

GPS E CARTAS CONVENCIONAIS

LUIZ FELIPE FERREIRA
LEONARDO CASTRO DE OLIVEIRA

Instituto Militar de Engenharia - DE/6
Praça General Tibúrcio, 80
22290-270 - Praia Vermelha - Rio de Janeiro
E-Mail: S6PGRAD @ IMERJ

NICOLA PACILEO NETTO

Escola Politécnica da USP - PTR
Cidade Universitária - Caixa Postal 61.548
05508-000 - São Paulo

Resumo. Para o desenvolvimento de projetos que requerem informações geo-referenciadas, é necessária a existência de uma base cartográfica confiável e atualizada. O emprego da tecnologia GPS para o processo de atualização de cartas não é uma verdade muito distante para o caso do Brasil. Contudo, merece estudos adequados para o sua correta utilização. Este trabalho traduz um ensaio sobre o assunto. É apresentada uma metodologia e resultados para uma área de 6 km².

Abstract. A confidence and up to date cartographic map is indispensable to project development. The use of GPS technology in this up to dating process is quite a reality nowadays in Brasil. It's correct use request studies. This paper deals with a test in a 6 km² area. The methodology and some results are presented.

01. OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a adequação de um levantamento GPS à bases cartográficas existentes, desenvolvidas por metodologia clássica e portanto pressupondo: Sistemas Geodésicos Regionais, apoio terrestre com emprego de teodolitos e distânciometros, processo fotogramétrico.

02. INTRODUÇÃO

A Cartografia é fonte essencial de informações na busca de um desenvol-

vimento socio-econômico pleno. Desta forma, documentos cartográficos confiáveis tornam-se imprescindíveis a colimação de tais objetivos. Duas providências surgem neste contexto: a primeira, refere-se à atividade de produção do mapeamento onde o mesmo não seja disponível; a segunda, concernente às áreas já representadas, visando o processo de manutenção.

No que diz respeito à geração de documentos cartográficos, deve-se atentar à adequação entre as diversas escalas de representação e as necessidades inerentes ao desenvolvimento

da região considerada. Sob esta ótica, deve ser implementada uma Política Cartográfica Nacional onde os interesses de todos os níveis da administração sejam contemplados através da definição das escalas adequadas à solução das questões consideradas prioritárias. Agindo-se deste modo, afasta-se a probabilidade do "MAPEAR POR MAPEAR", otimizando-se a alocação de recursos técnicos, humanos e financeiros.

No tocante à manutenção de documentos já existentes, o cerne da questão reporta-se à atualização da base. Algumas propostas têm sido estudadas tanto ao nível da pesquisa quanto de efetiva viabilização. Como exemplo, cita-se o emprego de imagens orbitais, desenvolvimento de Sistemas de Informação Cartográfica, modelagem digital do terreno, entre outras. Restringindo o contexto às áreas urbanas, certos fatores devem ser considerados: algumas das técnicas disponíveis não são adequadas face aos dispositivos empregados na aquisição dos novos dados; a freqüência com que o espaço é modificado; o custo envolvido para suprir pequenas ou esparsas alterações; as características operacionais no espaço considerado - região residencial com construções de um pavimento ou zonas com alta concentração de prédios elevados.

Do exposto, caso a seleção de escala e método de atualização tenham sido adequadamente estabelecidos, de acordo com um princípio técnico - e não puramente político - será evidenciada a errônea idéia de que cartografia é uma atividade de custos muito elevados e deva ser realizada com investimentos a fundo perdido. Quando bem dimensionada, o emprego dos documentos produzidos, propiciará retorno tanto direto - mapeamento com fins de

arrecadação fiscal - como indireto - planejamento de uma rede de esgotos que irá minimizar a necessidade de investimentos imediatos na área de saúde pública.

Considerando a disponibilidade e a difusão do Sistema de Posicionamento GPS, no Brasil, bem como a progressiva redução de custo de custos, tanto dos receptores quanto de computadores eletrônicos tem-se nesta nova tecnologia uma promissora capacidade de emprego no processo de atualização cartográfica.

