



## SISTEMA GPS: UMA ÓRBITA EM EVOLUÇÃO - NÚMERO DE SATÉLITES E PERIODICIDADE

Ramon Juliano Rodrigues<sup>1</sup>, Gustavo Reis De Brito<sup>2</sup>, Caroline Dos Santos Corrêa<sup>3</sup> & Solange Bongiovanni<sup>4</sup>

**RESUMO:** O presente artigo teve como objetivo monitorar os satélites do Sistema de Posicionamento Global (GPS) a partir de um ponto fixo na Terra e verificar a periodicidade desses quanto a sua rotação e deslocamento. Para a realização desse monitoramento foi utilizado um receptor topográfico de sinal GPS conectado a um computador que registrou durante cinco dias o deslocamento dos satélites. A motivação desse trabalho se deu pelo fato de que muitas referências ao afirmar que os satélites completam uma volta em torno da Terra a cada 12 horas, supõe-se então que um determinado satélite poderia ser visto duas vezes por dia de um mesmo ponto fixo na Terra, o que não ocorre, haja vista que essas 12 horas correspondem ao tempo sideral e não solar. Verificou-se também o número de satélites do sistema GPS, visando atualizar as informações relacionadas aos satélites em operação que hoje tem em funcionamento 31 satélites do sistema GPS conforme descrito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hora Sideral, Monitoramento de Satélites, Segmento Espacial de Satélites.

### GPS: AN ORBIT EVOLUTION - NUMBER OF SATELLITES AND PERIODICITY

**ABSTRACT:** The objective of this project was to monitor the satellites of the Global Positioning System (GPS) from a fixed point on Earth and to verify the rate of recurrence respect to their rotation and displacement. A topographic GPS signal receiver connected to a personal computer was used to recorded, for five days, the displacement of the satellites. This work was based on the fact that many literature references state that satellites complete one orbit around the Earth every 12 hours, then, it is assumed that the satellite would be seen twice in a day from the same fixed point on Earth. Although, this does not occur, as these time interval correspond to 12 hours sidereal time and not solar time. In addition, this study was carried out in order to confirm and update the information related to the number of satellites in operation today, found to be 31. In that sense, some references concerning the space segment of this system were defined in details.

**KEYWORDS:** Sidereal Time, Satellite Monitoring, Satellite Space Segment.

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade o homem buscou formas para que pudesse se orientar e localizar em meio ao ambiente em que estava inserido. Se deslocar de um lugar para outro, conhecer as características do terreno e a distância, são fatores de grande importância, pois é necessário não só saber chegar a algum lugar, mas saber como voltar.

A criação de equipamentos de navegação como a bússola, o astrolábio e o sextante, permitiu que o sucesso nas

explorações aumentasse expressivamente. Com o advento da tecnologia e o avanço da eletrônica, o desenvolvimento de equipamentos eletrônicos permitiu uma maior precisão na determinação das latitudes e longitudes.

Os primeiros sistemas eram baseados em ondas de rádio, como o LORAN (Long-Range Navigation System), DECCA (Low frequency continuous wave phase comparison navigation) e o Ômega (Global low frequency navigation system) permitiam um bom suporte no posicionamento com destaque para as áreas costeiras, mas enfrentavam problemas com a interferência eletrônica e variações do relevo (MÔNICO, 2001).

No início da corrida espacial, a utilização de satélites artificiais, ainda que rudimentar, permitiu ultrapassar algumas das dificuldades encontradas nos sistemas anteriores. Com isso desenvolveu-se o NNSS (Navy Navigation Satellite System) ou Transit, onde as medidas

<sup>1</sup> Docente - Faculdade De Ciências E Letras FCL/UNESP. Departamento de Ciências Biológicas. E-mail: ramon@assis.unesp.br

<sup>2</sup> Colaborador - Faculdade De Ciências E Letras De Assis UNESP. E-mail: gustavrbrito@hotmail.com

<sup>3</sup> Discente - Faculdade De Ciências E Letras De Assis - UNESP/ Engenharia Biotecnológica. E-mail: caroline.santos.correa@gmail.com

<sup>4</sup> Docente - Faculdade De Ciências E Letras FCL/UNESP. E-mail: solangeb@assis.unesp.br

eram baseadas no efeito Doppler. Porém, as órbitas eram muito baixas e não havia uma quantidade suficiente de satélites para que se tivesse um funcionamento satisfatório. A cada problema superado outro tomava o seu lugar, exigindo assim uma solução definitiva onde se tivesse uma boa precisão, facilidade de uso e um custo-benefício acessível. A solução definitiva surgiu na década de 1970 com a proposta do GPS (MÔNICO, 2001).

