

## O SISTEMA LANDSAT COM ÊNFASE NO SENSOR THEMATIC MAPPER (TM)

*Carlos Hartmann*

Prof. do Dep. de Geociências da FURG -  
Rio Grande do Sul

*Andrea Adornes*

Oceanóloga - FURG -  
Rio Grande do Sul

*Paulo F. G. Harkot*

Oceanólogo - FURG -  
Rio Grande do Sul

### RESUMO

As inovações sobre os equipamentos utilizados nos satélites para o sensoriamento dos recursos naturais são renovadas em curto espaço de tempo. Um destes equipamentos mais aperfeiçoados e a bordo dos satélites da série Landsat é o denominado "Thematic Mapper" - TM, o qual possui inovações importantes como: resolução espectral, níveis de quantização, além de outras, em relação ao sistema conhecido como "Multispectral Scanner" - MSS. Este trabalho é uma contribuição no sentido de mostrar aos usuários desta tecnologia as características inovadoras deste sistema sensor, sem no entanto, tratar de aspectos específicos de engenharia.

### INTRODUÇÃO

As técnicas de sensoriamento remoto a nível orbital têm tido nos últimos anos um avanço muito grande, principalmente na década de 70, quando surgiu o primeiro sistema de sensoriamento a nível orbital dos recursos naturais com o lançamento dos satélites da série LANDSAT. Este sistema orbital que imageava a superfície da terra a cada 18 dias (Landsat 1, 2 e 3), atualmente 16 dias (Landsat 4 e 5), tem a bordo um sensor denominado de Multispectral Scanner (MSS) com quatro faixas do espectro eletromagnético, e um outro sistema, o Return Beam Vidicon (RBV), atualmente em desuso.

O quinto satélite da série, além do sistema MSS, leva a bordo um novo sensor, o Thematic Mapper (TM), que proporciona uma coleta de dados

muito melhorada com relação aos sistemas anteriores, constituindo-se na atualidade em um dos mais avançados sistemas de sensoriamento remoto a nível orbital para imageamento dos recursos naturais em operação. Neste trabalho pretende-se mostrar as características básicas deste sistema com ênfase para o sensor TM, sem no entanto, abordar aspectos específicos de engenharia.

### O SISTEMA LANDSAT

Uma nova geração de sistemas de aquisição de dados orbitais no levantamento de recursos naturais teve início com o lançamento do quarto satélite da série Landsat, em janeiro de 1982, segundo o National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 1984). Outros trabalhos já previram esta nova ge-



ração de satélites (SLATER, 1980; American Society of Photogrammetry, 1982).

Este sistema é o maior avanço no desenvolvimento ordenado e de aplicação de dados de sensoriamento remoto por satélite para o manejo dos recursos terrestres. A partir deste, ocorre um aumento considerável na capacidade de aquisição global de dados, permitindo inclusive um processamento mais rápido aos usuários. No entanto, foi somente a partir de março de 1984 que para o Brasil teve início esta nova fase do sensoriamento remoto, com a entrada em operação do quinto satélite da série, devido ao mau funcionamento do Landsat 4.

De acordo com NOAA (1984), o Landsat 5 estava designado para funcionar como substituto do Landsat 4 no caso de sua falha, levando a bordo os mesmos sistemas sensores do predecessor. A não ser por especificações de órbita após o lançamento, o manual acima referido também serve para consultas sobre as especificações do Landsat 5, no qual serão baseados os itens seguintes.

O Landsat 5 leva a bordo um sistema sensor, além do já conhecido Multiespectral Scanner (MSS), denominado Thematic Mapper (TM). O TM é um radiômetro de varredura mecânica, operando em 7 bandas espectrais, com 30 metros de resolução espacial em 6 bandas e 120 metros de resolução na banda do termal (banda 6). Este também incorpora um novo e altamente automatizado sistema de processamento de dados terrestres no Goddard Space Flight Center (GSFC) que corrige e calibra geometricamente os dados do sensor com precisão de sub-pixel e, faz sua avaliação para arquivo ou processa o produto para os usuários, poucos dias após a tomada de cena.

O satélite Landsat 5 consiste de um observatório orbital composto de um satélite, o sistema de sensores, o sistema de suporte do satélite e de uma base terrestre que inclui o processamento dos dados juntamente com o sistema de apoio. O observatório está determinado para durar dois anos aproximadamente.

### 1. O Satélite Landsat 5

O sistema completo do Landsat 5, idêntico ao Landsat 4, é mais complexo que os anteriores Landsat 1, 2 e 3. Não somente é distinto o padrão de recobrimento terrestre do Landsat 5, como seu desenho permite a interação com outros sistemas de satélites para retransmissão dos dados, comunicações e controle da órbita (Fig. 1).

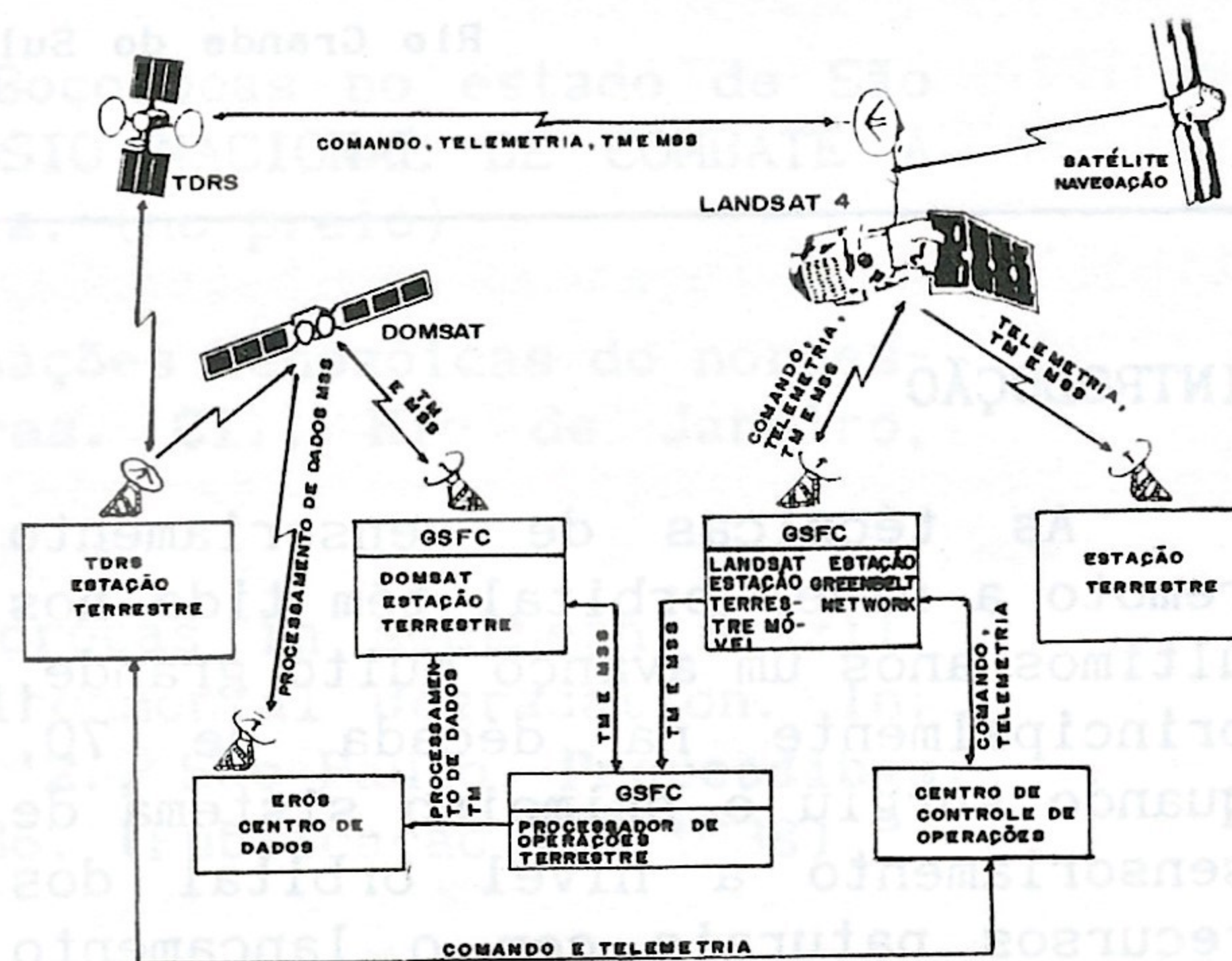


Fig. 1 - Sistema dos Landsat 4 e 5  
FONTE: NOAA, 1984

A estrutura da nave espacial do Landsat 5 se caracteriza por ter uma grande haste suporte da antena do Tracking and Data Relay Satellite (TDRS) e um sistema solar de uma só parte (Fig. 2). A maior parte do corpo da nave espacial (o eixo de balanço) se encontra no plano da órbita, estando o eixo vertical orientado na vertical (paralelo à haste da antena) e o eixo de incli-



