

Rastreamento e Telemetria de Veículos e Embarcações em Missões Estratégicas.

Douglas Soares dos Santos, Wagner Chiepa Cunha e Cairo L. Nascimento Jr.
 Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - 12228-900 - São Jose dos Campos - SP - Brazil

Resumo — Este trabalho apresenta uma solução para o controle geográfico de um veículo ou embarcação sobre uma trajetória planejada. Os sistemas básicos que constituem a solução, para o rastreamento e a telemetria, integram um sistema de posicionamento global (GPS), um computador do tipo embarcado e um sistema de comunicação para transmissão e recepção de dados. No computador de bordo está desenhada a solução computacional que verifica o ponto geográfico do objeto e calcula usando o plano de coordenadas esféricas se ele está dentro da região delimitada e pré-configurada na missão denominada de “cerca eletrônica”. O computador de bordo, caso ocorra a saída da “cerca eletrônica”, poderá interferir com aviso local, ativação de algum sub-sistema veicular e o envio dos dados de posição irregular via transceptor.

Palavras-Chave — rastreamento, posicionamento global, cerca eletrônica.

I. INTRODUÇÃO

São muitas as soluções especializadas em segurança que oferecem um sistema de rastreamento veicular. Esta facilidade está baseada na recepção e tratamento dos sinais provenientes da constelação de satélites para o posicionamento global, e na transmissão dos sinais processados contendo informações pertinentes ao posicionamento do veículo. A telemática oferecida para o rastreamento está baseada em um receptor de GPS, em uma eletrônica embarcada e um sistema de transcepção de dados [1]. Contudo, estas são soluções comerciais de aplicação específica e que não permitem ao usuário intervir, modificar ou implementar uma facilidade particular. Este trabalho apresenta uma solução completa de rastreamento e telemetria com maior atenção na verificação se o objeto, referenciando-se ao veículo ou embarcação, está dentro ou fora de uma trajetória. A trajetória será descrita como sendo uma seqüência de pontos geográficos, previamente informada, que associados a uma distancia máxima de afastamento perpendicular, à linha que une estes pontos, descrevem um polígono que chamaremos de “cerca eletrônica”. O ponto importante deste trabalho está na autonomia do objeto em decidir sobre a ação que deverá ser tomada na ocorrência de uma navegação para fora da “cerca eletrônica”. Esta ação poderá ser desde uma interferência local nos subsistemas do objeto ou até uma telemetria para uma estação de controle remoto.

A solução da cerca eletrônica foi realizada usando a geometria esférica, com o objetivo de cobrir distâncias maiores que 200 milhas náuticas, e considerando a superfície da terra perfeitamente esférica [1]-[2].

Douglas S. Santos, dsoares@ita.br, Wagner Chiepa C., chiepa@ita.br, Cairo L. Nascimento Jr., Cairo@ita.br +, Tel. +55-12-39475878, Fax +55-12-39476930

Para atender a solução proposta neste trabalho será apresentada na seção 2 a arquitetura do sistema, ou seja, o hardware necessário para suportar os requisitos e o software de controle. Na seção 3 apresentaremos o GPS e, com ênfase, a geometria implementada na solução proposta para a “cerca eletrônica”. A seção 4 trata sobre a solução computacional apresentando três aplicativos, um para coleccionar a seqüência de pontos geográficos da trajetória, um para o sistema de controle local (SCL) e outro para o sistema controle remoto (SCR).

Com a implementação do projeto apresentaremos na seção 5 o resultado de um teste e algumas observações. Finalizando na seção 6 com a conclusão deste trabalho.

II. ARQUITETURA DO SISTEMA

Para suportar os requisitos e o software de controle, a arquitetura do hardware é composta por um módulo de recepção de sinais GPS, um computador de bordo e um transceptor do tipo radiomodem. O receptor GPS mostrado na Figura 1 é do tipo comum, de baixo custo, alimentado eletricamente com 5Volts e com uma interface serial, no padrão elétrico RS232 com taxa de transferência de dados de 9,6 kbps.



Fig. 1. Módulo GPS

O computador de bordo, mostrado na Figura 2, é do tipo PC e possui alimentação simples que poderá variar entre 12 e 25 Volts. O computador além de suportar um sistema operacional compatível com os aplicativos, possui também as interfaces necessárias para os dispositivos GPS e radiomodem.

