

AVALIAÇÃO DOS REQUISITOS ESPECÍFICOS DA NORMA BRASILEIRA NBR 14.166/1998 COM ÊNFASE AO POSICIONAMENTO COM O NAVSTAR-GPS

Evaluation specific requirements of the Brazilian norm NBR 14166/1998 with emphasis to the NAVSTAR-GPS positioning

MARIA MADALENA SANTOS DA SILVA
CLÁUDIA PEREIRA KRUEGER
LUÍS AUGUSTO KOENIG VEIGA

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática
Caixa postal 81.531-990, Curitiba –PR
madasantos, ckruieger, kngveiga @ufpr.br

RESUMO

A constante evolução da tecnologia na área da Geodésia, vem proporcionando um debate pela comunidade científica com relação aos equipamentos e técnicas empregados nos levantamentos geodésicos. Esta pesquisa desenvolveu uma investigação com relação às recomendações da norma brasileira NBR 14.166/1998 (Rede de Referência Cadastral Municipal- Procedimento) quando utilizado o *Navigation System with Time And Ranging - Global Positioning System* (NAVSTAR-GPS) no auxílio à densificação do apoio geodésico básico, necessário para a implantação das redes de referências cadastrais. Para isso, partindo-se dos pontos de apoio geodésico básico existentes nas regiões de estudo, determinou-se as coordenadas dos pontos geodésicos de apoio imediato. Buscando avaliar as precisões fornecidas pelas diversas estratégias de processamento empregadas, foram analisados os resultados de bases curtas (até 18 km) e bases médias (de 22 a 89 km), processadas com dois programas distintos para a detecção do chamado “Ruído do *software*”. Também desenvolveu-se uma discussão sobre o emprego das diversas técnicas de processamento e suas respectivas precisões, além de avaliar-se a interferência da atividade ionosférica. Uma das constatações desta pesquisa trata da recomendação da norma em estudo em empregar receptores de monofrequência para linhas de bases de até 50 km, o que para os casos analisados, comprovou ser inviável.

Palavras-chave: levantamentos geodésicos, processamento de dados GPS, influências da ionosfera

ABSTRACT

The constant evolution of technology into the geodesy area has been proportionate to discussions by the scientific community about the equipments and techniques to be used in geodetic surveys. This research has been developed to observe the useful of Navigation System with Time And Ranging - Global Positioning System (NAVSTAR-GPS) to support the basic geodetic support densification, necessary to the cadastral referential nets implementation, according to the Brazilian norm NBR 14.166/1998 recommendations. This way, starting from the basic geodetic stations in the studied region, the coordinates of the new geodetic stations were estimated. To evaluate the precisions through several data processing strategies, an analysis of the results for short baselines (até 18 km) and medium baselines (of 22 a 89 km) was performed, where the GPS data were processing with two deferent's programs to detect the well call "Software noise". Also a discussion about the different processing techniques and its precisions was developed including the evaluations of influences of ionosphere activities. One of the ascertainment of this research is related to the recommendation to use the simple frequency receivers for baselines up to 50 Km contained in the analyzed norm which, for all the analyzed cases, was unfeasible.

Keywords:geodetic surveys, processing data GPS, influences of ionosphere

1 INTRODUÇÃO

Hoje, com o avanço da tecnologia e o desenvolvimento urbano surge a necessidade de suprir as deficiências cadastrais, tanto pela organização da infraestrutura urbana como nas regularizações de propriedades rurais. No desejo de suprir essas carências, o sistema de posicionamento *Global Positioning System* (GPS) tornou-se um grande aliado em levantamentos cadastrais, transporte de coordenadas, locação de obras, etc. Suas principais qualidades são: facilidade de operação, baixo custo e abrangência de uso, pois é possível coletar informações nos locais mais remotos.

A publicação da Norma Brasileira NBR 14.166/1998 veio padronizar a implantação e monumentação de redes de referência cadastrais municipais, bem como todos os procedimentos para a sua determinação. Esta norma orienta e fixa as diretrizes gerais para a implantação da Rede de Referência de Cadastro Municipal (RREFCM). Esta rede, quando devidamente vinculada à rede oficial, contribui de maneira decisiva ao apoio dos trabalhos de cadastro. A vinculação da rede cadastral à rede de referência oficial pode ser realizada mediante posicionamento com GPS, na implantação dos marcos geodésicos de apoio imediato.

