



# TRANSLOCAÇÃO NA AMAZÔNIA

*René A . Zepeda Godoy  
Kátia Duarte Pereira  
Jorge Luiz Rodrigues dos Santos  
Paulo Maurício Guapyassu de Oliveira*

Departamento de Geodésia – DGC – IBGE  
Av. Brasil, 15671 – Parada de Lucas  
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21.241  
Brasil

## RESUMO

Face à necessidade do estabelecimento, na Região Amazônica, de uma rede de apoio fundamental e, considerando-se os aspectos geográficos da região, o método de translocação foi testado como alternativa para a expansão do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB. O Projeto Translocação da Amazônia foi executado através da implantação e/ou reocupação de estações, desenvolvidas em semelhança a uma cadeia de triangulação, sendo que seus extremos correspondem, também, a vértices de triangulação – VTs, da Rede Planimétrica de Alta Precisão, o que possibilita o controle da figura. O processamento foi realizado utilizando-se o software GEODOP V, com opção de arco curto em multiestação. Na análise final do resultado foram detectadas deformações entre a rede clássica e a figura SAT, quando da consideração dos extremos como base. Tal fato conduziu a uma solução local e temporária até a conclusão do ajuste da rede planimétrica de forma global.

## ABSTRACT

Due to the necessity of establishment of a basis control network in the Amazon Region and considering its geographical aspects, the translocation was tested as an alternative method for the Brazilian Geodetic System – SGB expansion. The Amazon Translocation Project was executed by the establishment and/or re-occupation of geodetic stations, following a triangulation geometric pattern, with its start and finish at triangulation stations (VT) pertaining to the Brazilian Horizontal Network, the figure control. The processing was made using the software GEODOP-V, with short-arc and multistation options. Deformations between the classic and satellite nets were detected by the final analysis, when the extremes stations functioned like basis. That fact led to one local and temporary solution until the finishing of the horizontal net-work re-adjustment.

## 1. INTRODUÇÃO

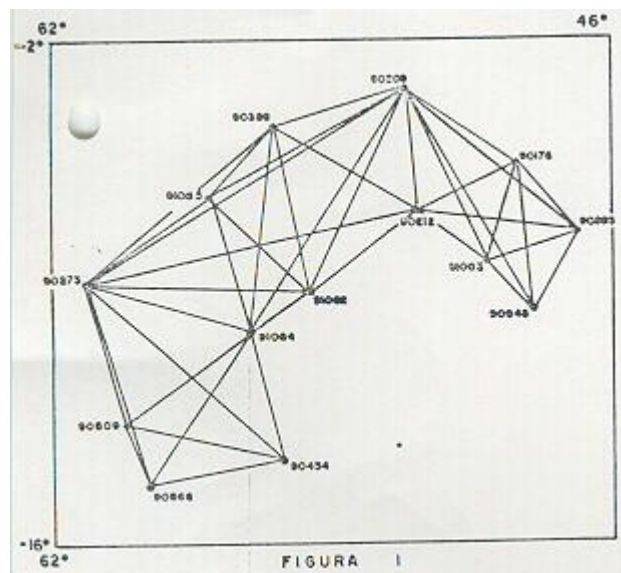
Diante da necessidade do estabelecimento, na Região Amazônica, de uma rede de apoio fundamental, o método de translocação aparece como uma alternativa para a expansão do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, nesta região.

Para balizar tal proposta, foi executado o Projeto Translocação na Amazônia que teve por objetivo testar o método de translocação, que consiste no rastreamento simultâneo de satélites artificiais do Sistema TRANSIT, em duas ou mais estações. O referido método foi empregado na forma seqüencial, em semelhança ao desenvolvimento de uma rede de triangulação, ou seja, sem uma base fixa permanente e com as figuras seqüencialmente apoiadas por estações comuns (figura 1).

Na concepção inicial do projeto foram estabelecidas três condições fundamentais para sua execução:

- 1ª número de estações projetadas inferior a 15, para permitir ajustamento único com o software disponível;
- 2ª estações escolhidas de modo que sua reocupação seja possível, daí a maioria estar situada em aeródromos;
- 3ª espaçamento entre as estações superior a 250km de forma a garantir as especificações de alta precisão.

