

# Investigação da Exatidão de Coordenadas obtidas com a Fase da Portadora L1 do GPS

**Prof. Dr. Mauro Menzori**  
**Prof. Assoc. Paulo Cesar Lima Segantine**  
**Prof. Dr. Ricardo Ernesto Schaal**

USP – Departamento de Transportes  
13560-590 - São Carlos - SP  
[menzori@sc.usp.br](mailto:menzori@sc.usp.br)

USP – Departamento de Transportes  
13560-590 - São Carlos - SP  
[seganta@sc.usp.br](mailto:seganta@sc.usp.br)

USP – Departamento de Transportes  
13560-590 - São Carlos - SP  
[schaal@sc.usp.br](mailto:schaal@sc.usp.br)

**Resumo:** O passo mais importante no posicionamento relativo estático usando a fase da portadora do GPS é a fixação dos valores das ambigüidades inteiras, produzindo a solução fixa, que também é usada como um indicador da qualidade do posicionamento. Contudo, apesar de seu potencial, a solução fixa é uma informação puramente estatística, dissociada da exatidão das coordenadas. Na verdade, existe um risco ao se considerar uma solução GPS com base na precisão do processamento de uma linha-base, pois, a exatidão das novas coordenadas é sempre desconhecida independente da solução ser fixa ou “float”. Neste trabalho foram monitoradas algumas das perturbações que agem sobre as observações L1 do GPS, e foi estabelecida uma forma de relação entre a precisão da solução de posicionamento com a respectiva exatidão das coordenadas.

**Palavras chaves:** Precisão, Exatidão, GPS

**Abstract:** The most crucial step on the relative static positioning, when using the GPS carrier phase data, is the fixing ambiguities integer values, producing the fix solution, commonly used as a positioning quality indicator. In despite of its capability, the fix solution is purely statistical information, based on the measurement's precision solution and completely apart from the coordinate's accuracy. In a single baseline processing, the positioning coordinates accuracy is always inaccessible, no matter if the final solution is float or fixed. In fact, there is an inner risk when working with a precision based GPS solution coordinates, due its unknown accuracy. This research was developed to improve that situation, monitoring the GPS implicit noise in some L1 GPS observations data to define the relationship between the positioning precision solution and the coordinate's accuracy.

**Keywords:** Precision, Accuracy, GPS

## 1 Introdução

Há quatro décadas, as medidas geodésicas passaram a ser feitas utilizando satélites artificiais orbitais, dentre os quais, o Sistema Global de Posicionamento (GPS) se destacou pela disponibilidade e precisão oferecidas. Desde 1990, várias redes geodésicas estaduais foram medidas e homologadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) usando esta tecnologia, o que permitiu que governo federal exigisse através da Lei 10.267, de 31 de outubro de 2001, regulamentada pelo decreto presidencial número 4449, de 30 de outubro de 2002, o levantamento georreferenciado dos imóveis rurais, com o objetivo de constituir a base espacial de dados do Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR). O CNIR, gerenciado em conjunto pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e Secretaria da Receita Federal, deverá concluir num prazo médio de 15 anos, a base espacial com toda a malha fundiária brasileira.

No exercício de suas atribuições, o INCRA através da portaria 954, de 13 de novembro de 2002, condicionou a certificação das coordenadas de um ponto de divisa à uma discrepância inferior a 0,50 m, quando comparadas com as coordenadas do mesmo ponto, certificadas em levantamentos de imóveis confrontantes. Para os pontos de divisa que não possuam as coordenadas certificadas, o que atualmente constitui a maioria absoluta nos levantamentos dos imóveis rurais, o INCRA aprova e certifica as coordenadas medidas com o GPS, com precisão inferior a 0,50 m, tendo por base o relatório de pós-processamento.

Como a exigência do georreferenciamento é relativamente nova, é de se esperar que durante alguns anos, os pontos certificados não possuam coordenadas previamente conhecidas e que a certificação de um ponto de divisa, medido com o GPS, tratará exclusivamente da sua precisão não se preocupando, neste momento, com a sua exatidão.

Exatamente neste ponto existe a lacuna que foi investigada neste trabalho: *a correlação entre a precisão e a exatidão das medidas obtidas com o GPS*. Segundo WAENY (1992), a precisão é o indicador meramente estatístico, que informa o rigor com que a medida das coordenadas foi executada, enquanto que a exatidão assegura que as coordenadas representam a real posição do ponto no terreno.

A obtenção das coordenadas usando o GPS através modo relativo de posicionamento, envolve um grande número de medidas, que são ajustadas no pós-processamento, usando o método dos mínimos quadrados (MMQ). Por consequência se obtêm as projeções cartesianas:  $dx$ ,  $dy$  e  $dz$ , do vetor medido e a sua matriz variância-covariância. Estas projeções possibilitam obter as coordenadas *mais prováveis* do novo ponto, o que não é uma indicação de que elas sejam as mais exatas. A inexistência de um vínculo entre a precisão e a exatidão das coordenadas assim determinadas entra em choque com os conceitos empregados em métodos clássicos, onde as coordenadas obtidas através do ajustamento de redes pelo MMQ são aceitas como as mais exatas, LEICK (1980).

