



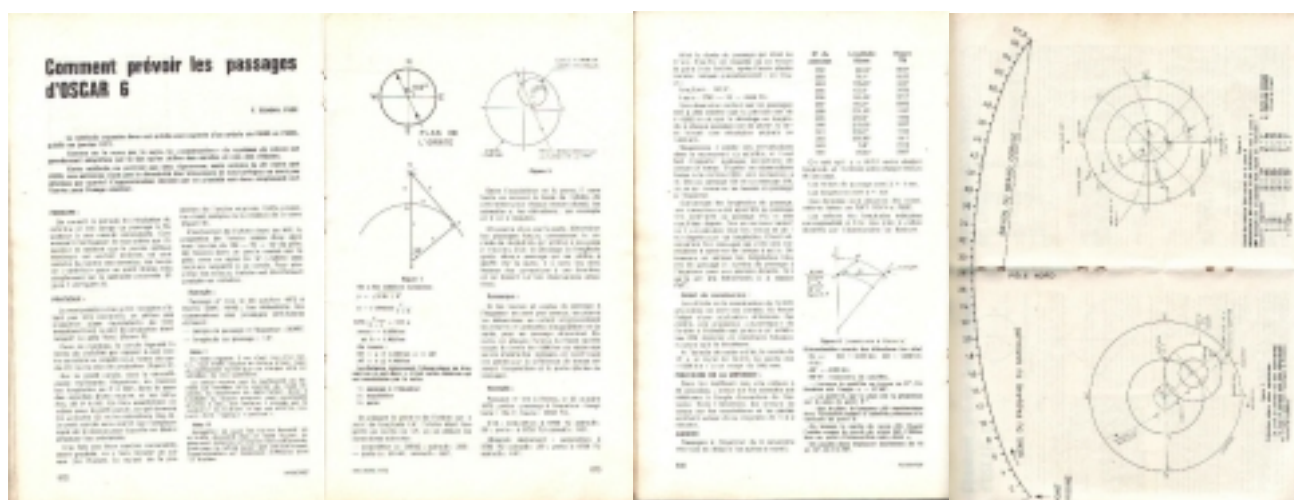
## DADOS KEPLERIANOS OU ELEMENTOS DE KEPLER

### O QUE SÃO DADOS DE KEPLER

Os Dados de Kepler ou Keplerianos são basicamente números. São dados matemáticos, que nos permitem determinar as órbitas dos satélites (inclusive dos astros e estrelas).

É através destes dados, que são vulgarmente denominados pelos amadores do Serviço Amador de Satélite por *keps* (apresentados em formatos NASA e AMSAT) dependendo dos diversos software utilizados por diferentes programas de cálculo, que nos permitem determinar e fixar as diferentes órbitas de cada satélite, em cada um dos seus momentos de evolução orbital. Sabendo-se imediatamente e com precisão de milissegundos, a posição no espaço, relativa à nossa posição terrestre, de cada momento orbital de um satélite, em todas as suas órbitas.

De referir que, os primeiros amadores de rádio, que em Portugal e noutras partes da Europa, EUA e no mundo, iniciaram as suas actividades aeroespaciais durante os anos das décadas de 1960/1970, tinham então de utilizar complexas régua e tabelas de cálculo, para determinarem, com relativa precisão, de vários minutos de erro, a posição aproximada da passagem orbital de um satélite. Este método manual, ainda pode ser empregado, para determinar a passagem de um satélite, a vertical de um lugar.



Conjunto de artigos publicados no ano de 1971 por F. Tonna - F5SE, o fabricante das antenas TONNA. De referir que este artigo surge entre os amadores de satélites, precisamente um ano antes do lançamento pela AMSAT do Satélite OSCAR-6, que ocorreu em Outubro de 1972 e foi operado por CT1XI pela primeira vez em Portugal, em Dezembro do mesmo ano.

