

Precisão e Acurácia de Coordenadas via Suavização da Pseudo-distância em Linhas de Base Curta e Longa

Adolfo Lino de Araújo ¹

Flávio Boscatto ²

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira ³

UFSC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
88040-970 Florianópolis SC

¹lino.adolfo@gmail.com

²flavioboscatto@gmail.com

UDESC – Departamento de Geografia
8035-001 Florianópolis SC

³chicoliver@yahoo.com.br

Resumo: A suavização das pseudo-distâncias é um método largamente utilizado quando se deseja obter uma solução de coordenadas com Receptores GPS de navegação ou de mapeamento de ordem submétrica. Este trabalho apresenta o resultado do processamento de dados GPS através do método de suavização das pseudo-distâncias pela fase da onda portadora em linhas de base curta e longa. Os resultados mostraram que com um tempo de coleta de 30 segundos, o PEC planimétrico classe A para uma linha de base de 11 km chegou a 1:4000, para uma linha de 150 km, a 1:5000 e para os dados coletados em modo absoluto o valor ficou em torno de 1:12500.

Palavras-chave: GPS, suavização das pseudo-distâncias, PEC

Abstract: The pseudodistances smoothing is a widely used method when the aim is to obtain a solution of coordinates with GPS receivers for navigation and mapping of submeter order. This paper presents the result of processing of GPS data by the method pseudodistances smoothing for short and long baselines. The results indicate that with a sampling time of 30 seconds, the planimetric PEC class A for a 11 km baseline reaches 1:4000, for a 150 km baseline reaches 1:5000 and for absolute mode data the value is around 1:12.500.

Keywords: GPS, pseudodistances smoothing, PEC

1 Introdução

A determinação de posições na superfície da Terra com base na observação de objetos ou corpos no espaço não é recente na história da humanidade, entretanto, com o advento do posicionamento por satélites artificiais as técnicas de mapeamento de feições foram levadas a limites nunca antes imaginados.

A partir da década de 1960, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América passou a desenvolver um sistema de radio-navegação, chamado NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite with Time And Ranging-Global Positioning System), que se tornou parâmetro para o surgimento posterior de outros sistemas (GLONASS, Galileo, Compass) que hoje compõem o que se chama genericamente de GNSS, ou, numa tradução livre, Sistemas Globais de Navegação por Satélite. Como pioneiro, o sistema americano é hoje o que possui maior número de satélites em operação e funcionamento mais estável, tendo seus sinais liberados para uso civil desde a década de 1980. A hegemonia neste campo é tão grande que a sigla GPS ainda é utilizada em muitos casos para se referir aos sistemas como um todo, muito embora diga respeito apenas à constelação, sinais e aos segmentos do sistema americano. Neste trabalho, especificamente, referiremo-nos apenas ao sistema americano, pois somente os seus sinais foram utilizados e utilizaremos a sigla GPS para nos referir ao sistema em uso.

São perfeitamente conhecidas a estrutura dos códigos e sinais enviados, a modelagem e a matemática envolvida no posicionamento via satélites. Os satélites GPS enviam duas ondas portadoras L1 e L2, e dois códigos, C/A e P, modulados sobre estas ondas. Conforme Monico (2000), o código C/A (*Coarse Acquisition*) tem comprimento de onda aproximadamente de 300 m, já o código P (*Precise*) tem comprimento de onda de 30 m aproximadamente, sendo o primeiro menos preciso que o segundo. Quando modulados sobre as ondas portadoras os códigos tem comprimento de onda aproximados de 19 cm e 24 cm, respectivamente. O posicionamento em terra é realizado, basicamente, pela determinação das distâncias a um conjunto mínimo de satélites no espaço, também chamadas pseudo-distâncias. O código C/A, por diversos fatores, entre eles o seu comprimento de onda, é o que dá os resultados mais imprecisos de pseudo-distância, e portanto, de posição. É sabido que uma maneira de melhorar a qualidade da pseudo-distância do código C/A, é combinar as medidas de pseudo-distância e da fase da onda portadora, num processo denominado suavização do código (Silva et. al., 2006).