nação longitudinal normal ao plano da órbita e paralelo ao eixo de rotação do sistema solar. Os principais instrumentos de detecção, o TM e o MSS, estão colocados no extremo dianteiro do módulo do instrumento. Cada um dos instrumentos de detecção

se utiliza de um conjunto de espelhos móveis para efetuar a varredura transversal da trajetória (perpendicular à trajetória terrestre da nave espacial) e dependente do movimento relativo da nave para conseguir uma exploração ao longo da trajetória.

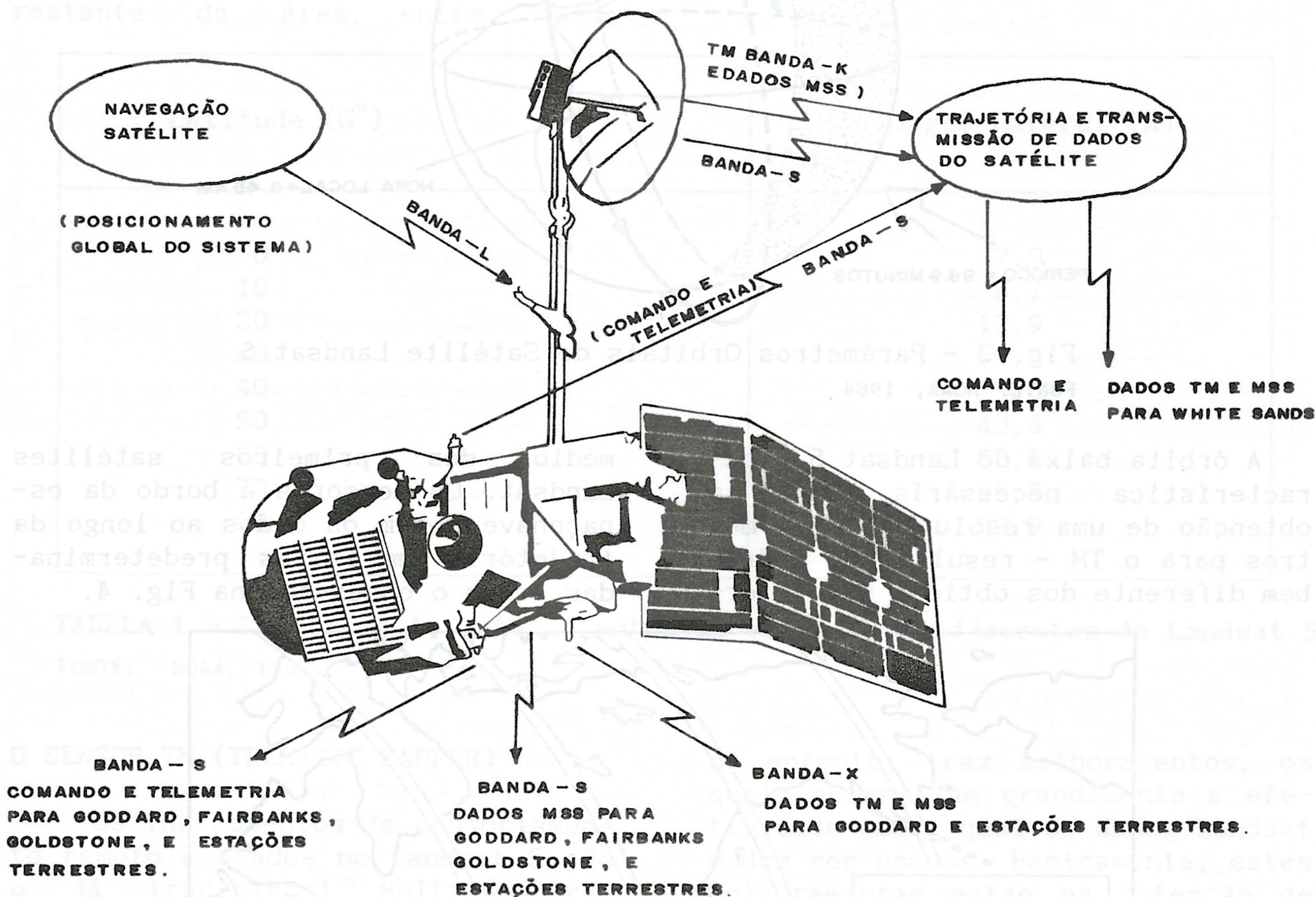


Fig. 2 - O Satélite Landsat 5 e Sistemas de Comunicação  
 FONTE: NOAA, 1984

## 2. Órbita e Cobertura

A órbita do Landsat 5 é repetitiva, circular, solsíncrona e quase pólar a uma altitude nominal de 705km (438 milhas) no equador. O satélite passa pelo equador do norte para o sul em uma órbita descendente

no horário das 9:45 a.m. para cada passagem. Cada órbita demora aproximadamente 99 minutos para ser refeita, e a espaçonave completa 14 órbitas por dia, voltando a passar num mesmo ponto a cada 16 dias (com exceção dos pólos) (Fig. 3)



