}{\sqrt{330}}.$$

Então:

$${}_3D_1 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \\ 9 \\ \frac{2\sqrt{11}}{2\sqrt{11}} \\ 50 \\ -\frac{50}{\sqrt{330}} \end{bmatrix}$$

O sistema  ${}_3C_4 X_1 = {}_3D_1$  que se pretende obter é:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} x_1 + \frac{1}{2} x_2 + \frac{1}{2} x_3 + \frac{1}{2} x_4 = -\frac{1}{2} \\ \frac{3}{2\sqrt{11}} x_1 - \frac{5}{2\sqrt{11}} x_2 + \frac{3}{2\sqrt{11}} x_3 - \frac{1}{2\sqrt{11}} x_4 = \frac{9}{2\sqrt{11}} \\ -\frac{2}{\sqrt{330}} x_1 + \frac{7}{\sqrt{330}} x_2 + \frac{9}{\sqrt{330}} x_3 - \frac{14}{\sqrt{330}} x_4 = -\frac{50}{\sqrt{330}} \end{cases}$$

### 3 — SIMPLIFICAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE CÁLCULO NA RESOLUÇÃO DE UM SISTEMA $CX = D$ EM VIRTUDE DE AS LINHAS DE C SEREM VECTORES UNITÁRIOS E MUTUAMENTE ORTOGONAIS

$$3.1 — {}_n C_n X_1 = {}_n D_1$$

Por ser regular a matriz  ${}_n C_n$ , a solução do sistema  ${}_n C_n X_1 = {}_n D_1$  tem o seguinte valor:

$${}_n X_1 = {}_n C_n^{-1} {}_n D_1$$

Sendo

$${}_n C_n = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix}$$

um conjunto de  $n$  vectores linhas  $C_i$ , unitários e mutuamente ortogonais no espaço vectorial  $\mathcal{V}_n$ , teremos:

$${}_n C_n \cdot {}_n C_n^* = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \cdot [C_1^* \ C_2^* \ \dots \ C_n^*] = {}_n I_n \quad (1)$$

$$\text{visto que } C_i C_j^* = \begin{cases} 1 & \text{para } i = j \\ 0 & \text{para } i \neq j \end{cases};$$

e, atendendo a que a matriz  ${}_n C_n$  é regular, também se verificam as relações:

$${}_n C_n^{-1} {}_n C_n = {}_n C_n {}_n C_n^{-1} = {}_n I_n \quad (2)$$

De (1) e (2) tira-se que  ${}_n C_n^{-1} = {}_n C_n^*$ , o que permite obter igualmente o valor de  ${}_n X_1$  através da fórmula

$${}_n X_1 = {}_n C_n^* {}_n D_1$$

É notória nesta expressão a simplificação de cálculo que resulta na determinação do valor da solução do sistema devido ao emprego da matriz associada  ${}_n C_n^*$ , pelo facto de ela ser igual à matriz inversa  ${}_n C_n^{-1}$ , matriz esta de obtenção trabalhosa se a sua ordem for elevada.

$$3.2 — {}_m C_n X_1 = {}_m D_1 \quad (\text{com } m < n)$$

A solução geral do sistema segundo Frazer é:

$${}_n X_1 = {}_n C_m^{-1} {}_m D_1 + ({}_n C_n^0 - {}_n I_n) {}_n M_1$$

sendo  ${}_n M_1$  um vector arbitrário.

Por ser

$${}_m C_n = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix}$$

um conjunto de  $m$  vectores linhas  $C_i$ , unitários e mutuamente ortogonais no espaço vectorial  $\mathcal{V}_n$ , resultará que:

$${}_m C_n C_m^* = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{bmatrix} \cdot [C_1^* \ C_2^* \ \dots \ C_m^*] = {}_m I_m \quad (1)$$

Por outro lado, a matriz rectangular  ${}_m C_n$  (com  $m < n$ ) só tem inversa à direita  ${}_n C_m^{-1}$  por se verificar apenas a condição

$${}_m C_n C_m^{-1} = {}_m I_m \quad (2)$$

Das relações (1) e (2) obtém-se:

$${}_n C_m^* = {}_n C_m^{-1}$$

Então:

$${}_n C_n^0 = {}_n C_m^{-1} {}_m C_n$$

é o mesmo que

$${}_n C_n^0 = {}_n C_m^* {}_m C_n$$

tomando a solução geral do sistema a seguinte forma:

$${}_n X_1 = C_m^* D_1 + ({}_n C_m^* {}_m C_n - I_n) {}_n M_1,$$

ficando, por conseguinte, bastante reduzidas as operações de cálculo na determinação do valor de  ${}_n X_1$ .

### 3.3 — Conclusões

Na resolução de um sistema  ${}_m C_n {}_n X_1 = {}_m D_1$  constituído por uma matriz coeficiente  ${}_m C_n$  cujas linhas são vectores unitários e mutuamente ortogonais, a matriz associada  ${}_n C_m^*$  substitui a matriz inversa  ${}_n C_m^{-1}$ , visto ser  ${}_n C_m^{-1} = {}_n C_m^*$  para  $m = n$  ou  $m < n$ , o que facilita a determinação da solução geral do sistema pelo número restrito de operações de cálculo a efectuar.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 — HOHN, Franz E. — *Elementary Matrix Algebra*.
- 2 — BJERHAMMAR — «Rectangular Reciprocal Matrices, with special reference to Geodetic Calculations». *Bulletin géodésique*, nº 20, 1<sup>er</sup> juin 1951).

## INTRODUÇÃO

Em 1840 a aplicação do processo de fotogrametria, medida verdadeiramente com o aerofotogrametria, em 1839, era apresentada para a elaboração de cartas topográficas. Em 1850 é conhecido o que se pode considerar a primeira operação de triangulação, a primeira fotogrametria aérea a partir dum balão, a oeste de Paris, por Félix Tournachon.

Com a evolução dos aspectos técnicos, o melhoramento das condições, objectivos e aparelhos, chegaram aos primeiros dias da Guerra Mundial de 14 com as técnicas previstas e os materiais desenvolvidos para a arte da fotografia aérea.

Nesta época que a fotogrametria apresenta o seu importante papel na investigação da informação.

Com o desenvolvimento de novos aparelhos e o aparecimento dos satélites (1957), os processos automáticos (Rosenfeld, 1963) e o tratamento analítico em computador ultrapassam a interpretação tradicional. No entanto, esta ainda tem longo diaz diante de si no seio das disciplinas da fotogrametria.

Durante longos anos existiram em arquivos mais ou menos secretos vastas extensões de milhares de documentos aéreos fotográficos em de registos diversos, por vezes a bordo há dez anos, por satélite, que eram utilizados apenas para fins militares, começando pelos aviões de reconhecimento 1908-09 e estar disponíveis para fins civis, passando, graças a uma interpretação dos mais diversos domínios, tais como os estudos da Terra e humanas e a cartografia temática.



# Telinterpretação e sua aplicação à cartografia

MARIA REGINA ALBUQUERQUE

Centro de Geografia

(Recebido em 20-VI-1979)

O presente trabalho, depois de uma breve introdução histórica, apresenta a teledeteção como registo de radiações do espectro electromagnético enviadas pelos objectos observados e os factores que intervêm na obtenção desses registos: atmosfera, natureza do objecto e elementos básicos da teledeteção (vectores e captadores). A seguir debruça-se sobre o tratamento dos registos, isto é, correcções geométricas e radiométricas a que são submetidos, e processos analógicos e numéricos das técnicas utilizadas. Num último capítulo são focadas aplicações de teledeteção.

After a brief historic introduction, this work presents remote sensing as a registration of the electromagnetic spectrum coming from the objects observed and the factors that influence the obtention of these registrations: atmosphere, nature of the object and basic elements of remote sensing (vectors and captors). Next it deals with the treatment of the registration, that is to say, geometric and radiometric corrections to which they are subjected and analogic and numeric processes of the technics used.

## INTRODUÇÃO

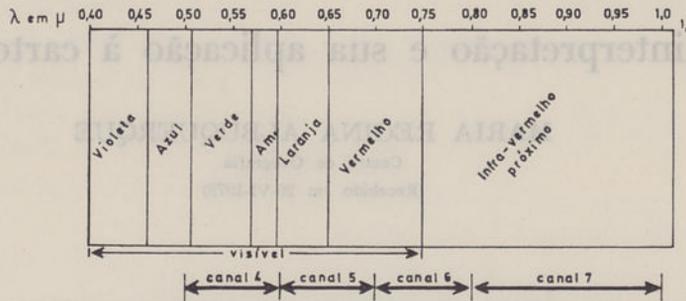
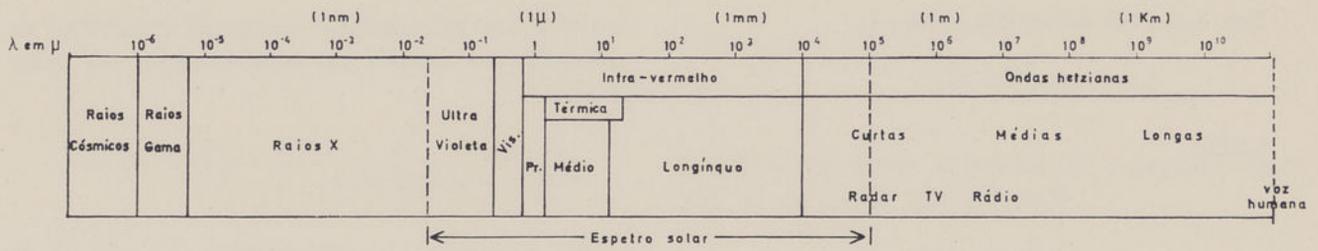
Já em 1840 a aplicação do processo de fotografia, nascida verdadeiramente com o daguerreótipo, em 1839, era preconizada para a elaboração de cartas topográficas. E em 1858 é realizado o que se pode considerar a primeira operação de teledeteção, a primeira fotografia aérea a partir dum balão, a oeste de Paris, por Félix Tournachon.

Com a evolução dos suportes aéreos, o melhoramento das emulsões, objectivas e aparelhos, chega-se aos primeiros dias da Guerra Mundial de 14 com as técnicas prontas e os materiais elaborados para a era da fotografia aérea.

Foi nesta época que a fotinterpretação apareceu e começou o seu importante papel na investigação da informação.

Com o desenvolvimento de novos captadores e o aparecimento dos satélites (1957), os processos automáticos (Rosenfeld, 1960) e o tratamento analógico em computador ultrapassam a fotinterpretação tradicional. No entanto, esta ainda tem longos dias diante de si no seio das disciplinas da teledeteção.

Durante longos anos existiram em arquivos mais ou menos secretos várias centenas de milhões de documentos aéreos fotográficos ou de registos diversos, por avião e, desde há dez anos, por satélite, que eram utilizados apenas para fins militares, começando pelos meados do decénio 1950-60 a estar disponíveis para fins civis, penetrando, graças a uma telinterpretação, nos mais diversos domínios, tais como as ciências da Terra e humanas e a cartografia temática.



$$1\text{m} = 10^3\text{mm} = 10^6\mu = 10^9\text{nm} = 10^{10}\text{Å}$$

Fig. 1 — Radiação electromagnética. Esquema do espectro electromagnético com os comprimentos de onda em  $\mu$ . Nos baixos comprimentos de onda existem os raios cósmicos, os raios gama e os raios X. A seguir aparece o espectro da radiação solar que vai do ultravioleta às ondas decimétricas. Das ondas milimétricas em diante seguem-se as ondas hertzianas (curtas, médias e longas) com o radar, TV e rádio. No espectro solar temos o ultravioleta, o visível e o I. V. Este último compreende o I. V. próximo, até ao  $\mu$ , o médio, que se estende até aos 14  $\mu$ , e o longínquo, que vai até às ondas centimétricas. Abrangendo o I. V. médio e o longínquo até por volta dos 25  $\mu$ , temos a radiação térmica. Na parte inferior da figura está representada com mais pormenor a banda do visível e do I. V. próximo. A primeira, começando cerca dos 0,4  $\mu$  pelo violeta, sucede-se o azul, o verde, cerca dos 0,5  $\mu$ , o amarelo, o laranja, cerca dos 0,6  $\mu$ , e o vermelho. O I. V. próximo, que começa na zona dos 0,75  $\mu$ , estende-se até aos 1,1  $\mu$ . A banda do espectro dos 0,5  $\mu$  aos 0,6  $\mu$  constitui, para os captadores usados nos satélites *Landsat*, o canal 4; a seguir, até aos 0,7  $\mu$ , o canal 5; até aos 0,8  $\mu$ , o canal 6, e, finalmente, dos 0,8 ao microm, o canal 7, que engloba, portanto, além de parte do vermelho, o I. V. próximo

**REGISTOS**

**Teledeteccção — elementos básicos**

Um registo aéreo corresponde à recolha do nível de energia de certas radiações electromagnéticas enviadas por toda ou parte da Terra.

Estas radiações emitidas em diversos comprimentos de onda podem ser captadas por vários tipos de sensores ou *captadores*.

Certos captadores de tipo electromagnético recolhem-nas directamente e registam-nas em *banda magnética*; outros utilizam os efeitos fotoquímicos e registam-nas sob a *forma fotográfica* — é o caso das emulsões tradicionais.

Seja qual for o modo de recolha de informação, ela pode ser numerizada ou traduzida sob a forma de imagem fotográfica, e é possível aplicar-lhe tratamentos apropriados: programas de cálculo em computador, para as primeiras, e tra-

tamento por filtros, *maskes* e diferentes combinações, para as segundas.

É ao conjunto das técnicas que levam a estes registos que chamamos «teledeteccção», isto é, um conjunto de técnicas, funcionando a partir de aviões, balões ou satélites, que têm por fim estudar quer a superfície da Terra, quer a atmosfera, utilizando as propriedades das ondas electromagnéticas emitidas, reflectidas ou difundidas pelos diferentes corpos observados.

Esta definição pode considerar-se em sentido restrito, porque em sentido lato abrange ciências como a astronomia, a gravimetria, as sondagens submarinas por sonar, etc., que também «detectam à distância», utilizando meios físicos que variam da radiação electromagnética aos campos de forças (eléctricas, magnéticas e gravitacionais) e às vibrações (acústicas e mecânicas). Mas não é desta teledeteccção generalizada que iremos tratar.

Situando-nos, portanto, dentro da teledetecção que nos interessa neste momento, poderemos dizer que os seus três *elementos básicos* são:

- O *captor* — termo geral que designa os sistemas capazes de recolher no espaço informações sobre os objectos terrestres;
- O *vector* — termo geral que designa o veículo susceptível de transportar um captor;
- A *imagem* — termo geral que designa o modo de apresentação dos dados recolhidos pelo captor — registos.

Estes registos podem resultar da utilização de duas *técnicas*:

- A *passiva* — que consiste no registo da energia natural proveniente da Terra;
- A *activa* — que consiste no registo da energia reenviada pelos corpos depois de estes terem sido atingidos por qualquer radiação provocada.

Por agora consideraremos apenas a técnica passiva.

## OBTENÇÃO DE REGISTOS

É evidente que uma boa interpretação dos documentos aéreos depende em primeiro lugar de um bom registo.

Ora para se realizar um bom registo em teledetecção devem verificar-se numerosas condições: condições solares e atmosféricas, condições físicas do objecto, condições técnicas e condições climáticas locais.

Referir-me-ei apenas às *condições solares e atmosféricas*, fazendo uma pequena referência a algumas *condições relativas ao objecto*, e às *condições técnicas*.

### 1 — Condições solares e atmosféricas

Estas condições dizem respeito à radiação electromagnética solar, à atmosfera em geral e à transmissão da radiação em função das posições relativas do globo terrestre e do Sol.

A quantidade de energia solar reparte-se segundo um complexo mecanismo de trocas:

- Uma parte é absorvida pela atmosfera;
- Outra parte é absorvida pela Terra;
- E ainda outra é reflectida pela superfície do solo.

Acresce ainda o facto de a Terra, pela sua própria temperatura, irradiar uma certa quantidade de energia.

A quantidade de energia solar absorvida pela atmosfera e pela Terra, assim como o fluxo final energético terrestre, variam com a declinação, a latitude do lugar, a sua altitude e até com as condições meteorológicas locais.

#### 1.1 — Atmosfera

No que respeita à atmosfera, vejamos o que se refere à absorção, difusão e emissão das radiações.

##### 1.1.1 — Absorção

São os diversos componentes da atmosfera — gases e vapores — os responsáveis pela absorção duma parte da energia espectral da radiação solar, realizando a sua filtragem e deixando apenas passar, através das chamadas «janelas», bandas bem definidas do espectro.

No quadro da figura 2 podemos ver o que acontece ao espectro solar quando as radiações atravessam a atmosfera. Para os comprimentos de onda inferiores a  $0,3 \mu$  a absorção é total, seguindo-se uma das tais janelas até cerca de  $1 \mu$ , e ainda mais duas, uma dos  $3 \mu$  aos  $5 \mu$  e outra dos  $8 \mu$  aos  $14 \mu$ . É, portanto, só nestes comprimentos de onda que se obtêm registos em modo passivo.