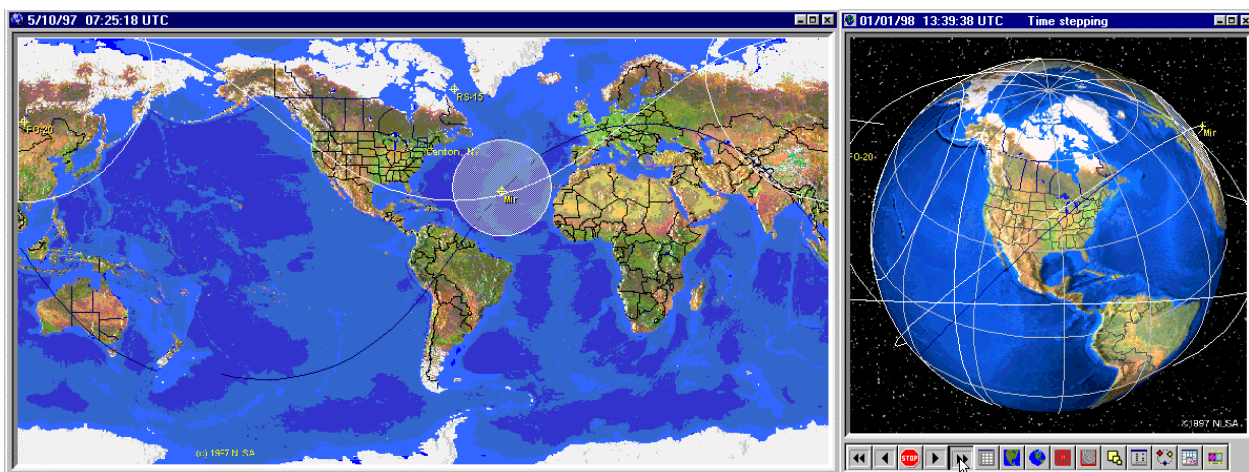
Quando se editam dados de Kepler, relativos a um determinado satélite, podemos fazer uma leitura sobre a posição desse satélite, num determinado momento da sua órbita. São sete, os parâmetros essenciais, para se poder definir a órbita do satélite. Graças aos sistemas de computação, os computadores podem processar diversos parâmetros simultâneos.

Os actuais programas de seguimento de órbitas dos satélites, dos astros e estrelas também, apresentam no monitor, uma imagem centrada na posição geográfica da estação terrena, a partir da qual se pretende observar e seguir no espaço exterior a rota do satélite, o processamento matemáticos destes dados, podem incluir outros elementos, como planos de frequência, necessários à correcção do efeito de *Doppler*, fazendo o computador actuar na sintonia automática dos sistemas emissor e receptor.

Os sete elementos que referimos, como os sete parâmetros essenciais, para se poder definir a órbita do satélite, são os elementos que determinam a posição do satélite num momento preciso do tempo, que são: AAMMDDHHSS (ano, mês do ano, dia do mês, hora e segundo do mesmo dia), elementos que são processados conjuntamente com outros parâmetros fundamentais, como a altitude da órbita.

Para melhor entendimento deste processamento matemático, o cálculo do momento  $\tau$ , está conjugado com diversos parâmetros, incluindo os dados da altitude orbital do satélite. Só assim é possível determinar ao milésimo ou centésimo de segundo o momento exacto da passagem vertical do satélite,

O processamento da altitude, é um dado importante, se consideramos que esta varia de caso para caso, como por exemplo: a ISS (Estação Espacial Internacional) encontra-se a voar no espaço a cerca de 300 Km de altitude, o processamento exacto da sua altitude, posição e velocidade orbital (é constantemente aferido pela NORAD), é um processamento que deve ser feito pelo menos de 15 em 15 dias.



Aspecto gráfico dos modernos programas de computação, dedicados ao cálculo orbital de um satélite. Na figura da direita, é patente o horizonte artificial do satélite, projectado sobre a Terra, ou chamado *footprint* que varia com a altitude da órbita e pode atingir mais de 5.000 Km de raio.