De acordo com Holfman-Wellenhof (1994) e Araújo Neto (2006), suavização é a técnica utilizada para melhorar as estimativas antecedentes para as coordenadas e a velocidade através de uma nova medida. Este método que muitas vezes é chamado de suavização da pseudo-distância (*pseudorange smoothing*) pela portadora, refere-se a uma filtragem da pseudo-distância pela fase portadora, utilizando a definição de filtragem de Kalman (Monico, 2000).

Atualmente, a suavização de código C/A ganhou destaque no Brasil com a aceitação do INCRA desta técnica como uma dentre as quais pode-se obter precisões menores que 50cm para o georreferenciamento de imóveis rurais e diversos trabalhos tem sido publicados avaliando os resultados obtidos em diferentes situações. O interesse tornou-se crescente também devido à diferença da faixa de preços muito menor dos equipamentos que permitem a coleta de dados brutos de código C/A e posterior suavização pela fase da onda portadora, daqueles que operam somente via fase, mais precisos, porém mais caros. O INCRA permite a utilização desse método quando o estático e o cinemático são inviáveis como também para o levantamento de vértices tipo C5 (limites naturais) e C7 (uso restrito onde não é possível abertura de clareiras, por exemplo, em Áreas de Preservação Permanente-APP).

Este trabalho objetivou avaliar a precisão e a acurácia de coordenadas obtidas por um receptor GPS com dados brutos de código C/A suavizados pela portadora L1 e processados com linhas de bases em duas situações diferentes, uma próxima de até 11 km de distância e outra longa de cerca de 150 km de distância. Inicialmente, pretendeu-se coletar dados de pontos de controle com precisão submétrica para a correção geométrica de imagens de satélite. Não se pretendia avaliar a precisão e acurácia para diferentes tempos de rastreamento, mas apenas para um intervalo de 30 segundos e discutir os seus resultados analisando os valores alcançados das coordenadas planimétricas, e dando uma indicação de que tipo de levantamentos podem se beneficiar da técnica nestas mesmas condições.

2 Material e Método

Para o rastreamento das pseudo-distâncias dos pontos em campo foi utilizado um receptor MobileMapper10 (Figura 1), fabricado pela Ashtech, com antena interna que é capaz de operar com 20 canais rastreando a constelação GPS (código C/A e fase L1) bem como satélites geoestacionários da rede SBAS (WAAS/EGNOS/MSAS). O dispositivo roda sob a plataforma Windows Mobile 6.5. A coleta de dados foi feita com o software proprietário MobileMapper Field e o pós-processamento no software MobileMapper Office.

O levantamento foi realizado na zona rural compreendida entre os municípios de Gaspar e Ilhota, Estado de Santa Catarina. O rastreamento em campo foi feito em 17 de março de 2012 sobre 20 pontos de controle cujas coordenadas¹ foram conhecidas através do rastreamento com receptores L1/L2 da marca Topcon modelo Hiper Lite+, com tempo de rastreamento que variou entre 15 a 30 minutos. Para o levantamento dos pontos de controle foi instalado um ponto base (BASE-ILHOTA), que teve suas coordenadas calculadas com base no ponto UFPR pertencente a RBMC-IBGE. Todos os vetores tiveram a solução fixa. Os dados foram processados através do programa Topcon Tools versão 7.5.1 e os resultados estão apresentados na Tabela 1.

1 Todas as coordenadas apresentadas neste trabalho estão em UTM e referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro Sirgas2000



Figura 1 : Receptor GPS MobileMapper10 da Ashtech

Tabela 1 : Coordenadas dos pontos de controle levantadas com receptores L1/L2

Ponto	Coord E (m)	Coord N (m)
01A	715227,283	7024909,710
03A	711689,281	7029054,288
09A	707223,784	7035575,631
02A	709717,650	7023916,704
06A	701670,397	7037512,854
07A	704751,521	7031372,711
08A	701655,805	7029468,446
02C	709050,159	7023991,010
04C	701882,192	7031904,662
08C	705627,215	7037299,155
01C	714305,745	7026854,497
03C	704778,430	7025582,343
05C	711074,627	7029891,237
06C	709689,651	7032072,011
09C	705527,847	7036051,067
10C	707206,159	7029110,514
11C	701491,576	7026338,875
12C	716094,633	7030868,583
13C	702704,280	7033607,190
14C	699541,893	7030498,645

Sobre cada ponto de controle foi realizado também o rastreamento de dados com duração de 30 segundos utilizando o MobileMapper10. As coordenadas dos pontos base nas duas situações, base curta e base longa, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 : Coordenadas das estações de referência.