O conceito da exatidão das coordenadas GPS é amplamente discutido na literatura, mas pouco se discute sobre procedimentos que permitam dimensioná-la a partir da sua solução de posicionamento, com um determinado grau de confiança.

Este trabalho correlaciona a precisão das coordenadas determinadas no pós-processamento usando o ajustamento paramétrico das observações da fase da portadora L1 com a sua respectiva exatidão.

Para desenvolvê-lo se admite que o resultado do posicionamento é variável em função da observável utilizada e das perturbações que atuam sobre o sinal, desde a sua transmissão até a sua recepção. Neste trabalho, as perturbações que atuam sobre o sinal propagado desde a antena do satélite até a antena do receptor e que provocam a variação do GPS foram assim consideradas:

- *Perturbações provenientes de atividade solar.*
- *Perturbações provenientes de condições ionosféricas.*
- *Perturbações provenientes de condições troposféricas.*

O monitoramento destas perturbações permitiu identificar o comportamento variável do GPS e a sua influência sobre a exatidão das coordenadas.

## 2 Pesquisa

Segundo REA/PARKER (2000), as informações em uma pesquisa permitem que o pesquisador faça generalizações, a partir da coleta de amostras, adequadamente escolhidas e representativas, e conclua de uma forma global, com pequena margem estatística de erro, sobre o universo que está sendo analisado. São três os principais passos a serem dados para coletar e investigar os dados primários: *a pesquisa de campo, a medição direta e a observação.*

Para desenvolvê-los foi implementado um experimento piloto que possibilitou a estruturação deste trabalho. O primeiro passo, relativo à *pesquisa de campo*, ficou caracterizado com o uso de um conjunto de dados GPS, observados em duas estações de monitoramento contínuo, não homologadas, localizadas em campus da Universidade de São Paulo, durante um período de 25 meses. As estações e a linha-base que as une são mostradas na Figura 1.

A primeira estação, denominada STT, está localizada na Escola de Engenharia de São Carlos, na laje superior da caixa d'água do Departamento de Transportes onde funcionou até o dia 16/05/2004, o conjunto de antena e receptor de sinais GPS, Leica SR9500, de dupla frequência, quando foi substituído, pelo conjunto de antena e receptor, Leica SR9400, de uma frequência.

A segunda estação, denominada CIAGRI, está localizada na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" no Centro de Informática onde funciona desde 16/04/2003, o conjunto de antena e receptor de sinais GPS, modelo Trimble ProXL, de simples frequência.

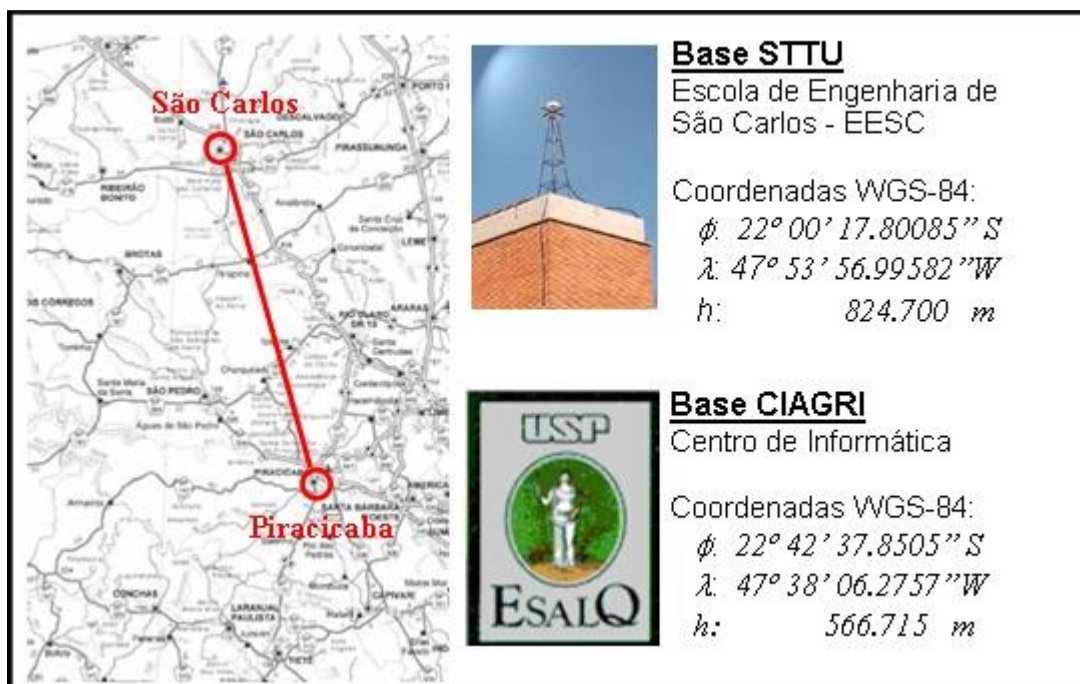


Figura 1 – Local do experimento piloto.