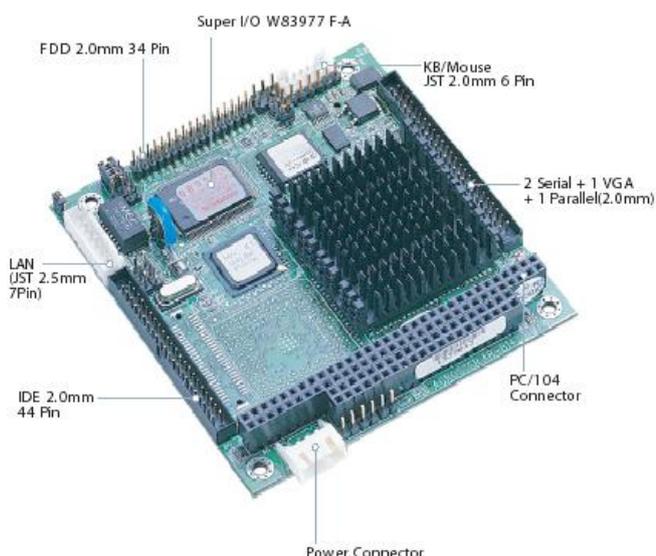


Fig. 2. Computador de Bordo

A Figura 3 mostra o dispositivo radiomodem com uma interface serial no padrão elétrico RS232 com taxa de transferência de dados até 57 kbps. Para a transmissão e recepção de dados, este módulo opera na frequência em torno de 900MHz e é alimentado eletricamente com 12 Volts.



Fig. 3. Radiomodem

A Figura 4 apresenta o diagrama de blocos para todo o sistema incluído a estação remota (SCR).

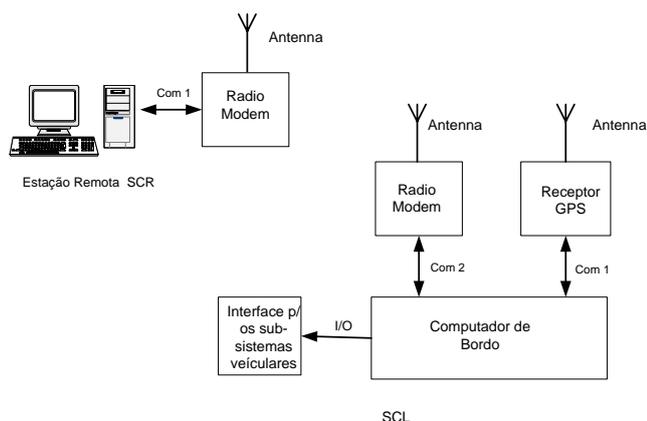


Fig. 4. Diagrama de blocos do sistema

III. SOLUÇÃO DO POSICIONAMENTO

1) O GPS: Para permitir a implementação com baixo custo em relação a um sistema inercial constituído por

acelerômetros e girômetros e também pelo fato da portabilidade e modularidade necessária neste trabalho, utilizaremos o modulo receptor GPS.

O GPS é constituído por uma constelação de satélites e foi desenvolvido para resolver a necessidade de navegação para usuários militares e civis [3]. Possui uma cobertura global e está disponível por todo o tempo. Para que o usuário possa capturar os sinais é necessário um módulo receptor, que com base nos sinais fornecidos possa calcular e oferecer os vetores de posição e velocidade em um sistema de coordenadas conhecidas [1]. O modulo GPS disponibiliza as informações através do canal serial. Estas informações são constituídas por sentenças e formatadas de acordo com um padrão denominado National Marine Electronics Association (NMEA 0180) [4]. A origem deste padrão vem da necessidade de se desenvolver uma linguagem comum para os equipamentos náuticos militares. O padrão NMEA 0183, recompilado do NMEA 0180, é um protocolo de comunicação de dados formado por pacotes denominados sentenças. A seguir apresentamos um exemplo de sentença:

\$GPGLL,4001.74,N,07409.43,W

Nesta sentença o caractere \$ marca o início do pacote de dados. Logo a seguir aparece o código GP, que identifica como sendo uma mensagem vinda da constelação de satélites do GPS. As próximas letras, GLL, caracterizam a mensagem e os próximos campos, separados por vírgulas, se referem a informação de latitude; a direção N, para Norte, ou S para Sul; a longitude; e a direção W, para Oeste, ou E para Leste.

Cada tipo de sentença, e existem vários tipos, apresenta uma característica de informação particular [3].