Ponto	Coord E (m)	Coord N (m)
Base Ilhota	708776,610	7034094,214
RBMC-UFPR	677878,515	7184223,311

Para o processamento na situação 1, com base curta, a maior linha de base mediu cerca de 11 km de

comprimento (Figura 2).

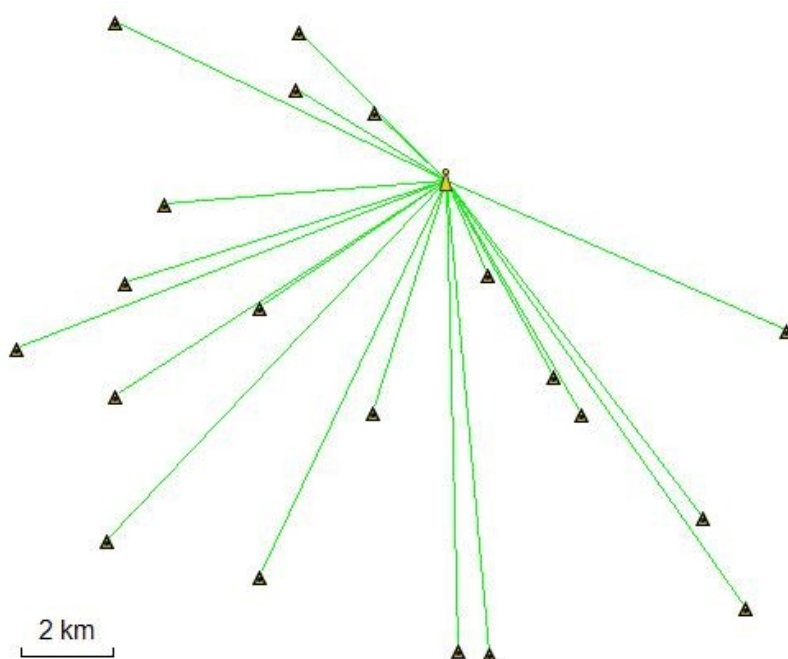


Figura 2 : Estação de referência próxima, situação de linha de base curta

Para o processamento na situação 2, com base longa, foi utilizado arquivo de dados da estação de referência da UFPR em formato Rinex. As linhas de base tiveram um comprimento de aproximadamente 150 km nesta situação (Figura 3).

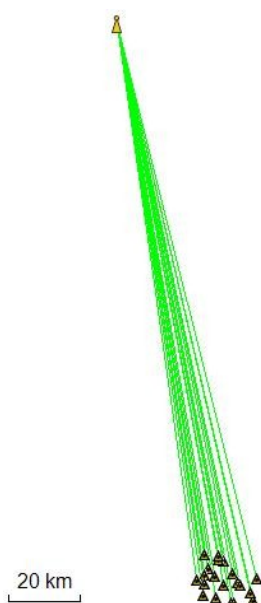


Figura 3 : Estação de referência distante, situação de linha de base longa

As coordenadas pós-processadas, bem como a qualidade das posições, obtidas através do programa MobileMapper Office nas duas situações, base curta e base longa, foram comparadas com as coordenadas conhecidas dos pontos de controle. O número de satélites e os valores de PDOP (*Position Dilution of Precision*) estão apresentados na Tabela 3. Conforme se pode verificar, os valores de PDOP

apresentam-se baixos, o que garante uma boa geometria da constelação nos instantes em que a coleta de dados foi realizada.

