

## Suavização da Pseudodistância: Estudo de Caso

Prof. Dr. Antonio Simões Silva <sup>1</sup>  
Prof. Dr. Verônica Maria Costa Romão <sup>2</sup>  
Rodrigo Ernst <sup>1</sup>  
Prof. Dr. Dalto Domingos Rodrigues <sup>1</sup>  
Prof. Dr. Carlos Antonio Oliveira Vieira <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa  
Departamento de Engenharia Civil  
CEP: 36571-000 – Viçosa – MG  
[asimoes@ufv.br](mailto:asimoes@ufv.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Eng. Cartográfica  
Recife PE Brasil  
[vcosta@ufpe.br](mailto:vcosta@ufpe.br)

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo avaliar a precisão e a acurácia das coordenadas de um ponto, utilizando a técnica de suavização. O objetivo específico foi testar qual o melhor intervalo de coleta de dados, para fornecer a melhor precisão e acurácia, utilizando a técnica de suavização da pseudodistância do código por meio da fase da onda portadora. Para alcançar o objetivo foram escolhidos cinco intervalos de tempo de coleta de dados, e foram feitas as observações dos sinais GPS no marco n. 91660 do SGB com coordenadas conhecidas. Os dados foram processados com duas estações de referência, ambas situadas a mais de 100 km de distância do ponto em questão. Verificou-se que as precisões oferecidas pela técnica podem ser comparadas às processadas com a fase da onda portadora, enquanto a acurácia apresenta valores submétricos processadas com uma das estações de referência e superiores a um metro com outra.

**Palavras Chaves:** Gps, Suavização, Código.

**Abstract:** This paper has as objective to evaluate the precision and the accuracy of the coordinates of a point, using the smoothing technique. The specific objective is to test which is the best interval of collection of data, to supply the best precision and accuracy, using the code pseudorange smoothing technique through the carrier phase. To reach the objective they were chosen five intervals of time for data collecting, and they were made the observations of the GPS signal in the mark n. 91660 of SGB (Brazilian Geodetic System). The data were processed with two reference stations, both placed the more than 100 Km from the surveyed point. It was verified that the precisions offered by the smoothing technique is almost equal to those processed using carrier phase, while the accuracy reaches values around decimeters when processed with one of the reference stations and superiors to a meter with another.

**Keywords:** GPS, Smoothing, Code.

## 1 Introdução

O Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América desenvolveu o sistema de radio-navegação NAVSTAR-GPS (*NAVigation Satellite with Time And Ranging-Global Positioning System*) para dar suporte na navegação das forças armadas americanas. Devido à alta precisão da posição oferecida, o sistema auxiliou várias atividades que precisavam de posicionamento. Os satélites GPS enviam duas ondas portadoras L1 e L2, e dois códigos, C/A e P, modulados sobre estas ondas. O código C/A (*Coarse Acquisition*) tem comprimento de onda aproximadamente de 300 m, já o código P (*Precise or Protected*) tem comprimento de onda de 30 m aproximadamente. Em função do comprimento de onda dos códigos, o primeiro é menos preciso que o segundo (Monico, 2000).

Uma maneira de melhorar a qualidade da pseudodistância do código C/A, é combinar as medidas de pseudodistância e da fase da onda portadora.

Suavização é a técnica utilizada para melhorar as estimativas antecedentes para as coordenadas e a velocidade através de uma nova medida (Hofmann-Wellenhof, 1994). Este método que muitas vezes é chamado de suavização da pseudodistância (*pseudorange smoothing*) pela portadora, refere-se a uma filtragem da pseudodistância pela fase portadora, utilizando a definição de filtragem de Kalman (Monico, 2000).

A suavização da pseudodistância foi descrita no início da década de 80 por um dos inventores, o Sr. Ronald R. Hatch. O algoritmo de suavização das observações de pseudodistância pela fase portadora, é conhecido de “o filtro do Hatch” (Ernst, 2004).

Este trabalho tem como objetivo geral, avaliar a precisão e a acurácia das coordenadas obtidas por um receptor e programa comercial, que utilizam a técnica de suavização da pseudodistância do código C/A pela fase da onda portadora.

Como objetivo específico, pretende-se testar qual é o melhor tempo de rastreo para se obter a melhor precisão e acurácia, com uma linha de base superior a 100 Km, e gerar uma discussão com relação ao emprego deste método no cadastramento de imóveis rurais.