2) A Cerca Eletrônica: Dado um objeto em movimento, e com sua posição geográfica monitorada, o “problema do cercado” consiste em determinar se o objeto está ou não dentro do polígono determinado. Na prática a posição do objeto e a solução do problema são obtidas eletronicamente, por isso a denominação de “cerca eletrônica” utilizada freqüentemente. Através da cerca eletrônica é possível então monitorar a situação do objeto, e se em algum lugar do trajeto o objeto sair do polígono, estará fora da cerca, portanto irregular ao afastamento máximo permitido. Neste caso a ação de irregularidade é apontada. A solução da cerca eletrônica poderá estar tanto no sistema embarcado, quanto na central de monitoração. A vantagem de estar no sistema embarcado está na estratégia da conexão, pois somente no caso de uma ocorrência para fora da cerca o “link” de comunicação será ativado e a informação será enviada para a central de monitoração. No outro caso, o sistema deveria estar permanentemente conectado enviando os pacotes de informação, e conseqüentemente haveria a dependência do link ativo para a tomada de decisões. Neste trabalho a solução da cerca eletrônica está no computador de bordo e para resolver a cerca eletrônica aplicaremos os conceitos da geometria esférica.

Tomando-se como base o triângulo esférico ABC, mostrado na Fig. 4, apresentaremos as equações para o desenvolvimento da solução da cerca eletrônica.

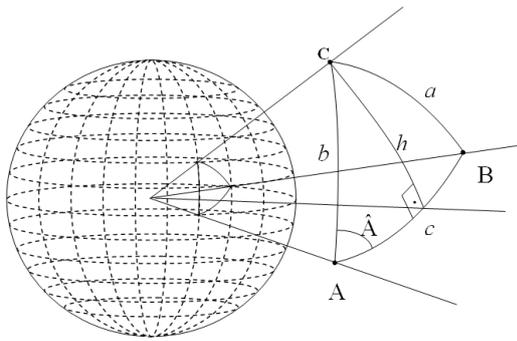


Fig. 4. Projeção do Triângulo Esférico ABC

Supondo o segmento AB como um trecho de geodésica e o ponto C como o ponto de medição. O cálculo do “ângulo” h determinará a distância de afastamento perpendicular à linha que une dois pontos subsequentes de uma trajetória prevista. Inicialmente esta distância poderá ser usada para verificar a validade da cerca eletrônica.

$$h = \arcsin(\sin b \cdot \sin \hat{A}) \quad (1)$$

A distância AC (d_{AC}) poderá ser encontrada conhecendo-se a latitude e longitude dos pontos, e para encontrar esta distância utilizaremos Haversine [5]. Trata-se de uma equação fundamental na navegação, que resolve a distância entre dois pontos na superfície esférica. A lei fundamental de Haversine (2) relaciona os lados a ângulos de uma esfera. [7]

$$\text{um Haversine}(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2)$$

Onde θ é o ângulo, em radianos, subtendido em qualquer lado do triângulo esférico.

Aplicando a fórmula de Haversine [7], em uma forma mais adequada ao nosso problema, temos em (3) o cálculo da distância entre dois pontos de coordenadas conhecidas.

$$d(LtA, LgA, LtB, LgB) = Rt \cdot (\arccos(\sin(LtA) \cdot \sin(LtB) + \cos(LgB - LgA) \cdot \cos(LtA) \cdot \cos(LtB))) \quad (3)$$

Onde: LtA = latitude do ponto A; LgA = longitude do ponto A; LtB = latitude do ponto B; LgB = longitude do ponto B; Rt = Raio da terra.

Conhecendo dois pontos subsequentes do trajeto assim como o ponto corrente do objeto, dado pelo GPS, é possível calcular as distâncias AB (4), AC (6), BC (8) e os ângulos c (5), b (7) e a (9) respectivamente.

$$d_{AB} = Rt \cdot (\arccos(\sin(LtA) \cdot \sin(LtB) + \cos(LgB - LgA) \cdot \cos(LtA) \cdot \cos(LtB))) \quad (4)$$

$$c = \frac{d_{AB}}{Rt} \quad (5)$$

$$d_{AC} = Rt \cdot (\arccos(\sin(LtA) \cdot \sin(LtC) + \cos(LgC - LgA) \cdot \cos(LtA) \cdot \cos(LtC))) \quad (6)$$

Onde; LtC = latitude do ponto C e LgC = longitude do ponto C medidas no GPS.

