

## Localização de Transmissores Através de Satélites para Sensoriamento Remoto

**Cristina Tobler de Sousa**  
**Hélio Koiti Kuga**  
**Alberto W. Setzer**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
C.P. 515 - S. J. Campos, SP, CEP: 12201-990 BRASIL  
cristina@dem.inpe.br

**Abstract** This paper presents the testing of a novel methodology in Brazil to locate Data Collection Platform (DCPs) using Doppler-shift calculations. Two transmitters were used with the Brazilian Data Collection Satellite (SCD-2), and their geographical coordinates were obtained with distance error of  $2,1 \pm 0,03$  km and  $1,8 \pm 0,02$  km, with extremes of 0,1 and 3,1 km and 0,8 and 4,8 km, respectively. These values can be accepted for common applications such as monitoring of buoys and animals.

**Keywords** : geographical location, transmitters.

### Introdução

A localização geográfica de transmissores (Plataformas de Coleta de Dados - PCDs) pode ser aplicada para sensoriamento remoto na biologia e oceanografia, entre outros, ao obter medidas através de satélites, as quais por sua vez são processadas informando posições de transmissores. Como exemplos no Brasil, são fixados mini-transmissores em animais selvagens para monitoramento dos seus deslocamentos e hábitos (Mantovani, 2000; Muelbert et al. 2000); e em bóias de deriva nos oceanos (Kampel e Stevenson, 1997) para estudos de correntes. Outras áreas de aplicação incluem a localização e resgate de aeronaves e embarcações em situação emergencial (SARSAT, 2000), e a localização e apoio de pesquisadores do Programa Antártico Brasileiro -PROANTAR (Setzer, 1997). No presente, a localização destes alvos móveis é obtida no país apenas através da compra de dados do sistema francês Argos (CLS, 1989).

A localização geográfica de transmissores, ou Plataformas de Coleta de Dados - PCDs, sem GPS próprio através de satélites, baseia-se em um procedimento de um trabalho de tese de doutorado recém desenvolvido (Sousa, 2000). O princípio básico do cálculo de localização considera que para cada sinal transmitido, um cone de localização é obtido a partir de dados orbitais do satélite, da frequência nominal, e da frequência de recepção.

Neste trabalho, apresenta-se o resultado de testes de localização de duas PCDs, uma em Cuiabá e outra na Guiana Francesa, objetivando determinar a precisão do método prevendo seu eventual uso operacional no INPE.

## Modelo básico: localização de PCDs

A localização de um transmissor ou PCD pode ser determinada medindo o desvio Doppler dos sinais de frequência devido à velocidade do satélite relativa ao transmissor.

A localização geográfica é feita considerando que, durante a passagem do satélite, sinais de frequência nominais “UHF” enviados pela PCD, é recebido a bordo do satélite artificial. Este registra essas informações e os horários da recepção (**Figura (1)**). Estas medidas são retransmitidas para as estações de recepção terrestres, onde são processadas em micro computadores comuns para gerar a posição dos transmissores (**Figura (1)**). Isto acontece quando o satélite vê simultaneamente a PCD dentro de um cone sólido com círculo visibilidade de cinco mil quilômetros para um ângulo de elevação mínimo de 5°.



Fig. 1 - Localização de PCDs.

A velocidade do satélite relativa ao transmissor ( $v \cos(\alpha)$ ) no vácuo, denotada por  $\mathcal{R}$ , é dada a partir da equação do efeito Doppler (Resnick (1968)), por:

$$\mathcal{R} = \frac{(f_r - f_t)}{f_t} c$$

onde:

- a)  $f_r$  é a frequência recebida pelo satélite;
- b)  $f_i$  é a frequência de referência (ou nominal) enviada pelo transmissor;
- c)  $(f_r - f_i)$  é o desvio Doppler devido à velocidade relativa transmissor-satélite;
- d)  $c$  é a velocidade da luz.
- e)  $\alpha$  é o ângulo entre os vetores velocidade  $v$  do satélite, e o de posição do transmissor relativa ao satélite.

A solução de mínimos quadrados para sistemas não-lineares é dada como (Bierman, 1977):

$$H_1 \mathbf{d}\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{d}\mathbf{y}_1,$$

onde solução  $\mathbf{d}\hat{\mathbf{x}}$  é obtida através de substituição regressiva, e o método torna-se iterativo ao tomar a estimativa  $\hat{\mathbf{x}}$ , como sendo o novo valor da referência  $\bar{\mathbf{x}}$  e assim sucessivamente, até quando  $\mathbf{d}\hat{\mathbf{x}}$  tender a zero.