Sabemos que o custo para aquisição dos receptores de sinais GPS é relativamente alto, com isso empresas representantes das marcas de receptores e também o IBGE, através da RBMC, disponibilizam na internet os dados da estação de referência, auxiliando muito os usuários que possuem receptores de frequência simples. Mas isso não é o bastante, pois muitas vezes o comprimento destas linhas base são superiores as recomendadas pelo fabricante para processar os dados com a fase L1.

Muitos profissionais estão bastante interessados na área de cadastramento de imóveis rurais. Baseado nisso, buscou-se técnicas e equipamentos que fornecem precisão submétrica para a pseudodistância do código C/A. Uma das técnicas é a suavização da pseudodistância pela fase da onda portadora.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O receptor mede as pseudodistâncias para cada satélite, faz uma correção necessária do tempo e calcula sua posição. As pseudodistâncias medidas usando o código do GPS podem conter erros de várias causas. Os efeitos do multicaminhamento são os de maior relevância. O multicaminhamento é causado pela reflexão do sinal em superfícies próximas ao receptor. A superposição do sinal refletido no sinal emitido pelo satélite é resultado dos erros de multicaminhamento (Ernst, 2002).

Muita atenção têm sido dedicada para melhorar a exatidão das medidas de pseudodistâncias, devido aos efeitos do multicaminhamento que reduz a exatidão dos cálculos feitos no receptor (Monico, 2000).

A fase da onda portadora fornece a medida da distância com maior precisão, é muito usada nas atividades geodésicas. Trata-se da diferença entre a fase do sinal criado no receptor, e a fase do sinal do satélite, recebido no receptor. A medida da distância é obtida pela contagem do número de ciclos captados pelo receptor e uma medida da parte fracional da onda portadora. Essa contagem dos ciclos inteiros é chamada de ambiguidade (Monico, 2000).

Devido ao comprimento de onda do código pseudo-aleatório modulado na portadora, ser muito maior que o comprimento de onda da fase da onda portadora, a medida da pseudodistância fornecida pela fase relativa

da portadora é mais exata. Esta qualidade da medida só é possível pela difícil tarefa de fixação da ambiguidade. A medida mais usada é a fase integrada da portadora, ou Doppler integrado, por oferecer mais utilidade que a pseudodistância obtida pela fase da onda portadora (Ernst, 2004).

A fase relativa da portadora varia em função do efeito Doppler. A mudança da fase relativa em relação ao receptor é zero, quando a velocidade relativa do satélite é zero, é maior quando o satélite se aproxima do receptor com velocidade relativa positiva, o mesmo acontece quando o satélite se aproxima do receptor no sentido oposto. A diferença da medida da distância num intervalo de tempo é obtida pela integral da fase relativa no mesmo intervalo de tempo, e a medida da velocidade relativa é obtida pela taxa de mudança de fase relativa. E devido aos comprimentos de ondas relativos, as medidas da fase portadora não sofrem tanto com os efeitos do multicaminhamento, como as medidas do código. (Ernst, 2004).

As medidas de pseudodistâncias do código podem ser suavizadas através do pós-processamento ou em tempo real. Os valores da pseudodistância da fase da onda portadora, os quais sofrem os efeitos da ionosfera, são separados da pseudodistância do código, para o mesmo período de tempo. Já o efeito Doppler atinge em igual teor o código e a fase, assim, a pseudodistância do código no começo do intervalo de integração tem um sinal relativamente constante, quando o efeito Doppler é retirado das medidas da pseudodistância. Para se obter a medida da pseudodistância suavizada, deve-se filtrar este sinal livre dos efeitos da ionosfera e Doppler, retirando os efeitos do multicaminhamento e adicionar os valores da pseudodistância da fase da onda portadora.

O processo de suavização o uso das frequências L1 e L2, assim os efeitos da ionosfera podem ser corrigidos, já que este efeito varia com a frequência. Para o uso de receptores com frequência simples, onde os sinais da pseudodistância do código variam com o passar do tempo, o método de suavização é mais restrito (Ernst, 2004).