##### 1.1.2 — Difusão

A difusão ou difracção da atmosfera resulta da sua constituição granular e consiste numa infinidade de reflexões em todos os sentidos realizadas pelas moléculas e partículas que a constituem.

Para partículas de dimensões diminutas em relação ao comprimento de onda, o azul, por exemplo, é difractado seis vezes mais do que o vermelho. É esta a explicação da cor azul do céu

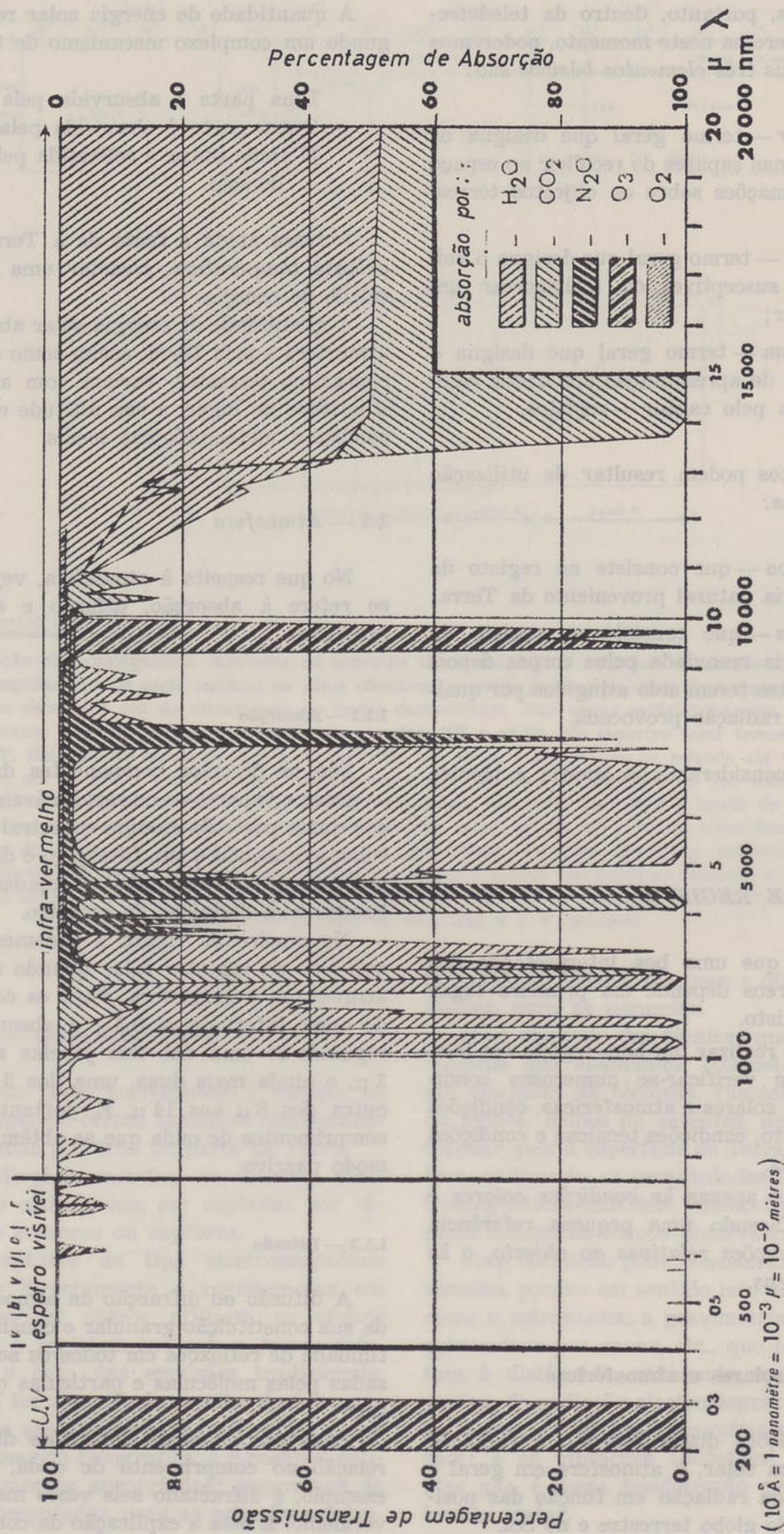


Fig. 2 — As janelas da atmosfera.

que se acentua à medida que se sobe numa montanha e o ar é mais puro.

Pelo contrário, quando as partículas têm grandes dimensões, por exemplo  $5\mu$ , o coeficiente de difusão é independente do comprimento de onda e a difusão é a mesma para todas as radiações do espectro visível. É esta a explicação da luz branca difusa na baixa atmosfera, onde existem partículas grosseiras e vapor de água, principalmente nas zonas urbanas e poluídas pelos fumos industriais.

1.1.3 — Emissão

Toda a emissão está, segundo a lei de Kirchoff, directamente ligada à absorção, sendo maior onde esta tem um valor mais significativo.

1.2 — Solo

Embora me tenha proposto aqui tratar das condições solares e atmosféricas, não posso deixar de fazer uma referência a uma das condições relativas à natureza do elemento de superfície — a reflexão —, na medida da sua interferência no espectro solar. Assim, não entrarei também

no problema da termorradiação — emissão própria da Terra —, que por si só constituiria um importante capítulo.

Limitar-me-ei a referir alguns exemplos de reflexão relativamente a:

a) Rochas

Se compararmos as reflexões espectrais de algumas rochas sedimentares (fig. 3), vemos que existe uma razoável analogia na parte do espectro visível, mas que o máximo de diferenciação aparece nos comprimentos de onda compreendidos entre os 700 nm e os 800 nm.

É evidente o interesse das emulsões infravermelhas neste domínio, salvo para os calcários, que se distinguem melhor na parte do espectro visível.

b) Solos

Para a maior parte dos casos as melhores condições de registo correspondem às zonas do espectro compreendidas entre os 700 nm e os 900 nm, como podemos ver no gráfico da figura 4, para três qualidades de solos. E ainda certas condições de humidade convêm melhor à

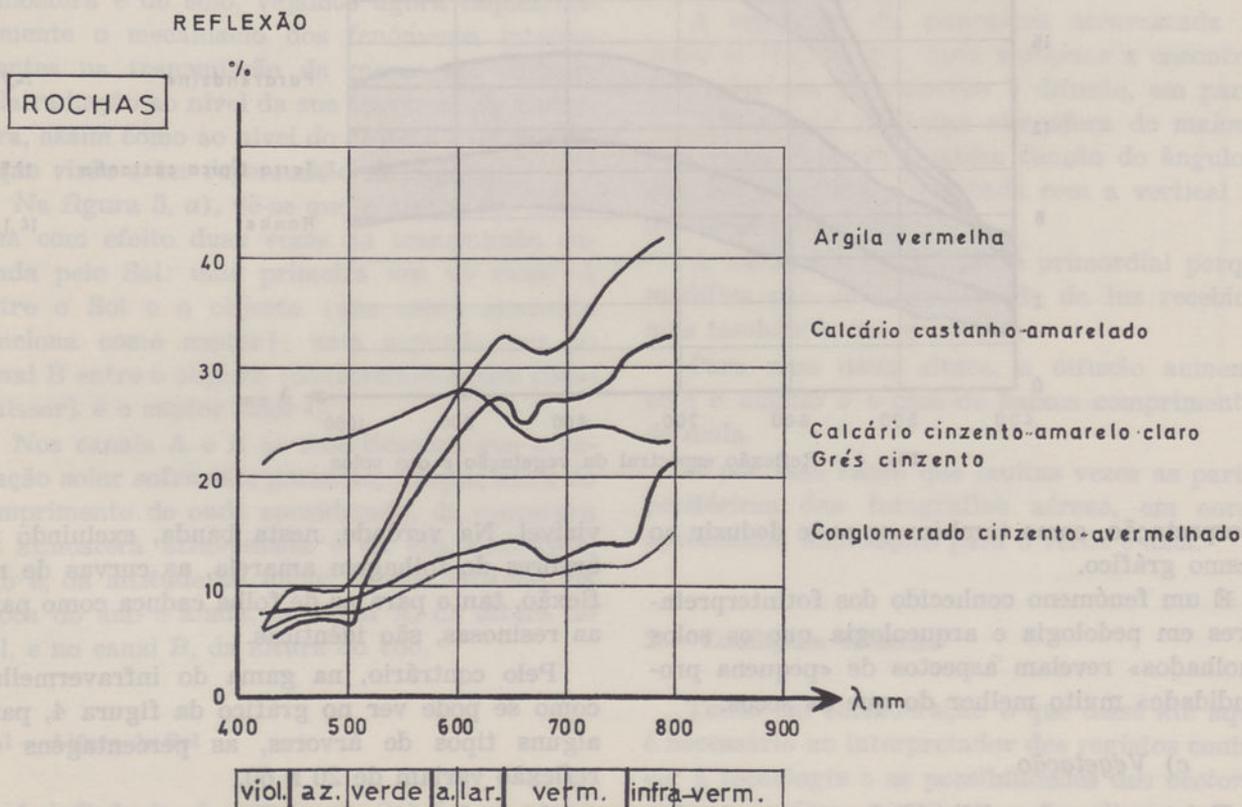


Fig. 3 — Reflexão espectral das rochas

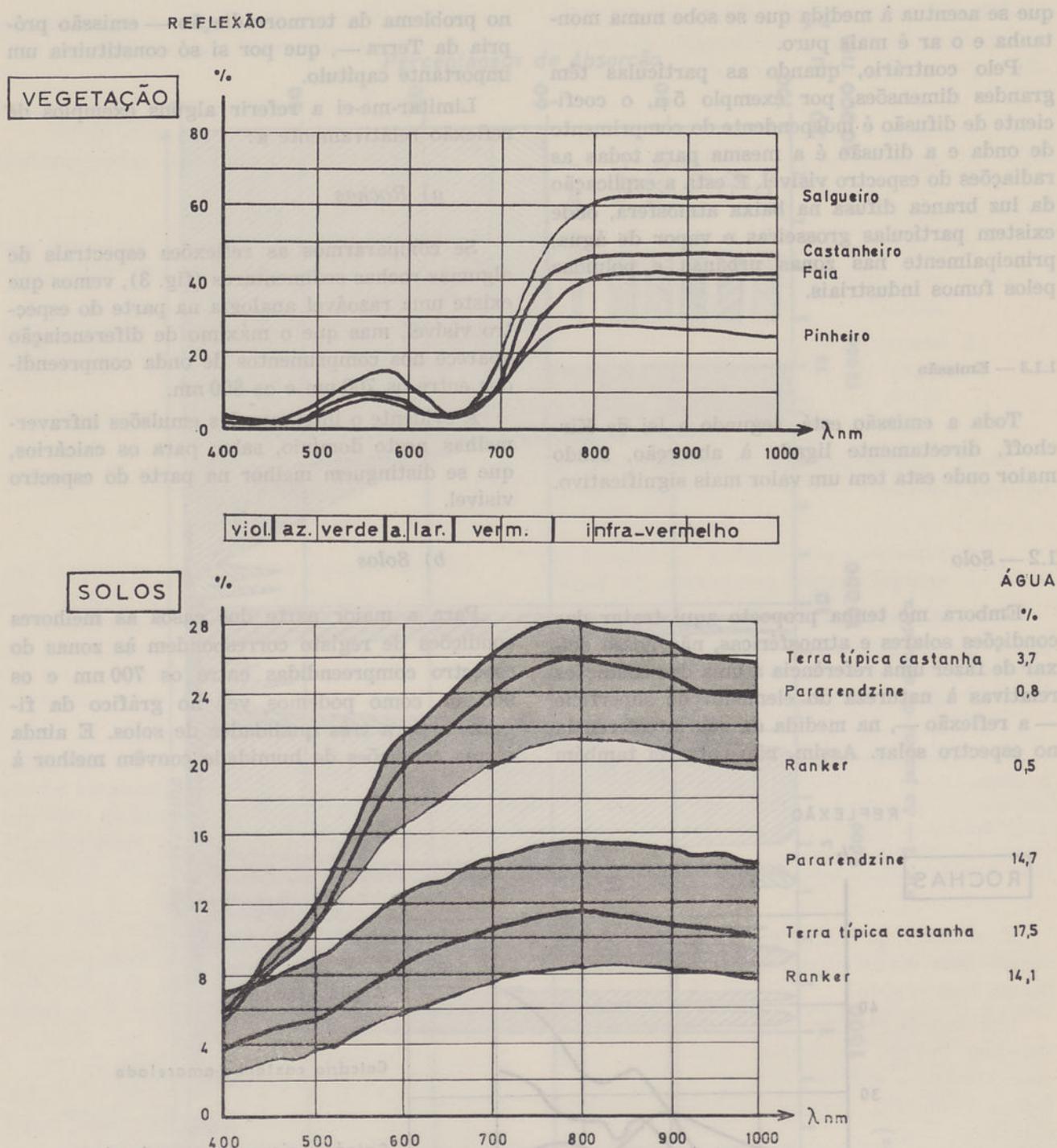


Fig. 4 — Reflexão espectral da vegetação e dos solos

interpretação, como também se pode deduzir no mesmo gráfico.

É um fenómeno conhecido dos fotinterpretores em pedologia e arqueologia que os solos «molhados» revelam aspectos de «pequena profundidade» muito melhor do que os secos.

### c) Vegetação

Existem grandes dificuldades no estudo das árvores na fotinterpretação na banda do espectro

visível. Na verdade, nesta banda, excluindo as árvores de folhagem amarela, as curvas de reflexão, tanto para as de folha caduca como para as resinosas, são idênticas.

Pelo contrário, na gama do infravermelho, como se pode ver no gráfico da figura 4, para alguns tipos de árvores, as percentagens de reflexão variam de 20 a 60.

É preciso, no entanto, ter em conta que tal critério é muito teórico. Por exemplo: um car-

valho seco, velho e doente poderá no infravermelho ter a mesma reflexão espectral que um pinheiro jovem e vigoroso.

#### d) Água

A sua reflexão é extremamente variável com a orientação da sua superfície em relação ao Sol e ao nadir da fotografia e com o próprio movimento da água.

O seu estudo é facilitado na gama do infravermelho que é por ela absorvido na sua quase totalidade. No entanto, o recurso à termografia é ainda o melhor meio para o estudo das águas.

#### Resumindo:

Comparando o que se passa no espectro visível e no infravermelho, conclui-se que se obtêm muito melhores resultados neste último. A interpretação de fotografias aéreas não pode passar sem a sua utilização.

### 1.3 — *Factores intervenientes na transmissão da radiação*

Uma vez aflorado o que se passa ao nível da atmosfera e do solo, vejamos agora esquematicamente o mecanismo dos fenómenos intervenientes na transmissão da mensagem enviada pela radiação ao nível da sua travessia da atmosfera, assim como ao nível do objecto e do captor, e que virão a ter repercussão no registo.

Na figura 5, a), vê-se que a atmosfera intervéem com efeito duas vezes na transmissão enviada pelo Sol: uma primeira vez no canal A entre o Sol e o objecto (que neste momento funciona como captor); uma segunda vez no canal B entre o objecto (considerado agora como emissor) e o captor final C.

Nos canais A e B as modificações que a radiação solar sofre são, portanto, função, além do comprimento de onda considerado, da espessura da atmosfera atravessada e da sua qualidade, isto é, da altitude do lugar, da sua latitude, da época do ano e ainda, no canal A, da altura do Sol, e no canal B, da altura do voo.

#### 1.3.1 — *Altura do Sol*

A influência da altura do Sol faz-se sentir não só porque a massa atmosférica aumenta

quando esta altura é pequena, mas também porque as sombras demasiado grandes fazem com que se perca grande parte da informação na telinterpretação (limites de arvoredos imprecisos, ruas nas cidades e estradas encobertas, flancos de montanhas invisíveis, etc.).

Exceptuando o estudo dos microrrelevos à superfície do solo (morfologia de pormenor, arqueologia), para o qual é preferível uma luz rasante, a altura do Sol ( $H_s$  na figura 6) deve ser superior a 30°.

Além da altura do Sol, há ainda que ter em conta a duração do dia.

É curioso o ábaco da figura 7, que nos dá a duração média do dia ao longo do ano e para as diversas latitudes do hemisfério norte e sul.

Podemos ver, por exemplo, para o hemisfério norte, na zona dos trópicos, que a duração média do dia tem uma muito pequena variação (de 10-11 h até 14 h), nas zonas das nossas latitudes já tem uma variação que vai de 9 h a 15 h e nas regiões polares a duração média do dia é nula, isto é, noite completa de Janeiro a Março e de Setembro a Dezembro, e dia completo de Março a Setembro.

#### 1.3.2 — *Altura do voo*

A espessura da atmosfera atravessada no canal B [fig. 5, a)], onde voltamos a encontrar os fenómenos de absorção e difusão, em particular nos voos na baixa atmosfera de maiores partículas, é agora também função do ângulo  $\theta$  que faz a radiação registada com a vertical no momento do registo.