Outro satélite cuja órbita se situa a cerca de 1000 Km de altura, pode ser processado de 30 em 30 dias, e ainda noutros casos, este período de cálculo, pode ser alargado até 60 dias ou mesmo mais tempo. Um dos factores importantes de uma órbita, são a altura em que se encontra o satélite. Nestas condições quanto mais baixas são as órbitas dos satélites que pretendemos operar, obrigam-nos a fazer aquisição e processamento dos *Dados de Kepler*, com maior frequência, de preferência semanalmente, como no caso das missões do *Space Shuttle*.

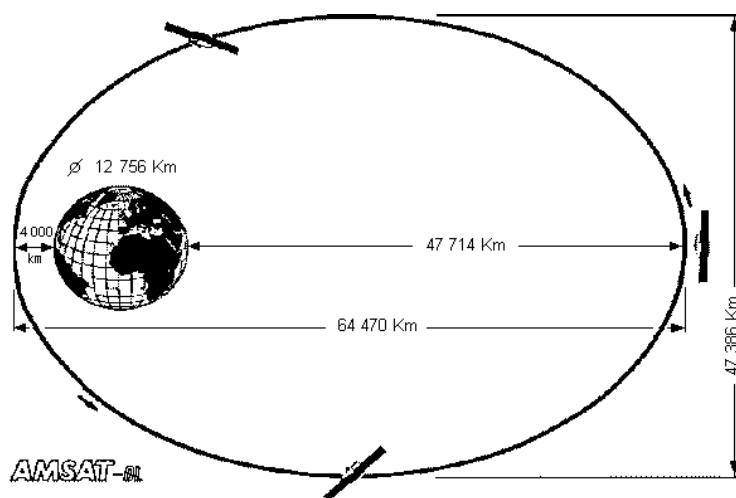


Ilustração que demonstra em termos dimensionais, as distâncias que são necessárias cobrir, para se efectuarem as ligações de rádio entre estações terrenas e o satélite em órbita da Terra, que nos casos extremos, ultrapassam os 95.000 Km.

## A APRESENTAÇÃO E FORMATOS DOS DADOS DE KEPLER

Podemos passar à análise de um satélite tripulado, avaliando por exemplo, os dados de Kepler em formato de NASA (2lines) e AMSAT relativos à Estação Espacial Internacional, e que são referentes ao dia 27 de Junho de 2002.

### Formato AMSAT:

Satellite: ISS  
Catalog number: 25544  
Epoch time: 02178.80901620  
Element set: 605  
Inclination: 51.6391 deg  
RA of node: 359.6401 deg  
Eccentricity: 0.0007361  
Arg of perigee: 289.4842 deg  
Mean anomaly: 267.0467 deg  
Mean motion: 15.58280662 rev/day  
Decay rate: 2.5069e-04 rev/day<sup>2</sup>  
Epoch rev: 20568  
Checksum: 307

### Formato NASA:

ISS  
1 25544U 98067A 02178.80901620 .00025069 00000-0 32985-3 0 6050  
2 25544 51.6391 359.6401 0007361 289.4842 267.0467 15.58280662205685

**As chaves para a descodificação dos Dados de Kepler, para ambos os formatos NASA e AMSAT, são as seguintes:**

- A - Numero do satélite lançado no espaço
- B - Grupo Data/Hora (dia do ano, fracção do dia) momento de registo dos Dados Kepler
- C - DECAÏ-RATE, (1ª derivação do Mean-Motion (coeficiente balístico do foguete))
- D - Número do elemento
- E - INCLINACION -  $I\emptyset$
- F - RAAN -  $O\emptyset$  (recta de ascensão do nodo ascendente)
- G - EXCENTRICIDAD -  $E\emptyset$
- H - Argumento do Perigeo -  $W\emptyset$
- I - Mean anomaly -  $M\emptyset$
- J - Mean motion -  $N\emptyset$
- K - Numero da órbita à data
- L - Tipo de efeméride
- W -Ano de colocação em órbita
- X - 2ª derivação do movimento médio
- Y - Coeficiente de pressão da radiação
- Z - CHECKSUM