Com o propósito de aplicar as técnicas GPS em trabalhos cadastrais, alguns tópicos relacionados ao posicionamento com GPS devem ser investigados, como por exemplo a minimização de erros nos resultados finais dos posicionamentos. Esta minimização de erros pode ocorrer quando alguns fatores são considerados, como por exemplo: a existência de uma maior atividade ionosférica, a habilidade do

operador na manipulação, no processamento e ajustamento dos dados e o programa utilizado para este processamento. Todos esses fatores podem comprometer e embutir no resultado final alguns ruídos. Estes ruídos podem implicar em um comprometimento da coordenada final quando se faz um posicionamento preciso, como o desejado para o apoio cadastral.

Este trabalho pretende discutir os resultados obtidos a partir de posicionamento por GPS, em diferentes condições da intensidade da atividade ionosférica e também comparar o processamento dos dados utilizando dois programas comerciais, afim de discutir a existência ou não do chamado “ruído do *software*”.

2 DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS

Os dados coletados para este trabalho foram adquiridos no banco de dados do Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Os dados foram distribuídos em quatro grupos, sendo estes referentes aos anos de 1998, 1999 e 2000.

O critério para a seleção dos dados foi aplicado devido ao nível de atividade ionosférica existente no ano. De acordo com Camargo (1999, p.29) o ano de 1998 foi considerado de média intensidade da atividade ionosférica, já o ano de 2000 foi dado como de pico para essa atividade. Essa variação ionosférica é função do ciclo solar, que é simétrico e possui uma duração de 11 anos. Segundo Fonseca (2002, p.31), esse ciclo tem um período de cerca de 4,8 anos para sair do ponto mínimo e atingir o máximo. Do período de máximo até atingir o mínimo, o intervalo é de cerca de 6,2 anos. O último mínimo de intensidade ocorreu em 1996 e o último máximo em 2000. Portanto o próximo período de mínimo será em torno de 2006-2007 e o próximo máximo em 2010-2011.

Para a realização desta pesquisa foram escolhidos quatro grupos de dados em diferentes anos.

Os grupos 1 e 4 possuem a mesma estação base e o mesmo ponto ocupado. A estação base utilizada para os posicionamentos relativos estáticos foi o marco PARA, pertencente a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e localizado nas dependências da UFPR. O ponto utilizado nas duas situações se localiza no município de Pontal do Sul, nas dependências do Centro de Estudos do Mar (CEM) da UFPR, e foi denominado CEM1. A linha de base formada é de 89,6 km. Os dados do grupo 1 datam de 1998 sendo seus dados coletados durante 9 dias de rastreamento sucessivos. Para o grupo 4, foram observados dados durante 5 dias consecutivos no ano de 2000. Ambos os grupos tiveram os dados da base coletados e pós-processados pelo programa científico Bernese 4.2, desenvolvido pela Universidade de Berne, Suíça.

Os dados do grupo 2 (Tunas do Paraná 1999) utilizaram como estação base o ponto PARA, na determinação das coordenadas padrão do marco RN2044, sendo a aquisição dos dados realizada a partir de um posicionamento relativo estático. Esses

dados foram pós-processados e ajustados pelo programa científico Geonap-K, da empresa GEO++, Garbsen, Alemanha. A linha de base formada entre a base PARA e o ponto RN2044 possui aproximadamente 55,9 km.

O grupo 3 de dados GPS foi obtido no ano de 1999 durante uma campanha na região dos municípios de Ponta Grossa e São Mateus do Sul. Para o grupo 3 foram utilizadas duas estações bases pertencentes à Secretária de Meio Ambiente do Estado do Paraná (SEMA). A primeira situa-se no Município de Ponta Grossa, denominada BSPG e a outra no município de São Mateus do Sul, chamada BSSM. Foram coletados dados de quatro pontos, sendo dois deles no município de Palmeira e os outros dois no município de São João do Triunfo. Para efeito de análise neste trabalho serão apresentados apenas um ponto de cada região.