Dos dados armazenados nestas estações foi selecionada a amostra, com no mínimo dois dias de coleta contínua a cada mês, entre abril de 2003 e julho de 2005, suficientes para acompanhar o adiantamento diário da constelação. A amostra constituída por 3392 horas de dados, permitiu a organização de 1696 sessões padrão, com uma hora de observação, que foram a base da investigação. As variações do GPS registradas neste conjunto de dados serviram para estruturar um banco de dados, usado como referência para interpretar o comportamento do GPS e das perturbações que agem sobre ele e estabelecer, de forma independente, a correlação entre a precisão da solução e a exatidão das coordenadas de posicionamento.

O segundo passo foi desenvolvido no experimento piloto através do pós-processamento da linha-base que liga as duas estações. O vetor, com aproximadamente 82.738,00 metros de comprimento, foi processado com o programa Trimble Geomatics Office (TGO), versão 1.0, usando a fase da portadora L1, considerando sempre o vértice STTU como referência e o vértice CIAGRI como incógnito. Foram feitos

três tipos diferentes de cálculo: sem qualquer tipo de correção, somente com correção de ionosfera e somente com correção de troposfera. Isto produziu 5088 vezes as coordenadas do ponto CIAGRI e com elas o registro da influência de cada perturbação considerada.

O terceiro passo que estudou o comportamento e a reação das coordenadas, por simples observação e sem nelas interferir, foi desenvolvido interpretando a sua variação. Isto permitiu identificar a ação das perturbações sobre a exatidão dos resultados, em diferentes condições físicas e temporais, inclusive em momentos de intensa atividade solar.

### 3 Variabilidade no Experimento Piloto

O primeiro tipo de cálculo, *sem a introdução de parâmetros de correção*, produziu as 1696 soluções de pós-processamento mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Soluções obtidas sem qualquer correção

Solução	Condição	Casos	%
Fixa	Atividade solar normal	179	10
Fixa	Atividade solar expressiva	17	1
"Float"	Atividade solar normal	1302	77
"Float"	Atividade solar expressiva	198	12
Totais		1696	100

O monitoramento do comportamento individual de cada um dos vetores, demonstra que o controle das condições de ionosfera e de troposfera *não é condicionante* para se chegar à fixação das ambigüidades inteiras. Isto fica evidente pelo fato de 196 vetores, ou 11% do total das soluções, terem apresentado solução fixa, mesmo sem a introdução de parâmetros de correção.

Para acompanhar a ação da troposfera e da ionosfera, foram desenvolvidos dois tipos complementares de cálculo, onde cada vetor foi novamente pós-processado nas seguintes condições: *com a correção do atraso troposférico segundo o Modelo de Hopfield e com a correção do atraso ionosférico segundo o Modelo de Klobuchar usando os coeficientes transmitidos de ionosfera*. Desta maneira, foi possível acompanhar a ação isolada da ionosfera e da troposfera sobre a exatidão das coordenadas.

Apesar do esforço em se considerar efeitos da ionosfera e da troposfera, eles não influenciaram nas soluções a ponto de convertê-las de "float" em fixas, pois no posicionamento pelo método relativo, estes termos tendem a se minimizar ou até se anular. Ainda assim, a correção do efeito da refração troposférica foi considerada no banco de dados final, como um refinamento para a interpretação da exatidão.

### 4 Resultados no Experimento Piloto

Pelo fato de cada vetor ter sido processado mais de uma vez, o elemento de comparação teve que ser único, para servir como um referencial na confrontação daquilo que se pretendia comparar: a exatidão na posição do ponto medido. Na comparação foram usadas as coordenadas métricas de cada solução.

O estudo do comportamento das influências perturbadoras foi feito através da comparação entre os resultados produzidos com e sem a sua presença, identificando a sua ação sobre a exatidão das coordenadas. Conhecido o primeiro conjunto com 1696 coordenadas da estação CIAGRI sem qualquer correção, foram posteriormente foram consideradas as presenças da Ionosfera e da Troposfera, produzindo assim um segundo e um terceiro conjunto de resultados, que comparados com o conjunto de resultados inicial, possibilitaram a identificação da ação isolada destas perturbações.

A Tabela 2 mostra os resultados médios obtidos no primeiro conjunto de processamento, sem qualquer tipo de correção, o que retrata o comportamento médio do GPS.

