

## **CAPÍTULO 5**

# **COMO MANTER UM SATÉLITE ORIENTADO?**

**Marcelo Lopes de Oliveira e Souza<sup>1</sup>**

**Walkiria Schulz<sup>2</sup>**

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**

---

<sup>1</sup> e.mail: mlos@dem.inpe.br

<sup>2</sup> e.mail: walkiria@dem.inpe.br



## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>5 - 5</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5 - 7</b>
<b>2. O QUE É A ATITUDE DE UM SATÉLITE? .....</b>	<b>5 - 7</b>
<b>3 COMO CONTROLAR A ATITUDE DE UM SATÉLITE? .....</b>	<b>5 - 7</b>
<b>4 O QUE SÃO MANOBRAS DE ATITUDE? .....</b>	<b>5 - 11</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>5 - 12</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1 - A ATITUDE DE UM SATÉLITE NO ESPAÇO .....</b>	<b>5 - 7</b>
<b>FIGURA 2 - EFEITOS ESTABILIZADORES NATURAIS .....</b>	<b>5 - 8</b>
<b>FIGURA 3 - A LUA SEMPRE MOSTRA A MESMA FACE PARA NÓS .....</b>	<b>5 - 8</b>
<b>FIGURA 4 - UM SISTEMA DE CONTROLE DE ATITUDE ATIVO .....</b>	<b>5 - 9</b>
<b>FIGURA 5 - UM SCA POR ROTAÇÃO E BOBINAS MAGNÉTICAS .....</b>	<b>5 - 10</b>
<b>FIGURA 6 - UM SCA POR JATOS DE GÁS .....</b>	<b>5 - 10</b>
<b>FIGURA 7 - MANOBRAS DE ATITUDE DE UM SATÉLITE .....</b>	<b>5 - 12</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Com base no que foi visto nos Capítulos anteriores e, em especial, no Capítulo 7, neste Capítulo 8 veremos o que é atitude de um satélite, como controlar a atitude de um satélite, e o que são manobras de atitude.

## 2 O QUE É A ATITUDE DE UM SATÉLITE?

**Atitude** de um satélite é a sua orientação no espaço medida em relação a uma referência pré-fixada, como a Terra, o Sol, as estrelas, etc. É caracterizada por 3 ângulos e por suas velocidades de rotação (angulares), medidos em relação a este referencial (Figura 1).

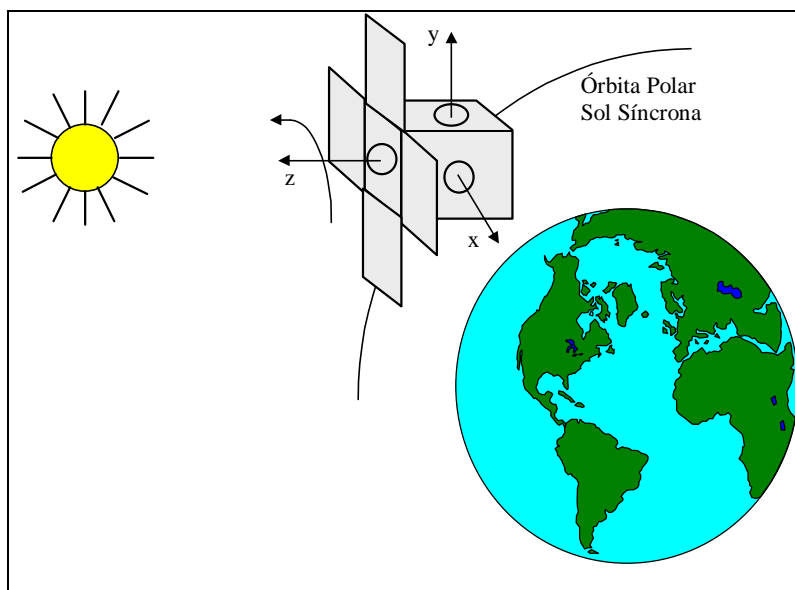


Fig. 1 - A atitude de um satélite no espaço.

FONTE:

## 3 COMO CONTROLAR A ATITUDE DE UM SATÉLITE?

Atualmente, muitos satélites artificiais são controlados em atitude através de **sistemas de controle de atitude-SCAs**. Dentre eles, os mais simples e confiáveis são estabilizados por rotação cujo controle em intensidade e/ou direção é feito por bobinas

magnéticas, como é o caso dos Satélites de Coleta de Dados (SCD-1 e 2), construídos pelo INPE. Outros exigem um controle mais preciso e complicado, como é o caso dos Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Naturais, CBERS-1 e 2, construídos pelo INPE com a China.

Os SCAs podem ser **passivos** ou **ativos**. Um SCA é passivo quando faz uso de efeitos estabilizadores naturais similares ao pêndulo, ao pião, à bússola (Figura 2), sem uso intencional de matéria ou energia. Assim se comporta a Lua em volta da Terra (Figura 3).