Tabela 3 : PDOP e número de satélites no processamento com base curta e base longa

Ponto	Base curta		Base longa	
	PDOP	SVs	PDOP	SVs
06C	1,8	8	3,2	6
05C	2,0	8	3,1	6
03A	1,9	10	3,0	7
10C	2,3	9	2,8	8
07A	2,1	8	2,1	8
13C	2,0	7	3,1	6
04C	2,7	6	2,7	6
14C	2,2	7	2,2	7
08A	1,8	8	2,7	7
11C	2,0	8	2,5	7
03C	1,9	9	3,4	6
02C	1,9	8	2,9	6
02A	1,9	8	2,5	6
01A	1,7	8	1,7	8
01C	2,0	7	2,6	6
12C	2,1	7	2,5	6
09A	1,9	8	1,9	8
09C	1,7	9	2,2	7
08C	2,1	9	2,3	8
06A	2,2	9	2,5	8

No programa MobileMapper Office a sequência de trabalho consiste basicamente em inserir os arquivos em formato shapefile originais do levantamento, os dados brutos das pseudo-distâncias, os dados brutos da estação de referência a ser utilizada e realizar o processamento (Figura 4), obtendo-se o resultado final que pode ser visualizado graficamente na forma de novas camadas de shapefiles que recebem o mesmo nome da original acrescidos dos termos “pós-processado” e “final” (Figura 5). Também são visualizadas aprovadas ou reprovadas as linhas de base entre os pontos levantados e a posição da base. É possível estabelecer parâmetros para o controle de qualidade do processamento, limitando a precisão horizontal (HRMS), a precisão vertical (VRMS) e o PDOP máximos aceitáveis (Figura 6). Neste trabalho, os valores foram deixados em branco, significando que não foram adotados limites para estes parâmetros. Ao final, os resultados podem ser exportados para um arquivo em formato KML, capaz de ser visualizado no GoogleEarth, ou em formato CSV (*comma separated values*), que pode ser visualizado na forma de uma tabela no Microsoft Excel contendo todos os valores resultantes do processamento dos dados (Figura 7).



Figura 4 : Sequência de botões para processamento dos dados no programa MobileMapper Office

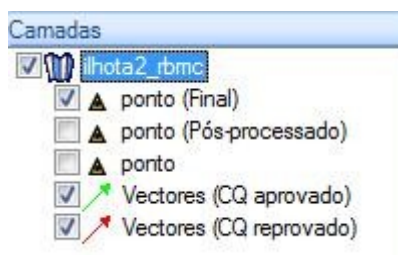


Figura 5 : Shapefiles criados após o processamento dos dados no programa MobileMapper Office

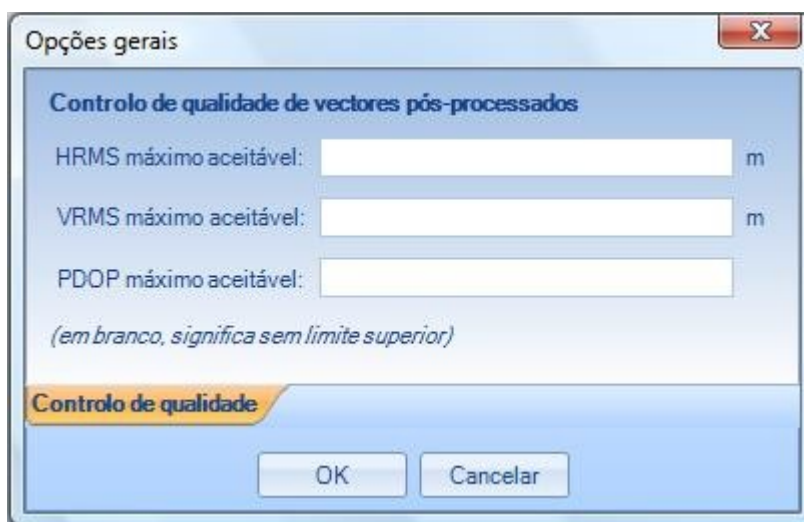


Figura 6 : Caixa de controle de qualidade do processamento no programa MobileMapper Office