Tabela 2 - Resultados médios obtidos para a estação CIAGRI

Condição / Solução	Sistema WGS-84				Desvio Padrão			
	Norte (m)	Este (m)	Altura h (m)	Extensão (m)	Norte (m)	Este (m)	altura h (m)	extensão (m)
1.Normal Fixos	7486122,59	229312,91	562,58	82738,47	0,00	0,07	0,12	0,06
2.Solar Fixos	7486122,59	229312,88	562,66	82738,46	0,13	0,05	0,12	0,05
3.Normal "Float"	7486122,68	229313,06	562,32	82738,44	0,47	1,26	1,32	0,68
4.Solar "Float"	7486122,71	229312,90	562,54	82738,36	0,62	1,68	1,26	0,91

Em termos médios o GPS apresenta pouca diferença entre a solução fixa e a solução "float", porém, pode ser visto nos itens seguintes deste trabalho as amplitudes de variação dos valores que produziram esta tabela.

#### 4.1 Resultados Fixos sob Atividade Solar Normal

Um dos principais indicadores da qualidade do posicionamento é a solução fixa. Quando ela é obtida, se sabe que as ambigüidades inteiras foram satisfatoriamente encontradas e que o resultado se situa dentro dos limites de aceitação esperados. Isto faz com que o usuário aceite este resultado como o resultado mais seguro.

No entanto, interpretando os 179 *resultados fixos*, que constituem o primeiro caso da Tabela 1, identificamos a variação que se pode esperar do GPS, sob o ponto de vista planimétrico e altimétrico, para soluções fixas em dias de atividades solares normais, como mostra a Figura 2.

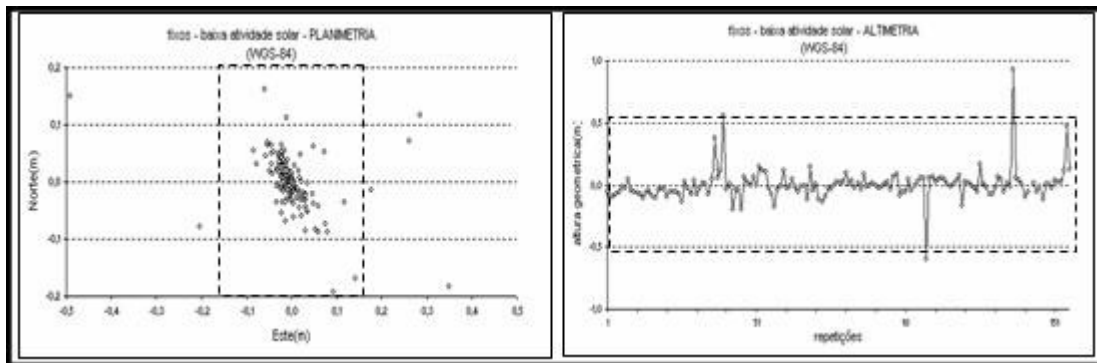


Figura 2 - Resultados fixos sob atividade solar normal.

A figura apresenta em destaque, o intervalo de aceitação planimétrica na ordem de  $\pm 17$  cm, e o intervalo de aceitação altimétrica na ordem de  $\pm 51$  cm, para uma linha-base de 82 km como é o caso da linha base STTU-CIAGRI, calculados em função da classe dos receptores utilizados na coleta dos dados, que foram receptores de simples freqüência, com precisão de  $\pm (5\text{mm} + 2\text{ppm}) \times D$ , onde D é a distância em quilômetros. Segundo HOFMANN et al. (2001), a degradação da precisão na componente altimétrica medida com o GPS, pode ser até três vezes superior à degradação da precisão nas componentes planas.

Na figura se vê que mesmo o resultado sendo fixo, existe ainda uma pequena probabilidade dele situar-se fora do limite de tolerância. Esta situação é real e pouco mencionada, tanto na literatura científica como em manuais técnicos dos fabricantes de receptores GPS. Este é um caso muito mais crítico do que o resultado puramente "float", pois ele esconde uma situação problemática dando-lhe contornos de uma situação adequada.

#### 4.2 Resultados Fixos sob Atividade Solar Expressiva

O segundo caso da Tabela 1, contém os 17 *resultados fixos obtidos em dias com atividades solares expressivas*, sem qualquer tipo de correção. Eles são retratados na Figura 3, que mostra a variação plani e altimétrica do GPS quando exposto as condições solares consideradas atípicas.