Mônico (2008) comenta que uma quarta geração de satélites está programada para incorporar a modernização desse sistema que quando finalizada será composta por 33 satélites.

Segundo os dados disponibilizados pelo Navigation Center, pertencente a Guarda Costeira dos Estados Unidos, a constelação do sistema GPS é composta por 32 satélites (estando 31 funcionais) distribuídos de maneira não uniforme em 6 planos orbitais, a uma altitude de aproximadamente 20.200 km, em um plano de inclinação de 55° em relação ao equador e com período orbital de 12 horas, de modo que em qualquer ponto do globo terrestre e a qualquer hora exista um mínimo de quatro satélites cobrindo o local. (<http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPSmain>).

Embora os dados relacionados ao sistema GPS estejam disponíveis para acesso público na página da Guarda Costeira dos Estados Unidos há uma incompatibilidade nas informações apresentadas em algumas literaturas relacionadas à descrição e funcionamento do sistema, sendo essa a motivação do presente trabalho.

Dana (1997), Gorgulho (2002), Pardal (2007) e a própria página do Navigation Center, apresentam informações semelhantes em relação ao período dos satélites (uma volta em torno da Terra a cada 12 horas, completando duas revoluções em 24 horas). Quando comparadas com descrições de outros autores, como Blitzkow (2008), percebe-se que há possibilidade de uma dupla interpretação da informação em relação ao período de resolução temporal dos satélites em torno do globo terrestre.

A informação de que os satélites possuem um período orbital de aproximadamente 12 horas por si só não é suficiente para o completo entendimento do funcionamento do sistema GPS, haja vista que a afirmativa “período orbital de 12 horas” levaria o leitor a pensar que o mesmo satélite pode ser visualizado duas vezes por dia no mesmo ponto da Terra, devido à informação sugerir que o período dá-se em 12 horas de um dia solar, o que não é verdade. O período apresentado pelos satélites em suas órbitas baseia-se no dia sideral (período necessário para que a Terra complete uma rotação em torno de seu eixo em relação às estrelas), diferindo do dia solar que utiliza o Sol como referência para o cálculo.

O objetivo do presente trabalho foi comprovar que os satélites do sistema GPS aparecem no horizonte em relação a um ponto fixo na Terra a cada 24 horas, com um

adiantamento de 4 minutos a cada dia, propondo que as referências quanto ao período orbital dos satélites sejam baseadas na definição de dia sideral, evitando assim, qualquer equívoco relacionado à passagem do satélite pelo mesmo ponto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado na cidade de Assis, Estado de São Paulo com sua localização sob as coordenadas 22°40'27,85"S e 50°25'28,40"W.

### 4.2 Equipamentos e softwares utilizados

Para o monitoramento contínuo dos satélites foi utilizado um receptor GPS PATHFINDER TRIMBLE, modelo PRO XR, portadora L1 e código C/A, 12 canais, conectado a um notebook contendo os softwares TerraSync 2.21, GPS v2.4 e HyperCam 3.

### 4.3 Levantamento dos Dados

Os dados foram coletados durante cinco dias, no período de 6 a 10 de Julho de 2013, com início a meia noite do dia 6 e término às 23h59min do dia 10. A antena do receptor foi instalada em um local sem obstáculos impedindo sua visualização do horizonte, a uma altura de 15m em relação ao solo, garantindo assim uma melhor recepção do sinal.

Através do software TerraSync 2.21 o computador substituiu a coletora de dados manual, permitindo que a tela inicial do programa contendo o Skyplot (representação gráfica dos satélites), fosse registrada em vídeo através do software de captura de imagens HyperCam 3, totalizando 120 horas de gravação contínua.

O Skyplot exibe os satélites captados no momento e sua identificação (PRN). (Figura 1). Analisando a filmagem foi possível contabilizar não só o número de satélites captados em cada período, mas o horário de entrada e saída de cada um dos 31 satélites ativos no seu horizonte de visualização, bem como o período de cobertura do ponto em estudo.