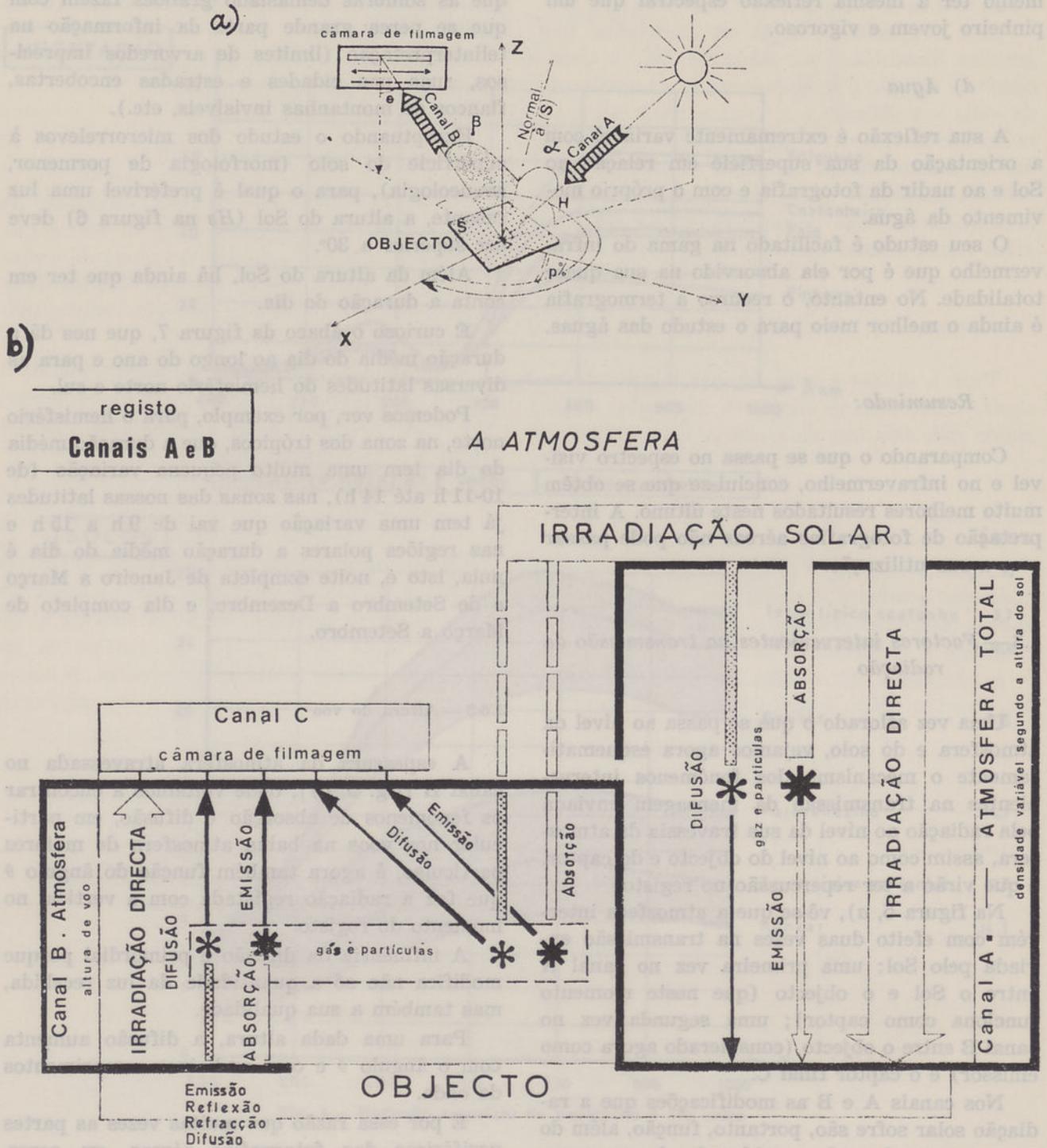
A influência da difusão é primordial porque modifica não só a quantidade da luz recebida, mas também a sua qualidade.

Para uma dada altura, a difusão aumenta com o ângulo  $\theta$  e com os baixos comprimentos de onda.

É por essa razão que muitas vezes as partes periféricas das fotografias aéreas, em cores, apresentam inclinações para o verde e azul.

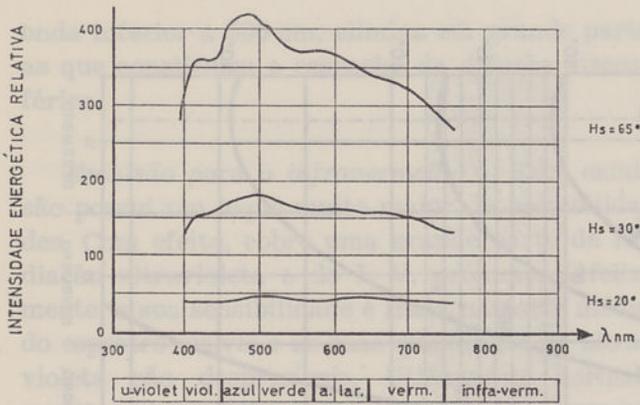
## 2 — *Condições técnicas*

Tendo em consideração o que disse até aqui, é necessário ao interpretador dos registos conhecer a tecnologia e as possibilidades dos *vectores* actuais (aviões, satélites) e dos diversos *captors*.



Esquema de transmissão da irradiação solar

Fig. 5 — a) (A sua interpretação é feita no texto); b) A radiação que atinge o objecto é o somatório da radiação directa, da radiação emitida pelas partículas e moléculas da atmosfera depois da absorção e da radiação resultante da difusão das mesmas. O objecto, por sua vez, refracta, reflecte e difunde a radiação recebida e é essa nova radiação que vai uma vez mais ser absorvida, emitida e difundida pela atmosfera antes de chegar ao captor; a esta radiação vai juntar-se a radiação directa do objecto e a emitida e difundida directamente pelas partículas e moléculas da atmosfera



RADIAÇÃO TOTAL = radiação solar directa + radiação do céu

Fig. 6 — Repartição espectral no solo

## 2.1 — Capttores

Designa-se por este termo geral todo o sistema, podendo recolher informações espaciais e espectrais sobre os objectos terrestres.

Consideram-se duas grandes categorias de capttores em teledetecção: os *capttores fotográficos*, onde os dados são recolhidos em filme, a banda espectral utilizável está compreendida entre  $0,4 \mu$  e  $1,0 \mu$  (visível e I. V. próximo) e do ponto de vista geométrico se obtém, de maneira quase instantânea, uma imagem a duas dimensões da superfície de terreno analisada; e os *capttores electromagnéticos*, que compreendem, em modo passivo, aparelhos de varrimento e radiómetros microonda e, em modo activo, radar lateral e lidar (radar-laser) — onde os dados são recolhidos quer em filme (por exemplo, no radar lateral), quer em banda magnética (nos aparelhos de varrimento), e a geometria do registo é função das particularidades técnicas do captor. Em geral, uma dimensão da imagem é formada pelo varrimento, mecânico ou electrónico, e a outra pelo deslocamento do vector que transporta o captor.

### 2.1.1 — Capttores fotográficos

Os primeiros capttores de teledetecção foram câmaras de observação fotogramétricas próprias para a fotinterpretação.

Actualmente utilizam-se vários modelos com diferentes formatos de filme e diversas focais, permitindo assim, em função da altura de voo, um largo leque de escalas.

Podem também utilizar-se aparelhos semi-métricos do tipo Hasselblad, de formato  $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ .

Estes aparelhos podem ser agrupados (quatro) numa placa adaptável ao alçapão do avião e disparados simultaneamente.

Uma solução melhor é dada pelas câmaras multiespectrais de várias objectivas:

*I2S Matra* — quatro objectivas; um filme de  $24 \text{ cm}$  pancro dando quatro imagens  $88 \text{ mm} \times 88 \text{ mm}$  da mesma superfície em função das filtragens;

*ITEK* — nove objectivas; três filmes de  $70 \text{ mm}$  dando nove imagens  $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$  da mesma superfície em função das emulsões e filtragens.

#### 2.1.1.1 — Emulsões

Nestes capttores as informações são registadas em emulsões.

Pode dizer-se, esquematicamente, que as emulsões são superfícies sensíveis quimicamente a certas radiações do espectro luminoso. Depois de tratamento fotográfico (revelação, fixação, lavagem, secagem), fornecem uma mensagem codificada por pontos (grãos da emulsão), cuja densidade óptica é função da quantidade e da composição da luz recebida.

As emulsões são estudadas em laboratórios e fabricadas de forma que se tornem mais sensíveis a determinadas radiações do espectro visível ou invisível.

As que principalmente se utilizam são:

Em preto e branco:

Pancromática ( $0,4 \mu$  a  $0,7 \mu$ ).

Infravermelha ( $0,7 \mu$  a  $1,0 \mu$ , depois de filtragem nos  $0,7 \mu$ ).

Em cores:

Naturais ( $0,4 \mu$  a  $0,7 \mu$ ).

Falsas cores ( $0,5 \mu$  a  $0,9 \mu$ , depois de filtragem nos  $0,5 \mu$ ).

*Emulsão pancromática* — Esta é a mais correntemente empregada em fotografia aérea. A razão é dupla: a sua curva de sensibilidade espectral atinge, no vermelho, quase o limite da sensibilidade do olho humano e, sobretudo, a sua utilização com um filtro amarelo-alaranjado, interceptando as radiações de comprimento de

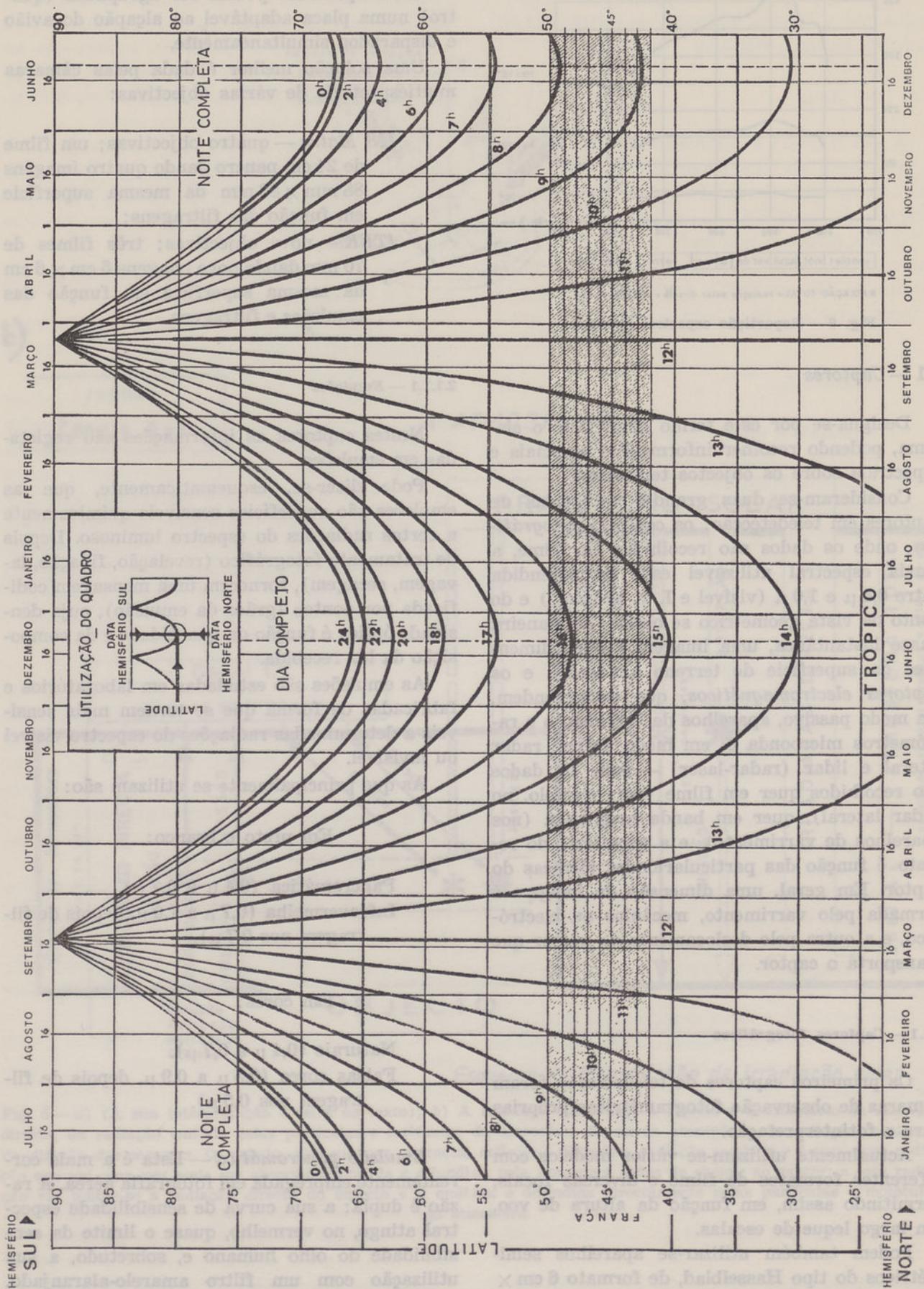


Fig. 7 — Duração média do dia

onda inferior a 500 nm, elimina em grande parte as que constituem o essencial da difusão atmosférica.

*Emulsão para o infravermelho* — Esta emulsão possui um leque muito maior de possibilidades. Com efeito, cobre uma grande parte da radiação ultravioleta e do I. V. próximo. Infelizmente, a sua sensibilidade é fraca na parte média do espectro visível e as suas qualidades no ultravioleta são desprezíveis. Utilizam-se normalmente com um filtro vermelho, que intercepta as radiações no comprimento de onda 0,7  $\mu$ .

Como vantagens da utilização destas emulsões temos:

Uma detecção fácil da rede hidrológica e de lençóis de água pouco profundos, dada a forte absorção desta banda do espectro pela água de superfície ou seu vapor, resultante da elevada evapotranspiração das plantas, em regiões de lençóis de água pouco profundos;

Uma diferenciação muito útil entre a natureza de algumas zonas arborizadas, dada a elevada reflexão no I. V., na Primavera e Verão, das folhas das árvores não resinosas quando saudáveis, comparada com a reflexão muito mais fraca das coníferas ou das árvores de folha caduca atingidas por doença.

No entanto, a utilização destas emulsões também tem inconvenientes:

A inversão da gama dos cinzentos, o que torna estas fotografias um pouco desorientadoras, principalmente se as compararmos com as fotografias pancromáticas, que são muito mais conformes com o que se vê a olho nu;

O aspecto denso e desprovido de contornos que tomam as sombras nos positivos I. V.

*Emulsão para a cor natural* — Antes de descrever a constituição das superfícies sensíveis utilizadas em avião para reproduzir as cores naturais, a acção da luz nas camadas de emulsões e o tratamento a que são submetidas, é indispensável recordar algumas noções fundamentais da teoria tricromática da visão colorida.

A cada cor primária (azul, verde e vermelho) corresponde uma cor complementar, isto é, uma cor tal que a adição, em proporções convenientes, de duas radiações de cores complementares reconstitui a luz branca, e a utilização de um filtro duma dada cor sobre o qual incide um feixe de luz branca absorve a parte da radiação que corresponde à sua cor complementar.

Estas cores complementares são as seguintes:

- O *amarelo*, complementar do azul;
- O *púrpura*, chamado «magenta» em fotografia, complementar do verde;
- O *azul-verde*, chamado «cião» em fotografia, complementar do vermelho.

As superfícies sensíveis actualmente utilizadas na fotografia aérea em cores naturais têm três camadas sobrepostas: uma amarela, sensível à parte inferior do espectro (azul); a segunda camada, magenta, sensível à parte média (verde); e a terceira camada, cião, sensível à parte superior (vermelho).

Os processos químicos de revelação ou de manipulações sucessivas devem por síntese subtrativa levar a reconstituir o espectro visível.

A qualidade da mensagem final é extremamente variável com os processos empregados e as propriedades das superfícies sensíveis, em filme ou papel.

*Emulsão para falsa cor* — Estas emulsões são igualmente, na sua maior parte, constituídas por três camadas sobrepostas.

No momento da fotografia é utilizado um filtro amarelo-alaranjado, que absorve as radiações de comprimento de onda inferiores a 500 nm. Por esta razão não há selecção na zona do azul e, portanto, a luz que atinge o produto fotossensível não contém senão o verde e o vermelho.

O risco da difusão atmosférica é mais fraco do que nas emulsões de cor natural e as sombras também são menos densas do que com as emulsões para o I. V. em preto e branco, em virtude de se empregar um filtro amarelo-alaranjado, e não um vermelho.

Há assim uma verdadeira deslocação do espectro emitido pelo terreno. O azul do objecto é quase negro na imagem; o verde é traduzido pelo azul; o vermelho pelo verde; o I. V. pelo vermelho.

Uma árvore de folhas caducas, em boa saúde, que difunde um espectro rico no I. V., será vista vermelho-púrpura no positivo; uma árvore doente

que apresenta um espectro medíocre no I. V. e bastante rico no laranja, aparecerá azul-verde na fotografia positiva.