Monico (2000) apresenta algumas equações para o cálculo da pseudodistância filtrada pelas ondas portadoras L1 e L2, para isso considere as observações  $PD_{L1}(t_i)$ ,  $PD_{L2}(t_i)$ ,  $\varphi_{L1}(t_i)$  e  $\varphi_{L2}(t_i)$ , as frequências  $f_1$  e  $f_2$ , para a época  $t_i$ , e transformando as pseudodistâncias em ciclos ( $PD^c$ ), temos:

$$PD^c(t_i) = \frac{f_1 PD_{L1}^c(t_i) - f_2 PD_{L2}^c(t_i)}{f_1 + f_2} \quad (1)$$

Para a fase da onda portadora, temos:

$$\varphi_{\Delta}(t_i) = \varphi_{L1}(t_i) - \varphi_{L2}(t_i) \quad (2)$$

A combinação das duas observáveis só é possível por que a pseudodistância foi transformada em ciclos, então possui o mesmo comprimento de onda da fase portadora.

Assumindo como condição inicial  $PD^c(t_1) = PD_{ext}^c(t_1) = PD_{fil}^c(t_1)$ , para todo  $i > 1$ , as expressões para os valores extrapolados ( $PD_{ext}^c$ ) e filtrados ( $PD_{fil}^c$ ) da pseudodistância podem ser escritos da seguinte forma:

$$PD_{ext}^c(t_i) = PD_{fil}^c(t_{i-1}) + (\varphi_{\Delta}(t_i) - \varphi_{\Delta}(t_{i-1})) \quad (3)$$

$$PD_{fil}^c(t_i) = \frac{1}{2} [PD^c(t_i) + PD_{ext}^c(t_i)] \quad (4)$$

Os sinais do código e da fase da onda portadora sofrem atrasos, devido à ionosfera, proporcionais ao inverso do quadrado da frequência. Para a tecnologia GPS, o princípio aceito é que: os sinais do código levam um tempo maior para atravessar a ionosfera, resultando em uma pseudodistância maior que a correta; e a pseudodistância observada para a fase é menor que a correta, devido ao avanço da fase na passagem pela ionosfera

Existem três classes de erros que influenciam as medidas de pseudodistância: a) a primeira se refere aos erros gerados nas medidas do código e da portadora de maneira similar. Fazendo a separação dos sinais

do código dos sinais da portadora, os erros são anulados. b) Os efeitos do multicaminhamento fazem parte da segunda classe, estes afetam de maneira significativa apenas os sinais do código, e podem ser corrigidos através da filtragem no processo de suavização. c) Na terceira classe está presente os erros ocasionados pela ionosfera, estes atingem os sinais do código e portadora em sentidos opostos (Ernst, 2004).

Em Ernst (2004) a suavização da pseudodistância pode ser conceituada da seguinte forma:

- A medida obtida pela fase da portadora entre um receptor e um satélite, também é uma medida de distância;
- Tanto o código quanto a fase da onda portadora, as medidas de distância e pseudodistâncias sofrem mudanças para diferentes épocas de observação;
- As variações da pseudodistância são maiores que a distância da portadora.

O mesmo autor apresenta uma dedução para a suavização da pseudodistância do código. Para  $N$  séries de observações de pseudodistâncias  $P_i$  e distâncias da portadora  $C_i$ , com  $i$  variando de 1 a  $N$ , e assumindo o conceito citado acima, temos:

$$P_N - P_1 = C_N - C_1 \quad (5)$$

$$P_N - P_2 = C_N - C_2 \quad (6)$$

$$P_N - P_{N-1} = C_N - C_{N-1} \quad (7)$$

$$P_N - P_N = C_N - C_N \quad (8)$$

ou

$$P_N = P_1 + C_N - C_1 \quad (9)$$

$$P_N = P_2 + C_N - C_2 \quad (10)$$

$$P_N = P_{N-1} + C_N - C_{N-1} \quad (11)$$

$$P_N = P_N + C_N - C_N \quad (12)$$

O valor médio  $PN$  (pseudodistância suavizada) para as  $N$  épocas diferentes de observações é mais preciso que somente  $P_N$ . Assim a equação para  $PN$  é:

$$PN = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_{N-1} + P_N}{N} + C_N - \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_{N-1} + C_N}{N} \quad (13)$$

Simplificando a equação, temos:

$$PN = \frac{P_N}{N} + (P_{N-1} + C_N - C_{N-1}) * \frac{N-1}{N} \quad (14)$$

onde  $P_{N-1}$  é a pseudodistância suavizada para a época precedente.