$$b = \frac{d_{AC}}{Rt} \quad (7)$$

$$d_{BC} = Rt \cdot (\arccos(\sin(LtB) \cdot \sin(LtC) + \cos(LgC - LgB) \cdot \cos(LtB) \cdot \cos(LtC))) \quad (8)$$

$$a = \frac{d_{BC}}{Rt} \quad (9)$$

A distância investigada neste desenvolvimento, é aquela calculada em função do ângulo h, pois dentro do conceito de cerca eletrônica anteriormente discutido, esta é uma das medidas que deve ser comparada com a distância máxima de afastamento permitida, e é utilizada também para testar se o objeto está dentro ou fora da cerca. Lembrando-se que a distância máxima de afastamento é um parâmetro de entrada definido como uma constante dentro da rotina do programa que resolve a cerca eletrônica. Para certificar que o objeto está dentro de um segmento definido por A e B, algumas relações deverão ser observadas:

- dentro da cerca significa estar dentro do círculo em volta do ponto A ou B de raio igual a distância máxima de afastamento permitida, Fig. 6.

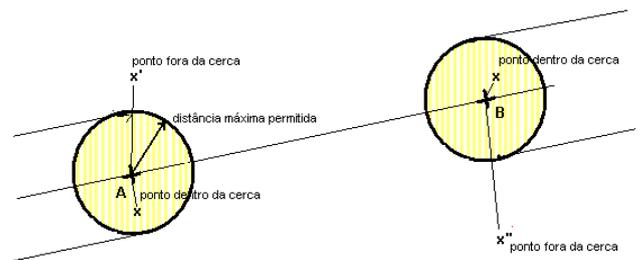


Fig. 6. Representação de pontos dentro e fora da cerca.

- dentro da cerca significa estar a uma distância, perpendicular à trajetória, menor ou igual a distância máxima de afastamento permitida, Fig. 7.

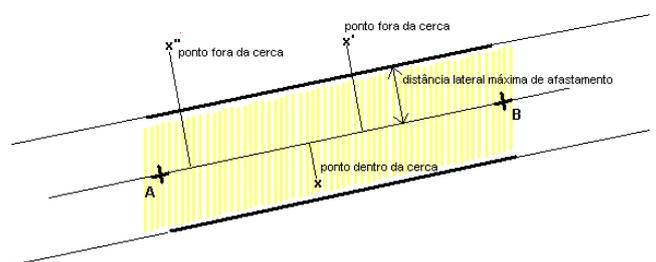


Fig. 7. Trajetória entre A e B mostrando pontos dentro e fora da cerca.

O fato de observarmos o comportamento do ponto de teste dentro de um segmento AB, mostrará a partir desta solução particular, o equacionamento geral, ou seja, poderemos testar dentro de uma seqüência de pontos geograficamente definidos, se o veículo está ou não dentro do polígono que representa a cerca eletrônica. Para definirmos a região válida da cerca entre os pontos A e B, uniremos três partes: a) a região em volta dos pontos; b) a região ao longo de A e B; c)

a distância limite entre A e B possível de conter o ponto de teste.

A Fig. 8 mostra todas as regiões consideradas.

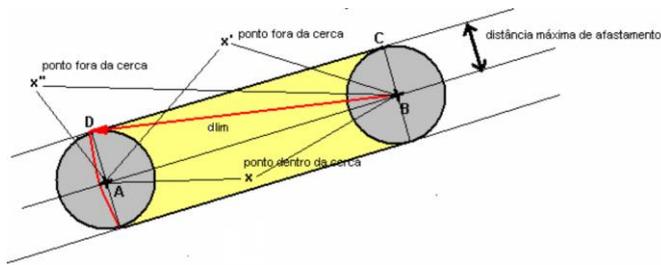


Fig. 8. Regiões e distâncias consideradas.

A distância limite (10), mostrada na Fig. 8 representa a distância limite de afastamento, que o veículo poderá ter a partir do ponto A ou do ponto B dentro do trecho AB.

$$d_{lim} = Rt \cdot \arccos(\cos h \cdot \cos c) \quad (10)$$

A operação lógica que verifica a validade da cerca eletrônica retornando “verdadeiro” ou “falso”, ou seja, dentro (verdadeiro) ou fora (falso) da cerca é dada por:

$$CERCA = [((h \cdot Rt) \leq d_{m\acute{a}x}) \text{AND} (d_{AC} \leq d_{lim}) \text{AND} (d_{CB} \leq d_{lim}) \text{OR} (d_{AC} \leq d_{m\acute{a}x}) \text{OR} (d_{CB} \leq d_{m\acute{a}x})] \quad (11)$$

As equações definidas até o momento são para um trecho da trajetória delimitado pelos pontos de coordenadas geográficas conhecidas. Portanto, lembrando-se que a trajetória é descrita por uma seqüência de pontos, ou uma seqüência de trechos, a validade da cerca deverá ser verificada para todos os trechos da trajetória, se em algum deles o retorno for verdadeiro, o veículo estará dentro da cerca, caso contrário o veículo estará fora da cerca eletrônica.