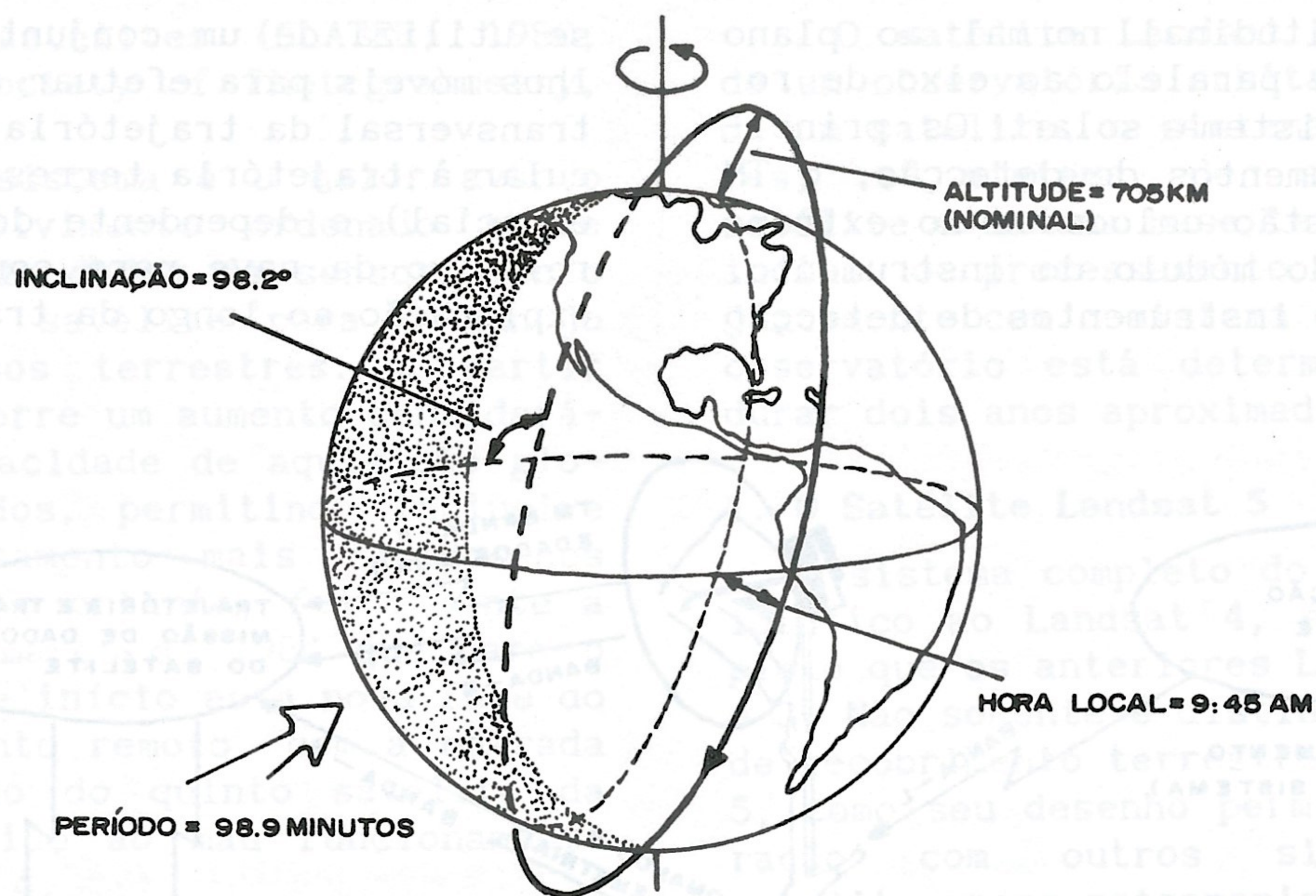


Fig. 3 - Parâmetros Orbitais do Satélite Landsat 5

FONTE: NOAA, 1984

A órbita baixa do Landsat 5 - característica necessária para a obtenção de uma resolução de 30 metros para o TM - resulta num padrão bem diferente dos obtidos por inter-

médio dos primeiros satélites Landsat. Os sensores a bordo da espaçonave obtém os dados ao longo da trajetória em faixas predeterminadas, como o observado na Fig. 4.

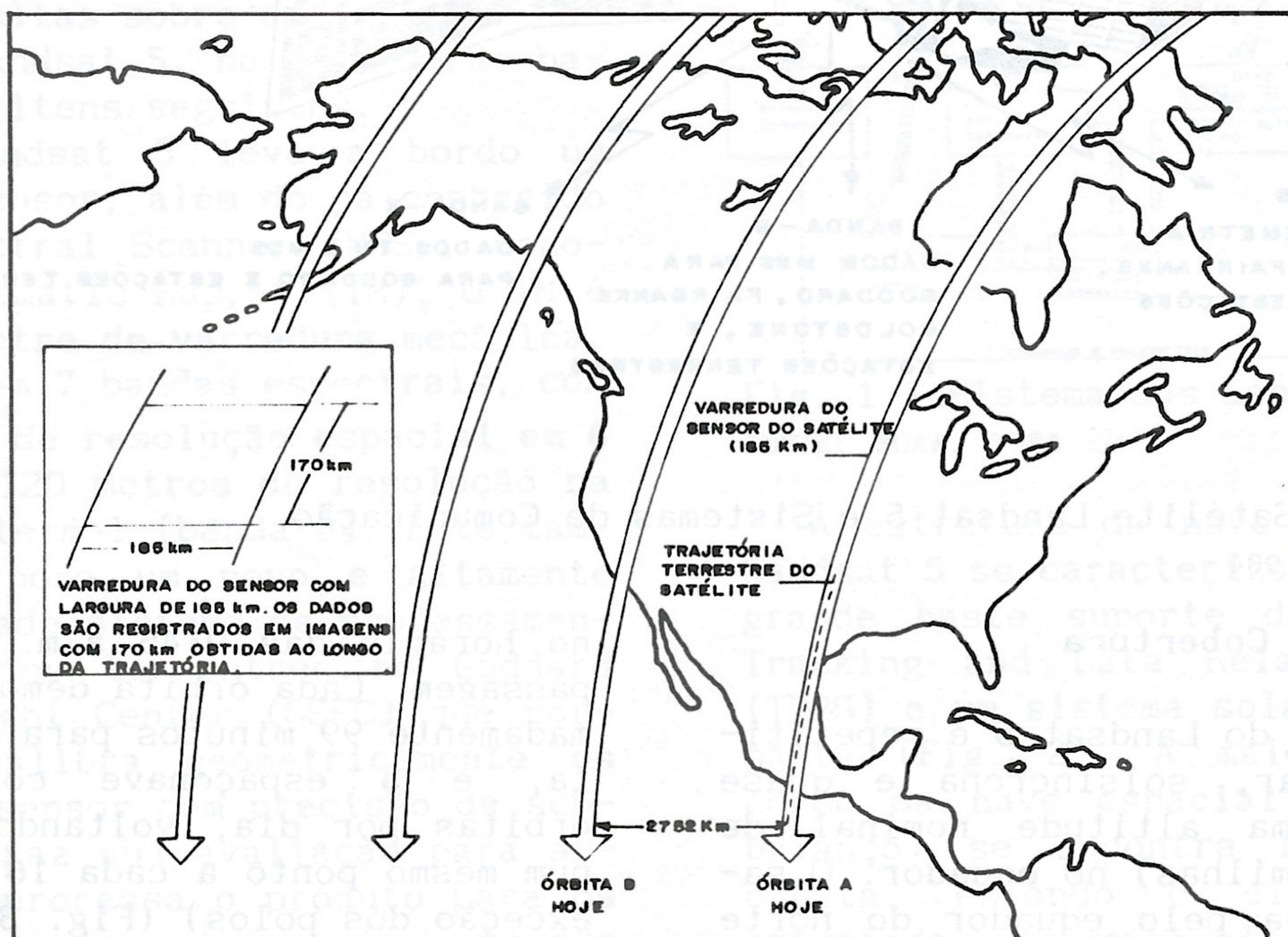


Fig. 4 - Varredura do sensor do Satélite

FONTE: NOAA, 1984



O ciclo de conhecimento terrestre a cada 16 dias para o Landsat 5 é conhecido como o padrão no espaço do satélite. Uma forma adequada de se visualizar o padrão de recobrimento do Landsat 5 é observando que a distância entre duas órbitas consecutivas quaisquer (movimentando-se para oeste) é de 2752km no equador. O restante da área entre estas

trajetórias terrestres é completado em um período de 16 dias, repetindo-se, então, o padrão de recobrimento. No equador, as faixas adjacentes se sobrepõem nas bordas em aproximadamente 7,3%. Esta sobreposição aumenta em direção aos pólos devido à largura da faixa imageada que é fixa em 185km (Tab. 1).

Latitude (G°)	Imagem Lateral (%)
0	7,3
10	8,7
20	12,9
30	19,7
40	29,0
50	40,4
60	53,6
70	68,3
80	83,9

TABELA 1 - Recobrimento lateral entre as varreduras adjacentes do Landsat 5

FONTE: NOAA, 1984

### O SENSOR TM (THEMATIC MAPPER)

Os instrumentos de sensoriamento remoto montados no Landsat 5 são o já tradicional Multispectral Scanner (MSS) e um novo sensor denominado de Thematic Mapper (TM). Atualmente, a maioria dos trabalhos têm por base comparar as características destes dois sensores, dando ênfase às melhorias trazidas pelo TM, como pode ser verificado em ENGEL et alli (1983), AEPLI T.C. (1983) e no NOAA (1984).