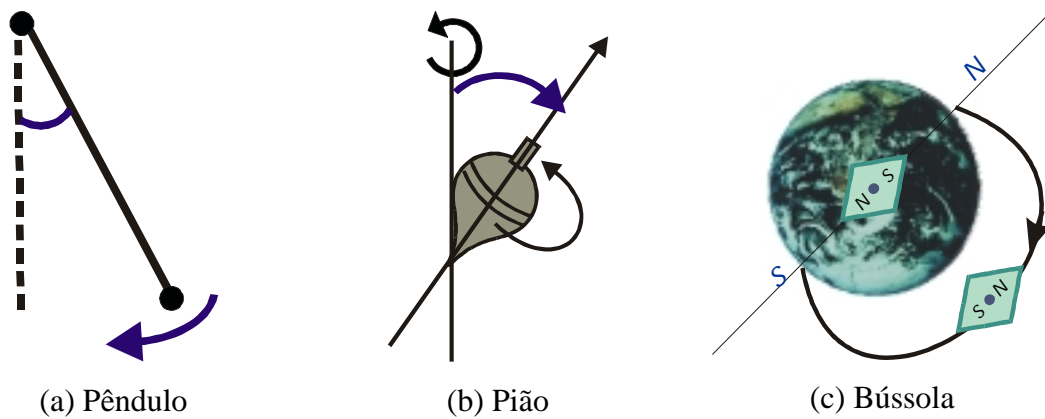


Fig. 2 - Efeitos estabilizadores naturais.

FONTE:



Fig. 3 - A Lua sempre mostra a mesma face para nós.

FONTE:



Um SCA é ativo quando é composto de equipamentos chamados **sensores, controladores e atuadores** (que fazem o papéis semelhantes aos dos nossos olhos, cérebro e mãos quando apanhamos um objeto), com uso intencional de matéria ou energia (Figura 4).

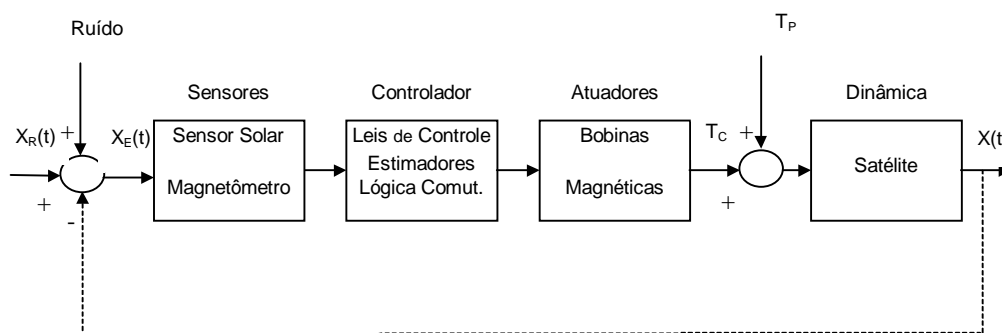


Fig. 4 - Um sistema de controle de atitude ativo.

FONTE:

Os **sensores** medem os ângulos e/ou velocidades de rotação, ou grandezas dependentes destas. Dentre eles destacamos: 1) **sensores solares**, que podem ser colocados no mesmo lado dos painéis solares para medidas do ângulo de apontamento para o Sol; ou no lado oposto dos painéis solares para detecção do Sol no modo de aquisição do Sol e em situações de emergência. 3) **magnetômetro de 3 eixos**, para medidas do campo magnético da Terra e, assim, para a estimação da velocidade de rotação do satélite.

Os **controladores** estimam melhor os ângulos e/ou velocidades de rotação, com base nas medidas fornecidas pelos sensores e tomam decisões de comandar ou não os atuadores. Para sua implementação destacamos: 1) **as leis ou estratégias de controle** implementadas via softwares especiais; 2) **a lógica de comutação**, para escolher uma e só uma lei de controle a cada instante, em função dos ângulos e/ou das velocidades de rotação e do estado do satélite; 3) **o computador de bordo** digital que executará, entre outras funções, o processamento desta lógica de comutação e das leis de controle.

Os **atuadores** geram e aplicam forças ou torques sobre o satélite, sob o comando do controlador. Dentre eles destacamos:

- 1) As **bobinas magnéticas**, por exemplo, nos eixos “x” e “y” para controle da velocidade de rotação; no eixo “z” para se obter o apontamento deste para o Sol, como se o satélite fosse a agulha de uma bússola (Figura 5);

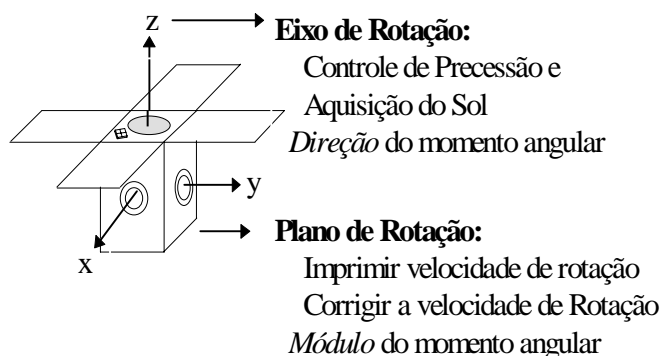


Fig. 5 - Um SCA por rotação e bobinas magnéticas.