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Leste	Norte	Altura	Length	HRMS	VRMS	PDOP	Easting 1	Northing 1	Height 1	Easting 2	Northing 2	Height 2	Time	Span	Epochs	SVs	Used
2	708776,610	7034094,214	25,990	2219,594	0,800	1,068	1,8	708776,610	7034094,214	25,990	709690,212	7032071,040	18,101	08:51:27	63	63	8	True
3	709690,212	7032071,040	19,101	2219,594	0,800	1,068	1,8	708776,610	7034094,214	25,990	709690,212	7032071,040	18,101	08:51:27	63	63	8	True
4	709690,212	7032071,040	18,101	2219,594	0,800	1,068	1,8	708776,610	7034094,214	25,990	709690,212	7032071,040	18,101	08:51:27	63	63	8	True
5	708776,610	7034094,214	25,990	4789,032	1,003	1,720	2,0	708776,610	7034094,214	25,990	711075,414	7029892,227	15,444	09:06:07	51	51	8	True
6	711075,414	7029892,227	16,444	4789,032	1,003	1,720	2,0	708776,610	7034094,214	25,990	711075,414	7029892,227	15,444	09:06:07	51	51	8	True
7	711075,414	7029892,227	15,444	4789,032	1,003	1,720	2,0	708776,610	7034094,214	25,990	711075,414	7029892,227	15,444	09:06:07	51	51	8	True
8	708776,610	7034094,214	25,990	5820,087	1,118	2,824	1,9	708776,610	7034094,214	25,990	711689,164	7029054,385	9,379	09:34:08	34	34	10	True
9	711689,164	7029054,385	10,379	5820,087	1,118	2,824	1,9	708776,610	7034094,214	25,990	711689,164	7029054,385	9,379	09:34:08	34	34	10	True
10	711689,164	7029054,385	9,379	5820,087	1,118	2,824	1,9	708776,610	7034094,214	25,990	711689,164	7029054,385	9,379	09:34:08	34	34	10	True
11	708776,610	7034094,214	25,990	5222,861	0,738	4,010	2,3	708776,610	7034094,214	25,990	707207,100	7029112,116	49,642	09:57:42	45	45	9	True
12	707207,100	7029112,116	50,642	5222,861	0,738	4,010	2,3	708776,610	7034094,214	25,990	707207,100	7029112,116	49,642	09:57:42	45	45	9	True

Figura 7 : Arquivo CSV contendo o resultado do processamento exportado no programa MobileMapper Office

3 Resultados

Monico (2000) e Araújo Neto (2006) concordam e sugerem que para se determinar a acurácia de um ponto, deve-se escolher outras estações com coordenadas conhecidas com qualidades iguais ou superiores a que será levantada, e a diferença entre os valores encontrados e os conhecidos será a acurácia. As diferenças, portanto, representam a acurácia das coordenadas obtidas no intervalo de coleta dos dados determinado para este trabalho.

A Tabela 4 mostra as coordenadas dos pontos em modo absoluto e com o processamento para o intervalo de tempo estabelecido nas duas situações, ou seja, processado com o ponto de base curta (Base Ilhota) e com a estação de referência usada como base longa (RBMC-UFPR). A Tabela 5 indica a qualidade da

posição na situação de processamento com base curta e base longa.

Comparando as coordenadas conhecidas para os 20 pontos e processadas com as duas bases, podemos verificar o desvio dos valores das coordenadas obtidas sem e com a técnica de suavização do código pela fase da onda portadora nas situações de base curta e base longa, bem como as respectivas acurácias. Estes valores se encontram na Tabela 6.