2.1.2 — **Captores electromagnéticos**

2.1.2.1 — *Aparelhos de varrimento*

Os aparelhos de varrimento são caracterizados pelo seu modo de aquisição de dados: recolhem a informação proveniente do solo, por meio de varrimento, de maneira contínua, segundo dois eixos (fig. 8):

Eixo de voo do vector (avião ou satélite) (a);

Eixo de varrimento do sistema (b);

sendo estes dois eixos perpendiculares.

A radiação electromagnética assim recolhida é concentrada sobre uma célula eléctrica, sensível na banda do comprimento de onda escolhido, que tem por fim criar uma corrente eléctrica cuja tensão é função da radiação electromagnética incidente. Este sinal, depois de corrigido e amplificado, é registado na banda magnética.

*Órgãos de um aparelho de varrimento e suas funções:*

São órgãos de um aparelho de varrimento a *cabeça de análise*, o *amplificador* e o *registador*.

A *cabeça de análise*, que assegura a recolha da informação, é constituída por:

Um ou vários *espelhos* e o dispositivo motor que assegura o seu movimento;

Uma *objectiva* para concentrar a energia recolhida pelo varrimento na superfície sensível da célula detectora;

*Filtros* seleccionadores da informação no domínio espectral;

Uma ou várias *células detectoras* que analisam a radiação electromagnética incidente, transformando-a em corrente eléctrica; aliás, estes detectores podem ser:

**Térmicos** — transformam a energia electromagnética em calor, que aquece o elemento sensível, e medem depois a elevação de temperatura, utilizando diversos métodos (exemplos: bolómetro de fita de platina 300°K, *thermo couple* 300°K);

**Quânticos** — transformam directamente a radiação electromagnética em corrente eléctrica (exemplos: fotodíodos de *Si* ou *Ge*; células de *In Sb* ou *Ge:Hg*, etc.).

O *amplificador*, que aumenta o sinal muito fraco saído do detector, está muitas vezes associado a um sistema radiométrico que controla o sinal de saída e permite medidas quantitativas das energias recebidas. Nesta fase o sinal sofre dois tipos de regulação: uma que torna nulo o seu valor médio, outra que regula o ganho, isto é, a relação das tensões do sinal de saída e de entrada do amplificador. Em certos aparelhos de varrimento existe um dispositivo de controlo automático deste ganho (C. A. G.).

O *registador*, que assegura a conservação das informações, podendo o registo ser magnético ou fotográfico. Quando este se efectua em banda magnética, o registador pode ser analógico (registo dum sinal contínuo) ou numérico (registo de valores destacados do sinal).

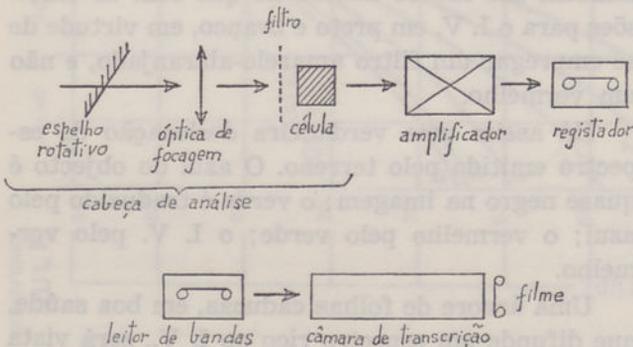
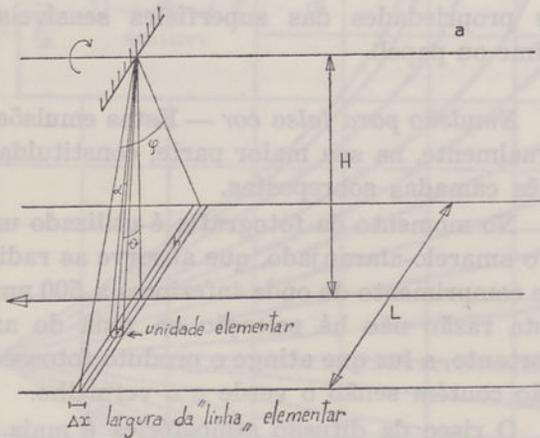


Fig. 8 — Aparelhos de varrimento. Esquema do princípio

*Tipos de aparelhos de varrimento:*

Os aparelhos de varrimento podem classificar-se em função da posição relativa dos seus órgãos constitutivos. Assim, temos dois tipos de varrimento, conforme a parte óptico-mecânica se situa, relativamente à objectiva, do lado do objecto ou do lado do detector. No primeiro caso designa-se por *varrimento espaço-objecto*, e no segundo, por *varrimento espaço-imagem*.

Estes varrimentos ainda podem ser *lineares* ou *cónicos*, conforme as direcções de observação se situam sobre uma superfície plana ou sobre uma superfície cónica.

Um exemplo de varrimento linear e de espaço-objecto é o sistema MSS do satélite *Ert*s, em que o *espelho* é *oscilante* (oscilação de  $\pm 2,88^\circ$  em torno de um eixo perpendicular à direcção do vector). Existem, porém, outros sistemas de varrimento em que o *espelho* é *rotativo* (por exemplo, no captor *Cyclope* e no *Daedalus*, usados a bordo dos aviões da frota do IGN francês).

Todos estes tipos de varrimento se referem a sistemas de *objectiva fixa*.

Nos sistemas de *objectiva móvel*, que têm interesse principalmente para medições precisas no solo, o varrimento efectua-se manualmente.

2.1.2.2 — *Radar lateral*

Neste captor de técnica activa, o princípio é o seguinte: é enviado pelo captor para o solo um estreito feixe de ondas electromagnéticas; uma parte desta energia é difundida e reflectida pelos objectos terrestres e é assim reenviada para o captor. As características da onda de volta são comparadas às da onda emitida a fim de se apreciar o tempo de percurso avião-objecto-avião e as modificações da radiação devidas às propriedades específicas da superfície reflectora (inclinação, rugosidade, propriedades dieléctricas, etc.).

*Órgãos de um aparelho de radar lateral e suas funções:*

Esquemáticamente um radar lateral é constituído pelos seguintes órgãos:

Um *gerador de impulsos*, que emite periodicamente fluxos de ondas;

Uma *antena* colocada debaixo do avião, que envia um feixe de ondas para o

solo de cada lado do avião, e que recebe os sinais de volta;

Um *relógio electrónico*, que permite medir o tempo de percurso dos fluxos de ondas;

Um *sistema de tratamento dos sinais* e de visualização no *écran* de um tubo catódico, permitindo reconstituir, ponto por ponto, cada linha do terreno que foi varrida.

A imagem é em seguida registada num filme contínuo.

*Tipos de radares laterais:*

Há vários tipos de radares laterais:

Radares de antena real e sintética;  
Radares pancromáticos;  
Radares de efeito Doppler.

*Aplicações:*

O principal interesse do radar lateral é permitir a realização de registos, quaisquer que sejam as condições atmosféricas.

O coeficiente de transmissão da atmosfera fica vizinho de 1, mesmo em caso de chuva (salvo se se utilizam comprimentos de onda inferiores ao centímetro).

Uma outra propriedade interessante do radar lateral é o seu poder de penetração no solo: quanto mais seco é o solo tanto maior é o seu poder de penetração.

Assim, o radar está indicado em trabalhos de cartografia de pequenas escalas (inferiores a 1 : 250 000) nas zonas enevoadas permanentemente, como zonas equatoriais, e em glaciologia, por permitir avaliar a espessura dos gelos flutuantes, o que interessa grandemente à navegação nas regiões polares.

2.1.2.3 — *Outros tipos de captores*

Apenas a título de referência, citarei outros tipos de captores que até há pouco tempo estavam ainda em fase experimental:

Utilizando a *técnica activa*, referirei:

O *lidar* — radar utilizando como fonte uma radiação laser, com aplicação no

estudo da difusão atmosférica e poluição por hidrocarbonetos;

- O *scanner actif* — captor que, utilizando a fluorescência, emite uma luz coerente, isto é, com o mesmo comprimento de onda e direcção, e regista a reemissão da superfície objecto excitada, num comprimento de onda diferente. Este captor tem aplicação na investigação mineralógica em zonas áridas e na identificação dos materiais poluentes.

Utilizando a *técnica passiva*, referirei:

- O *radiómetro* microondas de varrimento — captor em que o varrimento é assegurado por uma rotação de antena, com 10 a 20 pontos analisados por banda elementar varrida. A resolução é, por consequência, muito medíocre (exemplo: o radiómetro *Nimbus G/Seasat*). Este captor tem aplicação no estudo da poluição por hidrocarbonetos (mede a espessura da camada de óleo), em glaciologia e na medição da humidade dos solos.

## 2.2 — Vectores

Designa-se por este termo geral todo o veículo aéreo, espacial ou terrestre, capaz de transportar um captor e de o deslocar à distância desejada da superfície terrestre.

Podem, assim, utilizar-se:

Na vizinhança do solo, o camião, equipado com um braço telescópico que levanta uma barquinha a alguns metros do solo (*cherry picker*) e é usado na recolha da verdade-terreno, a que me referirei mais adiante;

Para altitudes compreendidas entre algumas centenas de metros e alguns milhares de metros, os sistemas aeronáuticos, tais como o avião, o helicóptero, o balão cativo e os dirigíveis;

Para altitudes compreendidas entre 10 km e 40 km, o avião de alta altitude, o balão estratosférico e o foguetão-sonda;

Para altitudes superiores a 200 km, o satélite artificial.

Cabe aqui, à maneira de parêntesis, uma breve referência aos parâmetros que definem a posição do vector no espaço e cujas variações são normalmente registadas no momento da recolha da informação:

O *rumo*, que é o ângulo que define a orientação do eixo de simetria do avião em relação ao norte geográfico ou magnético;

O *declive*, ângulo do eixo de simetria do avião com a sua projecção sobre o plano horizontal;

A *inclinação*, que é o ângulo do eixo das asas do avião com a sua projecção sobre o plano horizontal;

A *deriva*, que é o ângulo que faz o eixo do avião com a sua trajectória.

À variação do declive chama-se «*tangage*», da inclinação, chama-se «*roulis*», e da deriva chama-se «*lacet*».

### 2.2.1 — Aviões

Existem muitos tipos de aviões utilizados na teledeteção, de características e possibilidades diferentes.

Entre as muitas missões que têm possibilidade de executar destacam-se as informações que podem obter nas bandas do I. V. térmico, quando munidos de captosres que permitem tais registos — as termografias, campo vastíssimo para o conhecimento da superfície da Terra e sua atmosfera.

Além dos satélites meteorológicos, que na banda do I. V. térmico permitem o estudo não só da meteorologia e da poluição atmosférica, como ainda da oceanografia, há aviões que, voando a alturas isentas de problemas de pressurização, podem obter valores no espectro electromagnético praticamente em todas as janelas da atmosfera, isto é, no ultravioleta, visível, I. V. próximo e I. V. térmico, através de captosres multiespectrais ou radiómetros instalados em alçapões. As respostas no I. V. térmico não podem ser obtidas a bordo de aviões que voam a elevadas altitudes em virtude de a pressurização obrigar os alçapões a serem protegidos por placas ópticas que são opacas à radiação do I. V. térmico.

A termografia constitui um vasto campo, em que não me embrenharei.

### *Vantagens e inconvenientes da utilização do avião como vector de teledetecção:*

As principais vantagens são a possibilidade de transporte de um volume apreciável de material, o que é importante, por ser o avião um meio mais acessível do que qualquer dos outros, permitir o controlo dos captores durante o voo e ter uma trajectória conhecida com precisão.

Como inconvenientes citarei o facto de não utilizar o método repetitivo na recolha de dados e ser limitada a zona coberta.

#### 2.2.2 — Balões

Desde 1971, o Centro Nacional de Estudos Espaciais de França (CNES) experimenta, para o estudo dos recursos terrestres, balões estratosféricos que são também utilizados para missões científicas, tais como astronomia e meteorologia.

Trata-se de *balões livres*, isto é, sem nenhuma ligação com o solo.

### *Vantagens e inconvenientes do balão livre estratosférico:*

Como vantagens referirei o facto de serem naves de baixo custo e permitirem a realização de trabalhos em escalas muito pequenas.

Como inconvenientes referirei o facto de a defeituosa estabilização da barquinha tornar difícil assegurar a estereoscopia, de executar uma só trajectória, de essa trajectória não ser controlável, de apenas permitir o embarque de material leve, de não ser possível o controlo a bordo dos captores.

Paralelamente aos balões livres, o CNES tem em vista desenvolver a utilização de *balões cativos* troposféricos para estudos repetitivos sobre um dado local, e de balões cativos estratosféricos. Acontece, porém, que estes aparelhos, ligados ao solo por cabos, constituem graves obstáculos, pelo perigo que representam para a circulação aérea.

Está igualmente previsto recorrer-se a balões dirigidos, equipados com meios de propulsão.

#### 2.2.3 — Foguetões

Sobre estes vectores referirei apenas a realização de uma experiência de teledetecção a partir de foguetões-sonda *Skylark*, na Argentina (altitude 200 km).

#### 2.2.4 — Satélites

Um satélite em órbita terrestre desloca-se segundo uma elipse em que, numa primeira aproximação, o centro da Terra ocupa um dos focos.

##### 2.2.4.1 — Órbitas utilizáveis em teledetecção

###### *Órbita geostacionária:*

Designa-se assim uma órbita tal que o satélite se conserva sobre a vertical dum ponto da Terra.

Tal órbita é, por consequência, circular, equatorial e de período igual a 24 h.

As principais vantagens da utilização destas órbitas consistem em permitirem investigar permanentemente uma dada e vasta zona do globo e poderem ser utilizadas em telecomunicações e meteorologia.

O facto de só permitirem fracas resoluções no solo (no mínimo 1 km) é um inconveniente da utilização destas órbitas.

###### *Órbita heliosíncrona:*

Se se escolherem os parâmetros de órbita de maneira que a precessão do nodo descendente se faça no sentido retrógrado e tenha o mesmo valor da velocidade do movimento de translação da Terra, que é em sentido directo, estes valores compensam-se. A inclinação do plano da órbita do satélite com o eixo Sol-Terra mantém-se e a órbita diz-se heliosíncrona.

##### 2.2.4.2 — Tipos de satélites

Cronologicamente, os satélites utilizados na detecção dos recursos terrestres podem classificar-se em satélites *antigos*, *actuais* e de *futuro*, possuindo cada um deles um ou vários programas de investigação.

###### *Antigos:*

Dentro deste grupo temos os primeiros satélites meteorológicos (*Tiros* — 1960 e *Nimbus-3* e *Nimbus-5* — 1965 e 1972, respectivamente).

Entre Maio e Dezembro de 1973 o programa *Skylab*, constituído por três missões habitadas (uma de 28 dias e duas de 56 dias), respondia a

múltiplos objectivos, tais como o comportamento fisiológico do homem no espaço, o estudo do Sol, a tecnologia das naves espaciais e o estudo dos recursos terrestres.

Para satisfazer a este último objectivo, o *Skylab* estava equipado com seis tipos de captosres: uma câmara de grande focal e alta resolução S 190 B; uma câmara multiespectral S 190 A; um espectómetro I. V. S 191; um aparelho de varrimento de 13 canais S 192; e radiómetros passivos de microondas S 193 e S 194.

#### Actuais:

No grupo dos satélites actuais temos os satélites *Erts-Landsat*.

A NASA designa estes satélites pelo nome seguido de letra, antes do lançamento, e de números depois (por exemplo: *Landsat-B* e *Landsat-2*).

Em Julho de 1972 lançou o primeiro duma série que passou a ter o nome de *Landsat*, especialmente concebido para o estudo dos recursos terrestres, o *Erts-A* (Earth Resources Technology Satellite).

A órbita deste satélite é circular — para que a escala seja sensivelmente constante e helios-

síncrona — e o ângulo da direcção Terra-Sol com o plano da órbita é de  $37^{\circ} 30'$  e praticamente constante.

Os seus parâmetros são: altitude, 912 km; período, 103 minutos; e inclinação,  $99^{\circ}$ .

Dá por dia catorze revoluções, resultando para cada uma, no equador, uma deslocação para oeste de 2869,2 km em relação à anterior (fig. 9-A). Ao terminarem as catorze revoluções, a passagem dá-se, relativamente a um dado ponto, também já com uma deslocação para oeste de 159,4 km. Só ao fim de dezoito dias o satélite voltará a passar exactamente sobre esse mesmo ponto.

A hora de passagem (em tempo civil local) no nodo descendente é 9 h 30 m (para as diferentes latitudes afasta-se um pouco das 9 h 30 m).

Em Janeiro de 1975 a NASA lançou um segundo satélite *Erts*, já chamado *Landsat-2*, cujos parâmetros de órbita são idênticos aos do *Erts-1*, contudo a data do lançamento foi escolhida de maneira que o *Landsat-2* passasse nove dias depois do *Erts*, à mesma hora, num mesmo sítio. Assim, a frequência da passagem de um satélite praticamente duplicou (enquanto durou o *Erts-1*).