1 AAAAAU 00 0 0 BBBBB.BBBBBBBB .CCCCCCC 00000-0 00000-0 0 DDDZ  
2 AAAAA EEE.EEEE FFF.FFFF GGGGGGG HHH.HHHH III.III JJ.JJJJJJ KKKKKZ

# QUAIS SÃO OS ELEMENTOS ORBITAIS ESSENCIAIS

## TØ - Epoch

É o número que nos especifica o registo, ou o momento  $\tau$  para os quais são fixados os dados do satélite no momento do seu lançamento.

## MØ - Mean anomaly

É o ângulo que se projecta uniformemente no tempo, entre  $0^\circ$  e  $360^\circ$  durante a órbita ou revolução do satélite, estabelecendo  $0^\circ$  para o perigeo e  $180^\circ$  para o apogeo. O que fixa a posição do satélite dentro de uma determinada órbita..

## NØ - Mean motion

É o número de órbita que o satélite efectua num dia, também é denominado por período orbital do satélite.

## IØ - Inclination

É o ângulo formado entre o plano orbital e o plano equatorial da Terra.

## EØ - Eccentricity

É o dado que nos indica a forma da elipse orbital do satélite. Quando  $EØ = 0$  indica-nos que a elipse é um círculo, e quando  $EØ = 1$  dá-nos a indicação de que a elipse é extremadamente elíptica. Contudo, o mais corrente, é que os satélites se situam em órbitas onde  $[ 0 <= EØ < 1 ]$ .

## WØ - Arg. of Perigee

É o ângulo em graus, formado entre a linha de nodos e a linha da elipse orbital (a linha que se projecta a partir do centro da Terra, até ao satélite, no momento em que esta linha corta a linha imaginária do equador, durante a órbita ascendente do satélite).

## OØ - RAAN Right Ascension of Ascending Node

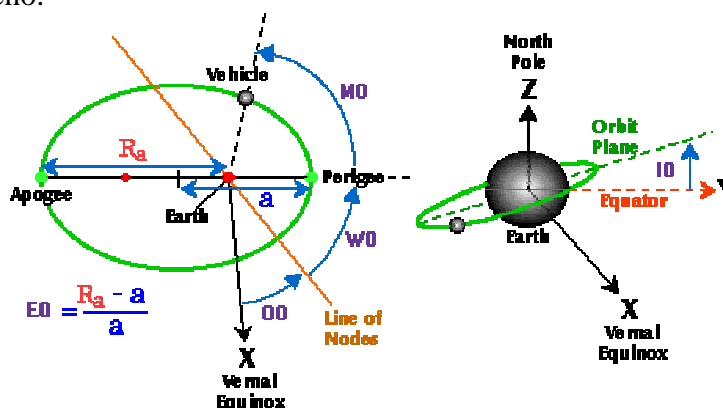
É o ângulo expresso em graus, formado entre o raio da Terra no momento do cruzamento com o nodo ascendente de uma órbita, na direcção do ponto vernal. Este é o ponto de referencia da esfera celeste, ao qual se referenciam todas as rectas de ascensão das estrelas e se definem como o ponto de intersecção da elíptica (trajectória curvilínea que o Sol aparentemente descreve em redor da Terra) com a linha do equador durante o equinócio da primavera.

## KØ - Epoch revolutions

É o número total das órbitas efectuadas por um satélite, até ao momento da medida  $\tau$ .