### DESENVOLVIMENTO DA REDE DE TRANSLOCAÇÃO





Para obter-se um parâmetro de comparação de resultados, houve a necessidade, tal como numa rede de triangulação, de manter-se um controle sobre a figura gerada; para tanto optou-se pela coincidência de estações SAT, nos quatro extremos da figura, com vértices de triangulação–VTs da Rede Planimétrica de Alta Precisão do SGB. As estações SAT coincidentes com os VTs são:

Est. 1 : VT Galera	SAT 90866
Est. 2 : VT Kadlec	SAT 90454
Est.13 : VT Miranorte	SAT 90945
Est.14 : VT Carolina	SAT 90893

Cabe ressaltar também que, entre as estações selecionadas, seis delas, a saber: 90176, 90209, 90212, 90273, 90389, 90454, já apresentavam resultados anteriores, uma vez já terem sido utilizadas em outros projetos, o que possibilitou uma comparação entre os resultados obtidos.

A fase de medições de campo (rastreamento dos satélites) do projeto foi realizada sob a responsabilidade do então Departamento Regional de Geociências do Distrito Federal (DRG/DF), no período compreendido entre 11.08.1988 a 23.09.1988, compreendendo um total de 14 estações localizadas nos Estados de Mato Grosso, Amazonas, Pará, Tocantins e Maranhão.

Os períodos de observação de cada estação são expostos na TABELA 1.

**TABELA 1**

Períodos de Observação

Cod.Est.	Agosto/89		Setembro/89	
	11.....	31	1.....	23
1 - 90809	.....			
2 - 90454	.....			
3 - 91084	.....	.....	.....	
4 - 90866	.....			
5 - 90273	.....	.....	.....	
6 - 91082		.....	.....	
7 - 91085		.....	.....	
8 - 90389		.....	.....	
9 - 90209		.....	.....	.....
10 - 90212		.....	.....	.....
11 - 91083				.....
12 - 90176				.....
13 - 90945				.....
14 - 90893				.....



## 2. PROCESSAMENTO

O processamento de todas as estações foi realizado utilizando-se o sistema GEODOP V (Kouba, 1983a) com opção de arco curto, versão 1988, implantada no sistema computacional de grande porte do IBGE, IBM-3090.

O programa GEDOP V permite tanto o processamento por ponto isolado (PI), quanto o processamento em bloco (multiestação – ME). Os dois modos foram utilizados para o cálculo das estações envolvidas (Kouba, 1983b).

### **Estatística das Passagens Ponto Isolado (PI)**

Estação	pass. obs.	pass. aprov.	aparelho num.	observação
90866	70	70	260	VT Galera
90454	54	46	164	VT Kadlec
90809	68	66	177	
91084	145	128	213	
90273	179	160	218	
91082	104	101	164	
91085	68	53	216	
90389	104	91	270	
90212	195	43	215	
90209	204	188	177	
91083	120	103	270	
90176	81	64	218	( 1 )
90893	106	52	164	VT Carolina
90945	84	74	213	VT Miranorte

(1) Os aparelhos nº 216 e 352 também utilizados nesta estação, foram substituídos devido a problemas.

No modo de posicionamento por ponto isolado – PI, utilizando efemérides operacionais – EO, o processamento ocorreu de maneira normal, com exceção da estação 90212, que rastreada em dois períodos, apresentou problemas na gravação dos dados devido a pane do aparelho JMR-1215, o que não chegou a comprometer seu aproveitamento, pois, de 195 passagens rastreadas, 43 foram aproveitadas.

As estações rastreadas por mais de um período foram unificadas na fase de processamento, de modo a permitir uma melhor redução dos dados. As coordenadas obtidas através do processamento por ponto isolado (PI) foram utilizadas como informações iniciais no processamento em multiestação (ME).



No processamento conjunto das 14 estações no modo de multiestação – ME, foram realizados testes de fixação das coordenadas de estações através da ponderação dos respectivos desvios-padrão.

A seguir, um quadro resumo dos processamentos em multiestação.

coord. iniciais a partir de:	peso das coordenadas	observações	
VTs ( est.1, 2, 13 e 14)	10 m	rejeição maciça	(1)
PI- EO (demais estações)	25 m		
VTs (est. 1,2 , 13 e 14)	25 m	rejeição maciça	(1)
PI-EO (demais estações)	25 m		
PI-EO (todas as estações)	25 m	sem problemas	(2)
PI-EO (todas as estações)	10 m	sem problemas sem variação	(2) (3)

- (1) entenda-se por rejeição maciça o aproveitamento de um pequeno número de passagens (inferior a 20%), o que inviabiliza o processamento.
- (2) o resultado apresentado no final do processamento atende as expectativas normais, ou seja, o número de passagens rejeitadas encontra-se dentro da tolerância estabelecida [Fortes, 1985].
- (3) não houve variação no resultado final em relação ao resultado obtido com a utilização dos pesos de 25m.