As coordenadas geodésicas, denominadas padrão, dos pontos citados em cada grupo encontram-se na tabela 1. É importante observar que essas coordenadas foram obtidas com pós-processamentos nos programas científicos citados anteriormente. Para obtenção dos dados de todas as campanhas e grupos foram empregados receptores geodésicos de dupla frequência.

Tabela 1. Coordenadas padrão (WGS-84) grupos 1 (1998), 2 (1999), 3 (1999), 4 (2000).

Ponto	Grupo	Latitude	Longitude	Altitude geométrica h (m)
CEM1	1 e 4	-25° 34' 22,95160"	-48° 21' 00,13040"	1,284
RN2044	2	-24° 57' 31,58420"	-49° 05' 49,11109"	961,686
PT01	3	-25° 26' 03,90401"	-49° 59' 40,43446"	881,989
PT03	3	-25° 40' 46,13787"	-50° 17' 43,58828"	794,780

Com o objetivo de avaliar o chamado “ruído do *software*”, avaliar a pertinência da retirada de alguns satélites no processamento dos dados e a melhor combinação linear no processamento, foram empregadas diversas estratégias e dois softwares para o processamento dos dados. Foram utilizadas quatro estratégias no programa comercial Prism e uma estratégia com o programa comercial Ashtech Solutions.

O software Prism desenvolvido pela empresa Ashtech Inc. apresenta algumas possibilidades de manipulação dos dados por parte do usuário antes do processamento, tais como: omissão de alguns satélites, combinação entre as portadoras de forma a produzir diversas estratégias de processamento. As seleções são feitas pelo usuário de forma manual durante o processamento dos dados observados. Neste programa foram então adotadas as seguintes estratégias: *Wide Lane* (WL), *Ionosphere-free* (LC), *Wide Lane* (WL) com omissão de satélites e *Ionosphere-free* (LC) com omissão de satélites.

A estratégia de processamento *Ionosphere-free* ou Livre de ionosfera (LC) é recomendada para utilização quando se tem bruscas variações de ionosfera. Esta estratégia também possibilita a modelagem da ionosfera.

As estratégias *Wide Lane* com omissão de satélites e *Ionosphere-free* com omissão de satélites são semelhantes às demonstradas anteriormente, porém com a omissão de alguns satélites, que podem estar prejudicando a qualidade do resultado. Salienta-se que eles podem, por exemplo, estar contribuindo com poucas observações.

O *software* Ashtech Solutions também desenvolvido pela empresa Ashtech Inc. apresenta um procedimento de processamento automatizado, de modo que não permite ao usuário a seleção da combinação linear ou dos satélites. A única grandeza passível de alteração pelo usuário é o nível de confiança da solução. Para este trabalho, optou-se pelo nível de confiança igual a 95% no processamento dos dados.

Na tabela 2 apresenta-se um resumo das estratégias adotadas nos processamentos dos grupos de dados com as devidas nomenclaturas adotadas para as discussões futuras.

Tabela 2. Resumo das estratégias adotadas

Nomenclatura	Processamento	Estratégia	Software
WL	A	<i>Wide Lane</i>	Prism
LC	B	<i>Ionosphere free</i>	Prism
WLSS	C	<i>Wide Lane</i> com omissão de satélites	Prism
LCSS	D	<i>Ionosphere free</i> com omissão de satélites	Prism
C95	E	Confiabilidade da solução de 95%	Ashtech Solutions

3 RESULTADOS ALCANÇADOS

A determinação das coordenadas precisas dos marcos CEM1, RN2044 foi realizada mediante um transporte de coordenadas do marco PARA. Os pontos PT01 e PT03 tiveram suas coordenadas precisas obtidas a partir das coordenadas dos marcos BSPG e BSSM, sendo estes pertencentes à Rede Geodésica de Alta Precisão do Estado do Paraná realizada pela SEMA. Com o emprego do GPS é possível fazer este transporte mesmo que a distância supere a recomendada pelas Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos do IBGE publicada em 1998. Esta norma indica em seu Quadro I (p.2), que para um levantamento de precisão de 2ª ordem, a distância entre as estações devem variar de 10 a 70 km. Este tipo de levantamento contempla as situações onde na região de estudo, não exista um marco pertencente ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