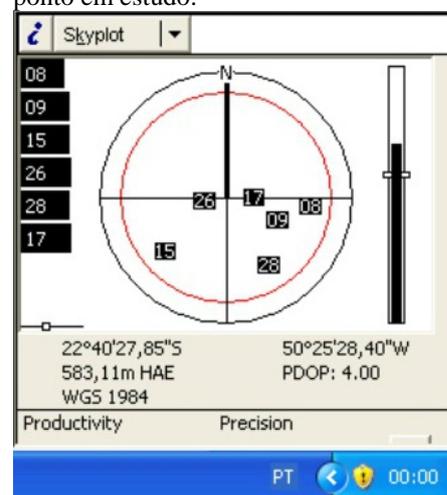


Figura 1 – Tela representando os satélites à meia noite do dia 06 de julho.

A Tabela 1 foi construída com base nos dados obtidos em vídeo, permitindo uma melhor visualização do funcionamento do sistema GPS.

**Tabela 1** - Dados referentes aos horários de entrada e saída dos satélites na tela do software TerraSync 2.21 durante os 5 dias de observação.

PRN	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4		Dia 5		Tempo visível
	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT	
1	13:29	17:57	13:25	17:53	13:21	17:49	13:17	17:45	13:13	17:41	4h28min
2	01:02	05:41	00:58	05:37	00:54	05:33	00:50	05:29	00:46	05:25	4h39min
3	09:59	14:10	09:55	14:06	09:51	14:02	09:47	13:58	09:43	13:54	4h11min
4	00:10	04:25	00:06	04:21	00:02	04:17	23:58	04:13*	23:54	-	4h15min
	17:33	19:27	17:29	19:23	17:25	19:19	17:21	19:15	17:17	19:11	1h54min
5	03:55	07:16	03:51	07:12	03:47	07:08	03:43	07:04	03:39	07:00	3h21min
	20:16	23:55	20:12	23:51	20:08	23:47	20:04	23:43	20:00	23:39	3h39min
6	08:51	13:29	08:47	13:25	08:43	13:21	08:39	13:17	08:35	13:13	4h38min
7	16:33	23:28	16:29	23:24	16:25	23:20	16:21	23:16	16:17	23:12	6h55min
8	-	01:02	17:53	00:58*	17:49	00:54*	17:45	00:50*	17:41	-	7h05min
9	-	02:15	18:47	02:11*	18:43	02:07*	18:39	02:03*	18:35	-	7h24min
10	-	23:02	18:32	22:58	18:28	22:54	18:24	22:50	18:20	22:56	4h36min
11	12:06	17:21	12:02	17:17	11:58	17:13	11:54	17:09	11:50	17:05	5h15min
12	00:47	07:29	00:45	07:25	00:41	07:21	00:37	07:17	00:34	07:13	6h39min
13	15:02	22:09	14:58	22:05	14:54	22:01	14:50	21:57	14:46	21:53	7h07min
14	09:37	14:30	09:33	14:26	09:29	14:22	09:25	14:18	09:21	14:14	4h53min
15	-	03:28	23:10	03:24*	23:06	03:20*	23:02	03:16*	22:58	-	4h14min
	07:49	09:44	07:45	09:40	07:41	09:36	07:37	09:32	07:33	09:28	1h55min
16	08:10	11:15	08:04	11:11	08:00	11:07	07:56	11:03	07:52	10:59	3h07min
	16:06	18:51	16:02	18:47	15:58	18:43	15:54	18:39	15:50	18:35	2h45min
17	-	02:25	21:54	02:21*	21:50	02:17*	21:46	02:13*	21:42	-	4h27min
18	06:28	11:52	06:24	11:48	06:20	11:44	06:16	11:40	06:12	11:36	5h24min
19	11:08	15:17	11:04	15:13	11:00	15:09	10:56	15:05	10:54	15:01	4h07min
20	14:10	20:06	14:06	20:02	14:02	19:58	13:58	19:54	13:54	19:50	5h56min
21	05:07	12:06	05:03	12:02	04:59	11:58	04:55	11:54	04:51	11:50	6h59min
22	07:36	13:00	07:32	12:56	07:28	12:52	07:24	12:48	07:20	12:44	5h24min
23	14:07	21:17	14:03	21:13	13:59	21:09	13:55	21:05	13:51	21:01	7h10min
24	00:30	05:50	00:26	05:46	00:22	05:42	00:18	05:38	00:14	05:34	5h20min
25	03:03	08:52	02:59	08:48	02:55	08:44	02:51	08:40	02:47	08:36	5h49min
26	-	02:35	21:18	02:31	21:14	02:27	21:10	02:23	21:06	-	5h13min
27	09:17	14:07	09:13	14:03	09:09	13:59	09:05	13:55	09:01	13:51	4h50min
28	-	00:47	19:24	00:43*	19:20	00:39	19:16	00:35	19:12	-	5h19min
29	02:57	09:59	02:53	09:55	02:49	09:51	02:45	09:47	02:41	09:42	7h01min
30											
31	05:30	08:02	05:26	07:58	05:22	07:54	05:18	07:50	05:14	07:46	2h32min
	13:00	16:26	12:56	16:22	12:52	16:18	12:48	16:14	12:44	16:10	3h26min
32	11:52	18:38	11:48	18:34	11:44	18:30	11:40	18:26	11:36	18:22	6h48min