03. METODOLOGIA

O trabalho se desenvolveu de acordo com a seguinte seqüência:

- 1) seleção de uma base cartográfica em escala cadastral, produzida de maneira convencional;
- 2) seleção de pontos identificáveis tanto no terreno quanto na carta;
- 3) determinação das coordenadas dos referidos pontos a partir da execução de um levantamento com receptores GPS;
- 4) transformação das coordenadas referidas ao sistema geodésico WGS-84 para o sistema geodésico empregado no mapeamento;
- 5) transformação das coordenadas curvilineas geodésicas, anteriormente obtidas para o sistema de coordenadas relativo à projeção cartográfica;
- 6) digitalização da base escolhida;
- 7) comparação e análise de resultados.

03.1. Base Cartográfica

A área selecionada para consecução do trabalho foi a do campus da Universidade de São Paulo.

Assim sendo, foi procurado o órgão responsável pelo Sistema Cartográfico na região de São Paulo - Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S.A. /EMPLASA. Foi então obtida a folha SC-23-Y-C-IV-2-NO-C, Pinheiros, na escala 1 : 10.000, Sistema de Coordenadas UTM, referenciada ao elipsóide Internacional de Hayford e Sistema Geodésico de Córrego Alegre.

A área final escolhida compreende um retângulo de aproximadamente 2,0 km de extensão na direção Norte-Sul por 3,0 km na direção Este-Oeste. As razões de seleção desta reduzida área se devem ao tempo e quantidade de pessoal disponíveis à realização do trabalho não invalidando os resultados dele advindos.

03.2. Seleção dos Pontos

A seleção dos pontos a serem observados foi realizada de forma a atender os objetivos, ou seja, foram impostas as seguintes características:

- pontos de fácil identificação tanto na carta quanto no terreno;
- representativos de um levantamento para atualização, em situação real, ou seja, não deveriam ser escolhidos locais preconizados como ideais à implantação de redes geodésicas - horizonte limpo de obstáculos, afastados de torres de alta tensão ou similares e outros, conforme as normas emitidas pelo IBGE (1993);

- definição de feições que simulassem a atualização de vias públicas.

Foram escolhidos 6 pontos sobre canteiros nas principais avenidas e praças, próximos ao prédio da Engenharia Civil. Face as peculiaridades do serviço a ser realizado, estes pontos não foram materializados no terreno.

Um sétimo ponto adicional foi escolhido como estação remota a saber, o pilar I da base de calibração de distâncias, implantada ao longo da raia olímpica.

03.3. Levantamento GPS

Com auxílio do programa *Mission Plane*, versão 2.2 foi selecionada a janela de trabalho para o dia 06 de abril de 1994, entre 10:00 e 18:00 horas.

O rastreamento de satélites propriamente dito foi realizado pelo método estático-diferencial com emprego de dois equipamentos, caracterizando-se por um levantamento radial. Este procedimento permite o cálculo das coordenadas de cada ponto isoladamente. Uma das equipes permaneceu durante toda a campanha estacionada no Pilar I. A segunda equipe percorreu os seis pontos escolhidos de modo a obter as distâncias entre cada um e o ponto fixo.

Os equipamentos utilizados foram 2 Rastreadores TOPCOM, modelos GPS-RD1 pertencentes ao Dept. de Cartografia do Instituto Militar de Engenharia.

O tempo de rastreio em cada ponto foi estabelecido em 45 minutos. O tempo normalmente previsto, de duas horas, não foi atendido de forma a

melhor caracterizar um caso prático real e também em virtude da constelação GPS estar funcionando completa.

Em função de problemas de carga insuficiente na bateria do ponto fixo foram coletadas apenas 25 minutos de observações para o último ponto levantado - Pto 06.

A taxa de registro empregada foi de 20 segundos.

Não foram coletados os dados relativos às condições ambientais - temperatura seca, úmida e pressão - para fins de correção atmosférica visto a área trabalhada ser de pequena dimensão.