Quanto maior o intervalo de dados coletados, melhor é a precisão obtida, mas para isso deve-se observar que as diferenças para a pseudodistância do código e a distância da portadora para épocas diferentes, não são exatamente iguais, isso ocorre devido aos efeitos da ionosfera. Se as diferenças de medidas de distância são muito elevadas, ocorre um deslizamento de ciclo da fase da onda portadora, resultando em uma medida errada da distância. Com isso é limitado o número de observações utilizadas para suavizar a pseudodistância. Hatch sugere para observações com taxa de coleta de dados de um segundo um número máximo de 100 posições (ERNST, 2004).

Segundo Ernst (2004) o tempo de coleta de observações deve estar entre 10 e 15 minutos, para minimizar as divergências ocorridas pelos efeitos da ionosfera.

Os efeitos do multicaminhamento podem ser reduzidos em até 10 vezes com a suavização da pseudodistância, mas será muito bom se a redução estiver na ordem de 5 vezes (ERNST, 2004).

Holfmann-Wellenhof, (1994) apresenta as equações para a suavização da seguinte forma:

$$x_1(t) = x_2(t) + D(t_{i+1}, t_i) [x_1(t_{i+1}) - x_1(t_i)] \quad (15)$$

onde,

$x(t)$  = distância e velocidade predita

$x_1(t)$ =distância e velocidade atualizada  
 $x_2(t)$ =distância e velocidade suavizada  
 e o ganho da matriz é

$$D(t_{i+1}, t_i) = Q_{xi} T(t_{i+1}, t_i) Q_{xi}^{-1} \quad (16)$$

As coordenadas e a velocidade atualizadas na última medida são ajustadas igual a suavizada. O método é frequentemente substituído por métodos empíricos, devido a quantidade enorme de dados que necessita, como vetores atualizados, os cofatores das matrizes na época da atualização e as matrizes de transição entre as atualizadas (Holfmann-Wellenhof, 1994).

Baseado no princípio do GPS diferencial, os erros que ocorrem no receptor móvel, devem ser os mesmos ocorridos no receptor de referência. A posição de um ponto é gerada através da técnica do GPS diferencial, onde os dados coletados no receptor de referência são combinados com os dados observados do receptor móvel (Ernst, 2004)

O receptor de referência, estacionado em ponto de coordenadas precisas conhecidas, mede, através das efemérides, dos dados orbitais dos satélites e da posição do receptor de referência, a distância da portadora de cada satélite. Mede também as pseudodistâncias e seu erro para cada satélite. A pseudodistância obtida no receptor móvel é corrigida através dados de erros da pseudodistância gerados pelo receptor de referência (Ernst, 2004).

Atualmente a suavização da pseudodistância do código pela fase da onda portadora, está sendo aplicada para o GPS diferencial, suavizando de 5 a 10 minutos no receptor de referência e com correção do código quanto aos efeitos do multicaminhamento no receptor móvel (Ernst, 2004).

Existe a técnica de suavização da pseudodistância do código pela fase da onda portadora por um intervalo maior de tempo, reduzindo os erros do multicaminhamento e outros. O princípio do GPS diferencial, resultando em medidas corrigidas no receptor móvel, é aplicado nesta técnica (Ernst, 2004).

Aplica-se em receptores de frequência simples, obtendo medidas da pseudodistância do código e medidas da fase da onda portadora. O método consiste em obter as medidas da pseudodistância e medidas da fase da onda portadora, através da derivação de um jogo composto das medidas livres dos efeitos Doppler e ionosféricos; este jogo composto é filtrado por um intervalo maior de tempo, com o intuito de remover os erros das medidas da fase mais do que o código; em seguida obter a suavização da pseudodistância do código com a substituição dos efeitos Doppler no jogo composto das medidas filtradas. Sabendo que a causa principal das divergências entre as medidas do código e da fase é os efeitos da ionosfera, então pode-se filtrar por um intervalo maior de tempo sem distorção dos resultados, após ser removidos os efeitos da ionosfera.

Através da Figura 1, podemos observar que são feitos dois tipos de observações de sinais do satélite, as pseudodistâncias (30) e a fase da onda portadora (32). Supõe-se que a fase da onda portadora já foi inicializada, para que a medida da pseudodistância seja igual no início do intervalo de integração. No circuito (34), a fase da onda portadora é subtraída do valor da pseudodistância, e gerar um valor de offset para o código em (36).