Tabela 4 : Coordenadas dos pontos em modo absoluto e processados pelas base curta e base longa

Ponto	Absoluto		Base curta		Base longa	
	Coord E (m)	Coord N (m)	Coord E (m)	Coord N (m)	Coord E (m)	Coord N (m)
06C	709687,991	7032072,461	709690,212	7032071,040	709690,693	7032070,521
05C	711077,547	7029891,672	711075,414	7029892,227	711076,299	7029893,301
03A	711691,449	7029054,095	711689,164	7029054,385	711689,026	7029053,895
10C	707206,402	7029115,315	707206,500	7029111,116	707207,514	7029112,058
07A	704751,488	7031374,721	704751,554	7031372,772	704752,260	7031372,127
13C	702704,258	7033607,618	702705,202	7033604,182	702705,455	7033604,295
04C	701884,467	7031904,727	701882,327	7031904,767	701882,875	7031904,388
14C	699543,534	7030498,598	699541,651	7030497,992	699542,722	7030497,332
08A	701658,368	7029466,540	701655,790	7029468,428	701656,637	7029467,975
11C	701494,573	7026335,915	701491,736	7026338,927	701492,812	7026338,626
03C	704781,482	7025579,496	704778,747	7025582,371	704779,538	7025581,827
02C	709052,200	7023989,066	709049,391	7023991,335	709050,564	7023990,639
02A	709720,489	7023914,184	709717,011	7023917,744	709717,590	7023917,376
01A	715228,979	7024904,822	715225,969	7024909,588	715226,839	7024908,769
01C	714308,853	7026853,311	714305,664	7026855,859	714306,286	7026855,460
12C	716097,922	7030868,461	716094,936	7030869,972	716095,582	7030869,137
09A	707224,603	7035570,916	707223,594	7035576,049	707223,529	7035576,099
09C	705531,029	7036049,055	705528,571	7036053,143	705528,903	7036052,752
08C	705629,845	7037295,977	705627,432	7037299,705	705627,233	7037299,931
06A	701673,017	7037511,849	701670,691	7037512,787	701670,796	7037512,847

Tabela 5 : Precisões obtidas no processamento via base curta e longa

Ponto	Base curta	Base longa
	HRMS (m)	HRMS (m)
06C	0,800	1,140
05C	1,003	1,106
03A	1,118	1,050
10C	0,738	0,809
07A	1,174	1,020
13C	1,584	1,172
04C	1,332	1,104
14C	1,233	0,994
08A	0,963	1,028
11C	0,850	0,841
03C	0,657	0,819
02C	1,156	1,108
02A	0,903	0,838

01A	1,498	1,404
01C	1,050	0,972
12C	1,055	1,022
09A	1,053	1,030
09C	0,987	1,021
08C	1,000	1,145
06A	0,745	0,915

Tabela 6 : Desvios e acurácias horizontais obtidas em modo absoluto e com processamento via base curta e base longa

Ponto	Absoluto			Base curta			Base longa		
	ΔE (m)	ΔN (m)	Acur (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	Acur (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	Acur (m)
10C	-0,243	-4,801	4,807	-0,341	-0,602	0,692	-1,355	-1,544	2,054
11C	-2,997	2,960	4,213	-0,160	-0,052	0,168	-1,236	0,249	1,261
12C	-3,289	0,122	3,292	-0,303	-1,389	1,422	-0,949	-0,554	1,099
13C	0,022	-0,428	0,429	-0,922	3,008	3,146	-1,175	2,895	3,124
14C	-1,641	0,047	1,642	0,242	0,653	0,696	-0,829	1,313	1,553
1A	-1,696	4,888	5,174	1,314	0,122	1,320	0,444	0,941	1,041
1C	-3,108	1,186	3,327	0,081	-1,362	1,364	-0,541	-0,963	1,105
2A	-2,839	2,520	3,796	0,639	-1,040	1,221	0,060	-0,672	0,675
2C	-2,041	1,944	2,819	0,768	-0,325	0,834	-0,405	0,371	0,549
3A	-2,168	0,193	2,177	0,117	-0,097	0,152	0,255	0,393	0,469
3C	-3,052	2,847	4,174	-0,317	-0,028	0,318	-1,108	0,516	1,222
4C	-2,275	-0,065	2,276	-0,135	-0,105	0,171	-0,683	0,274	0,736
5C	-2,920	-0,435	2,952	-0,787	-0,990	1,265	-1,672	-2,064	2,656
6A	-2,620	1,005	2,806	-0,294	0,067	0,302	-0,399	0,007	0,399
6C	1,660	-0,450	1,720	-0,561	0,971	1,121	-1,042	1,490	1,818
7A	0,033	-2,010	2,010	-0,033	-0,061	0,069	-0,739	0,584	0,942
8A	-2,563	1,906	3,194	0,015	0,018	0,023	-0,832	0,471	0,956
8C	-2,630	3,178	4,125	-0,217	-0,550	0,591	-0,018	-0,776	0,776
9A	-0,819	4,715	4,786	0,190	-0,418	0,459	0,255	-0,468	0,533
9C	-3,182	2,012	3,765	-0,724	-2,076	2,199	-1,056	-1,685	1,989