Em todas as fases do cálculo, a estação Pilar I foi assumida como a de referência, tendo as seguintes coordenadas referidas ao WGS-84:

Pilar I - WGS-84

$$\phi = -23^\circ 33' 03'', 0584$$

$$\lambda = -46^\circ 43' 53'', 6470$$

$$H = 718,1994 \text{ m}$$

Para processamento dos dados, foi empregado o programa GPPS v-5.00. Das possíveis soluções que o programa oferece, foram processadas 3 soluções para cada ponto:

a) Somente com a freqüência L1;

b) Somente com a freqüência L2;

c) L1, com correção Ionosférica.

Para cada uma das soluções acima mencionadas, o próprio programa realiza três diferentes formas de cálculo - tripla diferença de fase, dupla diferença de fase sem fixação da ambigüidade e dupla diferença de fase

com fixação da ambigüidade - evidenciando, ele mesmo, o melhor dos tres.

Os valores finais adotados foram obtidos após análise das precisões dos posicionamentos tri-dimensionais de cada solução. Foram assumidos os valores com menor desvio-padrão.

Os valores finais de coordenadas, no Sistema Geodésico WGS-84, são:

Pto 01 : solução a)

$$\text{Lat} = -23^\circ 33' 35'', 28782 \quad X = +4.011.178,1894 \text{ m}$$

$$\text{Lng} = -46^\circ 42' 58'', 84478 \quad Y = -4.258.653,1557 \text{ m}$$

$$\text{Alt} = 718,92768 \text{ m} \quad Z = -2.533.953,6475 \text{ m}$$

Pto 02 : solução a)

$$\text{Lat} = -23^\circ 33' 02'', 88393 \quad X = +4.010.060,8311 \text{ m}$$

$$\text{Lng} = -46^\circ 43' 57'', 73638 \quad Y = -4.260.242,6536 \text{ m}$$

$$\text{Alt} = 718,17410 \text{ m} \quad Z = -2.533.041,7013 \text{ m}$$

Pto 03 : solução b)

$$\text{Lat} = -23^\circ 33' 18'', 28813 \quad X = +4.010.466,9936 \text{ m}$$

$$\text{Lng} = -46^\circ 43' 31'', 79651 \quad Y = -4.259.600,6912 \text{ m}$$

$$\text{Alt} = 717,39485 \text{ m} \quad Z = -2.533.473,3779 \text{ m}$$

Pto 04 : solução b)

$$\text{Lat} = -23^\circ 33' 33'', 10432 \quad X = +4.010.165,2937 \text{ m}$$

$$\text{Lng} = -46^\circ 43' 48'', 36587 \quad Y = -4.259.634,8152 \text{ m}$$

$$\text{Alt} = 718,82488 \text{ m} \quad Z = -2.533.894,3831 \text{ m}$$

Pto 05 : solução a)

$$\text{Lat} = -23^\circ 33' 27'', 52911 \quad X = +4.009.831,3068 \text{ m}$$

$$\text{Lng} = -46^\circ 43' 58'', 81768 \quad Y = -4.260.043,5526 \text{ m}$$

$$\text{Alt} = 718,96688 \text{ m} \quad Z = -2.533.737,1197 \text{ m}$$

Pto 06 : solução a)

$$\text{Lat} = -23^\circ 33' 48'', 00626 \quad X = +4.010.530,6437 \text{ m}$$

$$\text{Lng} = -46^\circ 43' 16'', 93796 \quad Y = -4.259.053,5261 \text{ m}$$

$$\text{Alt} = 730,28828 \text{ m} \quad Z = -2.534.319,1638 \text{ m}$$

03.4. Transformação de Sistemas Geodésicos

Para adequação das coordenadas obtidas no rastreamento GPS, foi necessário se empregar uma transformação entre Sistemas Geodésicos.

O sistema GPS fornece coordenadas definidas no WGS-84 - *World Geodetic System 1984*.

No Brasil, o sistema oficialmente estabelecido pelo IBGE é o Sistema Geodésico Brasileiro, parte integrante do Sistema Sul-Americano - SAD-69.

Apesar desta determinação, existem diversas regiões que não atualizaram seus mapeamentos para o novo sistema, continuando a empregar o Sistema de Córrego Alegre.

Considerando que não existem parâmetros relacionando diretamente os Sistemas WGS-84 e de Córrego Alegre, para execução deste trabalho, os pontos definidos em WGS-84 foram inicialmente transformados para SAD-69 e deste para Córrego Alegre.