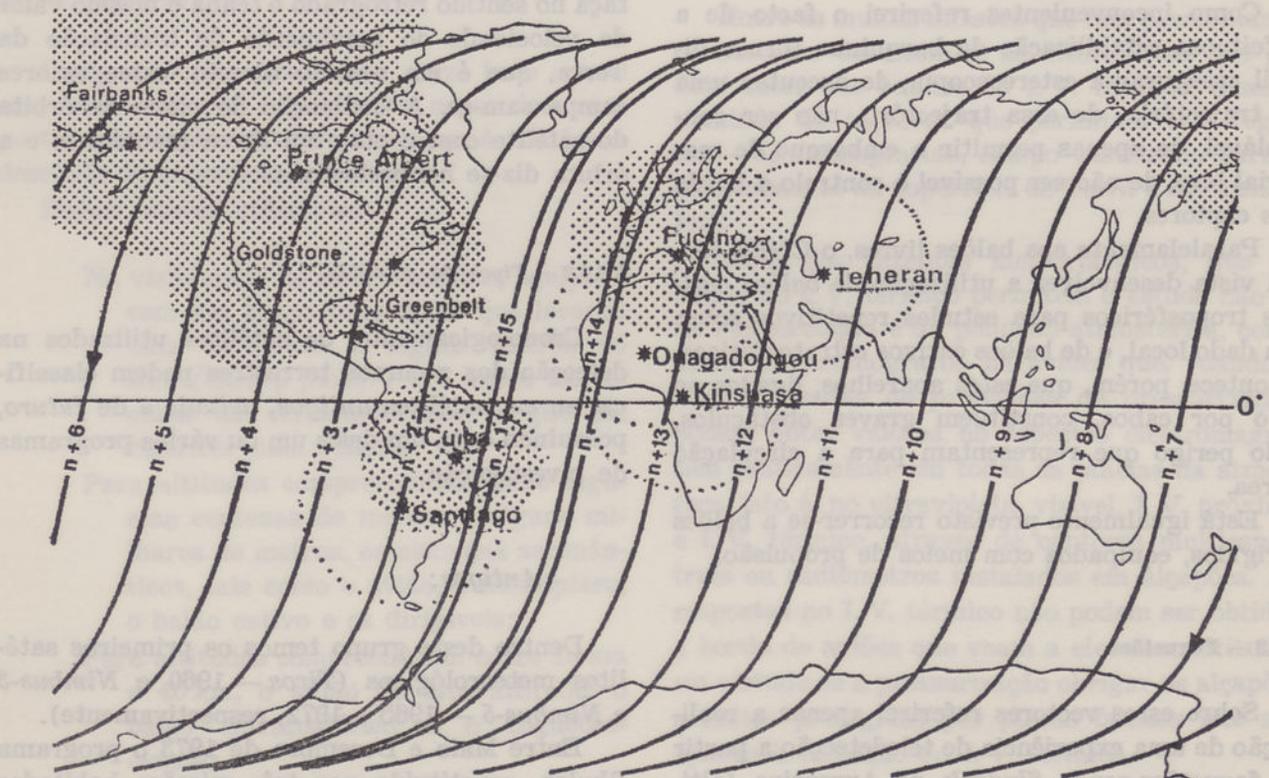


Fig. 9-A — Satélite *Erst-Landsat*. Passagens e estações de recepção

Estes satélites utilizam a estrutura dos satélites meteorológicos *Nimbus* (fig. 9-B). A parte «inferior», quer dizer, a que está constantemente dirigida para a Terra pelo sistema de comando

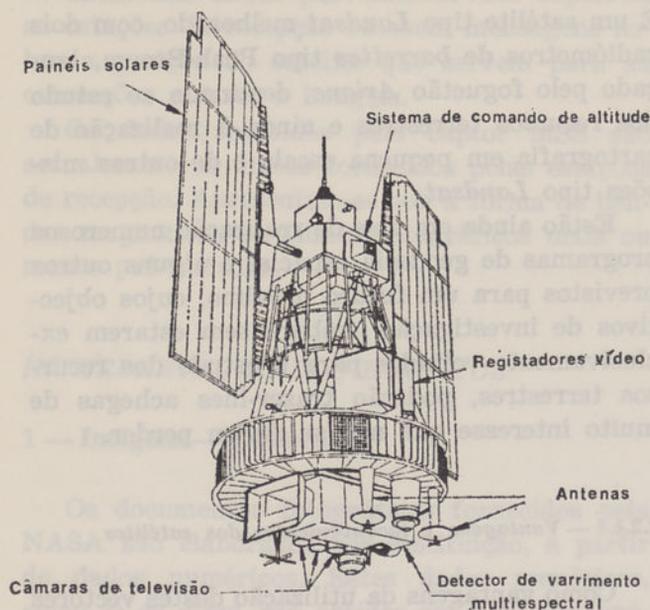


Fig. 9-B — Satélite *Erst-Landsat*

de posição, contém os captores e os materiais de recepção e emissão. A parte «superior» reúne os órgãos de estabilização e de comando de posição e os painéis solares.

As suas dimensões são: 3 m de altura; e 1,5 m de diâmetro (3 m com os painéis desdobrados). O seu peso é de 950 kg.

O sistema de comando de posição tem por fim controlar a verticalidade do eixo das observações (*prises de vues*), assim como a estabilidade em *lacet*. As correcções necessárias são efectuadas por tubos a gás, em função das indicações fornecidas pelo sistema de comando de posição.

Um sistema complementar, puramente passivo, permite medir os valores residuais do *roulis* e da *tangage* para posterior exploração dos dados.

O satélite *Erts* está equipado com dois tipos de captores (fig. 10): um conjunto de três câmaras de televisão (RBV — Return Beam Vidicom); e um captor de varrimento multiespectral (MSS), com seis células detectoras em cada canal.

Como satélites actuais temos ainda, na sequência dos satélites meteorológicos *Tiros* e *Nimbus*, dos quais estava previsto o lançamento do sétimo para 1978, a série *Noaa*, da qual, desde 1972, é lançado um por ano, e ainda os *Itos*, *SMS*, *ATS*, etc.

Os satélites meteorológicos, como, por exemplo, o *Nimbus-5*, que está equipado com seis captores de grande perfeição, trabalhando no I.V. térmico e microondas, são caracterizados por uma forte repetitividade, da ordem de um dia, e fraca resolução, da ordem do quilómetro.

Em alguns casos as informações obtidas por estes satélites (*Noaa*, por exemplo) interessam à oceanografia, fornecendo informações sobre as

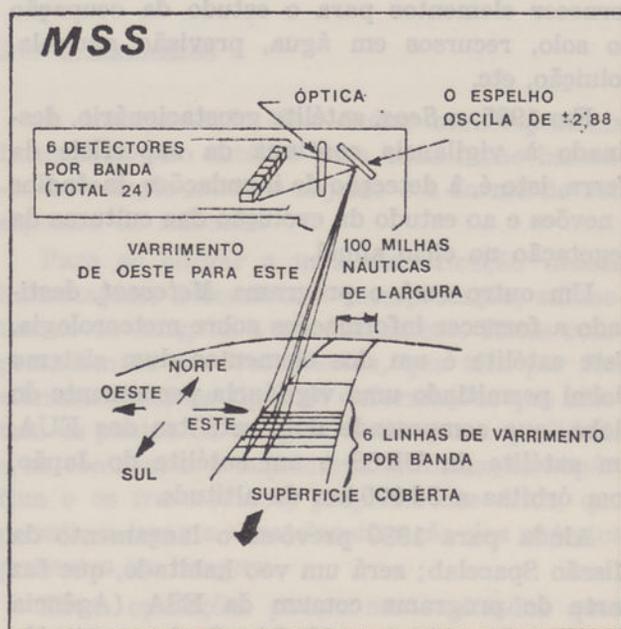
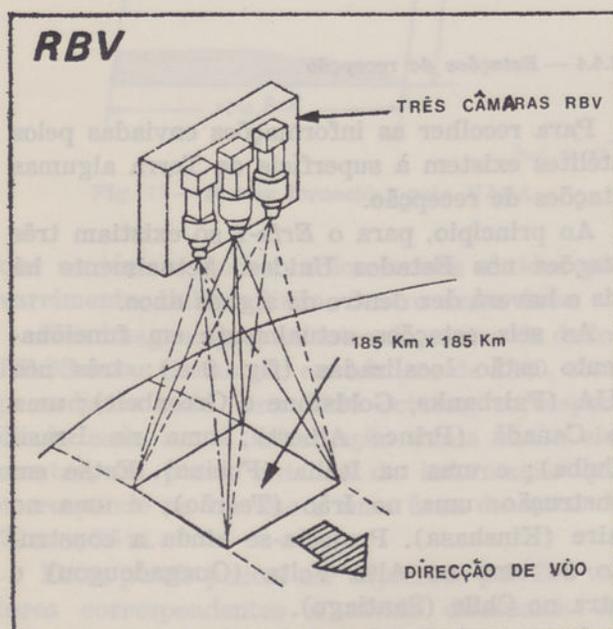


Fig. 10 — Satélite *Erst-Landsat*. RBV — Registo por televisão; MSS — Registo por varrimento

temperaturas e ventos de superfície de dia e de noite, o conteúdo em clorofila e sedimentos das águas costeiras, a poluição, a cartografia dos gelos marinhos e sua deriva, as correntes de marés, etc.

Dentro dos satélites chamados «actuais» existem ainda os *muito recentes*, tais como:

- O *Landsat-C*, que é um prolongamento das missões 1 e 2, com técnicas da mesma espécie, mas já com cinco canais no sistema MSS e quatro no sistema RBV, que permitiam cobrir duas vezes todos os 12,5 s uma mesma imagem; o sistema RBV, porém, já deixou de funcionar, assim como o 5.<sup>o</sup> canal do multiespectral;
- O *Seasat-A-B*, satélite de estudo do mar e medição do geóide com captadores radar de diferentes tipos e radiómetros;
- O *HCMM* (Heat Capacity Mapping Mission), com radiómetros de dois canais, destinado à investigação geotérmica, ao estudo das zonas de neve e geladas e à cartografia térmica (poluição por esgotos e estudo do mar).

#### *Futuros:*

Está já programado o lançamento de vários satélites.

Assim, em 1980, o *Landsat-D*, que será um aperfeiçoamento dos anteriores. Destinar-se-á a fornecer elementos para o estudo da ocupação do solo, recursos em água, previsão agrícola, poluição, etc.

Em 1985, o *Seos*, satélite geostacionário, destinado à vigilância contínua da superfície da Terra, isto é, à detecção de inundações, incêndios e nevões e ao estudo da evolução das culturas da vegetação no ciclo anual.

Um outro será o programa *Meteosat*, destinado a fornecer informações sobre meteorologia. Este satélite é um dos elementos dum sistema global permitindo uma vigilância permanente do globo, que compreende dois satélites dos EUA, um satélite da URSS e um satélite do Japão, com órbitas a 36 000 km de altitude.

Ainda para 1980 prevê-se o lançamento da Missão *Spacelab*; será um voo habitado, que faz parte do programa comum da ESA (Agência Espacial Europeia) e NASA. Será constituído por uma nave contendo um laboratório espacial

modular, destinando-se ao estudo das ciências da Terra, astronomia, etc.

Para 1983 está previsto o lançamento do projecto *Spot* (Sistema Probatório de Observação da Terra), estudado pelo CNES desde 1975. É um satélite tipo *Landsat* melhorado, com dois radiómetros de *barrettes* tipo Push-Broom, lançado pelo foguetão *Ariane*, destinado ao estudo dos recursos terrestres e ainda à realização de cartografia em pequena escala e de outras missões tipo *Landsat*.

Estão ainda em vias de realização numerosos programas de geodesia espacial e alguns outros previstos para um futuro próximo, cujos objectivos de investigação, embora sem estarem exclusivamente voltados para o estudo dos recursos terrestres, poderão trazer-lhes achegas de muito interesse que não se devem perder.

#### 2.2.4.3 — *Vantagens e inconvenientes dos satélites*

Como vantagens da utilização destes vectores referirei o facto de efectuarem registos repetitivos, prestando-se assim ao estudo dos fenómenos evolutivos e realizarem a cobertura de zonas muito vastas em condições de homogeneidade e instantaneidade das observações.

Como inconvenientes referirei uma resolução no solo relativamente fraca, dificuldade de utilização e falta de controlo durante o voo (estes dois inconvenientes não existem nas missões habitadas) e ainda os elevados custos da sua utilização.

#### 2.2.4.4 — *Estações de recepção*

Para recolher as informações enviadas pelos satélites existem à superfície da Terra algumas estações de recepção.

Ao princípio, para o *Ertis-1* só existiam três estações nos Estados Unidos. Actualmente há seis e haverá dez dentro de alguns anos.

As seis estações actualmente em funcionamento estão localizadas (fig. 9-A): três nos EUA (Fairbanks, Goldstone e Greenbelt); uma no Canadá (Prince Albert); uma no Brasil (Cuiba); e uma na Itália (Fucino). Estão em construção: uma no Irão (Teerão), e uma no Zaire (Kinshasa). Projecta-se ainda a construção de uma no Alto Volta (Ouagadougou) e outra no Chile (Santiago).

A transmissão dos dados faz-se em tempo real, se o satélite está à vista duma das estações

na Terra. Caso contrário, os dados são armazenados em registadores vídeo que têm uma capacidade de registo de 30 min com uma banda corrente muito extensa.

Além dos dados provenientes dos captores, as estações de recepção recebem mensagens sobre a posição do satélite que servem para as correcções a fazer à imagem.

Os dados recebidos pelo captor MSS são actualmente os únicos fornecidos pelas estações de recepção. Apresentam-se sob a forma de bandas magnéticas ou filmes fotográficos mais ou menos pré-tratados.

## INTERPRETAÇÃO DOS REGISTOS

### 1 — Imagens — «Scènes»

Os documentos fotográficos fornecidos pela NASA são elaborados por restituição, a partir de dados numéricos. Estes dados numéricos, como já se disse, são obtidos em banda magnética.

As informações relativas a uma área de 185 km × 185 km constituem uma *scène* (fig. 11),

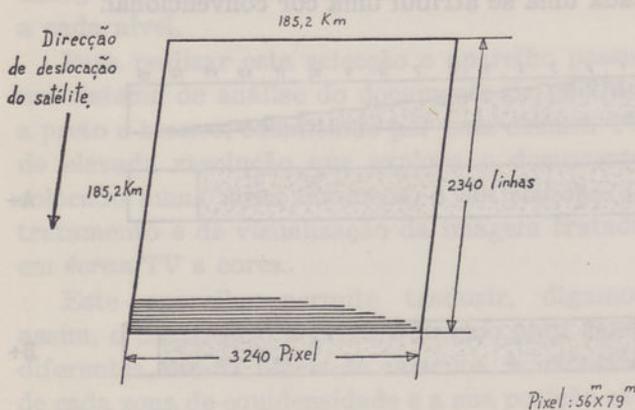


Fig. 11 — *Scènes* fornecidas pela NASA

que contém os dados radiométricos obtidos por varrimento, linha a linha, dentro dessa área.

Nas imagens provenientes do centro de dados EROS estas linhas são em número de 2340, compreendendo cada uma 3420 octetos, correspondendo cada um à informação duma *tache* elementar, ou *pixel*, unidade de informação que corresponde no terreno a uma área de cerca de 79 m × 56 m.

Estes *pixels* podem ser expressos por 256 valores correspondentes a níveis diferentes de energia. Destes, apenas 30 a 40 são efectivamente utilizados.

Assim, para cada *scène* (quatro canais com as 2340 linhas cada um), obtêm-se cerca de 34 milhões e meio de sinais (informações) a tratar.

As imagens NASA, que têm como suportes filmes positivos na escala 1 : 1 000 000 no *Landsat-1* e filmes negativos de 70 mm na escala 1 : 3 369 000 nos *Landsat-1* e *Landsat-2*, vêm anotadas com data, coordenadas do centro da imagem e nadir do satélite, número do canal (multiespectral), altura e azimuth do Sol no ponto central, condições de registo e transmissão da imagem, nomes do organismo e programa de lançamento e número de identificação da imagem.

Cada imagem é ainda acompanhada por uma escala de quinze níveis de cinzento utilizados na visualização original.

A NASA fornece, além das imagens a preto e branco, imagens compósitas de falsas cores, que representam os dados dos canais MSS 4 e 5, respectivamente em amarelo a magenta, combinados com 3.<sup>o</sup> canal em ciano, que pode ser o MSS 6 ou 7.

Os dados fornecidos pela estação Telespazio para cada *scène* aparecem na banda magnética distribuídos segundo ficheiros. Destes, os quatro primeiros contêm informações relativas à posição Sol-satélite, identificação da estação e satélite, zona coberta, data, transformações geométricas e tabelas de correcções radiométricas dos captores; um quinto ficheiro contém os dados radiométricos dos *pixels*. Estas imagens contêm 3780 *pixels* por linha e 2286 linhas.

### 2 — Tratamentos

A interpretação dos dados multiespectrais fornecidos pelo satélite para cada *tache* baseia-se na relação entre o objecto e a forma do seu espectro de reflexão.