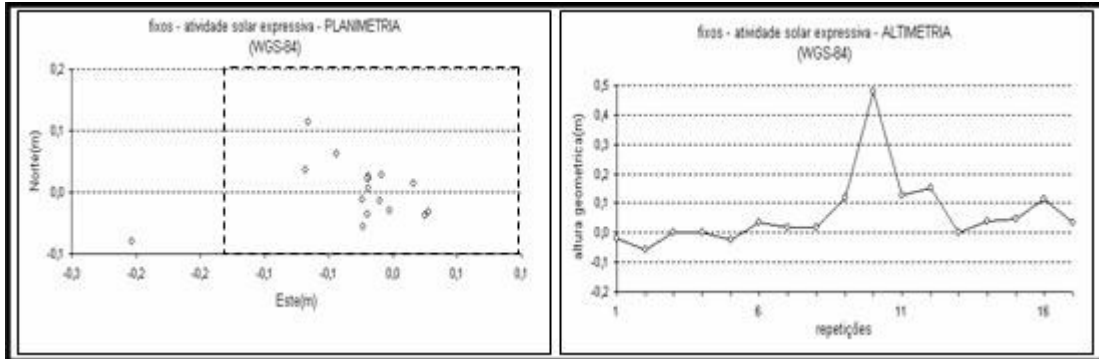


Figura 3 - Resultados fixos sob atividade solar expressiva.

Na figura se constata que o comportamento das coordenadas obtidas sob *atividades solares atípicas*, é muito semelhante ao comportamento das coordenadas obtidas em condições normais, indicando que possivelmente este tipo de influência não seja relevante para o posicionamento relativo. Apesar disso, seria precipitado concluir desta forma devido ao pequeno percentual que estas soluções representam no universo pesquisado neste trabalho. A investigação neste item não pode ser ampliada pois todos os dias em que aconteceram atividades solares importantes foram considerados na pesquisa. Conforme descreve HATHAWAY (2005) e detalha o site: [www.sec.noaa.gov/ace](http://www.sec.noaa.gov/ace), estas atividades ocorreram nos meses de novembro de 2003, julho e novembro de 2004 e janeiro de 2005.

#### 4.3 Resultados “Float” sob Atividade Solar Normal

Neste item são consideradas as 1302 soluções “float” do terceiro caso da Tabela 1. Para estas soluções, mostradas na Figuras 4, o programa de pós-processamento não encontrou as condições mínimas, que permitissem determinar as ambigüidades inteiras. Elas mostram a variação plani e altimétrica do GPS em condições normais. Segundo SEEBER (2003), não existe um critério definido para delimitar a aceitação de resultados de posicionamento obtidos através de soluções “float”, e por isso, não foram destacados na figura, os limites de aceitação plani e altimétrico.

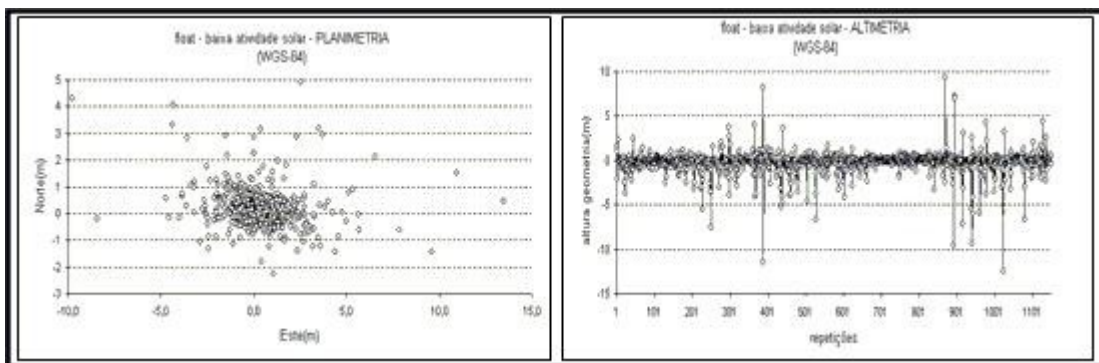


Figura 4 - Resultados “float” sob atividade solar normal.

Esta figura mostra aquilo que todo usuário com um mínimo de conhecimento sobre o GPS já conhece: o resultado do posicionamento obtido através de uma solução “float” pode ser adotado com certos cuidados, devido à sua grande variação. A figura ratifica a necessidade deste cuidado e mostra a grande amplitude de variação que se pode esperar para soluções “float”, em linhas-base com dimensões aproximadas de 80 km.

#### 4.4 Resultados “Float” sob Atividade Solar Expressiva

O quarto caso da Tabela 1, contém os 198 resultados “float” obtidos em dias com atividades solares expressivas, sem qualquer tipo de correção. Eles são retratados na Figura 5, que mostram a variabilidade plani e altimétrica do GPS quando operando em condições atípicas.

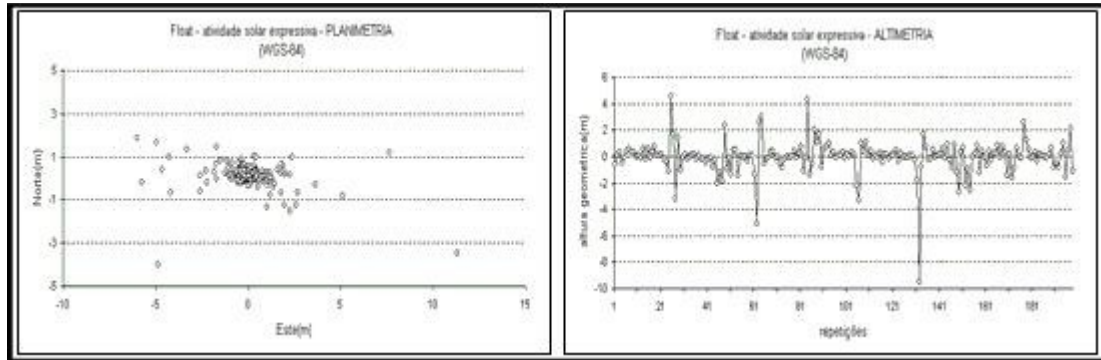


Figura 5 - Resultados “float” sob atividade solar expressiva.