Assim, foi assumido:

WGS-84 → CA = WGS-84 → SAD-69 → CA

O modelo matemático empregado foi o Abreviado de Molodenskii.

Para a transformação WGS-84 → SAD-69 foram tomados os parâmetros publicados por Fortes et alii (1989).

$$\begin{aligned}\Delta X &= + 66,87 \text{ m} \\ \Delta Y &= - 4,37 \text{ m} \\ \Delta Z &= + 38,52 \text{ m}\end{aligned}$$

Para a transformação SAD-69 → CA foram tomados 3 grupos de parâmetros:

o primeiro definido para todo o Brasil, pelo IBGE (1983) são considerados oficiais para este tipo de transformação;

$$\begin{aligned}\Delta X &= + 138,70 \text{ m} \\ \Delta Y &= - 164,40 \text{ m} \\ \Delta Z &= - 34,40 \text{ m}\end{aligned}$$

o segundo, definido por Blitzkow & Lazzaro (1988), considerando 32 vértices da rede geodésica da região leste do estado de São Paulo;

$$\begin{aligned}\Delta X &= + 149,83 \text{ m} \\ \Delta Y &= - 180,08 \text{ m} \\ \Delta Z &= - 34,92 \text{ m}\end{aligned}$$

e o terceiro, também definido por Blitzkow & Lazzaro (1988), considerando 90 vértices e englobando todo o território nacional.

$$\begin{aligned}\Delta X &= + 147,44 \text{ m} \\ \Delta Y &= - 177,33 \text{ m} \\ \Delta Z &= - 36,23 \text{ m}\end{aligned}$$

Finalmente, compondo os parâmetros para realizar a transformação desejada, WGS-84 → CA, chega-se à:

Grupo 01 - Oficiais - [Of]

$$\begin{aligned}\Delta X &= + 205,57 \text{ m} \\ \Delta Y &= - 168,77 \text{ m} \\ \Delta Z &= + 4,12 \text{ m}\end{aligned}$$

Grupo 02 - Blitzkow 1 - [B1]

$$\begin{aligned}\Delta X &= + 216,70 \text{ m} \\ \Delta Y &= - 184,45 \text{ m} \\ \Delta Z &= + 3,60 \text{ m}\end{aligned}$$

Grupo 03 - Blitzkow 2 - [B2]

$$\begin{aligned}\Delta X &= + 214,31 \text{ m} \\ \Delta Y &= - 181,70 \text{ m} \\ \Delta Z &= + 2,29 \text{ m}\end{aligned}$$

03.5. Transformação ao Sistema Projetivo

A transformação das coordenadas curvilíneas do Sistema Geodésico de Córrego Alegre para o sistema de coordenadas plano-retangulares UTM, faz-se por intermédio de formulação

clássica e consagrada, disponível na bibliografia e portanto não será apresentada. Neste trabalho, foi utilizado um programa, desenvolvido em linguagem Pascal.

03.6. Digitalização da Base

Considerando a disponibilidade de um já razoável parque instalado para execução de cartografia digital, e de modo a atender os objetivos concorrentes às aplicações de atualização digital de cartas e Carta Eletrônica de Navegação, foi executada a digitalização vetorial de feições características da região para posterior comparação com as advindas do rastreamento.

A digitalização se verificou com auxílio do programa CartoCAD versão 2.0, cedido ao Instituto Militar de Engenharia pela Aeromapa Consultoria e instalado em um PC-AT 386.

03.7. Comparação e Análise de Resultados

Efetuados todos os processamentos possíveis das observações GPS, foi possível escolher as coordenadas que ofereceram melhor precisão relativa ao posicionamento tridimensional; realizadas as transformações disponíveis para que as coordenadas referidas ao sistema WGS-84 estivessem também definidas no sistema Córrego Alegre e, posteriormente a transformação destas coordenadas para o sistema projetivo do documento original obteve-se uma amostra de três valores de coordenadas para os pontos selecionados, faltando estabelecer o referencial para as análises.