Para se chegar a uma classificação dessas informações, necessária à interpretação, submetem-se as imagens a «tratamentos». Estes compreendem os *pré-tratamentos*, que têm por fim eliminar diversos tipos de deformações que afectam os pontos da imagem, melhorar a qualidade e os contrastes e suprimir a informação supérflua e os *tratamentos*, propriamente ditos, que permitem levar a uma classificação dos objectos presentes na imagem.

Estas operações podem ser realizadas quer por *processos analógicos* (fotográficos ou electrónicos), quer por *processos numéricos*.

## 2.1 — Pré-tratamentos

Esta operação, que não pode ser efectuada senão por via numérica, compreende:

### 2.1.1 — Correção das deformações geométricas da imagem

A correção das deformações geométricas da imagem, devidas à navegação (*roulis, tangage, lacet*) e ao relevo, pode efectuar-se ponto por ponto ou globalmente.

### 2.1.2 — Correções radiométricas

Estas correções consistem na correção das influências parasitas que afectam o nível de energia registado em cada banda espectral pelo aparelho de varrimento para cada *tache* elementar.

Estas influências parasitas podem ser devidas ao *próprio captor* ou de *origem externa*.

Para as primeiras, as correções consistem na filtragem do barulho de fundo e na eliminação do *overshut*, das variações de nível médio e de ganho do sinal, etc.; para as segundas, as correções têm por fim a eliminação da influência da direcção da iluminação, em relação à direcção do eixo de voo.

### 2.1.3 — Melhoramento dos contrastes

Para fazer este pré-tratamento é necessário estabelecer, em primeiro lugar, o histograma dos níveis de energia contidos na imagem.

Por exemplo, no *Landsat* é possível detectar 256 níveis, como já referi, mas só 30 ou 40 são efectivamente utilizados, dos quais resulta apenas uma quinzena de classes, agrupando cada classe um ou vários níveis, em função da forma do histograma.

Na fase da transcrição fotográfica, cada classe é traduzida por um nível de cinzento.

Os dados fornecidos pela NASA já podem vir corrigidos destes pré-tratamentos, se assim se desejar.

## 2.2 — Tratamentos

### 2.2.1 — Processos analógicos fotográficos

Estes métodos permitem obter uma classificação dos objectos em função da sua resposta numa ou várias bandas espectrais.

Constituem uma solução aproximada, mas simples e pouco dispendiosa.

### 2.2.1.1 — Adição de imagens

Um destes processos é o da adição de imagens, que consiste em, partindo-se de documentos fotográficos multispectrais, fazer uma combinação destes documentos, associando, a cada um, um filtro colorido. É um exemplo deste processo o tratamento das imagens *Landsat*. De facto, partindo-se das quatro bandas espectrais, pode-se reconstituir uma imagem em falsas cores, adoptando a seguinte combinação: (canal 4 + filtro azul) + (canal 5 + filtro verde) + (canal 7 + filtro vermelho).

Obtém-se assim uma imagem compósita, cujas características espectrais são vizinhas das dum negativo duma fotografia «falsa cor» de três camadas.

### 2.2.1.2 — Equidensidades coloridas

Outro destes processos é o das equidensidades coloridas, que consiste em, partindo duma imagem fotográfica, substituir um gradiente densitométrico contínuo por uma série de níveis de densidades arbitrariamente escolhidas, em que a cada uma se atribui uma cor convencional.

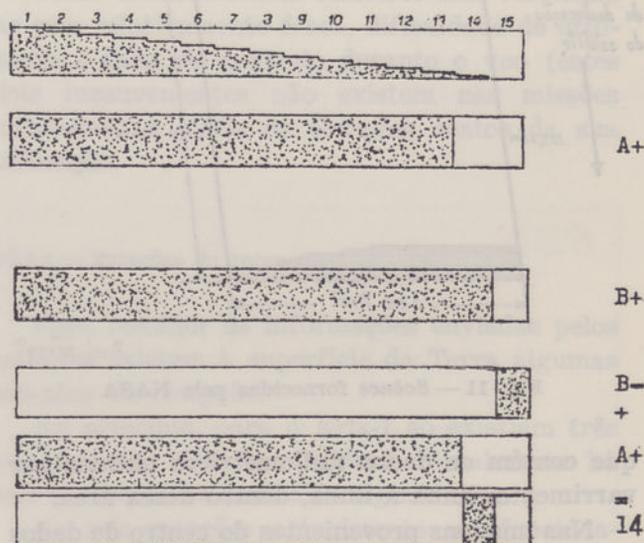


Fig. 12 — Princípio das equidensidades fotográficas. Para se isolar um só nível de cinzento, por exemplo na fig. 12 o nível 14, numa escala variando regularmente do negro (nível 1) ao branco (nível 15), expõe-se uma emulsão de forte contraste (por exemplo, *Kodalite*) de maneira que todos os níveis inferiores àquele que se quer isolar sejam traduzidos em opaco (*masque* A+). Para o nível superior, estabelece-se igualmente uma *masque* B+, depois uma *contra-masque* B-, onde todos os níveis superiores ao que se quer isolar fiquem opacos, permitindo a composição das duas *masques* isolar o nível escolhido

Podem ser utilizados vários processos, tais como o processo *Kodak* (baseado no emprego dum jogo de *masques* e *contra-masques* por zona de equidensidades), o processo *Agfacontour* ou o processo *Color-Key* (3M — Minnesota).

### 2.2.2 — Processos analógicos electrónicos

Existem aparelhos, tanto ópticos como electrónicos, ultrapassando os métodos fotográficos precedentes e permitindo realizar muito rapidamente combinações coloridas ou equidensidades.

É o caso do *projector multiespectral* (12S-Matra). Este aparelho realiza a operação inversa das câmaras multiespectrais, isto é, num *écran* despolido e com uma ampliação fixa projecta, sobrepondo-os, quatro clichés multiespectrais.

Graças a filtros coloridos selectivos inseridos em cada uma das quatro ópticas de projecção, consegue-se a visualização da combinação colorida em cores naturais, em falsas cores ou segundo qualquer outra codificação.

Outro aparelho utilizado para o mesmo fim é o aparelho «*Digicol*» (12S Matra), que permite efectuar, a partir de um documento em filme a preto e branco, uma selecção de níveis de densidades diferentes e atribuir uma cor convencional a cada nível.

Para realizar esta selecção o aparelho possui um sistema de análise do documento de partida, a preto e branco, constituído por uma câmara TV de elevada resolução que explora o documento colocado numa mesa luminosa, e um sistema de tratamento e de visualização da imagem tratada em *écran* TV a cores.

Este aparelho permite traduzir, digamos assim, o documento a preto e branco para cores diferentes, até 32 níveis de cinzento. A extensão de cada zona de equidensidade e a sua posição são escolhidas pelo operador.

O aparelho permite ainda efectuar medidas de superfície (com uma fraca precisão).

### 2.2.3 — Processos numéricos

Antes de abordarmos este método de tratamento convém precisar a noção de *assinatura espectral*: conjunto das respostas dum objecto registadas simultaneamente nas  $n$  bandas espectrais dum captor multiespectral.

Inversamente é possível reconhecer um objecto pela sua assinatura espectral ou distinguir dois objectos, dos quais as assinaturas são diferentes, pelo menos em teoria.

### 2.2.3.1 — Técnicas

Têm sido utilizados vários métodos ou técnicas de tratamento numérico para se conseguir uma classificação das *taches* elementares ou *pixels* definidas pela sua assinatura espectral, e obter assim um certo número de classes correspondendo a unidades de paisagem ou *taxa*.

Nas *técnicas supervisionadas* ou de segmentação, selecciona-se primeiro um certo número de zonas testemunho das quais começa por se determinar a resposta espectral, incluindo, em seguida, cada um dos pontos da imagem, numa ou noutra das classes definidas anteriormente.

O resultado é função da escolha dos locais de teste e do algoritmo de cálculo utilizado.

Nas *técnicas não supervisionadas*, ou de agregação, não há necessidade de escolher zonas de referência.

Graças a um jogo de algoritmos, o computador distingue e classifica directamente os objectos que apresentam respostas espectrais diferentes, limitando-se depois o intérprete a atribuir-lhe um significado.

### 2.2.3.2 — Assistência

As técnicas referidas dizem só respeito às diferenças existentes no plano dos métodos matemáticos, entre segmentação supervisionada e agregação não supervisionada, mas, na realidade, em todo o processo que vai desde o momento em que se dispõe dos dados até à construção da carta temática ocorrem vários níveis da participação do operador no diálogo homem-máquina.

Esta participação pode ser exercida em *fases* e *áreas de informação* diferentes.

Assim, classificaremos a assistência exercida por um operador humano segundo as diferentes *fases da sua intervenção* em *pré-assistência* (quando exercida antes da classificação), *pós-assistência* (quando exercida depois da classificação) e *co-assistência* (quando exercida durante a classificação).

Quanto à assistência do operador nas diferentes *áreas de informação*, classificá-la-emos em: *espectral* (quando fundada no conhecimento das características estatísticas das assinaturas espectrais); *taxonómica* [quando fundada no conhecimento das unidades fisiográficas da paisagem — *taxa* (exemplo: separar dum grupo definido — floresta — a parte de coníferas da de folhosas)]; e *geográfica* [quando fundada no conhecimento da extensão duma paisagem ou do desenho do limite da paisagem (exemplo: agru-

par numa só classe todas as *taches* elementares do interior duma dada área do solo].

Como exemplos de diferentes tipos de assistência citarei o sistema de pré-assistência geográfica e co-assistência espectral (Image 100), que é um sistema supervisionado utilizado no Johnson Space Center, em Huston, e o sistema de co-assistência espectral e pós-assistência taxonómica (Fracam), sistema não supervisionado utilizado na École Nationale Supérieure des Mines, em Paris. Ambos os sistemas foram elaborados para o estudo do litoral oceânico francês pela equipa Fralit.

Estes sistemas, como todos os outros, são constituídos por cadeias de programas, que, no seu conjunto, realizam, como se disse atrás, o objectivo pretendido — uma classificação das *taches* elementares, ou *pixels*, definidas pela sua assinatura espectral num certo número de classes correspondentes a unidades de paisagem, *taxa*.

### 2.2.3.3 — Materiais

No que se refere a materiais, todas estas cadeias de tratamentos numéricos de dados reúnem, num só conjunto integrado, meios de escolha de dados, meios de tratamento e meios de saída, que se articulam em torno de uma consola interactiva (graças à qual o operador pode, em maior ou menor grau, dialogar com a máquina e modificar, segundo as necessidades, o tratamento em curso perante os resultados intermédios) e um computador (maior ou menor).

Conforme as suas possibilidades, estes sistemas podem agrupar-se em três tipos: *sistemas onde as instruções não são modificáveis (câblées)*, que comportam essencialmente a consola interactiva (Rantek, Contal, etc.), comandada por um minicomputador com órgãos de entrada e saída, e que se utilizam no cálculo de elementos estatísticos simples ou melhoramento de imagens; *sistemas programáveis, de campo de aplicação limitada*, que foram desenvolvidos para a exploração dos dados *Landsat* e em que os programas de classificação e de melhoramento de imagens não são, em geral, modificáveis (são exemplos destes sistemas o sistema Image 100 e o sistema Larsys); e *sistemas programáveis, de campo de aplicação ilimitada*, que são dados como universais e aptos para resolver todos os problemas de tratamento de imagens. São exem-

plos destes sistemas o sistema 101 (I2S-Matra) e o sistema Erips (IBM). Destes, o sistema 101 do IGN francês, que tive oportunidade de ver, tem as seguintes características: é interactivo (permite o diálogo entre o utilizador e a máquina) e modular (tem possibilidade de ampliação, tanto no campo do *software* como do *hardware*). Essencialmente dispõe de (fig. 13)

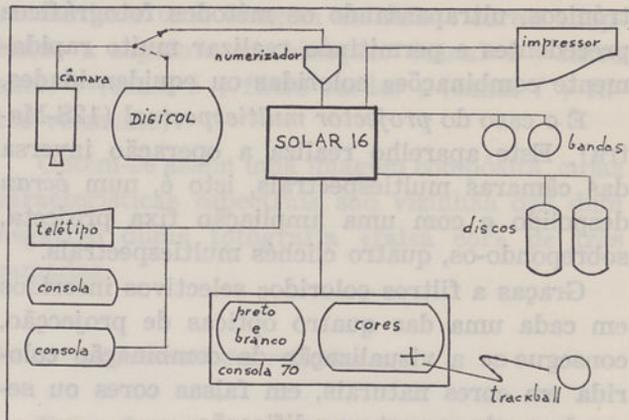


Fig. 13 — Esquema de organização do sistema 101

um computador Solar 16/65; memórias auxiliares de grande capacidade (bandas e discos magnéticos); uma consola de visualização em cores, de imagens analógicas (Digicol); uma entrada analógica por câmara vídeo, que pode enviar imagens tanto para as memórias auxiliares do computador por intermédio de um numerizador coma para a consola a cores Digicol; uma consola interactiva (I2S Modelo 70), que permite a memorização de seis imagens  $512 \times 512$  pontos nas suas próprias memórias, a visualização, a preto e branco ou em cores, de imagens, de combinação de imagens e de resultados de transformações de imagens e uma marcação ou modificação na imagem visualizada, graças a um cursor interactivo (*trackball*).

As figuras 14-A a 14-D são um exemplo elucidativo destes tratamentos de dados.

O sistema dispõe duma gama (extensível) de mais de 100 programas de tratamento e de visualização de imagens, tais como transformação duma imagem por aplicação duma função matemática à densidade dos seus pontos, transformações clássicas em teledeteção (Karhunen, Loeve, Hadamard), combinações lineares de várias imagens, classificações multiespectrais, histogramas, correcções geométricas, correcções radiométricas, etc.