Nas Figuras 2, 3, 4 e 5, se vê que o comportamento do sistema operando sob atividades solares expressivas, é muito parecido com o seu comportamento quando operando em condições normais. Interpretando particularmente as Figuras 4 e 5, nota-se que os resultados com solução “float” oscilam com amplitudes máximas de: 25 metros na coordenada Este, 10 metros na coordenada Norte e 15 metros na altura geométrica, também indicando que as atividades solares são de pouca relevância quando se utiliza o método relativo.

Os resultados “float” apresentados nas figuras 4 e 5, fizeram parte do banco de dados usado para entender a variação da exatidão das coordenadas, porém, foram também tratados em separado, na seção 7, que trata da modelagem dos resultados “float”.

#### 5 Processamento com Correção Ionosférica

Na segunda etapa de pós-processamento, foi investigada a perturbação isolada que a ionosfera provoca no resultado. Como a investigação esteve sempre focada na fase da portadora L1, não foram consideradas para a estimativa dos efeitos ionosféricos, as técnicas que combinam informações da L1 e L2, a exemplo da “iono-free”. A análise da ionosfera usando o modelo transmitido de Klobuchar foi feita conforme FONSECA JR. (2002), empregando os coeficientes transmitidos de ionosfera:  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ , e  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  e  $\beta_4$ .

Numa linha-base de dimensões geodésicas, como foi o caso no experimento piloto, o comportamento da ionosfera não é exatamente igual nos dois extremos, LEICK (2004). Para se ter uma idéia, os dados transmitidos por um satélite, no dia 22 de outubro de 2004, às 14 horas, posicionado no azimute de 85 graus e com elevação de 69°, produziram as distâncias até os receptores posicionados em STTU e CIAGRI, perturbadas pela refração ionosférica, na ordem de 6,76 m e 6,75 m, respectivamente. Perturbações desta ordem devem ser consideradas com bastante atenção em posicionamentos absolutos, que dependem diretamente das distâncias entre as antenas dos satélites e a antena do receptor, mas, em posicionamentos relativos onde as novas posições são determinadas usando técnicas de diferenças de fases, a perturbação ionosférica praticamente desaparece.

O pós-processamento sistemático considerando a influencia da ionosfera sobre os dados usados na pesquisa demonstrou que este tipo de correção pode ser negligenciado quando trabalhando com o método relativo.

## 6 Processamento com Correção Troposférica

Na terceira etapa de pós-processamento, foram consideradas as condições ambientes nos dois extremos da linha-base STTU-CIAGRI, no instante da aquisição e gravação dos dados. O modelo troposférico adotado para a determinação e correção dos efeitos da troposfera, foi o Modelo de Hopfield. Para isso, foram organizados arquivos de dados meteorológicos no formato "RINEX", versão 2, a partir de informações diariamente registradas pela Estação Meteorológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Pecuária Sudeste, que funciona a 3 km do vértice STTU, em São Carlos. Estação e pela Estação Meteorológica Automatizada do Departamento de Ciências Exatas da "Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz" (ESALQ), que funciona a alguns metros do vértice CIAGRI em Piracicaba.

O comportamento da troposfera também será diferente nos dois extremos de uma linha-base com dimensões geodésicas devido às diferentes condições atmosféricas locais. Como exemplo pode ser mencionado que os dados transmitidos por um satélite, no dia 22 de outubro de 2004, às 14 horas, posicionado no azimute de 85 graus e com elevação de 69°, produziram as distâncias até os receptores posicionados em STTU e CIAGRI, perturbadas pela refração troposférica, na ordem de 2,66 m e 2,67 respectivamente. Isto mostra que a troposfera também interfere significativamente no posicionamento absoluto, pois este depende diretamente da distância satélite-receptor, mas, em posicionamentos relativos onde as novas posições são determinadas usando técnicas de diferenças de fases, a perturbação troposférica, assim como a perturbação ionosférica, praticamente desaparece.

O resultado de processamento de uma das sessões do dia 22 de outubro de 2004, usando os parâmetros de correção da troposfera é apresentado na Tabela 3, como um exemplo do que foi corriqueiramente constatado na pesquisa.