Estatística do processamento final com multiestação, considerando como dados iniciais os resultados obtidos dos através do processamento por ponto isolado (PI), com efemérides operacionais (EO):

Número de passagens processadas: 305  
Número de passagens rejeitadas: 101  
Número de passagens aceitas: 204  
Variância posteriori: 1.194  
Desvios padrão máximos em X: 1.56m  
em Y: 2.32m  
em Z: 1.72m

### 3. ANÁLISE DO PROCESSAMENTO

De posse das coordenadas no sistema NWL-10D, obtidas através do processamento com multiestação, realizaram-se quatro cálculos distintos, em



microcomputador, para a transformação e transporte das coordenadas no sistema SAD-69, tomando-se como base cada uma das estações extremas.

Fixadas as bases para cada processamento, realizou-se a comparação entre as diferenças das coordenadas curvilíneas dos VTs e dos SATs (em SAD 69). A TABELA 2 mostra as discrepâncias médias em latitude, longitude e altitude, expressas em metros. Na análise desta tabela notam-se discrepâncias significativas de mais de 15 metros para a latitude e a longitude entre as coordenadas dos VTs e dos SATs extremos. Considerando que a figura das estações SATs possui uma precisão interna melhor que 5 ppm, ou seja, 1/200.000, valor confirmado em testes realizados, e que a precisão esperada da rede do SGB é de 1/100.000 (10 ppm), as discrepâncias encontradas entre os extremos (1-14, 1-13, 2-14 e 2-13), estão fora da tolerância.

**TABELA 2**

Comparação das diferenças relativas (VTs – SATs)

FIGURA 2

dif. entre	diferenças (m)	dist. (km)	diferença relativa (ppm)
(1) e (2)	d : -0.2 d : -1.3 dh : -8.5	411.2	3.1
(1) e (14)	d : 14.9 d : 12.9 dh : -3.4	1295.2	15.2
(1) e (13)	d : 14.6 d : 13.3 dh : -8.3	1532.0	12.9
(2) e (14)	d : 15.1 d : 14.1 dh : 5.1	902.4	22.9
(2) e (13)	d : 14.8 d : 14.5 dh : 0.2	1155.2	17.9
(13) e (14)	d : 0.4 d : -0.4 dh : -5.0	275.6	1.9

Base fixada estação (1)

Componente	Est. 1 SAT 90866	Est. 2 SAT 90454	Est. 14 SAT 90893	Est. 13 SAT 90945
dX [m]	8.8	5.5	-7.0	-4.0
dY [m]	-0.9	6.8	-1.8	-4.5
dZ [m]	14.7	16.8	1.5	0.6



módulo [m]	17.2	18.9	7.4	6.0
------------	------	------	-----	-----

Estes valores podem ser interpretados como resultante das componentes das distorções dos VTs da figura em relação à da rede SAT processada em multiestação com efemérides operacionais.

Analisando-se comparativamente os ajustamentos realizados na Rede Planimétrica de Alta Precisão (figura 3), percebe-se que os SATs do extremo leste (90893 e 90945) fazem parte de uma cadeia de triangulação ajustada com injunções de coordenadas ao norte e ao sul da cadeia. O entanto, o extremo oeste da figura dos SATs faz parte de duas cadeias com injunções de coordenadas somente no extremo sul, apresentando portanto, uma geometria menos controlada.

#### **REDE PLANIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO**



Para a inclusão das coordenadas das estações envolvidas no SGB, deparou-se com o problema da inconsistência na área oposta à base considerada, ou seja, quando fixada uma estação para o transporte das coordenadas, no extremo oposto da figura apareceram diferenças (inconsistência) entre as coordenadas dos VTs e dos SATs, da ordem de 15 metros. Na prática significa que nessa região nenhum trabalho pode ser apoiado utilizando simultaneamente informações dos VTs e dos SATs envolvidos.

Diante de tal problema, tem-se duas alternativas:

- 1º ajustar a rede clássica dos VTs considerando as “observações de diferenças de coordenadas implícitas na rede SAT,





2º o inverso, ou seja, ajustar a figura SAT à rede dos VTs.

Mesmo levando em consideração que a figura SAT é mais rígida, ou seja, sua precisão relativa é melhor que a precisão da rede clássica, em lados suficientemente grandes, como os do projeto, a primeira alternativa para esta área foi rejeitada em razão desta solução local fazer parte do Projeto de Ajustamento da Rede Planimétrica, ora em andamento.

Para contornar temporariamente este problema até a conclusão do referido projeto, optou-se por “deformar” a figura composta pelas estações SATs e ajustá-las aos VTs.