Fig. 14-A

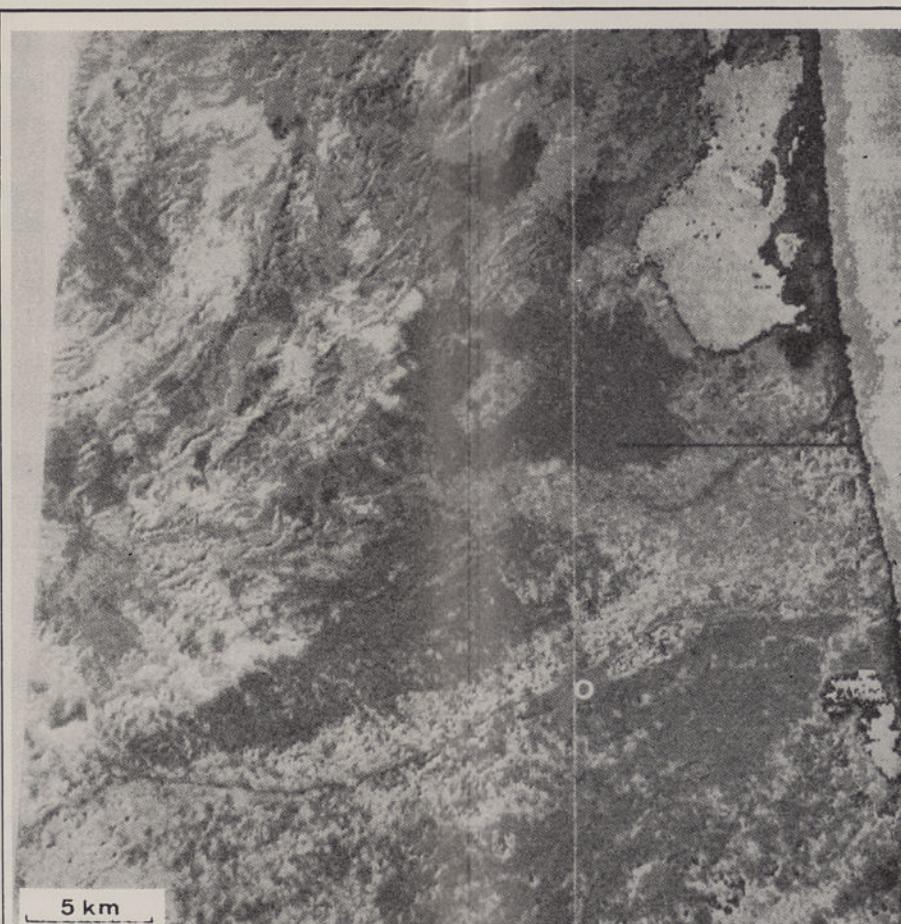


Fig. 14-C

Fig. 14-B

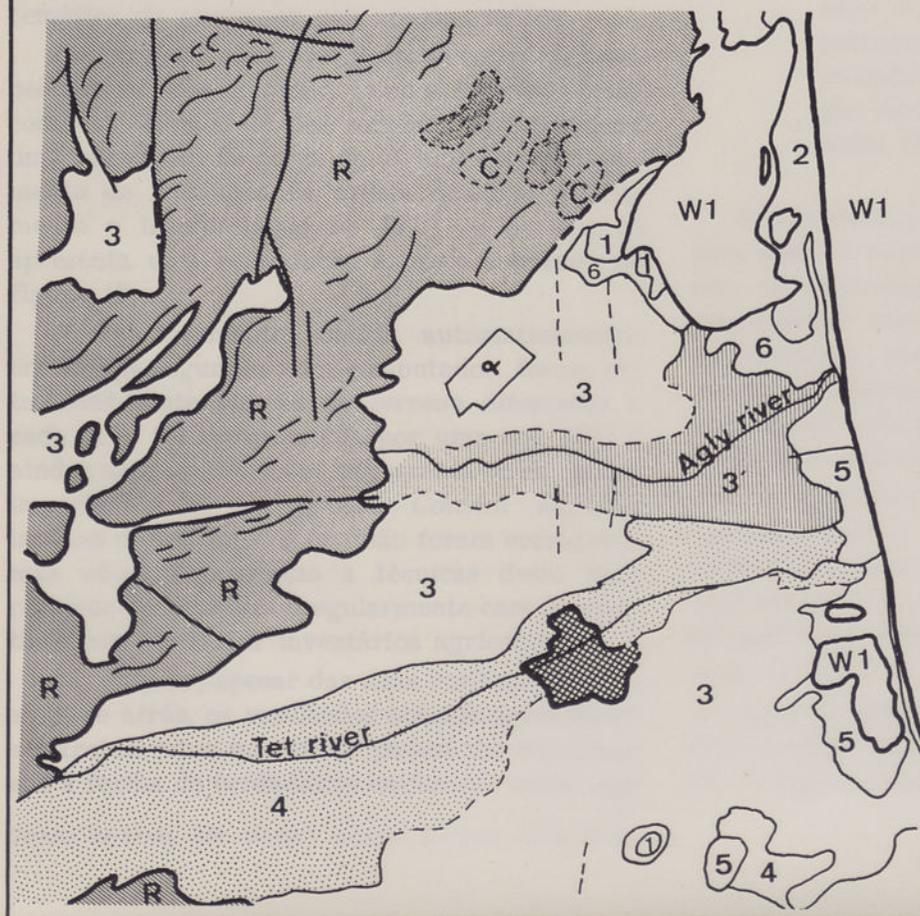
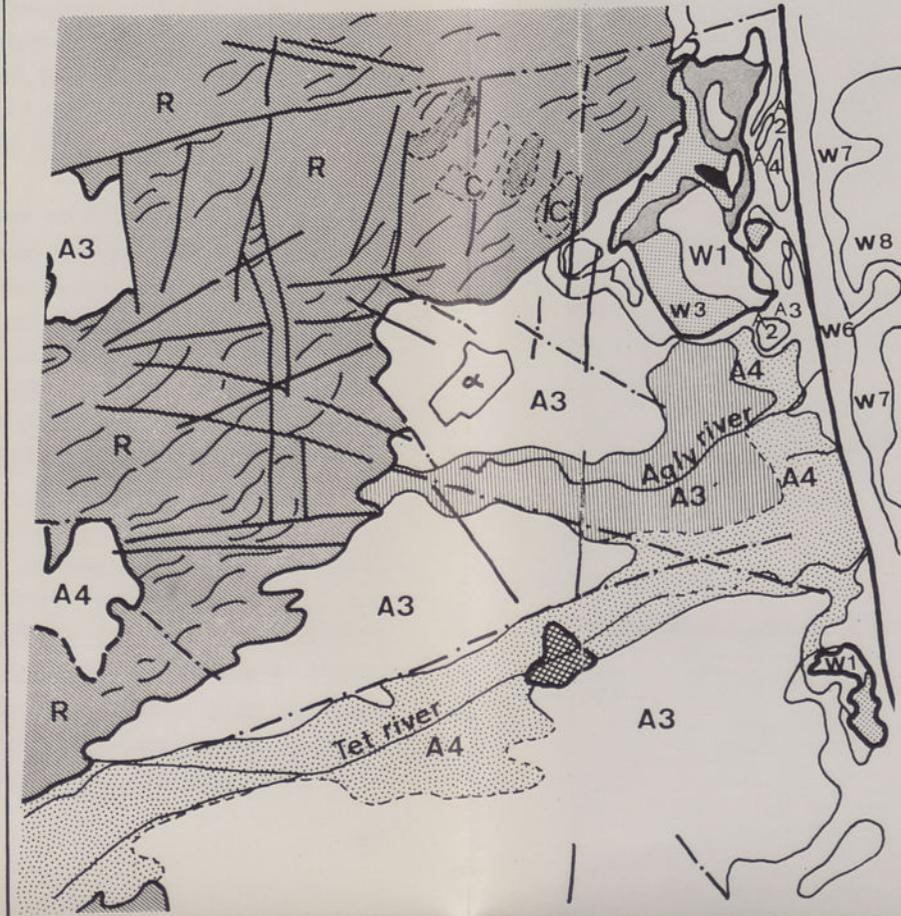


Fig. 14-D



Figs. 14-A a 14-D — A fig. 14-A é uma reprodução a preto e branco de uma combinação colorida obtida a partir das imagens *Landsat* originais. A fig. 14-C representa a mesma imagem depois de submetida a um tratamento numérico. As figs. 14-B e 14-D mostram as interpretações fotogeológicas que se puderam obter a partir duma e doutra



\*

Sejam quais forem os métodos utilizados, a interpretação de qualquer documento de teledeteccção deve ter o apoio indispensável de:

*Medidas radiométricas do terreno* — determinação de assinaturas espectrais de objectos conhecidos e próximos dos meios geográficos estudados;

*Determinação da verdade solo* correspondente aos dados de teledeteccção de que se dispõe.

### 3 — Cartografia automática

As técnicas de classificação por processos numéricos atrás referidos, embora utilizadas com excelentes resultados nos Estados Unidos, têm certas limitações.

É difícil utilizá-las em terrenos acidentados, por causa das sombras, e ainda, qualquer que seja a topografia, em regiões agrícolas em que o tamanho das parcelas elementares seja inferior a alguns hectares, o que é o caso de muitos países da Europa.

Será precisa uma geração de satélites tendo uma melhor resolução espacial (por exemplo, o *Spot*, cujo lançamento está previsto para 1983) para se poder esperar fazer uma cartografia temática de pormenor nas nossas regiões.

Os europeus recorrem a documentos multiespectrais obtidos de avião, como a imagem obtida com um *scanner* de dez canais, que representa uma superfície de cerca de 10 km<sup>2</sup> com um elemento de resolução da ordem dos 5 m (tratamento e interpretação no IFP), e de que se apresenta uma reprodução a preto e branco na figura 15.

Neste documento, obtido automaticamente em alguns segundos num computador, foram detectadas vinte classes de terreno diferentes e cada uma foi representada por uma cor. Não é ainda uma carta, mas representa uma etapa importante da cartografia. Contém algumas lacunas e inexactidões que não foram corrigidas, mas vê-se que, graças a técnicas deste tipo, poder-se-ão actualizar regularmente cartas temáticas, em particular inventários agrícolas.

No entanto, apesar das suas limitações, como se disse atrás, os resultados obtidos pelos diversos tratamentos numéricos podem ser expressos sob a forma de verdadeiras cartas em cores, com

traçados de curvas, através de programas de cartografia automática.

Um exemplo destes programas é o programa *Fracarto*, que permite cartografar automaticamente, com traçador *Benson*, os resultados de todas as classificações obtidas pelos diversos tratamentos aplicados pelo programa *Fralit* do *GDTA*.

Em primeiro lugar, este programa permite, depois das classificações e antes de cartografar, fazer *lissages*, isto é, substituir ou não alguns *pixels* depois de os comparar com outros das suas vizinhanças, o que leva a homogeneizar zonas muito próximas, acentuando características comuns, o que, embora faça perder pontualmente algum pormenor, torna a imagem mais explícita.

Depois destas eventuais *lissages*, pode efectuar-se o traçado cor por cor, segundo um dos três modos seguintes:

Uma representação por sinais alfanuméricos (fig. 16);

Uma representação de sinais da gama *Framot*, que evitam o levantar e o baixar da caneta no desenho de uma sucessão de sinais para a mesma cor, o que aumenta extraordinariamente a rapidez do traçado (fig. 17);

Uma representação que consiste em desenhar o contorno envolvente dos *pixels* pertencentes a um mesmo *taxon*. Este traçado só interessa depois da operação *lissage*, que elimina os *pixels* isolados (fig. 18).

A experiência tem mostrado que as informações sobre a natureza, potencialidades ou situações de determinadas zonas do globo terrestre, relacionadas com as mais diversas áreas do conhecimento, por muito interesse que tenham, quando fornecidas sob a forma de listagens ou de quadros estatísticos, desde sempre desagradaram aos utilizadores desses dados.

Pelo contrário, quando apresentadas em cartas criteriosa e rigorosamente elaboradas, em escalas idênticas a cartas da região em causa (por exemplo, 1 : 50 000), interessam muito mais os que delas necessitam, por ser esta a forma mais dinâmica e expressiva de as fazer chegar às pessoas que as procuram, quer estejam interessadas em ciências fundamentais (geografia, biologia, sedimentologia, oceanografia), quer

nas ciências aplicadas, como a engenharia agronómica, por exemplo.

É por esta razão que a cartografia infográfica, ao ser assim solicitada, tem procurado encontrar sistemas sempre mais sofisticados para corresponder às exigências que lhe são postas em campos cada vez mais vastos.

Terminarei por indicar, de forma esquemática, *aplicações da teledeteção*.

## SINTESE DAS APLICAÇÕES DA TELEDETECÇÃO

Convém distinguir três grandes domínios:

- A fotinterpretação clássica;
- A termografia (avião e helicóptero);
- As imagens recolhidas a bordo de satélites ou de naves espaciais.

### 1 — Fotinterpretação clássica

1.1 — *Aplicações de tipo inventário cartográfico:*

- Ocupação agrícola do solo, distinção das culturas;
- Vegetação natural;
- Inventário florestal;
- Zonas homogéneas de solos;
- Fotogeologia;
- Urbanismo, *aménagement*.

1.2 — *Cartas de evolução*, obtidas por comparação de missões aéreas espaçadas no tempo.

1.3 — *Estudo de fenómenos particulares:*

Riscos naturais:

- Inundações;
- Secas;
- Sensibilidade aos incêndios;
- Localização prévia das avalanchas;

Fiscalização fitossanitária (culturas — floresta);

Controlo das superfícies irrigadas;

Poluição: litoral e cursos de água;

Etc.

### 2 — Termografia

O seu domínio mais interessante é o estudo da água, nomeadamente em:

Cartografia das curvas isotérmicas de superfície;

Hidrogeologia;

Investigação dos afloramentos do lençol freático em meio marinho;

Correntologia: correntes de maré e, por extensão, estudos preliminares à implantação de trabalhos litorais (centrais nucleares, descargas, portos de abrigo, etc.); trocas de águas continentais/meio marinho;

Poluição: poluição térmica (centrais eléctricas, refinarias, etc.) e estudo dinâmico das *panaches* correspondentes; inventário dos esgotos (no litoral e nos cursos de água por termografia helio-transportada); poluição no mar por hidrocarbonetos [exemplo: intervenção GDTA na Ekofisk (L-77)], fiscalização contínua dos poluidores na Mancha, Oeste da Bretanha, etc.

Noutros domínios assinalamos aplicações interessantes em:

Geologia: vulcanismo, fracturas em regiões kársticas, estudo das estruturas;

Equipamento: controlo da isolação térmica das construções, fiscalização do estacionamento, etc.

O campo das aplicações continua plenamente aberto.

### 3 — Imagens recolhidas a partir de satélites e naves espaciais

Estas imagens permitem ter dados homogéneos no tempo e no espaço, em várias bandas espectrais, em grandes superfícies de terreno. Além disso, a repetitividade dos registos é um factor de interesse para o conhecimento do desenrolar dos fenómenos de carácter evolutivo. Por outro lado, a resolução espacial, ainda relativamente fraca, limita a sua utilização.

Tendo em conta estas considerações, podem destacar-se alguns grandes domínios de aplicação já em fase operacional, quer no *meio terrestre*, quer no *meio marinho*.



Fig. 15

*Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, 21-52*



The image displays a large grid of numbers, organized into rows and columns. The rows are numbered on the left side, starting from 92 and ending at 192. Each row contains a sequence of numbers, often repeating patterns or specific digits. The numbers are arranged in a regular grid, with some rows appearing to have a header or a specific sequence of digits. The overall appearance is that of a data table or a coordinate grid used in cartography or geodesy.