Em (36) o código é ajustado para os efeitos da ionosfera e em seguida os erros dos efeitos ionosféricos são subtraídos no circuito (38). Para se corrigir os efeitos ionosféricos, pode-se usar dados medidos da ionosfera (40) ou dados modelados da ionosfera (42). Os dados medidos da ionosfera podem ser obtidos através de receptores de dupla frequência ou de alguma fonte externa. Quando não se possuem estes dados, os dados de um modelo ionosférico é usado.



Figura 1: Detalhes da Técnica de Suavização (ERNST, 2004)

Antes que os erros ionosféricos sejam subtraídos do código deslocado nos circuito (38), os erros ionosféricos são multiplicados por dois na seção (44), em função da divergência entre o código e as medidas da onda portadora. O erro ionosférico é duas vezes maior em qualquer medida, seja pseudodistância ou fase da onda portadora, após a subtração em (36).

No circuito (46), o offset do código é suavizado através de um filtro, assim são removidos os erros do efeito do multicaminhamento. Esta filtragem pode ser feita por um intervalo longo de tempo sem distorcer os resultados, pois o erro ionosférico foi removido, então não há divergências entre as medidas da portadora e o código.

No circuito (48), os efeitos da ionosfera são adicionados no offset do código suavizado e no circuito (50) as medidas integradas da fase da onda portadora também são adicionadas, resultando assim as medidas suavizadas da pseudodistância do código na saída (52) (Ernst, 2004).

### 3 Levantamentos Realizados

Monico (2000) sugere 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.

Este trabalho foi desenvolvido usando a técnica de posicionamento relativo estático rápido, observando sinais dos satélites GPS e o emprego do programa computacional de processamento de código GIS DataPRO. O marco ocupado possui coordenadas conhecidas e faz parte da Rede Geodésica de Alta Precisão do Estado do Paraná, determinadas pela SEMA (*Secretaria de Estado do Meio Ambiente*) e do Sistema Geodésico Brasileiro.

As coordenadas pós-processadas obtidas através do programa GIS DataPRO são comparadas com as coordenadas conhecidas do marco IBGE/SEMA N. 91660. As diferenças representam a acurácia das coordenadas obtidas nos intervalos de coleta dos dados. O número de satélites, os valores de PDOP (*Position Dilution of Precision*) para cada intervalo de tempo estão organizados em tabela.

As qualidades das posições foram obtidas através do software GIS dataPRO, estabelecendo o critério de rejeição de todas as posições em que valores de precisão estivessem acima de 0,30 m.

Os equipamentos utilizados para a realização do trabalho foram:

- Um receptor Leica GS20 PDM;
- Um microcomputador PC;
- Programa GIS DataPRO;
- Um receptor Trimble 4000 SSI (estação de referência).
- Um receptor Leica SR500 (estação de referência).

O Receptor Leica GS20 PDM, desenvolvido pela Leica Geosystems, Inc., é capaz de fazer medições utilizando a técnica de suavização do código por meio da portadora (*precision code*), oferecendo precisão melhor que 0,30 m. (Manfra & Cia Ltda, 2004)

#### 3.1 Definição da Área de Estudos

Para cumprir as metas expostas na seção 1.2, definiu-se como área de estudos a cidade de São Mateus do Sul, no estado do Paraná, devido as facilidades encontradas para a realização dos trabalhos, e um dos marcos geodésicos do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro).

O marco está localizado entre a portaria (P1) e a casa da balança da PETROBRAS/SIX em um jardim onde se encontram algumas árvores, conduzindo a condições desfavoráveis, impedindo em algumas horas do dia a observação da melhor geometria formada pelos satélites.

Tabela 1 – Coordenadas geodésicas do vértice N. 91660 (SAD69)

| MARCO | LATITUDE<br>$\phi$ | LONGITUDE<br>$\lambda$ | H<br>(m) | Sigma<br>Lat. (m) | Sigma<br>Long. (m) |
|-------|--------------------|------------------------|----------|-------------------|--------------------|
| 91660 | -25°26'52,3651"    | -49°13'49,7012"        | 928,682  | 0,01              | 0,032              |

Tabela 2 – Coordenadas UTM do vértice N. 91660 (SAD69 MC-51)

| Vértice | N (m)       | E (m)      |
|---------|-------------|------------|
| 91660   | 7139713,924 | 560428,566 |

### 3.2 Estações de Referência

Para os levantamentos realizados, foram utilizados dois marcos definidores das estações de referência PARA e UNICEMP. A estação Paraná (PARA) pertence a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), está registrada sob n. 91105, e tem como receptor dos sinais GPS um aparelho TRIMBLE 4000SSI. A estação UNICEMP está registrada sob n. 93646, e tem como receptor dos sinais GPS um aparelho LEICA SR500.