Nesta fase, utilizou-se um software de ajustamento de rede de nivelamento geométrico, com o qual realizaram-se três ajustamentos distintos, segundo cada componente dos eixos cartesianos; isto foi possível devido ao modelo linear de ajustamento altimétrico atender às necessidades, desde que se utilizem como observações as diferenças entre as componentes das coordenadas cartesianas, analogamente aos desníveis na altimetria. Os pesos para as coordenadas iniciais foram associados da mesma forma como são utilizados no nivelamento geométrico (inversamente proporcionais ao quadrado da distância).

Seguidamente calcularam-se, para cada componente, as diferenças relativas a todas as estações SAT envolvidas, a partir da solução em multiestação com efemérides operacionais.

Realizados os três ajustamentos, foram geradas coordenadas, para cada estação SAT, “adaptadas” à rede clássica.

Para cada ajustamento tem-se:

Número de observações (dif. de coordenadas).....	85
Número de incógnitas ( coordenadas).....	10
Número de graus de liberdade.....	70
Número de pontos envolvidos.....	14
Número de pontos fixos.....	04

A seguir algumas informações da estatística dos ajustamentos:

	Ajust. X	Ajust. Y	Ajust. Z
A priori [m <sup>2</sup> ]	1.000	1.000	1.000
A posteriori [m <sup>2</sup> ]	0.031	0.013	0.040
VTPV [m <sup>2</sup> ]	2.346	0.974	3.012
resíduo máximo [m <sup>2</sup> ]	6.840	7.810	10.640



Os valores obtidos para o somatório dos quadrados dos resíduos (VTPV) podem ser interpretados como a variância do conjunto (amostra) das coordenadas, quando considerados fixos os VTs.

#### **4. CONCLUSÃO**

Com este Projeto comprovou-se a viabilidade da instalação de uma rede básica na Região Amazônica, através da utilização da técnica de translocação, de modo a se obter uma distribuição mais homogênea de pontos do SGB no país.

A validade do método empregado, tanto na observação quanto no processamento, foi comprovada em razão da possibilidade de detecção de deformações locais da rede clássica com precisão em torno de 5 ppm, informação esta de vital importância para o Projeto de Ajustamento Planimétrico.

A precisão de 10 ppm da Rede Planimétrica de Alta Precisão do SGB é atendida localmente, sendo que o mesmo não pode ser dito quanto a grandes dimensões regionais. Em vista de tal fato, faz-se necessário, e de forma urgente, o ajuste da rede planimétrica de forma global, o que está sendo conduzido no projeto de ajuste citado anteriormente.

Cabe ressaltar que o IBGE encontra-se em fase de absorção de novas técnicas e métodos de posicionamento geodésico através de rastreamento de satélites artificiais, mais especificamente direcionada para a utilização do Sistema de Posicionamento Global – GPS, uma vez que foram adquiridos recentemente receptores GPS. Isto não diminui entretanto, a importância do trabalho executado, uma vez que as análises e pesquisas conduzidas serviram para enriquecer o domínio das técnicas de posicionamento por satélites em geral.

Na transição entre a utilização do Sistema TRANSIT para o GPS, novos conceitos aparecem, sendo viável, a custos menores, alcançar-se uma precisão de cerca de 1 a 2 ppm. Cria-se, dentro de outras aplicações a perspectiva de reobservação de toda a rede clássica com GPS, fazendo com que a implantação e o controle do SGB alcance níveis inatingíveis com os métodos disponíveis até o momento.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

FORTES, L.P.S. – Primeiros Resultados, no IBGE, da aplicação do método de multiestação, com arcos curtos, no processamento de observações de satélites do sistema TRANSIT. Trabalho apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1985.



- FORTES, L.P.S.; CAGNIN, I.F.; GODOY, R.A.Z. & BLITZOW, D. – Determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas NWL-10D, NSWG-9Z2, WGS e SAD-69. Trabalho apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Cartografia, Gramado, 1989.
- KOUBA, J. – GEODOP V – Geodetic Doppler Positioning Program (version v) – Gravity, Geothermic & Geodynamics Division, Earth Physics Branch, Department of Energy, Mines & Resources. Ottawa, 1983a.
- Users Guide – The GEODP V program system. Gravity, Geothermic & Geodynamics Division, Earth Physics Branch, Department of Energy, Mines & Resources. Ottawa, 1983b.

## 6. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos agradecimentos pela colaboração prestada para a confecção deste trabalho:

- às equipes de campo e de apoio do IBGE que as custas de enorme esforço e dedicação conduziram competentemente os levantamentos de campo necessários
- Luiz Paulo Souto Fortes
- Gilberto Pessanha Ribeiro
- Vera Ibanhez.