Tabela 3 - Consideração da refração troposférica

Ano	Dia	Sessão	SV	Ambigüidade	sigma	Ano	Dia	Sessão	SV	Ambigüidade	sigma
2004	296	A	4	187449,375	±20,092	2004	296	A	4	187449,053	±20,046
			8	-104172,438	±14,906				8	-104172,690	±14,870
			19	3834808,074	± 8,243				19	3834807,953	±8,212
			20	3152506,044	± 7,425				20	3152506,085	±7,400
			23	3842541,669	± 6,553				23	3842541,714	±6,531
			27	-42,846	±10,156				27	-43,011	±10,132
			28	464778,098	±11,534				28	464777,896	±11,503

Condição: Sem correção de troposfera

Condição: Com correção de troposfera

O exemplo mostra que o intervalo de busca do valor inteiro para o conjunto de ambigüidades, representado pelo sigma da solução do ajustamento, praticamente permaneceu o mesmo com a correção da troposfera. Na pesquisa, considerar a correção das condições troposféricas não ajudou a melhorar os resultados e em nenhum momento foi decisiva a ponto de transformar uma solução "float" em solução fixa. Isto permite concluir que em condições normais, usando o método relativo, a refração troposférica pode ser negligenciada para linhas-base com as dimensões da linha-base investigada no experimento piloto.

## 7 Modelagem dos Resultados "Float"

Como já foi apresentado, 89% dos resultados no pós-processamento sem correções do conjunto amostra não alcançou solução com a fixação das ambigüidades inteiras. Isto equivale a dizer que 1500 deles resultaram com solução "float", sendo que desse conjunto 1302 resultados foram obtidos em dias com atividade solar normal e 198 resultados obtidos em dias com atividade solar expressiva.

Analisando a freqüência com que as coordenadas obtidas com solução "float" se afastaram do valor de referência, nota-se que aproximadamente 62% delas apresentaram uma exatidão inferior a 50 centímetros, como mostra a Tabela 4, o que em muitos trabalhos de engenharia, pode ser considerado um resultado aceitável.

Tabela 4 - Frequência da exatidão em relação ao valor de referência

Intervalo até	freqüência	Intervalo até	freqüência	intervalo até	freqüência
<b>0,10 m</b>	<b>256</b>	0,90m	41	8 m	1
<b>0,20 m</b>	<b>209</b>	1 m	25	9 m	1
<b>0,30 m</b>	<b>139</b>	2 m	150	10 m	1
<b>0,40 m</b>	<b>108</b>	3 m	60	11 m	1
<b>0,50 m</b>	<b>87</b>	4 m	27	12 m	1
0,60 m	77	5 m	12	13 m	0
0,70 m	57	6 m	8	14 m	1
0,80 m	39	7 m	1	15 m	0

O INCRA, por exemplo, em sua Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, no item 4.5.3.3., permite o uso de: “*Solução baseada nos códigos C-A e/ou Y e/ou fase da portadora com correção diferencial obtida em pós-processamento com utilização de técnicas baseadas em suavização do código através da portadora*”, aceitando o posicionamento com o uso do código C/A suavizado. Além disso, no item 4.6.2, sub-item a, considera suficiente para a certificação a análise da precisão de processamento quando o ponto não possuir coordenadas já certificadas. Diante do que já foi apresentado, é de se esperar que um ponto medido com o código C/A apresente uma boa precisão sem que ela indique uma boa exatidão das coordenadas. Este procedimento posterga a análise da exatidão do posicionamento, para a época em que o ponto de divisa vier a ser remedido no levantamento do imóvel confrontante, transferindo para o profissional que faz o segundo levantamento, a responsabilidade e o ônus da prova, caso a precisão posicional não seja alcançada.

O conjunto de dados que possibilitou organizar a Tabela 4, permitiu também elaborar a Figura 6, apresentada a seguir, que mostra a correlação entre a precisão da solução “float” e a exatidão identificada nos resultados. Na figura fica evidente, que os indicadores estatísticos de precisão não informam diretamente a exatidão da medida, mas, estão com ela intimamente relacionados.