Tabela 3 – Coordenadas geodésicas das estações de referência, PARA e UNICEMP (SAD69)

| MARCO                 | LATITUDE<br>$\phi$ | LONGITUDE<br>$\lambda$ | H<br>(m) | Sigma<br>Lat. (m) | Sigma<br>Long.<br>(m) | Taxa de<br>coleta<br>de<br>dados |
|-----------------------|--------------------|------------------------|----------|-------------------|-----------------------|----------------------------------|
| PARA <sup>23</sup>    | -25°26'52,3651"    | -49°13'49,7012"        | 928,682  | 0,0128            | 0,0431                | 15"                              |
| UNICEMP <sup>24</sup> | -25°26'49,08225"   | -49°21'31,70815"       | 960,23   | 0,009             | 0,029                 | 1"                               |

<sup>23</sup>IBGE

<sup>24</sup>MANFRA

Tabela 4 – Coordenadas UTM das estações de referência (SAD69 MC-51)

| ESTAÇÃO | N (m)       | E (m)      |
|---------|-------------|------------|
| PARA    | 7184267,137 | 677928,377 |
| UNICEMP | 7184533,261 | 665023,007 |

### LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Os levantamentos foram realizados nos dias 11 de setembro de 2004 e 7 de outubro de 2004. O marco foi ocupado por períodos de 2, 4, 15, 40 min e 1 h. Foram anotadas as informações relativas ao rastreamento (número de satélites e PDOP).

Em função da taxa de gravação dos dados na estação de referência PARA ser de 15", foi realizado um intervalo de coleta a mais, em dia e horário diferenciado, com duração de 1h. Esperando com isso aumentar o número de posições processadas com a estação PARA e observar se haveria uma variação absurda nas coordenadas devido as condições atmosféricas

Na Tabela 5 encontram-se os valores de PDOP e o número de satélites, mostrando assim que os valores de PDOP foram baixos, suficiente para obter bons resultados.

## 4 Resultados

A Tabela 6 mostra as coordenadas, em UTM no sistema SAD 69 e meridiano central 51, do ponto para os vários intervalos de tempo processados com a estação de referência UNICEMP. A Tabela 7 indica a qualidade da posição

A Tabela 8 mostra as coordenadas, em UTM no sistema SAD 69 e meridiano central 51, do ponto para os vários intervalos de tempo processados com a estação de referência PARA. A Tabela 9 indica a qualidade da posição.

Comparando as coordenadas obtidas para o ponto e processadas com as duas estações de referência, podemos verificar o desvio dos valores das coordenadas obtidas com a técnica de suavização do código pela fase da onda portadora com relação às coordenadas do ponto definidas pelo IBGE. Estes valores se encontram na Tabela 10.

Tabela 5 – Informações relativas ao rastreo

| PONTO  | PDOP inicial | PDOP final | N. de Satélites |
|--------|--------------|------------|-----------------|
| 2 min  | 2.8          | 2.8        | 8               |
| 4 min  | 2.0          | 2.3        | 8               |
| 15 min | 2.3          | 1.7        | 10              |
| 40 min | 1.7          | 1.7        | 10              |
| 1 h    | 2.5          | 2.1        | 9               |

Tabela 6 – Coordenadas UTM (SAD69 MC-51) com a estação de referência UNICEMP

| PONTO  | N (m)       | E (m)      |
|--------|-------------|------------|
| 2 min  | 7139713,883 | 560427,975 |
| 4 min  | 7139714,138 | 560427,996 |
| 15 min | 7139714,205 | 560427,999 |
| 40 min | 7139714,338 | 560428,154 |

Tabela 7 - Qualidade das posições processados com a estação de referência UNICEMP

| Ponto  | Qualidade da posição (m) |
|--------|--------------------------|
| 2 min  | 0,0176                   |
| 4 min  | 0,0181                   |
| 15 min | 0,0140                   |
| 40 min | 0.0074                   |