Como exemplo dos resultados obtidos pelos processamentos citados anteriormente, a tabela 3 ilustra os resultados obtidos para o marco CEM1 do grupo 1. O mesmo procedimento foi aplicado a todos os demais dados dos grupos 2, 3 e 4. Na tabela 4 são apresentados os parâmetros para análise dos resultados obtidos.

Tabela 3. Coordenadas geodésicas (WGS-84) calculadas do marco CEM1

Processamento	Latitude	Longitude	Altitude Geométrica (m)	Linha de Base (km)
A	-25° 34' 22,95196"	-48° 21' 00,12917"	1,5314	89,63859
B	-25° 34' 22,95196"	-48° 21' 00,12917"	1,4520	89,63859
C	-25° 34' 22,95188"	-48° 21' 00,13025"	1,4260	89,63856
D	-25° 34' 22,95196"	-48° 21' 00,12917"	1,4520	89,63859

Tabela 4. Parâmetros obtidos com o processamento marco CEM1

Processamento	RATIO (%)	RMS (m)	Nº de Satélites
A	FLOAT	± 0,0234	13
B	FLOAT	± 0,0235	13
C	100	± 0,0238	7
D	FLOAT	± 0,0235	7

Observando-se as tabelas 3 e 4 nota-se, que o processamento C gerou a melhor solução, em face de que a coordenada obtida apresenta o valor mais próximo à coordenada padrão, também apresenta valor para o erro médio quadrático (*root mean square*: RMS) igual a ± 0,0238 m e o melhor RATIO (confiabilidade da solução em relação a fixação das ambiguidades). De acordo com LEISTNER (1995, p.65), o RATIO é calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$RATIO = \frac{\chi^2_{f,2}}{\chi^2_{f,1}} \quad (1)$$

Se o valor resultante dessa relação for maior que 5, significa que a variância da melhor combinação de ambiguidades é significativamente melhor que a segunda combinação, então a solução é considerada fixa. Se o valor resultante for menor que 5, então a solução é considerada flutuante.

A tabela 5 apresenta as melhores coordenadas geodésicas obtidas para os quatro grupos. Esses resultados foram obtidos de forma análoga aos da tabela 3 e 4.

A tabela 6 apresenta os erros médios quadráticos obtidos com os melhores processamentos para os marcos pertencentes aos grupos 1, 2, 3 e 4.

Tabela 5. Melhores coordenadas geodésicas (WGS-84) calculadas para os marcos dos grupos 1, 2, 3 e 4

Marco	Grupo	Processamento	Latitude	Longitude	Altitude Geométrica (m)
CEM1	1	C	-25° 34' 22,95188"	-48° 21' 00,13025"	1,4260
RN2044	2	C	-24° 57' 31,58440"	-49° 05' 49,11096"	961,708
PT01	3	C	-25° 26' 03,90405"	-49° 59' 40,43424"	881,889
PT03	3	C	-25° 40' 46,13782"	-50° 17' 53,58810"	794,777
CEM1	4	C	-25° 34' 22,95190"	-48° 21' 00,12931"	1,2940

Tabela 6. Melhores parâmetros obtidos com o processamento grupos 1, 2, 3 e 4

Marco	Grupo	Processamento	RATIO (%)	RMS (m)	N.º de Satélites Processados	N.º total de satélites
CEM1	1	C	100	±0,0238	07	13
RN2044	2	C	100	±0,0213	06	13
PT01	3	C	100	±0,0175	07	11
PT03	3	C	100	±0,0136	06	08
CEM1	4	C	100	±0,0227	09	13

A análise dos resultados obtidos para este trabalho gerou como melhor estratégia de processamento a solução C (*Wide Lane* com omissão de satélites pelo programa Prism). Chegou-se a esta conclusão analisando os valores para coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude geométrica), os valores de RATIO e erro médio quadrático.