FONTE:

- 2) Os **jatos de gás**, que reagem à sua expulsão do satélite, como reagem sobre uma bola elástica que o expulsa (Figura 6)(**Princípio da Ação e Reação ou 3ª Lei de Newton**);

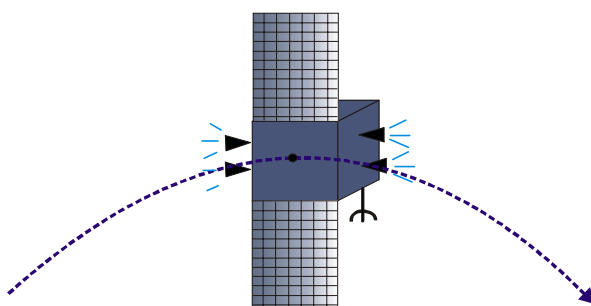


Fig. 6 - Um SCA por jatos de gás.

FONTE:

- 3) As **rodas de reação**, que aplicam torques aos volantes dos seus motores e sofrem a reação destes sobre o satélite (pelo **Princípio da Ação e Reação ou 3ª Lei de Newton**).

#### 4 O QUE SÃO MANOBRAS DE ATITUDE?

**Manobras de atitude** são as operações que se fazem para levar um satélite de uma atitude inicial para uma atitude final. Tais manobras podem usar vários arranjos de sensores, leis de controle e atuadores, chamados **Modos de Operação do SCA**.

Em satélites controlados por rotação e bobinas magnéticas podem haver manobras, por exemplo, para o **apontamento e manutenção do eixo de rotação na direção desejada**. Nestas, o torque requerido deve ser perpendicular ao eixo de rotação. Para gerá-lo, a bobina do eixo-z (eixo de rotação) proverá um ímã (momento magnético) na mesma direção z. Este, ao tentar se alinhar com o campo magnético terrestre, produzirá o torque desejado.

Já para **imprimir velocidade de rotação ao satélite e realizar a correção desta em torno da velocidade nominal**, o torque deve estar alinhado com o eixo de rotação. Isto pode ser conseguido com o momento magnético no plano de rotação. Para isto, duas bobinas de torque serão colocadas na parte lateral do satélite nos eixos x e y do satélite, respectivamente. O momento magnético resultante, ao tentar se alinhar com o campo magnético terrestre, produzirá o torque desejado. A Figura 5 mostra uma representação esquemática da atuação das bobinas magnéticas relacionadas com os modos de operação e com a rotação do satélite.

Em satélites controlados por jatos de gás e rodas a reação podem haver manobras, por exemplo, para: inicialmente **reduzir a velocidade de rotação** deixada pelo foguete lançador; a seguir, **abrir os painéis solares**; e, após isto, **orientá-los aproximadamente para o Sol, e orientar as câmeras ou mesmo as antenas para a Terra**. A seguir, pode haver o **apontamento preciso destes para o Sol e para a Terra** respectivamente (Figura 7), sob a ação de rodas a reação. Cada roda poderá ter sua velocidade de rotação reduzida após esta atingir seu máximo (**saturação**), **freando-a com jatos de gás (dessaturação)**.

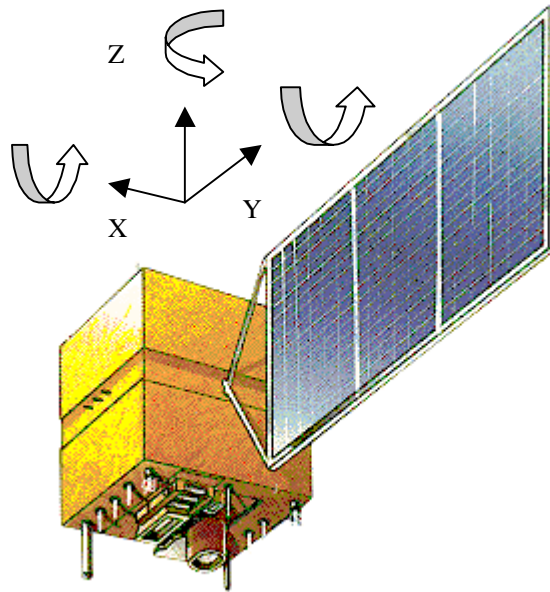


Fig. 7 - Manobras de atitude de um satélite.

FONTE:

Em todos os casos, convém poder **levar o satélite de situações incertas ou até perigosas, para orientações que garantam suas funções vitais:** energia, comunicações, etc. Para isto, o SCA usará um mínimo de componentes extremamente confiáveis no **modo de emergência.** . Convém poder de Terra **verificar o estado do satélite e reiniciar as manobras anteriores após isto,** através dos **modos de espera e reinicialização.**

## 5 CONCLUSÕES

Este Capítulo apresentou as noções do que é atitude de um satélite, como controlar a atitude de um satélite artificial por meio de um sistema de controle de atitude, e o que são manobras de atitude. Esperamos que tenha estimulado ou até despertado a sua curiosidade e interesse por estes assuntos.