Tabela 8 – Coordenadas UTM (SAD69 MC-51) com a estação de referência PARA

| PONTO  | N (m)       | E (m)      |
|--------|-------------|------------|
| 2 min  | 7139712,001 | 560429,334 |
| 4 min  | 7139712,276 | 560429,374 |
| 15 min | 7139712,304 | 560429,304 |
| 40 min | 7139712,222 | 560429,508 |
| 1 h    | 7139712,926 | 560428,922 |

Tabela 9 - Qualidade das posições processados com a estação de referência PARA

| Ponto  | Qualidade da posição (m) |
|--------|--------------------------|
| 2 min  | 0,0237                   |
| 4 min  | 0,0208                   |
| 15 min | 0,0162                   |
| 40 min | 0.0070                   |
| 1 h    | 0.0057                   |

| PONTO  | PARA (m) | UNICEMP (m) |
|--------|----------|-------------|
| 2 min  | 2,071    | 0,592       |
| 4 min  | 1,835    | 0,609       |
| 15 min | 1,780    | 0,633       |
| 40 min | 1,561    | 0,584       |
| 1 h    | 1,060    | ---         |

Tabela 10 – Acurácia dos pontos

Na Figura 2 estão plotados os pontos, processados com a estação de referência PARA, e na Figura 3 os pontos processados com a estação de referência UNICEMP, com os devidos intervalos de tempo de observação e o marco de coordenadas conhecidas.