O sensor TM é um imageador mecânico avançado designado para sensoriar os recursos terrestres. Este novo sensor utiliza tecnologia já conhecida e empregada no MSS, mas

no entanto, traz melhoramentos, os quais aumentaram grandemente a efetividade com a qual os dados Landsat podem ser usados. Basicamente, estes melhoramentos estão na obtenção de imagens com resolução espectral, espacial e radiométrica mais sensíveis e de maior fidelidade geométrica.

O TM opera em 7 bandas espectrais, sendo os dados para cada banda obtidos simultaneamente. Na Tab. 2, a seguir, estão listadas as bandas, o intervalo espectral, a resolução radiométrica e suas principais aplicações. As bandas 1 a 5 e 7 têm um *Instantaneous Field of View* (IFOV) de 30 x 30 metros quando projetado na superfície da terra, e a banda 6 tem um IFOV de 120 x 120 me-



tros. O mecanismo de imageamento tem por princípio a técnica de imagea-

mento de *scanners* multiespectrais lineares.

Banda	Intervalo Espectral	Nível de Quantização	Aplicações Principais
1	0.45-0.52 $\mu\text{m}$	256	Mapeamento de áreas costeiras. Diferenciação solo/vegetação.
2	0.52-0.60 $\mu\text{m}$	256	Reflectância no verde da vegetação sadia.
3	0.63-0.69 $\mu\text{m}$	256	Absorção da clorofila pelas plantas. Mapeamento poluentes na água.
4	0.76-0.90 $\mu\text{m}$	256	Pesquisa de biomassa. Delineação corpo d'água.
5	1.55-1.75 $\mu\text{m}$	256	Medidas de umidade da vegetação. Diferenciação neve/nuvens.
6	10.4-12.5 $\mu\text{m}$	256	Detecção de stress nas plantas. Mapeamento termal.
7	2.08-2.35 $\mu\text{m}$	256	Mapeamento hidrotermal.

TABELA 2 - Bandas, intervalo espectral, resolução radiométrica e aplicações principais do sensor TM.

FONTE: NOAA, 1984

A energia refletida da superfície dos objetos (radiância) é coletada por espelho móvel com face plana, montado com um ângulo de 45 graus sobre um eixo mecânico que imprime um movimento oscilatório ao

espelho, de tal maneira que o solo é varrido em linhas perpendiculares à linha de vôo. O deslocamento do satélite determina um imageamento seqüencial de linhas na superfície do terreno (Fig. 5).



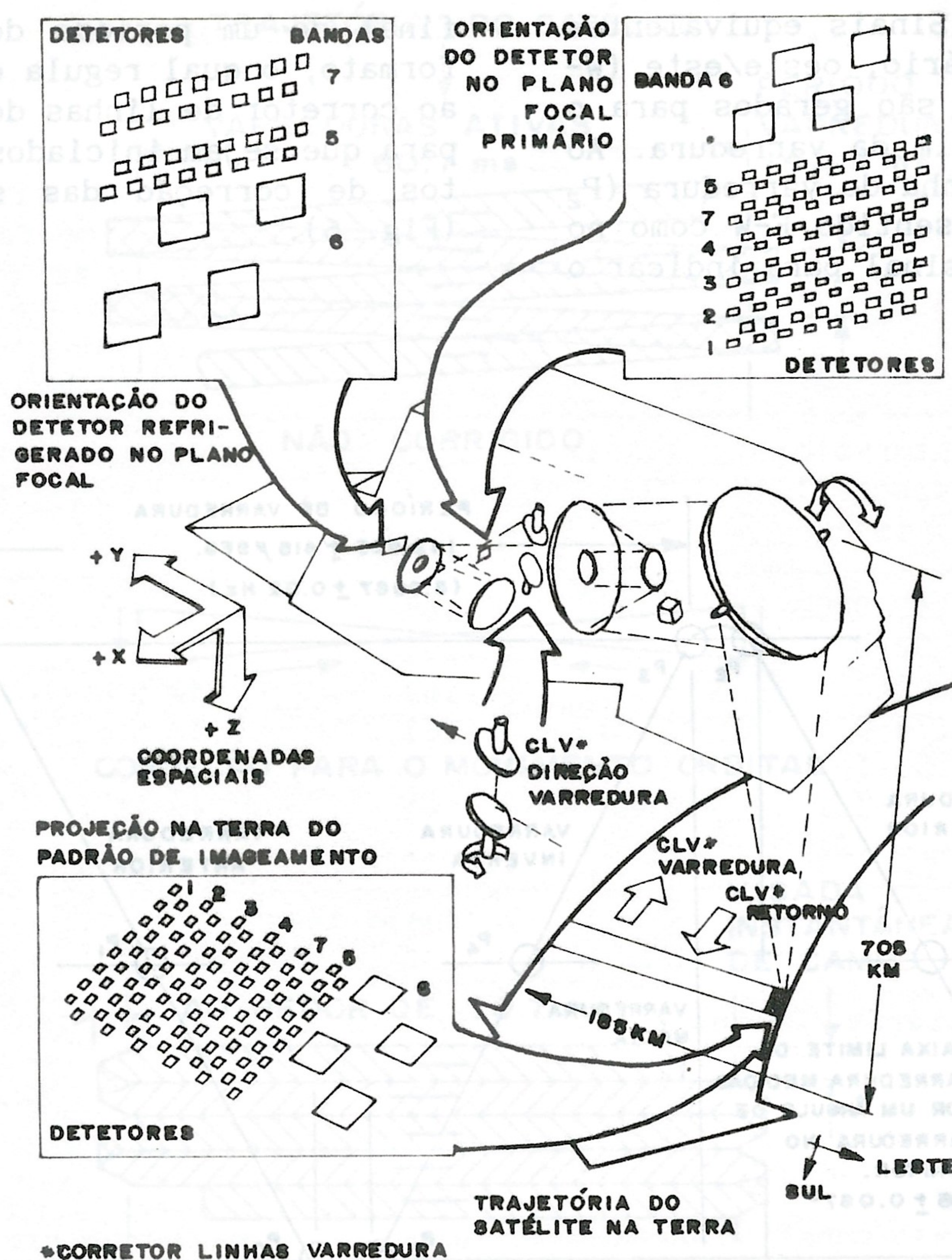


Fig. 5 - Mecanismo de Varredura e Posição dos Elementos Detectores

FONTE: NOAA, 1984

### 1. Calibração dos Detectores e Correção das Linhas de Varredura

A calibração das bandas é feita individualmente em cada período de revolução do espelho durante a varredura. Esta é estimulada internamente por sinais elétricos, mantendo desta maneira os detectores sob controle para estarem em condições de registrarem corretamente a radiância da cena e no posterior processamento das imagens. A calibração dos sinais para as bandas 1 a 5 e 7 se deve à

existência de três filamentos de tungstênio, e para a banda 6 (termal) é utilizado um corpo negro com três escalas de temperatura selecionada.

Um monitor do ângulo de varredura no espelho de exploração transmite os sinais ao mecanismo de sincronização no multiplexor para indicar o início ( $P_0$ ); o meio da varredura ( $P_1$ ) e o final ( $P_2$ ) do período da trajetória do espelho, quando os dados são registrados em uma direção de exploração para a frente, es-



te/oeste (E-W). Sinais equivalentes no sentido contrário, oeste/este (W-E) ( $P_3$ ,  $P_4$  e  $P_5$ ) são gerados para o início, meio e fim da varredura. Ao final de cada linha de varredura ( $P_2$  e  $P_5$ ), tanto no sentido E-W como no W-E é gerado um sinal para indicar o

final de um período de mudança de formato, o qual regula e retransmite ao corretor de linhas de exploração, para que sejam iniciados os movimentos de correção das sobreposições (Fig. 6).