PRN: *Pseudo Random Noise*.

In: Horário em que o receptor captou o sinal.

Out: Horário em que o receptor parou de receber o sinal.

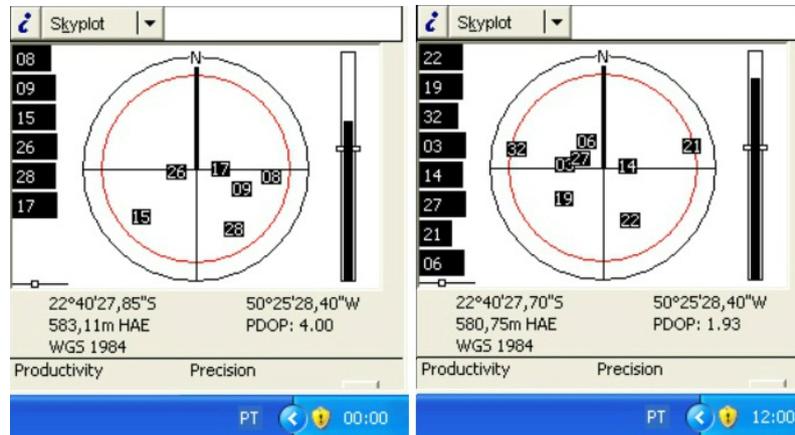
\*: Satélites que são captados em um dia e saem no outro.

-: Horário de entrada antes da meia-noite do dia 06 de julho e horário de saída após 23h59min do dia 10 de julho.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hipótese inicial para o presente trabalho era a verificação da periodicidade dos satélites pertencentes à constelação GPS, haja vista que as informações disponibilizadas em algumas literaturas permitiam uma dupla interpretação da realidade dos fatos.

Estipulado um horário para o início da coleta de dados, era esperado que os mesmos satélites observados no horário inicial (meia noite) do experimento, estivessem presentes depois de transcorridas exatas 12 horas após o início (meio dia), o que não foi confirmado, como visto na Figura 2.

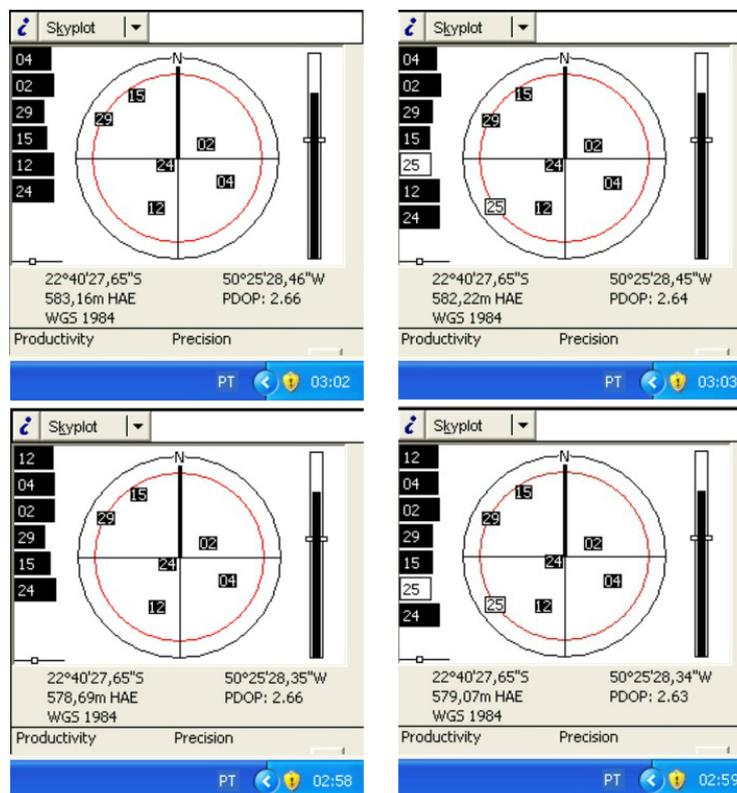


**Figura 2** – Tela Skyplot do software TerraSync 2.21 com os satélites observados na hora inicial (esquerda) e após 12 horas (direita).