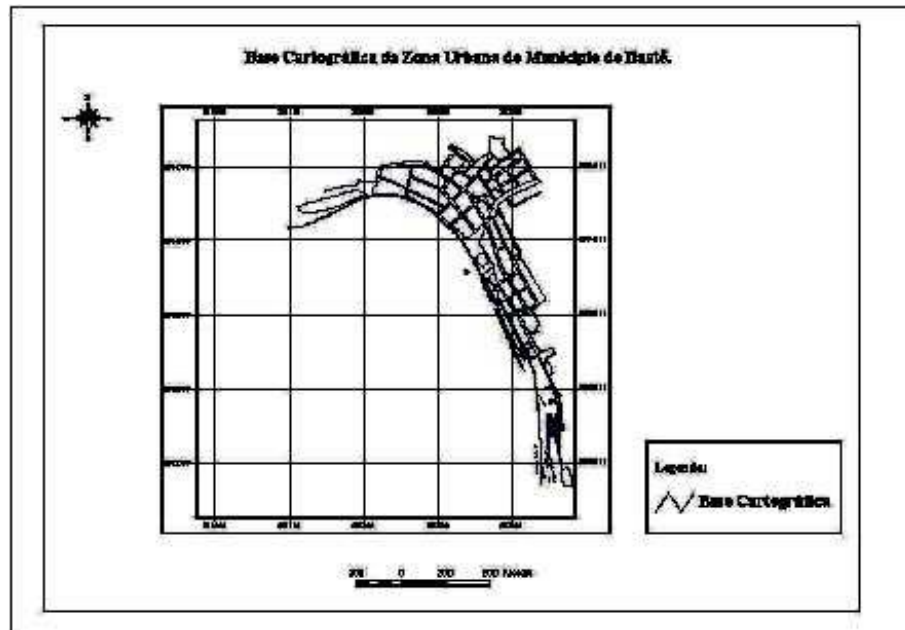


Figura 2: Representação Geométrica dos Pontos com base PARA

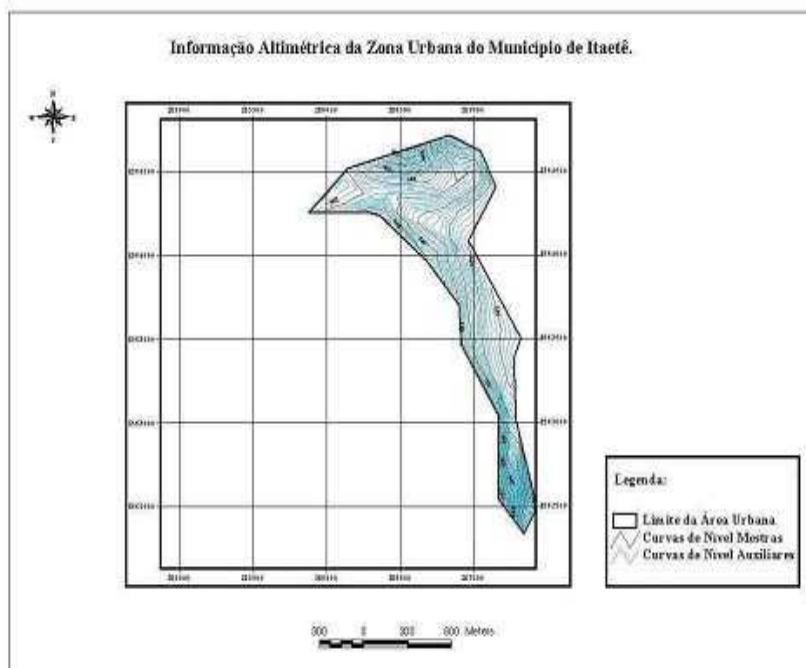


Figura 3: Representação Geométrica dos Pontos com base UNICEMP

## 5 Conclusão e Recomendações

Neste trabalho o objetivo específico foi testar qual o melhor intervalo de coleta de dados, para fornecer a melhor precisão e acurácia, utilizando a técnica de suavização da pseudodistância do código por meio da fase da onda portadora. Para alcançar o objetivo foram escolhidos cinco intervalos de tempo de coleta de dados, e foram feitas as observações dos sinais GPS no marco n. 91660 do SGB com coordenadas conhecidas. Os dados foram processados com duas estações de referência, ambas situadas a mais de 100 Km de distância do ponto em questão.

Em todos os pontos coletados, para as duas estações de referência, os valores de precisão encontrados foram melhores que o anunciado pelo fabricante. As precisões posicionais foram melhorando com o aumento do intervalo de coleta de dados, o que já era esperado, variando entre 0,0237m e 0,0057m, chegando a valores próximos dos encontrados quando se processa os dados da fase da onda portadora.

Para os dados processados com a estação de referência da RBMC PARA, os resultados de acurácia foram melhores para maiores intervalos de coleta de dados, mas ainda assim o melhor resultado, para o intervalo de 1h, foi de 1,060 m. Para os dados processados com a estação de referência da UNICEMP, os resultados de acurácia variaram pouco em função do intervalo de tempo de coleta dos sinais GPS, ficando entre 0,584 m e 0,633 m.

Baseado no princípio do GPS de que em qualquer lugar da superfície da Terra e em qualquer horário, o receptor terá condições de receber sinais GPS de quatro satélites distintos, e observados os valores de PDOP e multicaminhamento, os resultados de acurácia e precisão para estes intervalos de tempo testados poderão ser aproximadamente os mesmos. Quando aplicado à pontos situados a aproximadamente 125 km de distância da estação de referência.

Os resultados obtidos com o processamento com a estação de referência do UNICEMP foram melhores e mais constantes em relação ao intervalo de tempo. Acredita-se que foi em função da taxa de coleta de dados de 1", fornecendo um maior número de posições, e também devido aos equipamentos serem do mesmo fabricante.

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Testar outros intervalos de tempo para obter a posição;
- Testar em outras regiões do país;
- Testar com outras estações de referências situadas em distâncias maiores e menores que 100 Km do ponto que se quer posicionar;
- Reocupar os pontos levantados em outras épocas do ano;
- Utilizar outros equipamentos e softwares que processam os dados através da técnica de suavização da pseudodistância do código pela fase da onda portadora.

## 6 Referências

**Bueno, R. F.** Cadastro. *Revista Info GPS*. Curitiba, jul./ago.,2004

**Ernst, R.** *Suavização da pseudo-distancia pela fase da onda portadora*. . Monografia de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia de Agrimensura) - Universidade Federal de Viçosa. 22 p, 2004

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

**IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** em:

[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/estacoes/PARA\\_RBMC1.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/estacoes/PARA_RBMC1.pdf). Acessado em: 08 out. 2004.

**Leick, A.** *GPS: Satellite surveying*. 2. ed. New York: J.Wiley. 560p 1995

MANFRA & CIA LTDA.[**Impresso Especial**] 2004, Curitiba [para] ERNST, Rodrigo, São Mateus do Sul 1f. GPS GS20 Multiaplicações, Mais aplicações, Mais Vantagens pra você.

MANFRA. Curitiba, **Empresa do Setor de Topografia e Geodésia.** em: <http://www.manfra.com.br/antena/parana.asp>. Acessado em 08 out 2004.

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