

Análise da qualidade do posicionamento planimétrico utilizando o programa GNREF/GNRT-K com diferentes estações de referência

Jaime Freiberger Junior ¹
 Profa. Dra. Cláudia Pereira Krueger ²

^{1,2} UFPR – Setor de Ciências da Terra
 Depto. de Geomática
 Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
 81531-990 Curitiba-PR

¹ ✉ freiberger@swissinfo.org, ² ✉ ckrueger@cce.ufpr.br

Conteúdo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. Técnica RTK 3. Programa GNREF/GNRT-K 4. Levantamentos RTK <ol style="list-style-type: none"> 4.1 Definição da área teste, das estações de de referência e relativas 4.2 Levantamento de campo 4.3 Resultados e análises 5. Conclusão e recomendações 6. Referências bibliográficas
-----------------	--

Resumo: O posicionamento em tempo real tem-se apresentado como uma tecnologia de extrema importância que vem sendo incorporada em diversas aplicações como por exemplo: levantamentos cadastrais e hidrográficos, monitoramento de veículos e controle preciso de máquinas. Em alguns destes casos é necessário obter-se precisão decimétrica ou melhor, recorrendo-se ao uso da técnica RTK. Neste trabalho, apresentam-se o conceito desta técnica de posicionamento bem como os resultados obtidos a partir de alguns testes realizados em Curitiba-PR. Também é analisado o tempo de fixação das ambigüidades e as precisões alcançadas nos diversos levantamentos.

Palavras chave: RTK, GNRT, GNREF/GNRT-K

Abstract: Real time positioning measurements have been presented as a fundamental important technology for many geodetic applications such as land surveying, hydrography, vehicles and traffic control. In some of these cases it is necessary to obtain precision below the decimeter using for that purpose the RTK technique. In this work it is presented the concept of this positioning technique as well the results obtained from some tests performed in Curitiba-PR. It is also analyzed the time to fix ambiguities and the obtained precisions with the several measurements.

Keywords: RTK, GNRT, GNREF/GNRT-K

1 Introdução

O posicionamento por satélites com o GPS (*Global Positioning System*) tornou-se uma prática comum em diversas aplicações após a liberação de uso à comunidade civil. O advento de receptores GPS para fins geodésicos, no início da década de 80, proporcionou uma melhor precisão relativa nestes posicionamentos, que atualmente atingem o nível centimétrico e até subcentimétrico dependendo do tipo de equipamento e da técnica utilizada no levantamento. Em muitos casos, as coordenadas dos pontos são obtidas por pós-processamento dos dados armazenados na memória física dos receptores após a coleta em campo. Entretanto, algumas aplicações exigem que este processamento seja realizado em tempo real a fim de fornecer estas coordenadas instantaneamente. Tal fato é alcançado através de métodos de posicionamento Diferenciais GPS – DGPS (técnicas RTK e PDGPS).

Neste trabalho são apresentados alguns resultados de levantamentos RTK realizados entre os meses de março e abril de 2002 em uma área teste localizada na região metropolitana da cidade de Curitiba. Neles, empregou-se o programa GNREF/GNRT-K para a geração das correções diferenciais e a determinação de coordenadas geodésicas em tempo real. Inicialmente instalou-se a estação de referência no marco RM03 e após uma série de ocupações em marcos de coordenadas geodésicas precisas e pré-determinadas, os mesmos foram reocupados empregando-se outra estação de referência (ADMN) a fim de se testar a repetibilidade das observações e a ocorrência de possíveis melhoras na qualidade do posicionamento.

2 Técnica RTK

A técnica RTK (*Real Time Kinematic*) é destinada ao posicionamento de alta precisão em tempo real. Exige a disponibilidade de pelo menos uma estação de referência equipada com um receptor GPS e um rádio modem transmissor. Esta estação gera e transmite as correções diferenciais para uma estação móvel, que se utiliza destas informações para determinar sua posição.

O formato das correções diferenciais é definido pelos padrões recomendados pela RTCM (*Radio Technical Committee for Maritime Service*). Para efetuar o enlace de comunicação são utilizados rádios transmissores que normalmente operam nas faixas de frequência VHF/UHF para este tipo de aplicação. A grandeza de observação fundamental utilizada no RTK é a medida da fase da portadora, o que conduz a uma precisão subdecimétrica ou melhor (Krueger 1996 p. 55).