Com a finalidade de comparação entre os resultados nas tabelas 7 e 8 serão apresentados os piores resultados obtidos para os mesmos dados e grupos apresentados acima.

Tabela 7. Piores coordenadas geodésicas (WGS-84) calculadas para os marcos dos grupos 1, 2, 3 e 4

Marco	Grupo	Processamento	Latitude	Longitude	Altitude Geométrica (m)
CEM1	1	A	-25° 34' 22,95196"	-48° 21' 00,12917"	1,5314
RN2044	2	E	-24° 57' 31,58441"	-49° 05' 49,11145"	961,790
PT01	3	D	-25° 26' 03,90394"	-49° 59' 40,43409"	881,799
PT03	3	D	-25° 40' 46,13775"	-50° 17' 53,58803"	794,694
CEM1	4	E	-25° 34' 22,95329"	-48° 21' 00,13082"	1,3750

A tabela 8 apresenta os parâmetros obtidos com os piores processamentos para os marcos pertencentes aos grupos 1, 2, 3 e 4 e que correspondem as soluções apresentadas na tabela 7.

Tabela 8. Piores parâmetros obtidos com o processamento grupos 1, 2, 3 e 4

Marco	Grupo	Processamento	RATIO (%)	RMS (m)	N.º de Satélites Processados	N.º de satélites
CEM1	1	A	FLOAT	±0,0234	13	13
RN2044	2	E	95	±0,0856	13	13
PT01	3	D	FLOAT	±0,0184	07	11
PT03	3	D	FLOAT	±0,0230	06	08
CEM1	4	E	95	±0,4440	13	13

Comparando-se os resultados apresentados nas tabelas 5 e 6 com as tabelas 7 e 8 observa-se que a retirada de dados brutos de um ou mais satélites pode conduzir a soluções mais confiáveis, possibilitando assim uma completa fixação das ambigüidades. Nesse mesmo contexto é notório que a manipulação dos dados

durante os processamentos por parte dos operadores torna-se, por vezes, decisiva visando obter-se qualidade e confiabilidade nas soluções.

Os demais processamentos realizados com este conjunto de dados demonstraram que a omissão de satélites contribui para um bom resultado quando aplicado ao processamento A (WL/Prism), contudo, para o processamento B (LC/Prism) tornou-se algumas vezes prejudicial. Este fator negativo da subtração de satélites é comprovado pela literatura, pois o processamento *Wide Lane* (A) procura fixar as ambigüidades em seu processo de solução dos dados. Já o processamento LC utiliza todos os dados disponíveis, portanto um maior volume de dados torna-se interessante, mesmo que o resultado final não possua um bom desempenho.

3.1 Análise do erro no posicionamento horizontal (grupos 1, 2, 3 e 4)

Para um melhor entendimento dos resultados apresentados anteriormente, a análise referente ao erro no posicionamento horizontal será realizada. Este erro contempla os resíduos encontrados nas coordenadas geodésicas curvilíneas latitude e longitude de forma conjunta. O erro no posicionamento horizontal (ϵ_p) é calculado por:

$$\epsilon_p = \sqrt{\sigma_\varphi^2 + \sigma_\lambda^2} \quad (2)$$

onde:

σ_φ : desvio padrão da coordenada φ (latitude);

σ_λ : desvio padrão da coordenada λ (longitude).

A tabela 9 mostra o erro no posicionamento horizontal (ϵ_p) para os marcos CEM1 (1998 – Grupo 1), RN2044 (1999 – Grupo 2), PT03 e PT04 (1999 – Grupo 3) e CEM1 (2000 – Grupo 4)

Tabela 9. Melhores valores para os erros no posicionamento horizontal (ϵ_p)

Marco	Grupo	Processamento	ϵ_p (m)
CEM1	1	C	0,0135
RN2044	2	C	0,0144
PT01	3	C	0,0148
PT03	3	C	0,0256
CEM1	4	C	0,0142

Tabela 10 – Piores valores para os erros no posicionamento horizontal (ϵ_p)