As diferentes situações apresentadas na Figura 2 levariam um leitor leigo em relação à estruturação e funcionamento do sistema GPS pensar que as informações contidas em algumas literaturas estariam equivocadas nas afirmações relacionadas ao período orbital dos satélites.

O período orbital dos satélites é dado em termos de dia sideral, ou seja, o mesmo satélite dá duas revoluções em torno do globo, sendo que cada revolução leva em média 11h58min para ser completada.

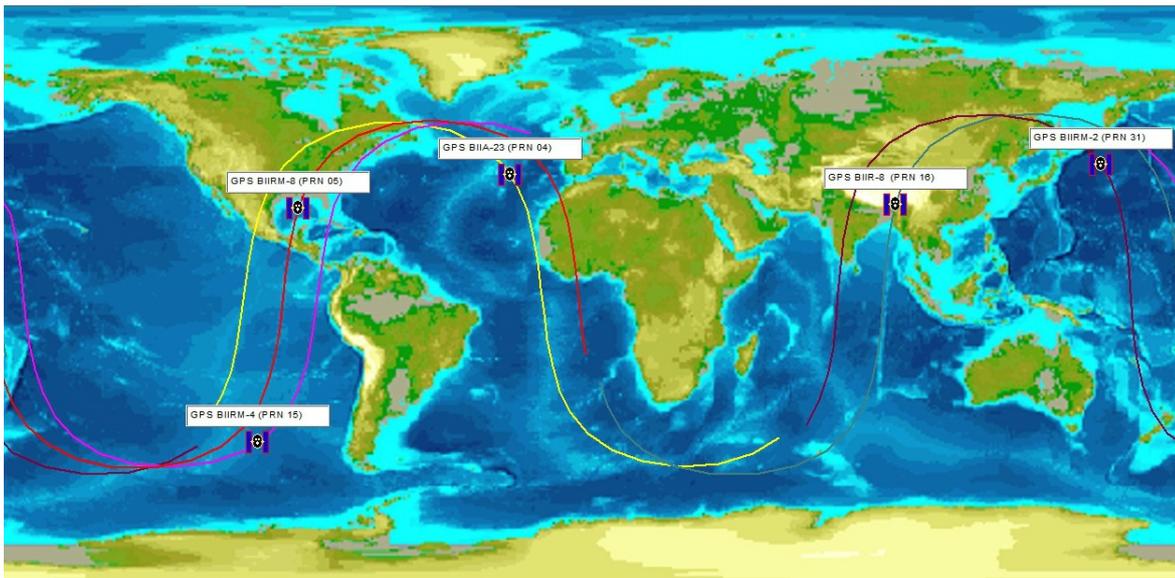
De um ponto fixo na Terra, o satélite é visto apenas uma vez em 24 horas, com um adiantamento de 4 minutos a cada dia, como visto na Tabela 1. Isso se deve ao fato de um dia sideral ser 4 minutos mais curto que um dia solar. Para exemplificar o “adiantamento” de 4 minutos a Figura 3 demonstra os horários de entrada do satélite 25.



**Figura 3** – Skyplot mostrando os horários antes e durante a entrada do satélite 25 nos dias 1 (parte superior) e 2 (parte inferior).

A princípio, a característica mais evidente da Figura 3 relaciona-se ao fato de que a conformação dos satélites é a mesma tanto no dia 1 como no dia 2. Tomando como exemplo o satélite 25, observa-se que este é captado pelo receptor de sinal GPS às 03:03 horas do primeiro dia de experimento; em conformidade com os dados da Tabela 1 e as imagens de “entrada” do satélite na tela Skyplot da Figura 3, percebe-se que passadas 24 horas o mesmo satélite irá ser captado 4 minutos mais cedo, ou seja, às 02h59min, comprovando que este fato só ocorre devido à diferença entre o dia solar e o sideral.

Analisando os dados da Tabela 1 é possível notar que alguns satélites diferem dos demais (que são captados apenas uma vez em 24 horas), possuindo horários duplos.