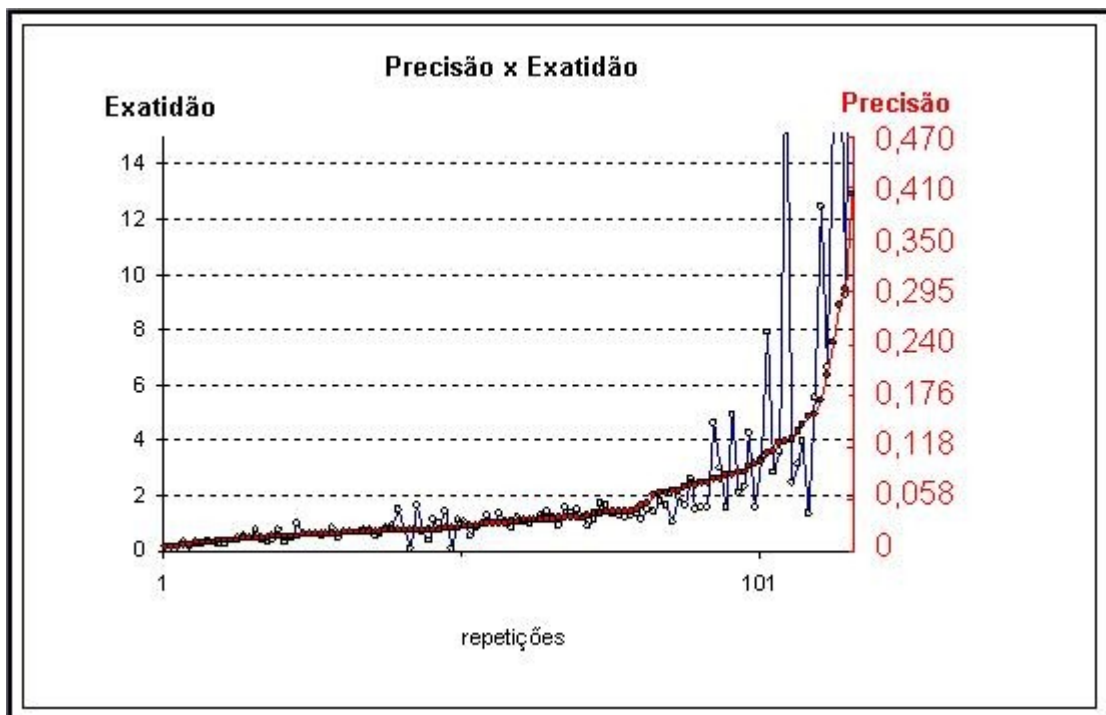


Figura 6 - Correlação entre o fator RMS e a exatidão nos resultados “float”.

## 8 Conclusões

O posicionamento de pontos em linhas base com dimensão média 80 km, usando exclusivamente a fase da portadora L1, deve exigir a solução com fixação de ambigüidade inteira, para a maior segurança do resultado.

O tratamento dispensado aos dados na etapa de pós-processamento, interpretando de maneira individual a perturbação da ionosfera e troposfera, mostrou que em vetores de dimensões até 80 km, estes fatores não são determinantes para a fixação da ambigüidade inteira da solução.

O banco de dados referencial mostrou-se aplicável em função do volume de dados utilizado e evidenciou a necessidade de ser constantemente atualizado, permitindo assim que ele sempre acompanhe as características sazonais e dinâmicas do GPS.

Em contribuição a esta atualização, os dados coletados diariamente em estações de monitoramento das redes ativas particulares ou públicas, podem deixar de ser meramente armazenados de forma passiva, para assumir um papel ativo no modelo proposto.

A modelagem dos resultados obtidos através de soluções “float” desenvolvida na seção 7, mostra que um percentual significativo dessas soluções contém uma exatidão aceitável para muitos trabalhos de Engenharia. Nos trabalhos georreferenciados feitos para o INCRA, por exemplo, muitos deles podem ser aproveitados desde que sejam verificados através da correlação precisão-exatidão.

A contribuição oferecida por este trabalho é subsidiar o resultado da solução com a informação sobre a exatidão nela contida. No caso particular do INCRA, a certificação das coordenadas dos pontos de divisa de um imóvel, assegurando a sua exatidão, pode ser feita de forma automatizada, através de aprendizado de máquina, usando técnicas de redes neurais ou árvores de decisão, não postergando a verificação da exatidão somente para o momento em que o imóvel confrontante venha a ser certificado. Isto evita que o ônus da prova seja transferido para o profissional que executa o segundo levantamento, torna o processo de certificação mais seguro e mais justo para todos os profissionais com ele envolvidos.

## 9 Referências

**FONSECA JR, E. S.:** *O Sistema GPS como ferramenta para a avaliação da refração ionosférica no Brasil*, Tese de Doutorado, apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

**HATHAWAY, D.:** NASA, Marshall Space Flight Center, Huntsville [david.h.hathaway@nasa.gov](mailto:david.h.hathaway@nasa.gov) , online 07/2005.

**HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTNEGGER, H.; COLLINS, G.:** *Global Positioning System, Theory and Practice*, Editora Springer-Verlag Wien, Austria 2001.

**LEICK, A.:** *Geometric Geodesy, 3D-Geodesy, Conformal Mapping*, Department of Surveying Engineering, University of Maine 1980.

**LEICK, A.:** *GPS-Satellite Surveying*, Editora John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey 2004.

**REA & PARKER:** *Metodologia de Pesquisa*, Editora Pioneira, São Paulo 2000.

**SEEBER, G.:** *Satellite Geodesy*, Editora Walter de Gruyter & Co. Berlim. 2003.

**WAENY, J.:** *Controle Total da Qualidade em Metrologia*, Makron Books Editora Ltda., São Paulo 1992.