IV. SOLUÇÃO COMPUTACIONAL

A solução Computacional foi integrada por três aplicativos. O primeiro aplicativo foi desenhado para registrar os pontos da trajetória a ser experimentada. Este aplicativo apresentou como resultado final, um arquivo de configuração para alimentar o segundo aplicativo (SCL), embarcado no objeto, que cuidou de toda a solução da cerca eletrônica. O SCL foi escrito baseado nas conclusões e equacionamentos apresentados na seção 3. Foi possível então implementar (11) como uma função lógica deste programa que inicialmente calcula todas as distâncias e os ângulos (1)....(9) e, daí então verificar a validade da cerca eletrônica. A função lógica (11) deverá retornar as condições de “verdadeiro” ou “falso” para que com base nesta informação possa atuar sobre o objeto localmente e usando o link de comunicação possa enviar para o central de monitoração, onde está instalado o terceiro aplicativo (SCR), o “status” do objeto [1].

V. TESTES

Para verificar a consistência dos dados e exercitar os programas de controle realizamos um teste em uma região da cidade de São Paulo. A Fig. 9 mostra a região, o trajeto

executado e as ocorrências provocadas para que o veículo estivesse fora da cerca eletrônica.



Fig. 9. Região do experimento

No programa de verificação da cerca, o parâmetro ajustado para o afastamento máximo foi de 20 metros e a seqüência de pontos, apresentada na Tabela I, foi previamente adquirida usando o programa de registro de trajetória. Este programa gerou um arquivo de configuração para que o programa do SCL pudesse testar a validação da cerca eletrônica.

TABELA I SEQUÊNCIA DE PONTOS

| ponto | latitude | direção | longitude | direção |
|-------|------------|---------|------------|---------|
| 1 | 23,5009962 | S | 46,5251437 | W |
| 2 | 23,5001400 | S | 46,5250348 | W |
| 3 | 23,5000808 | S | 46,5244652 | W |
| 4 | 23,4998462 | S | 46,5231637 | W |
| 5 | 23,4988317 | S | 46,5201508 | W |
| 6 | 23,4994208 | S | 46,5198520 | W |
| 7 | 23,5010525 | S | 46,5201370 | W |
| 8 | 23,5018460 | S | 46,5200368 | W |
| 9 | 23,5050993 | S | 46,5188865 | W |
| 10 | 23,5050845 | S | 46,5201718 | W |
| 11 | 23,5051590 | S | 46,5207220 | W |
| 12 | 23,5053783 | S | 46,5215150 | W |
| 13 | 23,5056012 | S | 46,5219522 | W |
| 14 | 23,5057902 | S | 46,5221753 | W |
| 15 | 23,5055393 | S | 46,5226497 | W |
| 16 | 23,5036895 | S | 46,5243008 | W |
| 17 | 23,5033270 | S | 46,5245388 | W |
| 18 | 23,5028858 | S | 46,5253150 | W |
| 19 | 23,5013657 | S | 46,5245720 | W |
| 20 | 23,5014518 | S | 46,5239218 | W |
| 21 | 23,5017295 | S | 46,5239252 | W |

Para experimentar o programa do SCL foi usado um microcomputador do tipo “notebook” e com os dispositivos GPS e radiomodem conectados. As facilidades do uso deste equipamento possibilitaram a implementação de um aplicativo mais elaborado. Para que o aviso de validade da cerca pudesse ser reproduzido através de mensagens de voz, possibilitando conforto e segurança para o condutor do veículo. A monitoração de todos os parâmetros como o link

de comunicação, os pontos coletados pelo GPS e a distância de afastamento, também foram registrados pelo aplicativo.

Como observado, temos 21 pontos registrados para a trajetória de teste. Se olharmos novamente o mapa que representa a trajetória, as situações de teste para a validade da cerca eletrônica onde o sistema sinalizou “fora da cerca eletrônica” estão representadas em vermelho. Nestes trechos o sistema apontou o objeto em situação irregular.