A matriz  $H_1$  é tal que:

$$\begin{bmatrix} H_1 \\ 0 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} S_0^{1/2} \\ W^{1/2} H \end{bmatrix},$$

onde  $H$  é a matriz de derivadas parciais das observações em relação ao estado calculada em torno da referência e o termo  $(H_1^T H_1)^{-1}$  é a covariância do erro na estimativa.

$\mathbf{d}\mathbf{y}_1$ , tal que:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{d}\mathbf{y}_1 \\ \mathbf{d}\mathbf{y}_2 \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} S_0^{1/2} \mathbf{d}\hat{\mathbf{x}}_0 \\ W^{1/2} \mathbf{d}\mathbf{y} \end{bmatrix}$$

onde:

- a)  $T$  é a transformação ortogonal de Householder (Bierman, 1977);
- b)  $W$  é a matriz de peso das componentes do vetor das medidas  $y$  (ou ponderação dos resíduos);
- c)  $S_0^{1/2}$  é a matriz raiz quadrada de informação inicial das variáveis de estado;
- d)  $\mathbf{d}\mathbf{y}$  é o valor do resíduo, incluindo os erros sistemáticos (“bias”);
- e)  $\mathbf{d}\hat{\mathbf{x}}_0 = \hat{\mathbf{x}}_0 - \bar{\mathbf{x}}$ , ou seja,  $\hat{\mathbf{x}}_0$  é a condição inicial do vetor de parâmetros;
- f)  $\|\mathbf{d}\mathbf{y}_2\|^2 = J_{min}$  é o mínimo da função “custo” ( $J = \|y_1 - H_1 \hat{x}\|^2 + \|y_2\|^2$  e usado como o fator de convergência do localizador.

## **Resultados**

Foram utilizados dois transmissores ou Plataformas de Coleta de Dados, de números 32544 e 109, fixas (imóveis), e as localizações foram realizadas com a finalidade de testar o procedimento de localização geográfica desenvolvido sob duas situações distintas. A primeira PCD se encontra no local da estação de recepção, ou seja, em Cuiabá, e a segunda PCD se localiza na Guiana Francesa com receptor também em Cuiabá..

A Tabelas 1 contem os resultados de localização das duas PCDs (32544 e 109), durante dez dias em outubro de 2000. Foi utilizado para o cálculo de localização o satélite de órbita quase equatorial SCD-2.

TABELA 1 - RESULTADOS USANDO PCDs 32544 E 119, E O SATÉLITE SCD-2

Dia-out-00	Erro de localização(km) PCD: 32544
09	1.53
	1.73
	2.10
10	0.11
	2.29
	1.78
	2.66
11	1.61
	3.13
	1.09
12	2.86
	1.54
	1.32
	1.10
13	1.65
	2.53
	0.65
	1.69
14	1.87
	1.85
	1.30
15	2.58
	1.49
	2.70
16	2.63
	1.59
	0.80
	2.74
17	3.13
	1.62
	0.50
18	1.09
19	1.45

Dia-out-00	Erro de localização(km) PCD: 109
09	2.20
	1.37
	2.83
	3.34
	4.26
10	0.35
	0.86
	1.40
	1.25
11	1.44
	2.71
	4.13
12	1.41
	1.00
	0.92
	2.85
13	0.87
	1.49
	1.99
	2.60
	0.86
	2.26
14	2.02
	2.01
	1.57
	3.18
	3.57
	1.14
	1.07
4.74	
15	2.08
	1.39
16	1.46
	2.63
17	1.22
	2.24
	2.48
	1.12
	1.06
18	2.67
	2.10
	3.47
	1.05
19	0.96
	0.77
	1.19

A média dos erros das localizações geográficas considerando a PCD 32544 foi de 2,1 km com localizações variando de 0,1 e 3,1 km. Para a PCD 109 a média foi de 1,8 km com localizações variando de 0,8 e 4,8 km

A representação gráfica dos valores da longitude e latitude referentes aos erros de localização da Tabela 1, considerando a PCD 32544 estão indicados na Figura 2:

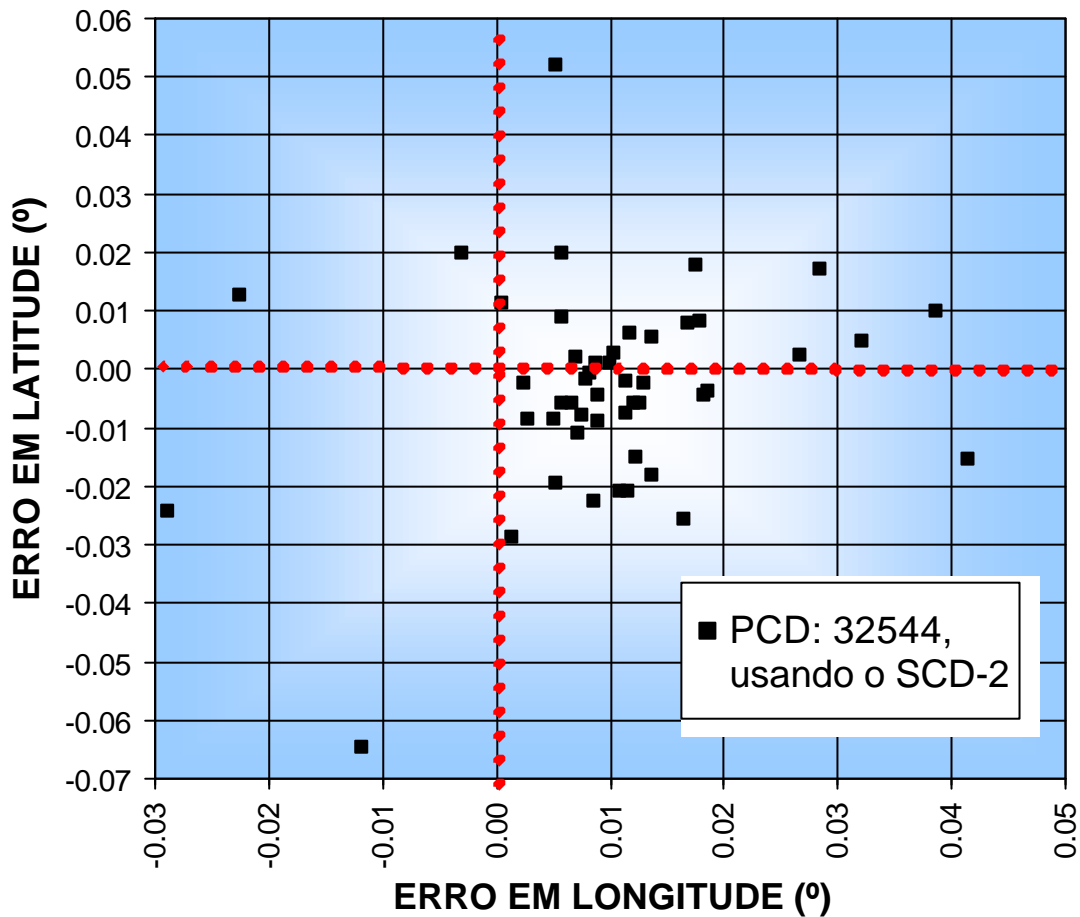


Fig. 2 - Erros das localizações da PCD 32544 em outubro de 2000 utilizando o satélite SCD-2.

A representação gráfica dos valores da longitude e latitude referentes aos erros de localização da Tabela 1, considerando a PCD 109 estão indicados na Figura 3:

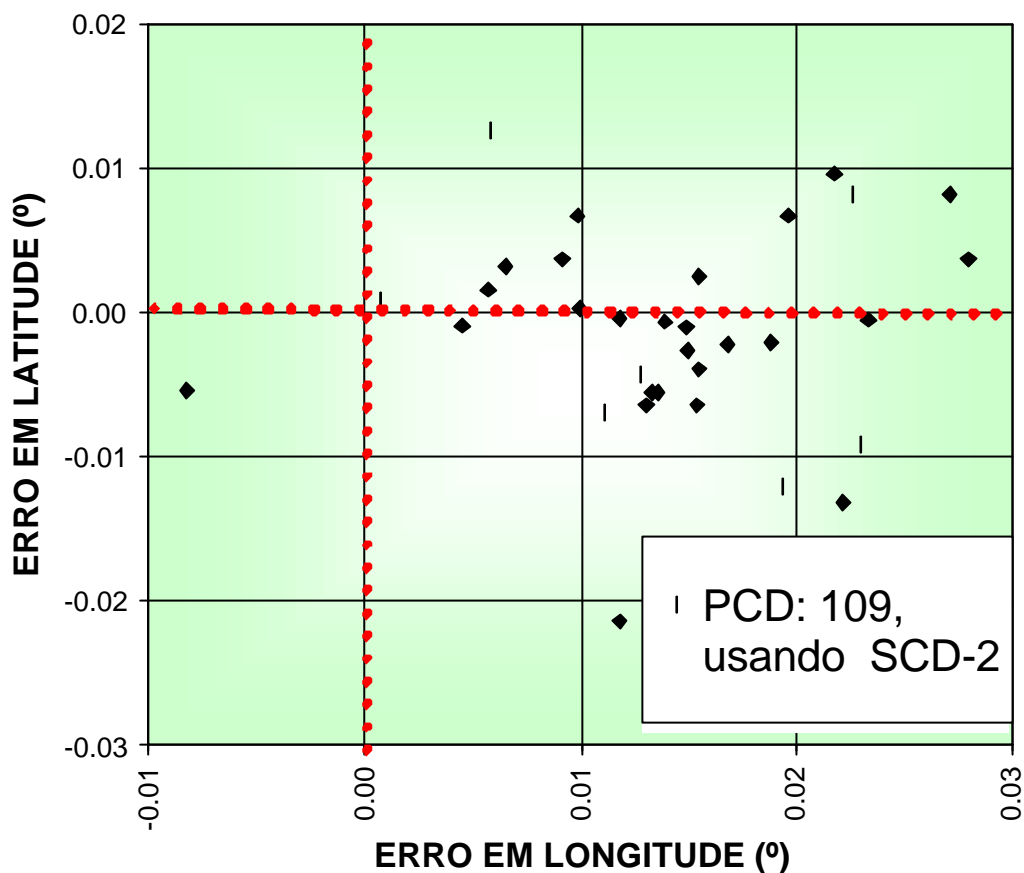


Fig. 3 - Erros das localizações da PCD 109 em outubro de 2000 utilizando o satélite SCD-2.

### Conclusão

Resultados utilizando duas PDCs, uma na Guiana e outra em Cuiabá, foram obtidos através do Satélite de Coleta de Dados (SCD-2) e da estação de recepção terrestre fixa em Cuiabá; os erros na localização foram  $2,1 \pm 0,03$  km and  $1,8 \pm 0,02$  km, com extremos entre 0,1 e 3,1 km, e 0,8 e 4,8 km, respectivamente. Estes valores são adequados para aplicações comuns, como monitoramento de bóias oceanográficas, de animais com migrações continentais, e de pessoas em expedição.

Cabe mencionar que a técnica de localização geográfica através de satélites ainda não é usada no Brasil. Os resultados obtidos motivaram o interesse no seu uso operacional pelo INPE de São José dos Campos, o que está previsto para o primeiro semestre de 2001.

### Referências

Bierman, G.J. Factorization methods for discret sequential estimation. New York., Academic, 1977.

CLS - Service Argos: guide to the Argos System. Toulouse, September, 1989.

- Kampel, M.; Stevenson, M.R. Heat transport estimates in the surface layer of the Antarctic polar front using a satellite tracked drifter - first results. In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 5., São Paulo, 1997. Anais.
- Kidwell, K.B. **NOAA polar orbiter data (Tiros-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11, NOAA-12) user Guide NOAA**. Washington, DC: NOAA, 1991.
- Mantovani. Tese de doutorado. (2000).
- Muelbert, C.M.M.; et al. A. movimentos sazonais de elefantes marinhos do sul da ilha elefante, shetland do sul, antártica, observações através de telemetria de satélites. VII Seminário sobre pesquisa Antártica, 7. São Paulo 2000. **Programa e resumos**. São Paulo, USP. IG. 2000. p.38
- Techno - Sciences. **CORPAS/SARSAT**. [online] [www.technosci.com/](http://www.technosci.com/) 2000, out. 2000.
- Resnick, R. Introdução à relatividade especial. New York: Wiley, 1968. 85-91p.
- Setzer, A. Manual do sistema de dados remotos. Elaborado para o PROANTAR, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos, 1997.
- Sousa, C.T. Geolocalização de transmissores através de satélites em tempo-quase-real. Tese de doutorado. INPE/DMC, Nov. (2000).