Avaliando o PEC planimétrico para enquadrar os resultados acima na categoria Classe A, de acordo com os parâmetros definidos pelo Decreto Lei 89.817/84, pudemos verificar que quanto à acurácia dos pontos levantados neste trabalho em modo absoluto os dados atendem a uma escala nominal de 1:12.500 ou menor, para a área de trabalho de 25.000 ha. Com o pós-processamento usando a base curta o valor se alterou significativamente para 1:4.000 e com a base longa para 1:5.000, suficientes para a orientação geométrica das imagens de satélite com escalas iguais ou menores a esta.

4 Conclusões

Em todos os pontos coletados, para as duas estações de referência, os valores de precisão estiveram em torno do anunciado pelo fabricante, ora oscilando para mais, ora para menos, mas dentro da faixa esperada para a classe de equipamento em uso neste trabalho. Os resultados de acurácia foram melhores para os dados processados com a estação de referência próxima (Base Ilhota) do que aqueles processados com a base de referência distante (UFPR). Entretanto, em termos de padrão de qualidade cartográfica a discrepância entre os resultados foi pequena, e o PEC planimétrico Classe A encontrado foi de 1:4.000 para a base próxima e 1:5.000 para a base distante, o que indica não haver uma diferença

muito grande, quanto à escala, para o pós-processamento de pontos de 30 segundos com uma base a cerca de 11 km de distância dos pontos ou a 150 km. A grande diferença ficou entre os resultados pós-processados e em modo absoluto, haja visto que nesse caso o valor do PEC encontrado para o padrão Classe A foi de 1:12.500.

Recomendamos para trabalhos futuros:

- i. Repetir o procedimento incluindo dados altimétricos;
- ii. Repetir o procedimento com intervalos de tempo maiores para obter as mesmas posições;
- iii. Repetir o procedimento em outras regiões do país; e,
- iv. Repetir o procedimento com outros equipamentos e softwares que processam os dados através da técnica de suavização da pseudodistância do código pela fase da onda portadora.

A técnica de processamento de dados GPS utilizando a suavização do código C/A pode, portanto, ser utilizada observando-se a acurácia e a precisão possíveis de serem alcançadas. A aplicação desse método torna-se atrativa pela rapidez na coleta dos dados e pelas escalas alcançadas, conforme apresentado neste trabalho, muito embora, em casos de maior rigor não seja adequado esse tipo de levantamento.

5 Referências Bibliográficas

Araújo Neto, J. O. Análise da precisão e acurácia de pontos georreferenciados com a técnica do código suavizado pela fase da portadora utilizando GPS de simples frequência. Dissertação. São Carlos. 207p, 2006.

Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Collins, J. GPS: theory and practice. 4.ed. W ien: Springer.362p, 1994.

Monico, J. F. G. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações. Editora UNESP. São Paulo. 287p, 2000

Silva, A.S.; Romão, V.M.C; Ernst, R.; Rodrigues, D.D.; Vieira, C.A.O. Suavização da Pseudodistância: Estudo de Caso. COBRAC 2006: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário-UFSC. Florianópolis. 10p, 2006.

Agradecimentos

Aos bolsistas do Laboratório de Geoprocessamento (Geolab/UDESC) Áthila Geovenard e André Bertocini pela prestimosa colaboração na coleta e processamento dos dados.

À UDESC pelo apoio financeiro na execução do trabalho.