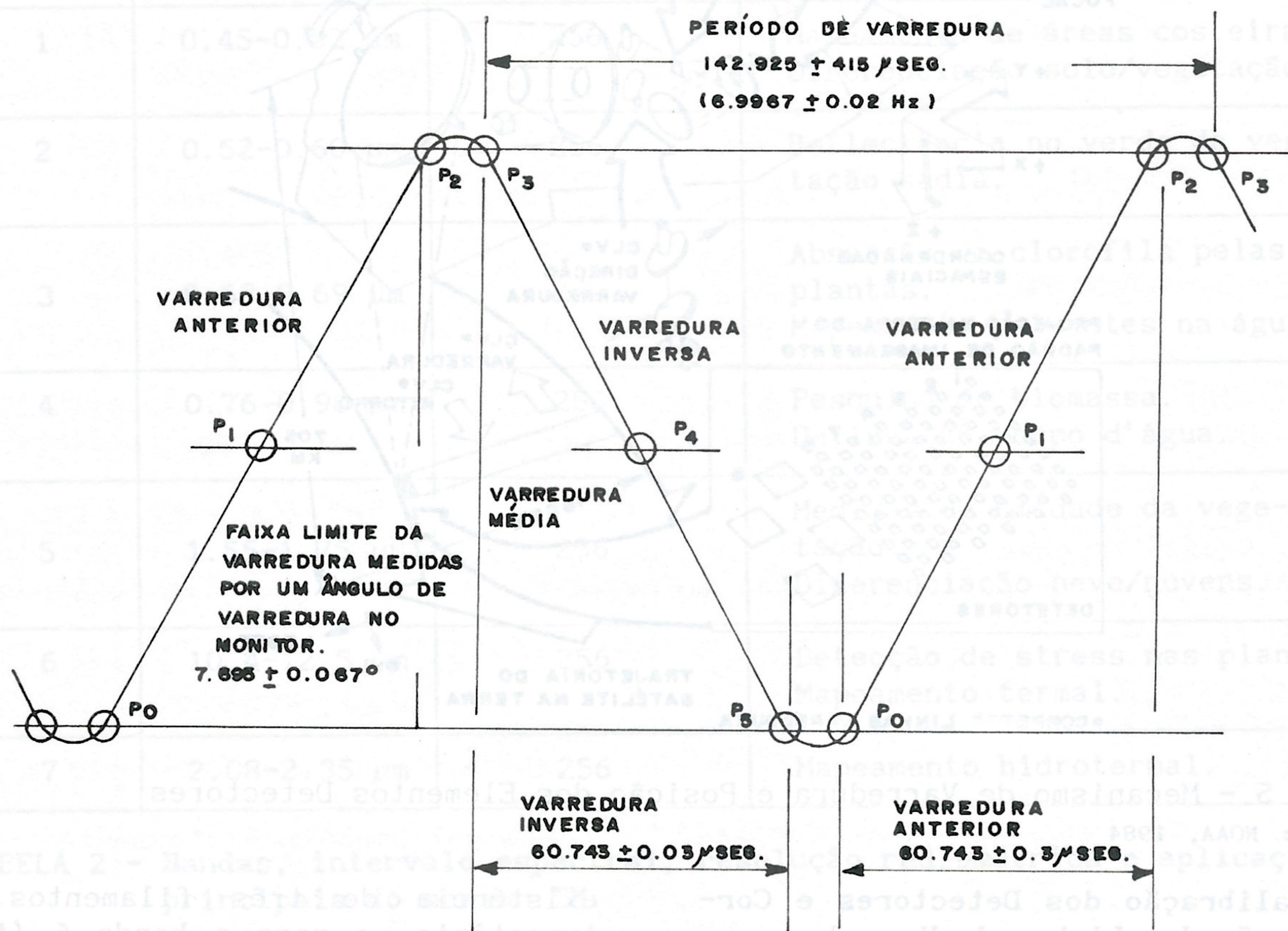


Fig. 6 - Dinâmica do Espelho Varredor

FONTE: NOAA, 1984

O equipamento denominado de corretor de linhas de exploração, colocado em frente ao plano focal primário, faz girar a linha visual do TM para trás ao longo da

trajetória terrestre, gerando as linhas de exploração retas e perpendiculares à da trajetória terrestre (Fig. 7).



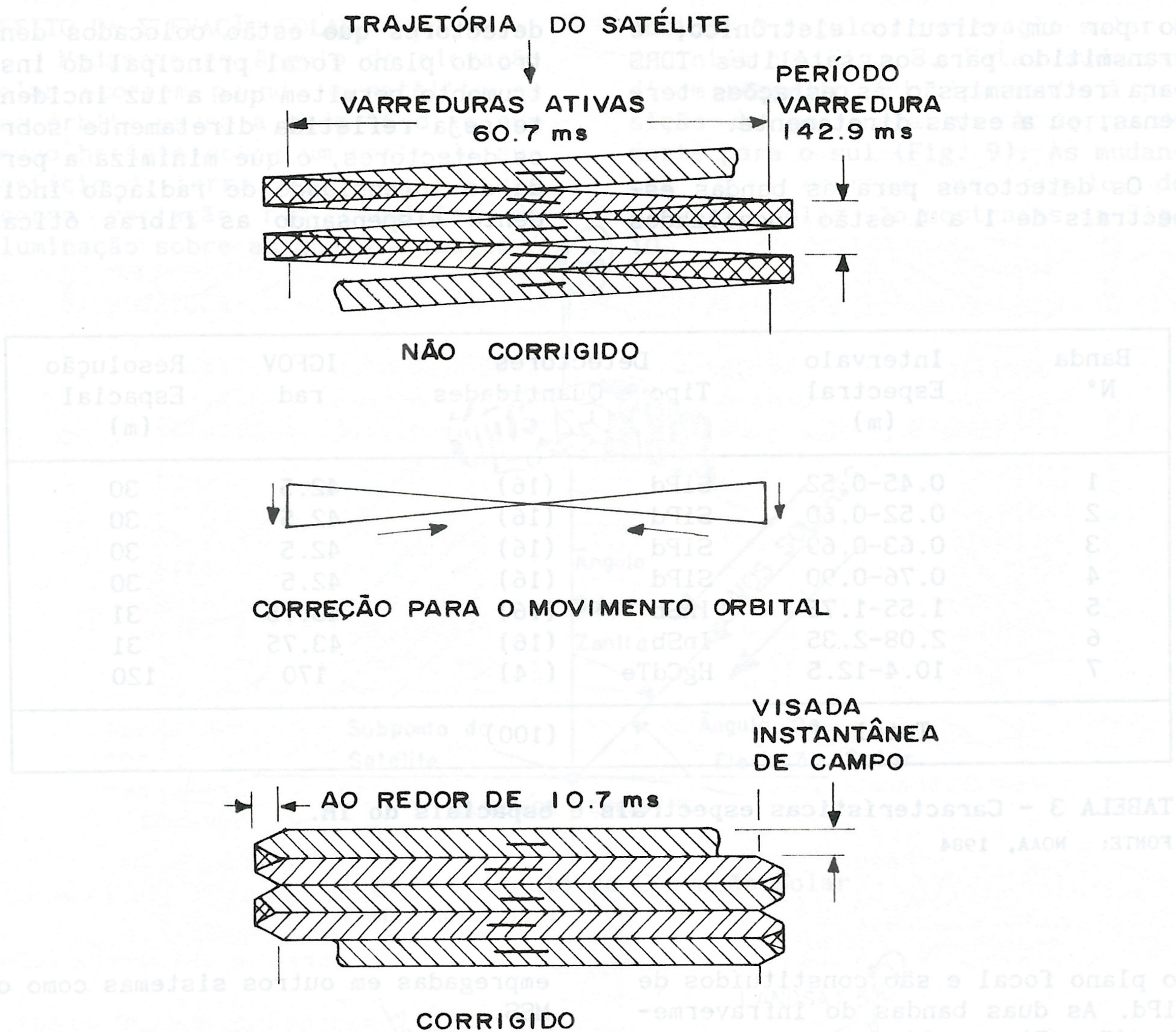


Fig. 7 - Correção das Linhas de Varredura do TM

FONTE: NOAA, 1984

A radiância coletada desta maneira é dirigida para um espelho parabólico que a focaliza sobre um conjunto de 16 detectores por banda, fazendo com que de uma só vez, 16 linhas sejam imageadas. Um conjunto de filtros espectrais é colocado em

frente aos detectores, para a limitação e decomposição da radiância total em intervalos espectrais correspondentes a cada banda. A radiação que atinge o detector é proporcionalmente convertida em um sinal eletrônico que, depois de amplifica-



do por um circuito eletrônico, é transmitido para os satélites TDRS para retransmissão às estações terrenas, ou a estas diretamente.