Assim, considerando os objetivos do trabalho para atendimento à atua-

lização cartográfica, foram assumidas como reais e verdadeiras, as posições espaciais definidas no corpo da carta, embora se espere uma maior precisão no resultado do rastreamento.

Interpoladas [In]

Pto 01 : N = 7.393.478,41 m
E = 325.072,36 m

Pto 02 : N = 7.394.461,47 m
E = 323.151,83 m

Pto 03 : N = 7.393.982,04 m
E = 323.901,86 m

Pto 04 : N = 7.393.519,86 m
E = 323.665,89 m

Pto 05 : N = 7.393.651,24 m
E = 323.202,14 m

Pto 06 : N = 7.393.072,56 m
E = 324.336,06 m

Assim, o conjunto de coordenadas tomado como base de comparação foi coletado a partir do lançamento visual dos pontos sobre a carta e posterior interpolação. Foram realizadas 3 determinações para cada ponto e aceita a média, desde que a discrepância entre os valores limite não ultrapasse o PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica na escala considerada.

A seguir são apresentadas as comparações realizadas.

[Dg - In]

	dN	dE	RMS
Pto 01	- 5,38 m	- 1,85 m	+ 5,69 m
Pto 02	- 5,78 m	- 0,39 m	+ 5,79 m
Pto 03	- 4,84 m	0,78 m	+ 4,11 m
Pto 04	- 0,28 m	1,97 m	+ 1,99 m
Pto 05	0,83 m	2,19 m	+ 2,34 m
Pto 06	- 1,69 m	- 1,74 m	+ 2,43 m

[Of - In]

	dN	dE	RMS
Pto 01	- 5,88 m	+ 2,63 m	+ 6,37 m
Pto 02	- 17,34 m	+ 14,28 m	+ 22,46 m
Pto 03	- 0,28 m	+ 5,56 m	+ 5,56 m
Pto 04	+ 0,58 m	+ 4,87 m	+ 4,11 m
Pto 05	+ 34,38 m	- 57,52 m	+ 67,01 m
Pto 06	- 2,55 m	+ 3,76 m	+ 4,54 m

[B1 - In]

	dN	dE	RMS
Pto 01	+ 1,38 m	- 0,89 m	+ 1,38 m
Pto 02	- 10,24 m	+ 11,56 m	+ 15,44 m
Pto 03	+ 6,88 m	+ 2,84 m	+ 7,44 m
Pto 04	+ 7,68 m	+ 1,32 m	+ 7,79 m
Pto 05	+ 41,49 m	- 60,25 m	+ 73,15 m
Pto 06	+ 4,56 m	+ 1,01 m	+ 4,67 m

[B2 - In]

	dN	dE	RMS
Pto 01	- 1,34 m	+ 0,88 m	+ 1,34 m
Pto 02	- 12,88 m	+ 11,73 m	+ 17,42 m
Pto 03	+ 4,24 m	+ 3,81 m	+ 5,28 m
Pto 04	+ 5,81 m	+ 1,50 m	+ 5,23 m
Pto 05	+ 38,81 m	- 60,07 m	+ 71,52 m
Pto 06	+ 1,91 m	+ 1,19 m	+ 2,25 m

Os Gráficos 01 a 05 expressam visualmente as diferenças entre as coordenadas calculadas e as tomadas como referência.

Os resultados encontrados abordam dois aspectos: a influência do processo de digitalização - Gráfico 01 e, o comportamento dos parâmetros de transformação disponíveis entre WGS-84 e CA - Gráficos 02 a 05.

A análise do Gráfico 01 traduz um comportamento aleatório das discrepâncias obtidas. Este comportamento era de certa forma esperado, visto que os erros inerentes a coleta de observações tendem a ter um comportamento aleatório. O valor máximo do