Marco	Grupo	Processamento	ϵ_p (m)
CEM1	1	A	0,0286
RN2044	2	E	0,0856
PT01	3	D	0,0248
PT03	3	D	0,0819
CEM1	4	E	0,1643

As tabelas 9 e 10, apresentam os valores do erro no posicionamento horizontal

(ε_p) obtido para os marcos dos grupos 1, 2, 3 e 4. O menor ε_p obtido foi para o processamento C (WLSS/Prism) em todos os grupos. Já o pior ε_p apresentado é verificado para os processamentos do tipo D e E. Em todos os casos (inclusive os não apresentados neste texto) a diferença entre o melhor e o pior ε_p variou de 1,5 cm a 15 cm. As maiores discrepância foram percebidas nos processamentos do tipo E, o que pode ser um indicativo do chamado “ruído do *software*”, pois o mesmo grupo de dados processados em dois *softwares* diferentes apresentou uma discrepância elevada em relação aos dados.

3.2 Análise da influência da atividade ionosférica nos processamentos dos grupos 1 (1998), 2 (1999), 3 (1999) e 4 (2000).

Nesta seção, serão avaliados os erros provocados pela influência da ionosfera nos resultados obtidos com o processamento dos dados, visando a obtenção de coordenadas finais dos pontos. Para que este valor de influência possa ser quantificado mais claramente, as coordenadas dos pontos serão expressas no sistema de coordenada do sistema de Projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM). As análises sobre a ação da ionosfera também foram avaliadas pelo programa TEQC (*Translate, Edit, Quality Check*), este programa foi desenvolvido pela UNAVCO (Universidade de Consortium – EUA), e realiza análise da qualidade de dados GPS em relação a presença de atividade ionosférica, multicaminho do sinal, estado do relógio do receptor e perdas de ciclos.

Neste trabalho, a realização das análises considerou o melhor e o pior resultado obtido para cada coordenada calculada e a coordenada padrão. A tabela 11 apresenta os valores das coordenadas padrão e calculadas para o marco CEM1 no sistema de Projeção UTM referido ao sistema geodésico *South American Datum* (SAD-69).

Tabela 11. Coordenadas UTM referidas ao SAD-69 – marcos dos grupos 1,2,3 e 4

Marco	Processamento	Qualificação	Grupo	N (m)	E (m)	h (m)
CEM1		Padrão	1	7.168.983,13390	766.262,58420	4,5155
CEM1	C	melhor	1	7.168.983,12210	766.262,58820	4,9415
CEM1	A	Pior	1	7.168.983,12520	766.262,61840	5,0469
RN2044		Padrão	2	7.238.314,68440	692.169,73920	965,22950
RN2044	C	Melhor	2	7.238.314,67820	692.169,74270	965,25050
RN2044	E	Pior	2	7.238.314,67810	692.169,72900	965,33250
PT01		Padrão	3	7.186.611,48830	601.150,96860	884,39970
PT01	C	Melhor	3	7.186.611,48710	601.150,97470	884,29970
PT01	D	Pior	3	7.186.611,49040	601.150,97890	884,20970
PT03		Padrão	3	7.159.667,85570	570.472,38710	796,72680
PT03	C	Melhor	3	7.159.667,85720	570.472,39920	796,72380
PT03	D	Pior	3	7.244.178,09220	600.371,33680	1352,5294
CEM1		Padrão	4	7.168.983,13390	766.262,58420	4,5155
CEM1	C	Melhor	4	7.168.983,12400	766.262,61450	4,80950
CEM1	E	Pior	4	7.168.983,08210	766.262,57150	4,89050

A tabela 12 mostra as diferenças calculadas entre as coordenadas obtidas com os processamentos analisados (melhor e pior solução) e as coordenadas padrão do ponto CEM1.