Os detectores para as bandas espectrais de 1 a 4 estão localizados

detectores que estão colocados dentro do plano focal principal do instrumento permitem que a luz incidente seja refletida diretamente sobre os detectores, o que minimiza a perda de intensidade de radiação incidente dispensando as fibras óticas

Banda N°	Intervalo Espectral (m)	Detetores Tipo e Quantidades	IGFOV rad	Resolução Espacial (m)
1	0.45-0.52	SiPd (16)	42.5	30
2	0.52-0.60	SiPd (16)	42.5	30
3	0.63-0.69	SiPd (16)	42.5	30
4	0.76-0.90	SiPd (16)	42.5	30
5	1.55-1.75	InSb (16)	43.75	31
6	2.08-2.35	InSb (16)	43.75	31
7	10.4-12.5	HgCdTe (4)	170	120
Total		(100)		

**TABELA 3 - Características espectrais e espaciais do TM.**

FONTE: NOAA, 1984

no plano focal e são constituídos de SiPd. As duas bandas do infravermelho (5 e 7) com 16 detectores cada, constituídos de InSb e a banda 6, com quatro detetores de HgCdTe, estas refrigeradas, estão igualmente colocadas no plano focal (Tab. 3).

Praticamente duas são as inovações básicas introduzidas no TM. A primeira diz respeito à exploração e obtenção de dados em ambas as direções. Desta maneira são gerados dados de Este para Oeste e Oeste para Este. Este método bidirecional reduz a velocidade de exploração e proporciona o tempo de resposta necessária para produzir uma precisão radiométrica melhorada. Em segundo lugar, os sistemas formados pelos

empregadas em outros sistemas como o MSS.

Outro importante melhoramento está na capacidade de interpretação, principalmente no tratamento digital dos dados, este devido à melhor sensibilidade radiométrica das bandas. Apesar destas serem mais estreitas, proporcionalmente a diminuição do tamanho dos "pixels", o que implica numa diminuição da quantidade de radiação que chega aos detectores, o número de níveis de quantização foi ampliado para 256. Desta maneira, em imagens TM, a discriminação entre materiais que tenham pequenas diferenças espectrais entre si, devem ser mais facilmente discriminados.



### EFEITO DA ELEVAÇÃO SOLAR

Mudanças no ângulo de elevação solar ocorrem quando o satélite em sua órbita passa a cada 16 dias num mesmo horário sobre um ponto da superfície da terra. Isto faz com que ocorra variação nas condições de iluminação sobre as quais a imagem é

obtida. O ângulo de elevação solar é definido na Fig. 8. Estas mudanças dizem respeito principalmente à posição do sol relativa à terra de norte para o sul (Fig. 9). As mudanças que ocorrem no ângulo de elevação solar são mostradas na Fig. 10.