**Figura 4** – Rotas de solo para os satélites 4, 5, 15, 16 e 31 no início do experimento.

Observa-se que as curvas apenas circundam a América do Sul e interceptam a linha do Equador terrestre duas vezes consecutivas, devido ao fato de os satélites apresentarem uma latitude (“amplitude da curva”) máxima e mínima a cada órbita completada. O fato de esses satélites serem captados duas vezes no mesmo dia está relacionado ao aparecimento dos satélites no horizonte da antena do receptor de sinal GPS.

Os satélites são captados pela primeira vez ao iniciarem a ascensão da curva e “desaparecem” no horizonte, após cruzar o Equador (atingindo a latitude máxima); ao descer, o satélite cruza novamente o Equador e é captado novamente pelo receptor ao entrar na linha do horizonte até atingir a latitude mínima, desaparecendo. Esse ciclo repetiu-se durante os 5 dias do experimento como observado na Tabela 1. Como a curva desloca-se no sentido Oeste-Leste esse padrão tende a se repetir.

De acordo com os dados apresentados pelo estudo realizado durante o monitoramento dos satélites do sistema GPS, ficou constatado que cada satélite passa pelo horizonte de visualização de um mesmo ponto fixo na Terra aproximadamente a cada 24 horas com uma redução aproximada de 4 minutos por dia.

São os satélites: 4, 5, 15, 16 e 31. Essa característica permaneceu durante os 5 dias de observação e os horários seguem o padrão de antecedência em 4 minutos a cada 24 horas.

Utilizando o software GPS v2.4 como meio de observar as rotas dos satélites em questão no dia de início do experimento, percebe-se que estas lembram uma curva senoidal quando feitas em um mapa com projeção de Mercator, como explicado por Curtis (2009) em seu livro *Orbital Mechanics for Engineering Students*. As rotas de solo podem ser observadas na Figura 4.

## 4 CONCLUSÃO

A partir do experimento realizado durante os 5 dias de observação, pode-se afirmar que a periodicidade dos satélites em relação a um determinado ponto na Terra é de 24 horas com a diminuição de 4 minutos a cada dia e, que alguns desses satélites podem ser vistos mais de uma vez durante essas 24 horas, sempre mantendo o adiantamento de 4 minutos a cada dia. Isso torna evidente que a informação relacionada ao período orbital dos satélites deve sempre ser acompanhada da explicação quanto à diferença dos tempos solar e sideral. Quanto ao número de satélites pode-se definir também que o sistema GPS faz atualizações continuamente, podendo a qualquer momento aumentar ou diminuir o número de satélites em funcionamento, ressalta-se ainda que durante as observações de campo para a realização do presente trabalho verificou-se em operação o número de 31 satélites. Comenta-se ainda a importância de que tal resultado sobre a periodicidade dos satélites do Sistema GPS, serve apenas para a região onde foi desenvolvido o trabalho, pois em outros lugares do globo ou até mesmo em diferentes regiões do Brasil, o resultado com relação à frequência pode ser desigual ao resultado encontrado neste trabalho, atendendo assim ao

outro conceito existente sobre o sistema NAVSTAR – GPS no que se diz respeito à assiduidade de satélites em 12 horas.

## 5 REFERÊNCIAS

BLITZKOW, D. **Sistema de posicionamento por satélite GPS**. São Paulo, Brasil, 2008. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/ptr/ptr/site-ant/FTP01/DGPS2201-02B.pdf>> Acesso em: 07 jul. 2013.

CURTIS, H. **Orbital Mechanics for Engineering Students**. Second edition. USA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2010.

DANA, P. H. **Global Positioning System (GPS) Time Dissemination for Real-Time Applications**: Real-Time systems. 32 p. 1997.

GORGULHO, M. Apostila GPS: última atualização. 2002. Disponível em: <<http://www.docstoc.com/docs/18620010/GPS-TrackMaker>>. Acesso em: 20 fev. 2009.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVISTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 1ª edição. São Paulo: Editora UNESP, 2001. 287.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 2ª edição. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

PARDAL, P. C. P. M. **Determinação de órbita via GPS considerando modelo de pressão de radiação solar para o satélite TOPEX/POSEIDON**. 2007. Disponível em: <http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.07.18.01/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2013.

United States Coast Guard Navigation Center. **General Information on GPS**. 2012. Disponível em: <<http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPSmain>>. Acesso em: 08 jul. 2013.