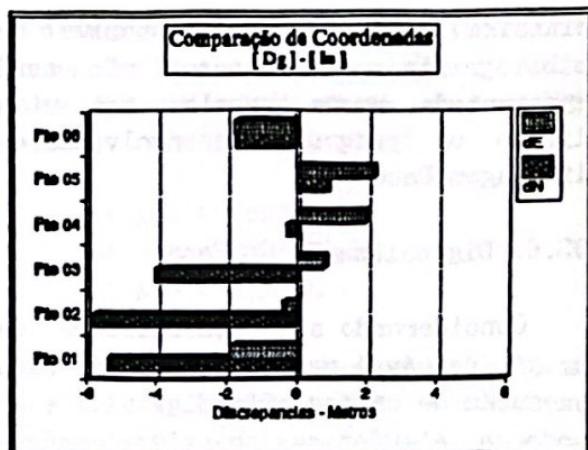


Gráfico 01

erro resultante é da ordem de 6,5 m, portanto maior que a precisão especificada para a carta - 2,5 m. Este dado é significativo no âmbito da Cartografia, e assim sendo, deve merecer especial atenção.

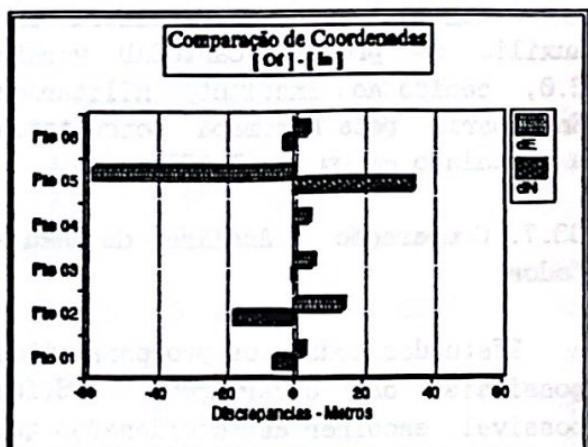


Gráfico 02

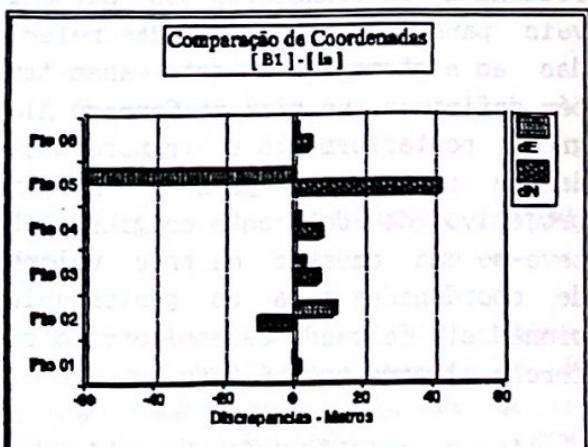


Gráfico 03

Os Gráficos 01 a 04 tem algumas peculiaridades. É evidente que os pontos 2 e 5, pelo comportamento heterogêneo dentro da amostra, apresentam problemas que devem ser investigados distintamente. Quanto ao ponto 2, uma análise DOP, permite verificar a inadequabilidade do intervalo do tempo para o rastreio. Os gráficos DOP - *Dilution of Precision*, expressam o erro devido a configuração geométrica dos satélites. Foram observados valores altos para o PDOP quando do rastreamento do ponto 2.

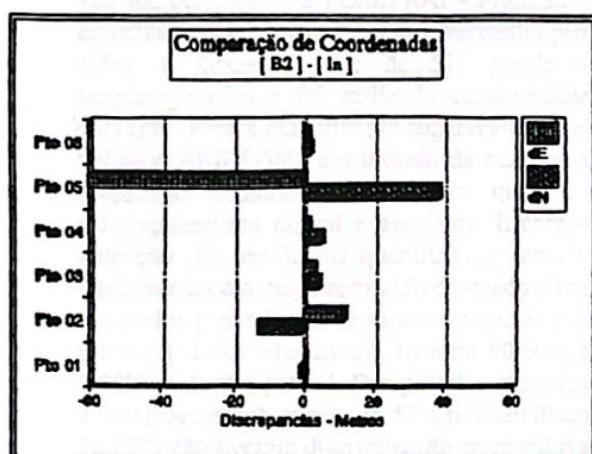


Gráfico 04

Considerando o ponto 5, existe a possibilidade de uma componente do erro ser referente a identificação do ponto na carta. Contudo, problemas adicionais ao próprio rastreio devem ter ocorrido como por exemplo, um comportamento anômalo dos sinais GPS devido ao grande número de ônibus se deslocando pela rua; houve ainda a presença de um caminhão que estava sendo estacionado e, nas manobras, se aproximou do ponto de rastreio.