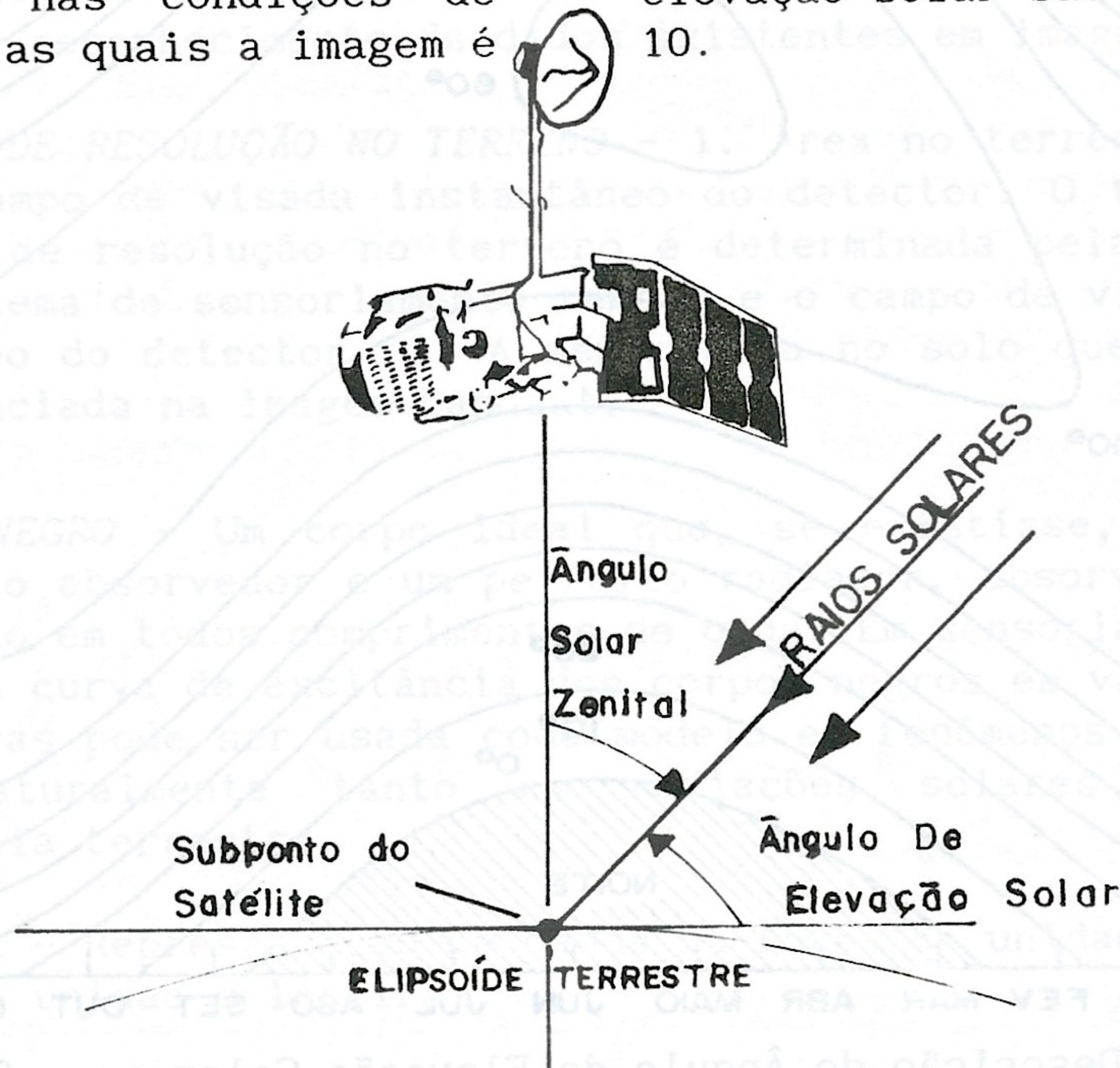


Fig. 8 - Ângulo de Elevação Solar  
FONTE: NOAA, 1984

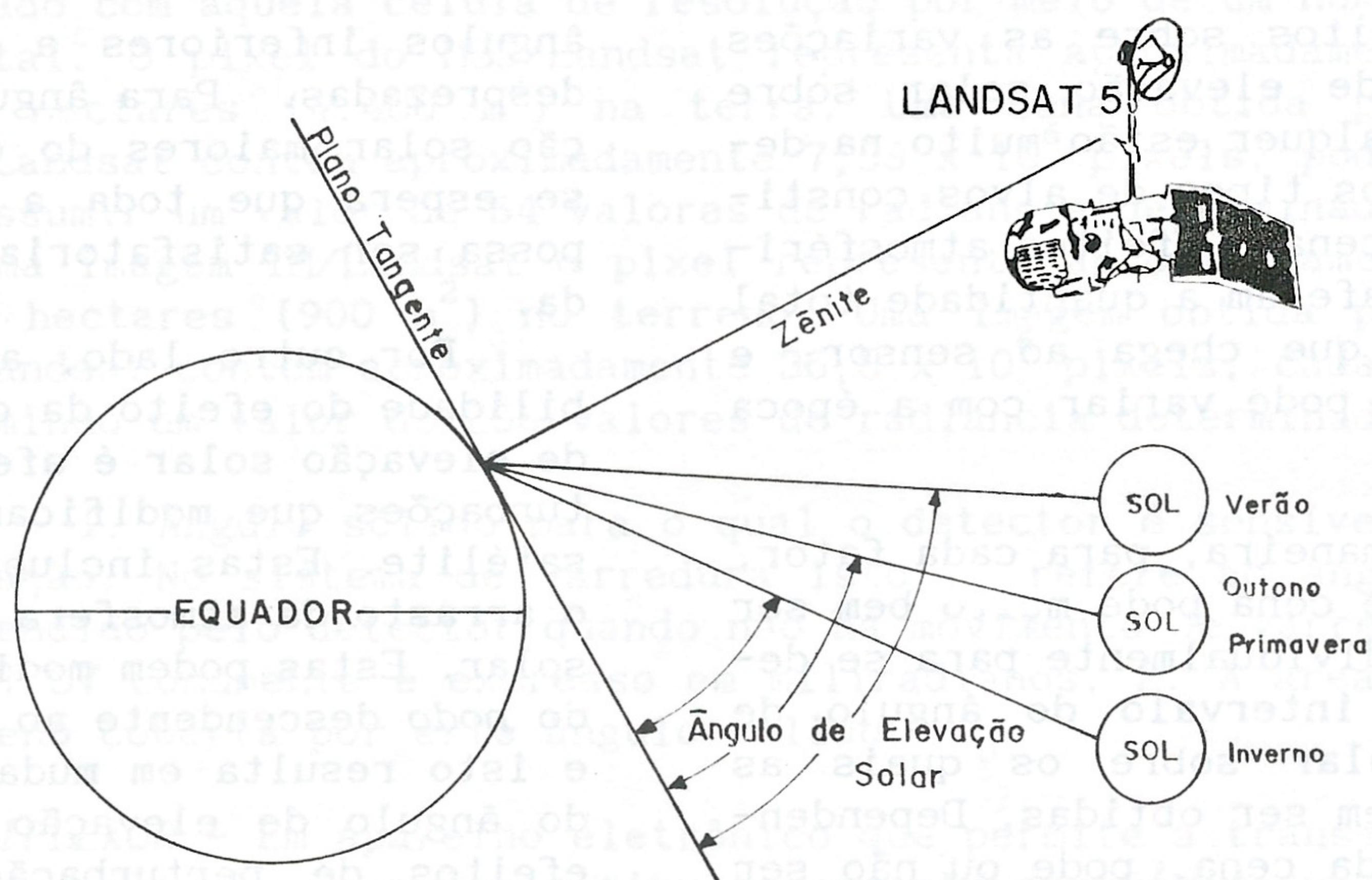


Fig. 9 - Efeito das Mudanças Sazonais sobre o Ângulo de Elevação Solar  
FONTE: NOAA, 1984



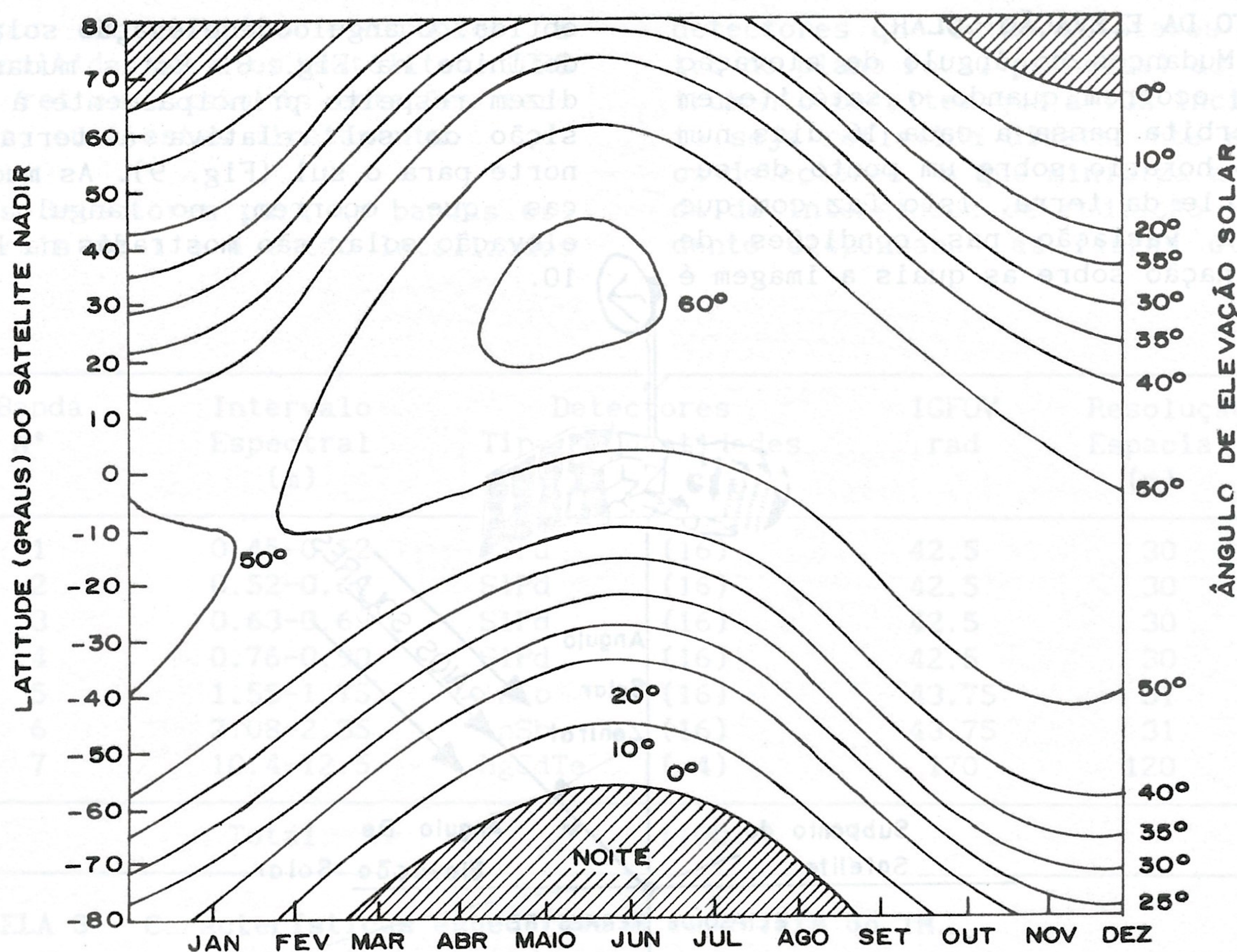


Fig. 10 - Descrição do Ângulo de Elevação Solar como função da latitude(satélite nadir), baseado na passagem pelo Equador às 9:30h (a.m.)

FONTE: NOAA, 1984

Os efeitos sobre as variações no ângulo de elevação solar sobre uma cena qualquer estão muito na dependência dos tipos de alvos constituintes da cena. Efeitos atmosféricos também afetam a quantidade total de energia que chega ao sensor, e esta também pode variar com a época do ano.