O aplicativo SCL instalado no “notebook” para efetuar este teste tem o aspecto apresentado na Fig 10.

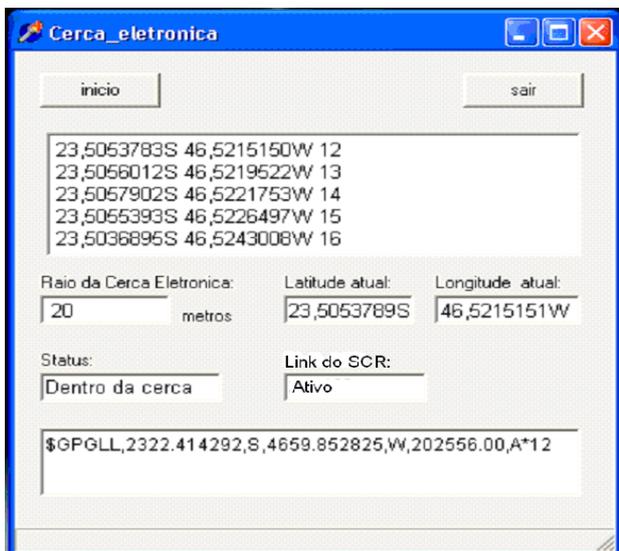


Fig. 10. Aplicativo do SCL

Os campos de “Latitude atual” e “Longitude atual” estão próximos do ponto 12 da trajetória, perto o bastante para indicar que o veículo está dentro da cerca eletrônica, já que, a distância máxima permitida representada pelo campo “Raio da Cerca Eletrônica” é de 20 metros. Observe também, o campo “Link do SCR” informando como está a comunicação entre o SCL e o SCR. Esta será uma condição lógica de teste caso haja a necessidade de comunicação de uma situação irregular.

VI. CONCLUSÕES

Utilizando o programa de registro de trajetória foram coletadas em outros locais, novas seqüências de pontos e novos testes foram implementados, os resultados se mostraram coerentes e com a indicação correta dos pontos dentro e fora do polígono. Concluímos então que em uma missão onde se conhece a trajetória o projeto demonstrou-se eficiente. Contudo, se os pontos são absolutos ou extraídos de um mapa deveremos aumentar a tolerância de afastamento. Neste caso, se for necessária uma maior precisão incentivamos o uso da tecnologia GPS diferencial (DGPS) [6]-[1] para a compatibilização dos pontos. Mas se a trajetória foi registrada anteriormente, com uma medição relativa, será possível confiar em uma precisão de 5 a 10 metros.

No caso de veículos poderá acontecer, por conta da região, uma interferência provocando uma deficiência na recepção mínima de satélites para a determinação dos pontos geográficos. Neste caso uma solução com a implementação

de sistemas inerciais baseados em acelerômetros e girômetros em conjunto com o receptor GPS deverá ser implementada.

Com relação ao tranceptor, o modelo utilizado possui uma potência de RF configurável de até 1,5 Watts. Isto nos dá um alcance máximo de aproximadamente 25 Km. Contudo, para esta distância a geometria retangular nos serve muito bem. Assim, para a nossa proposta de distâncias maiores que 200 milhas náuticas certamente a comunicação baseada em satélites seria a mais apropriada.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] Douglas ,S.S., 2004, “Rastreamento e Telemetria de Veículos usando a Comunicação de Dados de Alta velocidade Disponível na Telefonia Celular” et al São José dos Campos: CTA/ITA. Único 94p.
- [2] FRANK A.JR., Plane and Spherical trigonometry, McGraw-Hill Co., 1954.
- [3] REILLY, J.P., GPS Basics for Future Applications, Las Cruces, New Mexico State University, 1992
- [4] NMEA PUBLICATIONS AND STANDARDS, NMEA 0183. Disponível em: <http://www.nmea.org/pub/0183/index.htm/>. Acesso em 26 out. 2009.
- [5] SINNOTT R. W., Virtues of the Haversine, Sky and Telescope, 1984.
- [6] LEITE, N. P. O., Sistema de Trajetografia GPS Diferencial/Inercial, São José dos Campos, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1997.
- [7] http://pt.wikipedia.org/wiki/Formula_de_Havesines#A_1_ei_dos_Haversines. Acesso em 30 jun 2010.