Tabela 12. Diferença entre as coordenadas padrão e as calculadas dos marcos dos grupos 1,2,3 e 4

Marco	Processamento	Qualificação	Grupo	Diferença N (m)	Diferença E (m)	Diferença h (m)
CEM1	C-padrão	Melhor	1	0,0118	-0,0040	-0,4260
CEM1	A-padrão	Pior	1	0,0870	0,0342	0,5314
RN2044	C-padrão	Melhor	2	-0,0062	0,0035	0,0210
RN2044	E-padrão	Pior	2	-0,0063	-0,0102	0,1030
PT01	C-padrão	Melhor	3	-0,0012	0,0061	-0,1000
PT01	D-padrão	Pior	3	0,0021	0,0103	-0,1900
PT03	C-padrão	Melhor	3	0,0015	0,0121	-0,0030
PT03	D-padrão	Pior	3	0,2365	-1,0503	555,8026
CEM1	C-padrão	Melhor	4	-0,0099	0,0303	0,2940
CEM1	E-padrão	Pior	4	-0,0518	-0,0127	0,3750

Nos resultados apresentados na tabela acima, verifica-se que as diferenças obtidas para as coordenadas N e E tiveram um comportamento homogêneo. Para a coordenada N, os valores variaram 0,1 cm a 23 cm (no pior caso). A diferença para a coordenada E variou um pouco mais, ficou entre 0,3 cm a 1 m (no pior caso). A maior diferença nesta coordenada foi de 1,05 m no processamento do marco PT03, que não foi consistente para a pior solução. Já para as diferenças na altitude geométrica houveram variações, os valores oscilaram entre 0,3 cm a 53 cm (excluindo-se deste comentário o valor obtido para o marco PT03). As diferenças apresentadas acima podem ser justificadas pelo horário de coleta dos dados. Os dados dos grupos 2 e 3 foram coletados num intervalo de tempo entre as 11 h e as 17 h. A literatura mostra que para posicionamento com GPS, a coordenada mais afetada por influências atmosféricas é a altitude. CAMARGO (1999, p.28) mostra que o principal fator para a variação diurna é a iluminação solar. Desta forma, fica demonstrada que a máxima densidade alcançada para o Conteúdo Total de Elétrons (TEC) está no período entre 12:00 h e 16:00 h e influi na solução das coordenadas.

De acordo com esta afirmação, verifica-se que os dados dos grupos 2 e 3 tiveram seus levantamentos realizados justamente entre o horário de máxima densidade alcançada para o TEC, podendo assim ter prejudicado a acurácia de seus resultados.

Com o intuito de analisar a influência desta atividade nos dados coletados serão feitas análises com relação a este assunto. Realizando análises das listagens fornecidas pelo TEQC sobre os dados do marco CEM1 e PARA, constatou-se que ambos sofreram a ação de efeitos ionosféricos, o que pode ser um indicio da influência desse efeito em suas coordenadas finais. Além desse efeito esses dados

apresentaram a ação de multicaminhamento do sinal recebido, o que também contribuiu para uma perda de qualidade nas soluções finais.

Para o grupo de dados 2, análises semelhantes foram realizadas e obteve-se as seguintes informações: a estação base PARA e a RN2044 apresentaram em seus dados os efeitos da atividade ionosférica, principalmente quando os satélites observados estavam próximos a elevação de 15° (limite mínimo para observação), e também apresentaram ocorrência de multicaminho do sinal e atraso do relógio do receptor. Constatou-se também que o horário de observação do marco RN2044 iniciou-se por volta das 13 h, propiciando a ação do efeito ionosférico.

As análises no programa TEQC dos dados do grupo 3 apresentaram pouca atividade ionosférica e a constelação de satélites manteve-se constante durante todo o levantamento, não ocasionando perdas significativas de sinal. Desta forma observou-se que este foi o grupo que menos sofreu a influência de qualquer tipo de efeito ionosférico. Este grupo teve grande parte de seus dados observados no período noturno, por isso a mínima presença de ionosfera em seus dados. Para o grupo 4, o programa TEQC acusou a presença de atividade ionosférica nos marcos PARA e CEM1, além de efeito multicaminho e atraso do relógio do receptor. Esses efeitos podem ser os causadores das diferenças obtidas principalmente na coordenada altimétrica do ponto CEM1. Mas apesar do ano 2000 apresentar grande intensidade de efeitos ionosféricos, a geometria da constelação nos horários de rastreio e abundância de dados coletados possibilitou uma melhor solução dos dados.