Desta maneira, para cada fator, cada tipo de cena pode muito bem ser avaliada individualmente para se determinar o intervalo do ângulo de elevação solar sobre os quais as imagens podem ser obtidas. Dependendo da área da cena, pode ou não ser possível a utilização de imagens com menores ângulos de elevação solar. Normalmente imagens obtidas com

ângulos inferiores a 10 graus são desprezadas. Para ângulos de elevação solar maiores do que 30 graus, se espera que toda a área da cena possa ser satisfatoriamente imageada.

Por outro lado, além da variabilidade do efeito da cena, o ângulo de elevação solar é afetado por perturbações que modificam a órbita do satélite. Estas incluem forças como o arrasto da atmosfera e a gravidade solar. Estas podem modificar o tempo do *nodo* descendente ao longo do ano, e isto resulta em mudanças nominais do ângulo de elevação solar. Estes efeitos de perturbação de órbita, entretanto, podem ser considerados insignificantes para muitas aplicações.



## GLOSSÁRIO

**CÉLULA DE RESOLUÇÃO** - A menor e mais elementar área constituída de níveis de cinza considerada pelo investigador em uma imagem. A célula de resolução é referenciada por suas coordenadas espaciais. A célula de resolução ou a formação de células de resolução constitui a unidade básica para padrão de reconhecimento de dados existentes em imagens.

**CÉLULA DE RESOLUÇÃO NO TERRENO** - 1. Área no terreno coberta pelo campo de visada instantâneo do detector. O tamanho da célula de resolução no terreno é determinada pela altitude do sistema de sensoriamento remoto e o campo de visada instantâneo do detector. 2. A menor área no solo que pode ser diferenciada na imagem Landsat.

**CORPO NEGRO** - Um corpo ideal que, se existisse, seria um perfeito absorvedor e um perfeito radiador, absorvendo toda radiação em todos comprimentos de onda. Em sensoriamento remoto, a curva de excitância dos corpos negros em várias temperaturas pode ser usada como modelo em fenômenos que ocorrem naturalmente tanto em radiações solares como em emitância terrestre.

**DIGITAL** - Representação de dados na forma de unidade discretas, ou unidades inteiras.

**ELEMENTO DE CENA** - Unidade que em primeiro lugar é a célula de resolução e, em segundo lugar, é o nível de cinza relacionado com aquela célula de resolução por meio de um número digital. O pixel do MSS/Landsat representa aproximadamente 0,44 hectares ( $4.400 \text{ m}^2$ ) na terra. Uma cena obtida pelo MSS/Landsat contém aproximadamente  $7,36 \times 10^6$  pixels, podendo assumir um valor de 64 valores de radiância determinados. Em uma imagem TM/Landsat o pixel representa aproximadamente 0,09 hectares ( $900 \text{ m}^2$ ) no terreno. Uma imagem obtida pelo TM/Landsat contém aproximadamente  $35,8 \times 10^6$  pixels, cada um assumindo um valor de 256 valores de radiância determinados.

**IFOV** - 1. Ângulo sólido para o qual o detector é sensível à radiação. No sistema de varredura isto se refere ao ângulo subtendido pelo detector quando não há movimento de varredura. IFOV comumente é expresso em miliradianos. 2. A área de terreno coberta por este ângulo sólido.

**MULTIPLEXOR** - Em aparelho eletrônico que permite a transmissão de múltiplas mensagens simultaneamente através de um canal comunicador.



**NADIR** - O ponto na esfera celestial verticalmente abaixo do observador, ou 180 graus do zenite. A menor distância entre o satélite e a terra.

**NÍVEL DE CINZA** - Ver quantização.

**NÍVEIS DE QUANTIZAÇÃO** - Número de valores numéricos usado para representar uma quantidade contínua.

**NODO** - Qualquer dos dois pontos de cada órbita de um corpo celestial que corta um dado plano, especialmente o plano eclíptico. Com relação ao Landsat, os nodos orbitais ocorrem no equador, um na órbita descendente, ou luz do dia, e outro na órbita ascendente, ou a noite.

**PIXEL** - Abreviatura de menor elemento de cena ("picture element").

**QUANTIZAÇÃO** - 1. Restringe a variável a valores discretos, cada um dos quais é normalmente a integral múltipla da quantidade. 2. É o processo de classificação dos níveis de cinza, do máximo para o mínimo de modo que a classificação do conjunto é dividida em intervalos contínuos normalmente iguais a comprimentos de onda, relacionado depois a um valor inteiro único para o nível de cinza correspondente a ele. As voltagens produzidas através do sensor TM, a bordo do Landsat 5, são quantizadas em 256 valores discretos para transmissão ordenada para a terra. O total de 256 valores de brilho são perceptíveis em cada banda do imageador TM. Com os dados do MSS/Landsat para as bandas 1, 2 e 3 podem ser quantizados de uma maneira não uniforme ou comprimida. Estes dados têm de ser descomprimidos durante o processamento na terra.

**RADIÔMETRO** - Um instrumento para detectar e medir a energia eletromagnética.

**SCANNER** - Um mecanismo que sistematicamente interrompe de maneira brusca a imagem em determinado elemento (pixel) e registra todos os atributos deste elemento de imagem. A passagem contínua da objetiva, prisma, antena, e outros elementos do "scanner" através da trajetória (direção de vôo) pode ser reta, circular ou de outra forma.

**SENSITIVIDADE RADIOMÉTRICA** - Relacionada às dimensões do intervalo espectral.

**SENSOR** - Dispositivo que concentra energia e a apresenta de uma maneira conveniente para obtenção de informações sobre o



meio ambiente. Sensores passivos como no infravermelho termal e microondas, utilizam radiações eletromagnéticas produzidas pela superfície ou objeto vivo imageado. Sensores ativos como o radar tem sua fonte de energia própria.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN Society of Photogrammetry. **Manual of remote sensing**. Falls Church, Virgínia. 1982, v. 2.
- AEPLI, T.C. Landsat 4 - System Description 4 Science Investigation Sumary. NASA Conference Publication 2326. 1983, p. 15-40.
- ENGEL, J. Landsat 4 - System Description 4 Science Investigation Sumary. NASA Conference Publication 2326. 1983, p. 41.
- NATIONAL Oceanic and Atmosferic Administration - NOAA. Landsat 4 data users handbook. Alexander, VA. 1984, app. A.
- SLATER, P.N. Remote sensing, optical and optical systems. London, Addison-Wesley. 1980, p. 497-508.

#### METODOLOGIA

Devido à curta duração do Quaternário e à descontinuidade espacial de seus depósitos, os métodos geológicos e paleontológicos clássicos, baseados na continuidade das camadas e na evolução das espécies, não conseguem responder satisfatoriamente às indagações básicas; isto se aplica especialmente aos depósitos continentais, muitas vezes afossilíferos (BOWEN, 1978).

Para PAIPE (1978), a introdução, na classificação geológica, do quarto período do Fanerozóico, foi sendo gradualmente considerada necessária não só para explicar as feições/características relacionadas com mudanças nos processos sedimentológicos como também os resultados do reafetamento das formas da superfície terrestre. Com isto, o es-

tudo do Quaternário coloca-se entre a Geologia, como ciência vertical da Terra, e a Geomorfologia, que dirige-se para a explicação da horizontalidade dos aspectos relacionados das seqüências quaternárias. Serão as afinidades geomorfológicas que poderão ajudar a ligar as unidades quaternárias, possibilitando o entendimento das relações espaço-temporais entre depósitos de topos e sedimentos de vales e bacias, e assim por diante.

Assim, para poder precisar melhor este período da história geológica, os dados referentes ao Quaternário requerem descrição e interpretação em termos precisos e não ambíguos. A partir desse ponto de vista, BOWEN (op. cit.) propõe partir dos princípios estratigráficos para nortear as pesquisas, sendo necessário fazer-se a lito, a bio e a