Fig. 16

1700

1100

1100

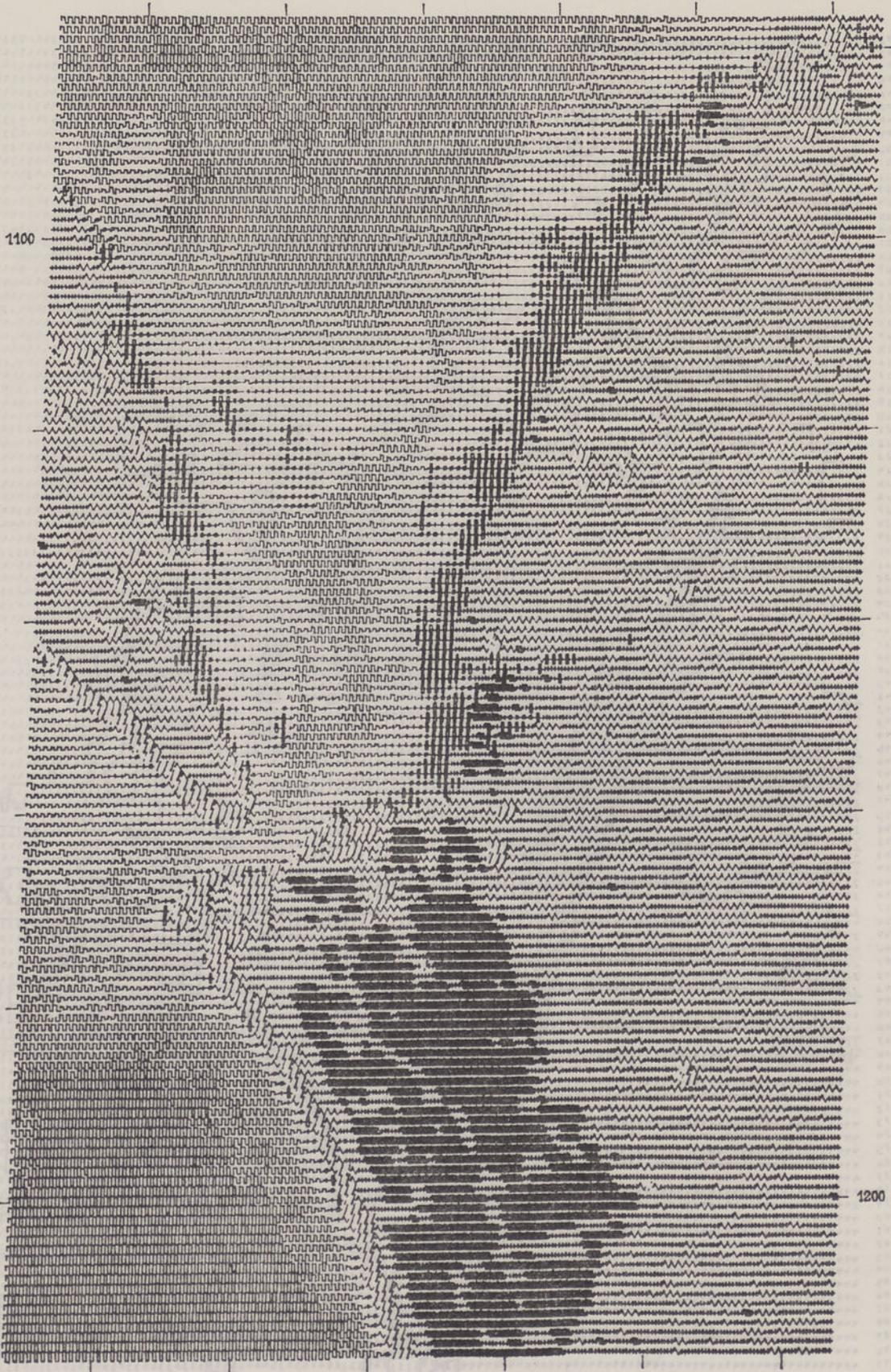


Fig. 17

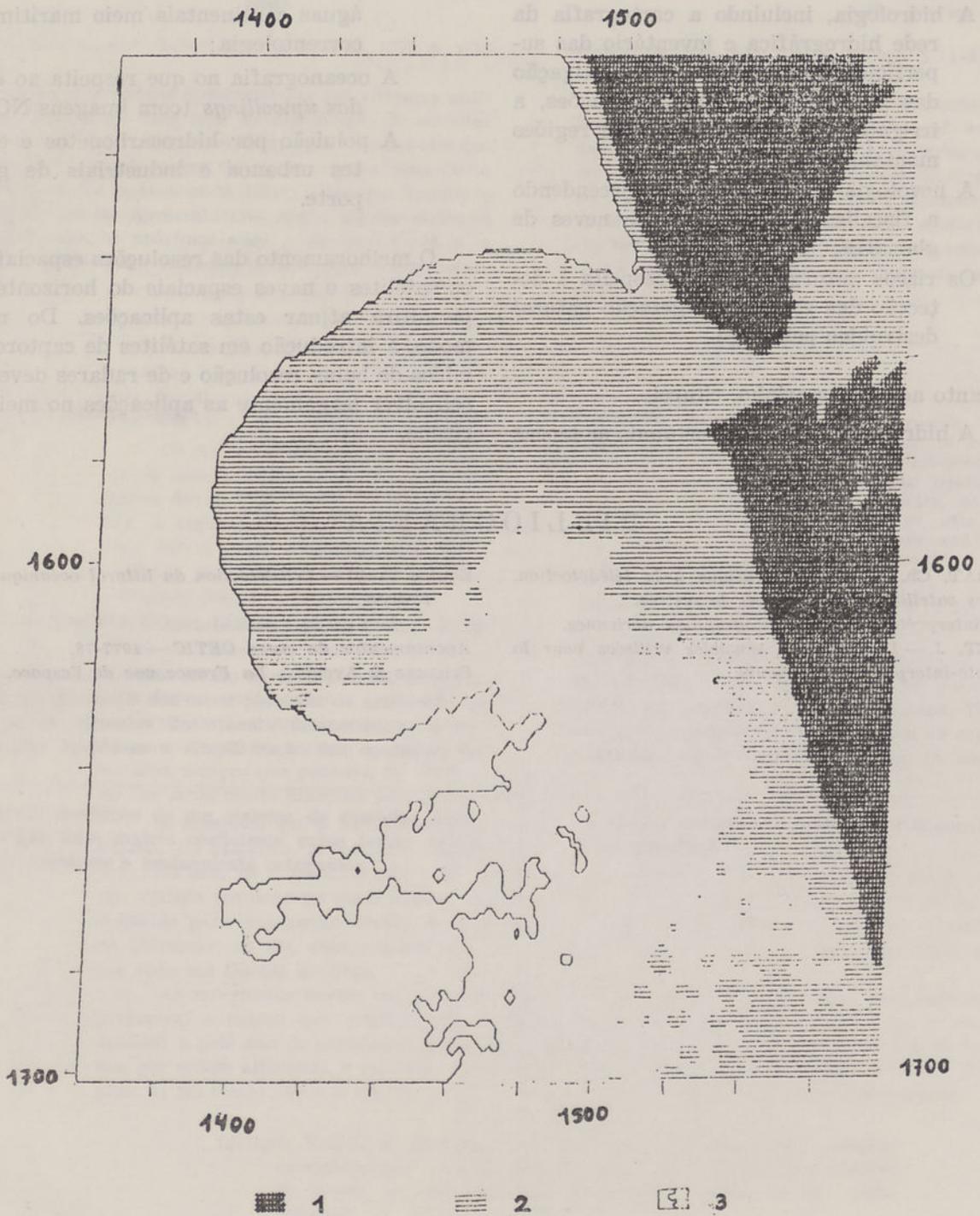


Fig. 18

Quanto aos primeiros, citarei:

A ocupação dos solos (a pequena escala), incluindo a vegetação natural, os aspectos sintéticos da paisagem (exemplo: densidade do parcelamento e grandes unidades morfopedológicas), o inventário de culturas e plantações, em certos casos particulares (exemplo: chou-

pais no Norte da Itália), e a ocupação urbana do solo;

A evolução de ocupação dos solos, incluindo o desbaste e repovoamento florestal e a relação meio urbano/meio rural;

A geologia e geomorfologia, incluindo a investigação sistemática das fracturas e a cartografia geológica em zona árida ou polar;

A hidrologia, incluindo a cartografia da rede hidrográfica e inventário das superfícies de água livre, a investigação das zonas húmidas, as inundações, a irrigação e o saldo em água das regiões montanhosas;

A nevrologia e glaciologia, compreendendo a fiscalização do manto de neves de glaciares;

Os riscos naturais, no que respeita à detecção das zonas de vegetação natural destruídas pelo fogo.

Quanto ao meio marinho, citarei:

A hidrologia marítima, incluindo as trocas

águas continentais/meio marítimo e a correntologia;

A oceanografia no que respeita ao estudo dos *upwellings* (com imagens NOAA);

A poluição por hidrocarbonetos e efluentes urbanos e industriais de grande porte.

O melhoramento das resoluções espaciais com os satélites e naves espaciais do horizonte 1980 permitirá afinar estas aplicações. Do mesmo modo, a introdução em satélites de captores térmicos de baixa resolução e de radares deverá desenvolver largamente as aplicações no meio marítimo.

## BIBLIOGRAFIA

- CAZABAT, Ch. — *Initiation pratique à la télédétection.*  
— *Les satellites de ressources terrestres.*  
— *L'interprétation des photographies aériennes.*  
CRUZET, J. — *Les surfaces sensibles utilisées pour la photo-interprétation aérienne.*

Equipe Fralit — *Télédétection du littoral océanique de la France.*

Apontamentos do curso CETIC — 1977-78.  
Sciences & Avenir — *La France vue de l'espace.*



**MADUREIRA, Maria Ofélia**      **Aplicação de satélites artificiais ao estudo da geodesia**

*Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 1-12*

Os assuntos referidos dizem respeito aos sistemas utilizados em geodesia com base na observação de satélites artificiais da Terra. Mereceram especial interesse os que tratam da fotografia sobre fundo de estrelas, bem como o sistema Secor, a telemetria laser, o sistema Transit e o sistema Géole. Apresentam-se ainda alguns sistemas previstos para os próximos anos, e faz-se referência a satélites geodésicos e métodos básicos para a sua observação.

**MADUREIRA, Maria Ofélia**      **Application of artificial satellites to the study of the geodesy**

*Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 1-12*

The subjects referred concern the systems utilized in geodesy based on the observation of artificial Earth satellites. Particular attention was paid to those which deal with photography against star background, as well as to the Secor system, the laser telemetry, the Transit system and the Géole system. Some systems foreseen for the next years are also presented and reference is made to geodetic satellites and basic methods for its observation.

**TOURET, Marie Ange Jeanne**      **Um processo para substituir um sistema de equações linearmente independentes «AX=B» por um sistema equivalente «CX=D» tal que as linhas de «C» sejam vectores unitários e mutuamente ortogonais**

*Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 13-20*

Para elaboração deste estudo apresenta-se em primeiro lugar uma discussão dos casos possíveis de existência de sistemas de equações linearmente independentes e em aditamento aponta-se a simplificação das operações de

cálculo na resolução de um sistema de equações constituído por uma matriz coeficiente cujas linhas sejam vectores unitários e mutuamente ortogonais.

**TOURET, Marie Ange Jeanne**      **A process to replace a system of equations linearly independent «AX=B» by an equivalent system «CX=D», so that the lines of «C» are unitary vectors and mutually orthogonal**

*Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 13-20*

In order to achieve this investigation, a discussion of the probable cases of existence of equation systems linearly independent is firstly presented. The simplification of the accounts in the solution of an equation system constituted by a coefficient matrix, in which the lines

are unitary vectors and mutually orthogonal is presented as a supplement.

**ALBUQUERQUE, Maria Regina**      **Telinterpretação e sua aplicação à cartografia**

*Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 21-52*

Breve introdução histórica. Teledetecção como registo de radiações do espectro electromagnético enviadas pelos objectos observados e os factores que intervêm na obtenção desses registos: atmosfera, natureza do objecto e elementos básicos de teledetecção (vectores e captors). Suas aplicações. Tratamento dos registos, isto é, correcções geométricas e radiométricas a que são submetidos, e processos analógicos e numéricos das técnicas utilizadas.

**ALBUQUERQUE, Maria Regina**      **Tele-interpretation and its application to cartography**

*Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 21-52*

Brief historic introduction. Teledetection as a registration of the electromagnetic spectrum coming from the objects observed and the factors that influence the obtention of these registrations: atmosphere, nature of the object and basic elements of teledetection (vectors and captors). Its applications. Treatment of the registration, that is to say, geometric and radiometric corrections to which they are subjected, and analogic and numeric processes of the technics used.

Application of artificial satellites to the study of the geosphere

Albuquerque, Maria Regina — Telinterpretação e sua aplicação à cartografia das águas continentais/meio marítimo e a oceanografia, incluindo a cartografia da rede hidrográfica e inventário das superfícies de água livre, a investigação das zonas húmidas, as inundações, a irrigação e o manto de neve de gelo. A interpretação de fotografias aéreas, compreendendo a utilização do manto de neve de gelo e o sistema Secor. Alguns sistemas de interpretação de fotografias aéreas, bem como o sistema Secor, a telemetria laser, o sistema Géole. Apresentam-se ainda alguns sistemas previstos para os próximos anos e faz-se referência ao melhoramento das resoluções dos satélites e naves espaciais do horizonte próximo. Permitirá afinar estas aplicações. Do mesmo modo, a introdução em satélites de captores térmicos de baixa resolução e de radares deverá desenvolver largamente as aplicações no meio marítimo.

Quanto ao meio marinho, citarei:

A process to replace a system of equations linearly independent  $AX=B$  by an equivalent system  $CX=D$ , so that the lines of  $C$  are unitary vectors and mutually orthogonal. TOURET, Marie Anne. — Initiation pratique à la télédétection. Les satellites de ressources terrestres. Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 13-20. CRUZET, J. — Les surfaces sensibles utilisées pour la télédétection. In order to achieve this investigation a discussion of the probable cases of existence of education systems linearly independent is firstly presented. The simplification of the accounts in the solution of an education system constituted by a coefficient matrix, in which the lines are unitary vectors and mutually orthogonal is presented as a supplement.

Albuquerque, Maria Regina — Tele-interpretation and its application to cartography

Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 21-52. Brief historic introduction. Telédétection as a registration of the electromagnetic spectrum coming from the objects observed and the factors that influence the option of these registrations: atmosphere, nature of the object and basic elements of telédétection (vectors and captors). Its applications. Treatment of the registration, that is to say, geometric and radiometric corrections to which they are subjected, and analogic and numeric processes of the techniques used.

MADUREIRA, Maria Otilia — Aplicação de satélites artificiais ao estudo da geografia

Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 1-12. Os assuntos referidos dizem respeito aos sistemas utilizados em geodesia com base na observação de satélites artificiais. Apresentam-se alguns sistemas previstos para os próximos anos e faz-se referência ao melhoramento das resoluções dos satélites e naves espaciais do horizonte próximo. Permitirá afinar estas aplicações. Do mesmo modo, a introdução em satélites de captores térmicos de baixa resolução e de radares deverá desenvolver largamente as aplicações no meio marítimo.

Um processo para substituir um sistema de equações linearmente independentes  $AX=B$  por um sistema equivalente  $CX=D$ , tal que as linhas de  $C$  sejam vetores unitários e mutuamente ortogonais.

TOURET, Marie Anne. — Initiation pratique à la télédétection. Les satellites de ressources terrestres. Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 13-20. CRUZET, J. — Les surfaces sensibles utilisées pour la télédétection. In order to achieve this investigation a discussion of the probable cases of existence of education systems linearly independent is firstly presented. The simplification of the accounts in the solution of an education system constituted by a coefficient matrix, in which the lines are unitary vectors and mutually orthogonal is presented as a supplement.

Para a realização deste estudo apresenta-se em primeiro lugar uma discussão dos casos possíveis de existência de sistemas de equações linearmente independentes e em seguida o melhoramento das resoluções dos satélites e naves espaciais do horizonte próximo. Permitirá afinar estas aplicações. Do mesmo modo, a introdução em satélites de captores térmicos de baixa resolução e de radares deverá desenvolver largamente as aplicações no meio marítimo.

Albuquerque, Maria Regina — Telinterpretação e sua aplicação à cartografia

Garcia de Orta, Sér. Geogr., Lisboa, 5 (1-2), 1979, p. 21-52. Breve introdução histórica. Telédétection como registo de radiações do espectro electromagnético enviadas pelos objectos observados e os factores que intervêm na obtenção desses registos: atmosfera, natureza do objecto e elementos básicos de telédétection (vetores e captadores). Suas aplicações. Tratamento dos registos, isto é, correcções geométricas e radiométricas a que são submetidos, e processos analógicos e numéricos das técnicas utilizadas.



## INSTRUÇÕES AOS AUTORES

A Série de Geografia de *Garcia de Orta* publica artigos sobre os vários ramos das ciências geográficas (Geografia Matemática, Geografia Física, Geografia Humana, etc.) quer no aspecto de ciência pura, quer no da sua aplicação. Poderá, também, incluir pequenas notas geográficas, noticiário científico, recensões ou críticas bibliográficas.

Os artigos podem ser escritos em português, inglês, francês, espanhol, italiano ou alemão, e compreenderão os seguintes resumos: a) Um na língua em que foram escritos os textos; b) Outro em português; c) E ainda outro em inglês (de preferência) ou francês no caso dos artigos escritos em língua diferente destas.

Os originais devem ser submetidos a qualquer dos membros do Corpo Editorial: Prof. Doutor Ilídio do Amaral, Centro de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras, 1600 Lisboa, ou Eng.ºs José Farinha da Conceição ou Álvaro Diniz Campos Amores, Centro de Geografia do Ultramar, Travessa do Conde da Ribeira, 9, 1300 Lisboa.

Os autores devem enviar os originais em duplicado, dactilografados a dois espaços e de um só lado, em formato A4 (210 mm x 297 mm); a primeira página deve ter o título do artigo, os nomes dos autores (sendo desejável no máximo dois apelidos) e respectivos organismos e moradas; a segunda página deve repetir o título e os autores, seguindo-se-lhes os resumos, texto, etc.; devem ainda indicar a qual dos autores (sua morada completa e telefone) deverão ser enviadas as provas para revisão e quantas separatas extra pretendem adquirir (ver o último parágrafo destas instruções).

As tabelas e figuras devem ser reduzidas a um número mínimo e apresentadas separadamente em tamanho maior, para permitir uma melhor reprodução. As legendas das tabelas e das figuras devem ser indicadas numa folha à parte e claramente referenciadas. As tabelas e gráficos devem ser traçados a preto sobre fundo branco (por exemplo a tinta-da-china negra sobre papel vegetal), suficientemente contrastados para permitir uma boa reprodução, e as fotografias devem ser também a preto e branco, sobre papel brilhante. Os quadros e tabelas deverão ser elaborados, sempre que possível, de molde a permitirem a publicação na mancha normal da revista. Só em casos muito especiais poderão ser consideradas reproduções a cores.

É desejável que o número de páginas de cada artigo, incluindo as gravuras e tabelas, não exceda, em princípio, 20 páginas dactilografadas (o correspondente a cerca de 10 páginas impressas). No caso de o trabalho não poder ser reduzido a este tamanho, poderá: a) Considerar-se a sua divisão em duas ou mais partes, a publicar como se fossem artigos independentes; b) Ser remetido para publicação noutra seriada mais adequada da Junta de Investigações Científicas do Ultramar; c) Ou, excepcionalmente, ser decidida pelo Corpo Editorial a sua publicação como um todo em *Garcia de Orta*.

As referências devem ser indicadas no texto por meio do nome do autor (sem iniciais dos prenomes, a menos que estritamente necessário para distinguir dois autores com o mesmo apelido) e pelo ano de publicação, sendo apresentada uma lista das referências no fim do trabalho, por ordem alfabética e conforme as normas portuguesas em vigor (NP-405 e NP-139). Exemplos: a) No texto: (Vale & Cunha, 1969) ou Vale & Cunha (1969); b) Na lista bibliográfica:

(artigo) VALE, J. Cardoso do & CUNHA, A. Proença da — «Estudo cromatográfico e químico do óleo essencial de *Eucalyptus maideni* F. Muell., de Angola». *Garcia de Orta*, Lisboa, 17 (3), 1969, 307-314.

(livro) PEREIRA, Benjamim — *Máscaras Portuguesas*. Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar, 1973, 158 p., 111 est., bibliograf. numerosa.

As provas devem ser corrigidas e devolvidas ao respectivo membro do Corpo Editorial o mais rapidamente possível. Para facilitar a correcção das provas, será enviado aos autores um texto-exemplo com os vários sinais usados pelos revisores.

No caso de um só autor, este terá direito a 50 separatas gratuitas, e no caso de vários autores estes terão em conjunto direito a 100 separatas gratuitas. Em qualquer dos casos, os autores, ou os organismos da Junta a que estes pertençam, poderão encomendar qualquer número de separatas extra, que lhes serão debitadas ao preço de custo.

## SUMÁRIO

<i>Aplicação de satélites artificiais ao estudo da geodesia</i> — Maria Ofélia Madureira .. ... .. .	1
<i>Um processo para substituir um sistema de equações linearmente independentes «<math>AX=B</math>» por um sistema equivalente «<math>CX=D</math>» tal que as linhas de «<math>C</math>» sejam vectores unitários e mutuamente ortogonais</i> — Marie Ange Jeanne Touret .. ... .. .	13
<i>Telinterpretação e sua aplicação à cartografia</i> — Maria Regina Albuquerque ... .. .	21