Os outros 4 pontos tiveram comportamento com tendência sistemática. No caso da coordenada Este, todos os pontos tiveram discrepância positiva, independente do experimento feito; a coordenada Norte também teve grande concentração de discrepâncias positivas.

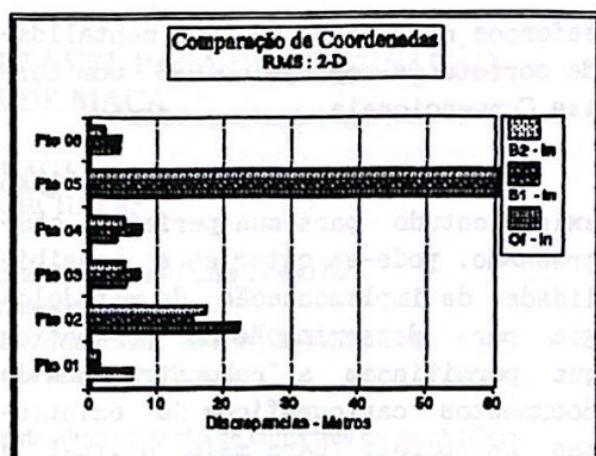


Gráfico 05

mas, mais notadamente nos experimentos que usaram os parâmetros calculados por Denizar. Uma análise do último gráfico, a excessão do ponto 1, mostrou certa compatibilidade quanto a precisão bidimensional, com valores na sua maioria em torno de 5,0 m. A pequena amostra, ainda prejudicada com os possíveis problemas nos pontos 2 e 5, não permite estabelecer com segurança as razões que levaram o trabalho a obter tais resultados. Há de se ressaltar que no caso dos últimos 4 gráficos, tão importante quanto o conhecimento do sistema GPS é o conhecimento a respeito dos parâmetros de transformação entre sistemas geodésicos.

04. CONCLUSÕES

Do ensaio realizado fica muito mais a evidência de um tema para estudo do que a apresentação de respostas esclarecedoras. O adequado mapeamento do território nacional, bem como sua suficiente atualização são essenciais ao país. Os investimentos alocados para este fim devem contemplar a absorção de novas tecnologias. Os resultados encontrados, se por um lado insuficientes na elucidação total da questão, por outro se mostram suficientes para que se concentrem

esforços na criação de uma mentalidade correta de emprego do GPS com Cartas Convencionais.

Das inúmeras questões que irão exigir estudo para sua perfeita compreensão, pode-se citar se a possibilidade de implementação de metodologia para determinação de parâmetros que permitissem a "reconstrução" de documentos cartográficos já existentes em papel, para meio digital e compatíveis com coordenadas advindas de um levantamento GPS, ou seja, as coordenadas determinadas via GPS poderiam ser locadas diretamente na nova carta, num sistema projetivo que tivesse um sistema geodésico regional como referência.

05. BIBLIOGRAFIA

BLITZKOW, D. & LAZZARO, A.C. Parâmetros de Transformação de Sistemas Geodésicos: SAD-69 - Córrego Alegre. Presidente Prudente. V Encontro Nacional de Engenheiros Cartógrafos - ENECART. 1988. 10 pp.

FORTES, L.P.S.; CAGNIN, I.F.; GODOY, R.Z. & BLITZKOW, D. Determinação dos Parâmetros de Transformação entre os Sistemas NWL-10D, NSWC-922, WGS-84 e o SAD-69. Gramado. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Cartografia - volume I. 21-26 de maio de 1989. pp.157-65.

HRADILEK, L. & HAMILTON, A.C. A Systematic Analysis of Distortions in Map Projections - Lecture Notes # 34. Fredericton. University of New Brunswick. 1973. 37 pp.

IBGE Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS - versão preliminar. Rio de Janeiro. fevereiro/1993. 20 pp.

IBGE Suplemento do Boletim de Serviços. Ano XXXII, nº 1602, semana 331. Rio de Janeiro, 10 de agosto de 1983.