Cabe ressaltar que em todos os grupos, os resultados obtiveram este nível de qualidade após a eliminação dos piores satélites para processamento dos dados, pois estes comprometiam a qualidade final da solução dos pontos em estudo.

4 CONCLUSÕES

Baseando-se nos testes aplicados, a estratégia de retirada de alguns satélites, mostrou favorecer o processamento dos dados proporcionando a fixação de ambigüidades, antes consideradas flutuantes. Essa consideração ocorreu de forma geral, em todos os grupos de dados em que ela foi aplicada, apresentando melhores índices de precisão de forma conjunta.

O processamento A (*Wide Lane*) sem a manipulação dos dados, apresentou ótimos resultados quando utilizada no processamento de linhas de base de até 60 km. Isto pode ser verificado quando se avalia os valores obtidos para o Grupo 2 – Tunas do Paraná. É importante lembrar, que a norma NBR 14.166/1998 – Rede de Referência Cadastral Municipal, recomenda que acima de 50 km, seja utilizado o processamento B (LC - *Ionosphere Free*). Porém os mesmos índices calculados para LC apresentaram valores de pior qualidade, para estes casos em estudo.

Para todos os grupos de dados foram realizadas várias análises para verificar a influência da ionosfera nos resultados finais das coordenadas. Foi identificado nos dados cujos levantamentos de campo ocorreram entre 12:00 h e 16:00 h, que a ação

ionosférica eleva as diferenças entre a coordenada padrão e a coordenada calculada para a ordem do decímetro. Principalmente a coordenada altimétrica, que sofreu um acréscimo de até 1m. Esta ação fica mais evidente nos dados que possuem poucas horas de rastreamento, ou seja, poucas observações. Uma forma de evitar esses erros nas coordenadas é realizar levantamentos em horários noturnos ou pelo começo da manhã evitando os horários de maior iluminação solar, que ocasionam uma elevação do TEC (Conteúdo Total de Elétrons) na ionosfera.

Com relação a ação da ionosfera nos resultados finais das coordenadas, a utilização do processamento C (*Wide Lane* com omissão dos satélites) proporciona a recuperação dos dados em que foram detectadas influências ionosféricas e que acusavam inconsistência dos dados. Isto pode ser verificado em todos os grupos analisados em que o processamento A (*Wide Lane*) e B (*Ionosphere Free*) não produziram resultados satisfatórios, principalmente nos dados do grupo 2 – Tunas do Paraná 1999.

Os testes realizados neste trabalho de pesquisa comprovaram o que diz a literatura, de que quando há efeito devido a ação ionosférica, o emprego de receptores de dupla frequência proporciona uma melhor modelagem.

Mediante a análise dos dados do Grupo 4 – Litoral 2000, pode-se concluir que existe a presença do ruído do software, com relação a programas distintos. Neste trabalho empregou-se os programas Prism e Ashtech Solutions, ambos desenvolvidos pela mesma empresa. Verificou-se neste caso que para o processamento E (Ashtech Solutions/C95), em todos os pontos processados ocorreu um deslocamento dos valores obtidos em relação as demais soluções geradas pelos outros processamentos. Para os resultados do erro no posicionamento horizontal verificou-se que o deslocamento foi da ordem de 10 cm.

5 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) , 1998. *NBR 14.166: Rede de referência cadastral municipal – procedimento*. Rio de Janeiro.
- BRICEÑO, J.G. 2000. *Avaliação do posicionamento estático rápido para distâncias médias*. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) Curitiba, 79 f. – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
- CAMARGO, P.O. 1999. *Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência*. Curitiba, 191 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.
- FONSECA, E. S. 2002. *O sistema GPS como ferramenta para a avaliação da refração ionosférica no Brasil*. São Paulo, 176 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

LEISTNER, H. 1995. *Untersuchung der GPS-Auswertesoftware PRISM für hochpräzise kinematische Anwendungen*. Hannover, 138f. Diplomarbeit - Universität Hannover.

(Recebido em março de 2006. Aceito em julho de 2006)