## Decay rate

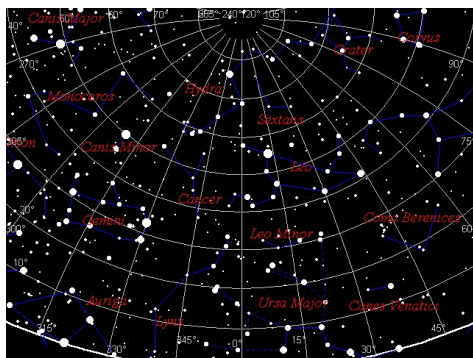
É o valor, medido em órbitas diárias, que nos indica o ritmo pelo qual o valor de NØ - Mean motion pode variar em virtude do efeito de atracção da Terra e de outros efeitos relacionados. O Decay rate é em geral um número muito pequeno.



## O CONTROLO DE ATITUDE, DO SATÉLITE

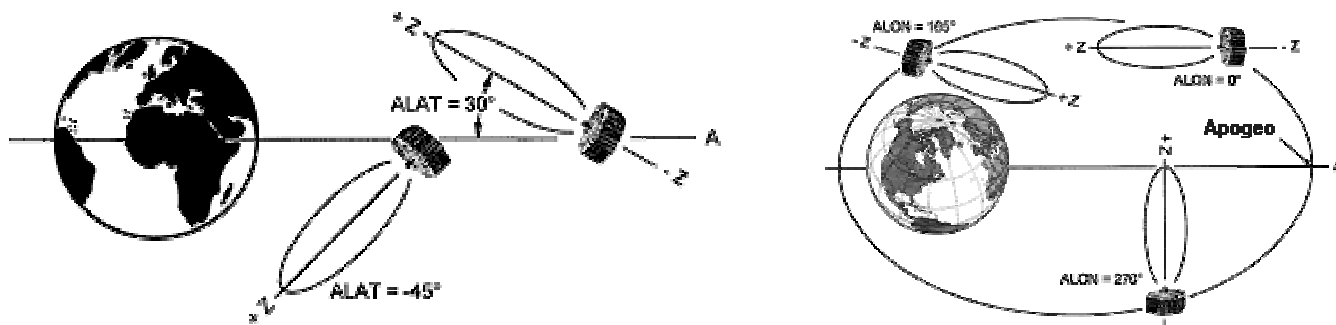
É uma medição e um dado muito importante, que nos permite avaliar com precisão, qual é a efectiva orientação de um satélite no espaço exterior da Terra.

A importância destes dados, são fundamentais para a gestão dos diferentes aspectos quer da navegação, quer mesmo da exploração do satélite durante a sua órbita, nomeadamente, a sua navegação espacial e colocação numa órbita desejada, e depois, também pela orientação dos painéis solares e mesmo das suas antenas relativamente à posição das estações terrenas de exploração e controlo. O giroscópio e o mapa estelar, são referências importantes que facilitam a sua orientação a partir de comandos enviados da estação terrena de controlo.



Mapa cósmico, a partir do qual se pode corrigir a atitude um satélite

A atitude do satélite, é determinada por 2 ângulos, ALON (o ângulo de longitude Bahn) e ALAT (o ângulo de latitude Bahn), estes dois valores, são os indicadores que nos descrevem: uma direcção, e um sistema esférico de coordenadas.



Os ângulos Bahn da latitude e da longitude do satélite, são definidos das seguintes formas:

### Atitude Longitude - ALON

São os dados que nos relacionam o ângulo formado entre a eixo (Z) do satélite e o semi-eixo maior (A) da elipse orbital do satélite.

### Atitude Latitude - ALAT

São os dados que nos relacionam com a posição entre o eixo (Z) do satélite e o plano orbital, caso o eixo (Z) do satélite esteja coincidente com o plano orbital, dá-se uma condição de  $ALAT = 0$ , os casos que estão fora desta condição, o valor de ALAT indicará sempre qual a respectiva diferença entre o eixo do satélite e o seu plano orbital.