O emprego de correções diferenciais conduz a uma minimização da influência dos erros atuantes devido à distância que separa a estação de referência da estação móvel. Dentre estes erros citam-se: os erros do relógio do satélite, os erros das efemérides e os erros da propagação do sinal na atmosfera, que limitam a precisão do posicionamento de 1 a 10 ppm (Wübbena et al. 1996 p. 1846). Contudo, a técnica RTK restringe-se ao uso para comprimentos de linhas de base compreendidas entre 5 e 10 km devido ao alcance limitado do enlace UHF e também porque a determinação da posição nesta técnica utiliza somente solução da portadora L₁, ainda que a segunda portadora L₂ esteja presente para acelerar a resolução das ambigüidades (Willgalis et al. 2002 p. 3).

As medidas da fase da portadora contêm o termo ambíguo “N”, que é o número inteiro de comprimentos de onda existente entre as antenas do satélite e a do receptor. A alta precisão oferecida pela técnica RTK só é alcançada após a determinação destas ambigüidades enquanto a estação móvel estiver em movimento (Monico 1990 p. 219). Com o aumento da distância entre as estações (linha de base), há necessidade de um maior tempo de rastreamento para que haja a fixação das ambigüidades (Wübbena/Bagge 1995 p. 10). Conforme Bauer (1997, p. 311), na técnica RTK consideram-se linhas de base curta as inferiores a 5 km, sendo que a diminuição deste comprimento é um fator de favorecimento à resolução das ambigüidades.

3 Programa GNREF/GNRT-K

O GNREF/GNRT-K é um programa GPS desenvolvido para a determinação de coordenadas geográficas em tempo real. É constituído de um conjunto de módulos concebidos como programas independentes, que funcionam em um ambiente operacional multitarefa, podendo ser configurado para gerar e transmitir dados de correção de código e da fase da portadora a partir de dados brutos de medições fornecidos por receptores GPS ou GLONASS (Wübbena et al. 1996 p. 1846). As correções diferenciais são codificadas no formato otimizado RTCM++ e transferidas da estação de referência para a estação móvel, que as introduz em suas próprias observações para calcular sua posição em tempo real (Wübbena/Bagge 1995 p. 8).

O GNREF/GNRT-K pode receber configurações próprias, conforme as precisões desejadas. Na configuração mais simples (com emprego do código) o GNRT fornece precisão aproximada de 1 metro; com o processo de suavização do código com a fase da portadora e a transmissão dos dados no formato RTCM++ essa precisão melhora para 0,5 m (Geopp, 2002). Uma alternativa para tornar viável o emprego deste programa em levantamentos que exigem alta precisão é a utilização do módulo GNRT-K, que processa observações da fase da portadora para se obter soluções subdecimétrica ou melhor.

O GNREF/GNRT-K possui uma estrutura flexível, ou seja, seu funcionamento independe da marca fabricante dos receptores. Ele permite que ambas as estações trabalhem com a fase das portadoras L1 e L2, resolvendo as ambigüidades em tempo real (OTW) com recurso de aviso sonoro quando estas são resolvidas (Wübbena/Bagge 1995 p. 8). Alguns campos de emprego do GNREF/GNRT-K e as precisões obtidas estão indicados no quadro 1.

Tabela 1 : Aplicações e precisão do programa GNRT
(Fonte: Geopp 2002)

Atividade	Aplicação	Precisão
Navegação	Terrestre, marítima e aérea	0,1 – 5 m
Hidrografia	Levantamento de perfis	1 – 5 m
Posicionamento e monitoramento	Máquinas Embarcações	1 cm 1 – 5 m
Medições	Cadastro, locação Deformações	1 cm 0,1 – 1 cm

4 Levantamentos RTK

4.1 Definição da área teste, das estações de referência e relativas

A área definida para a realização dos levantamentos está circunscrita ao Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, local onde se encontra o Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE).

Para a execução dos levantamentos foram utilizados dois marcos como estações de referência RTK: RM03 e ADMN. Inicialmente ocupou-se o marco RM03, excêntrico ao marco PARA (pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC – e ligado ao Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul – SIRGAS). Na seqüência, o marco ADMN, o qual consiste de um ponto materializado por uma haste metálica, localizada sobre a laje de cobertura do edifício da administração do Centro Politécnico. Estes marcos estão separados por uma distância horizontal aproximada de 275 metros e apresentam uma diferença altimétrica de cerca de 14 metros. A figura 1 ilustra a localização destes marcos no campus do Centro Politécnico cujas coordenadas geodésicas referenciadas no WGS 84 estão indicadas no quadro 2.

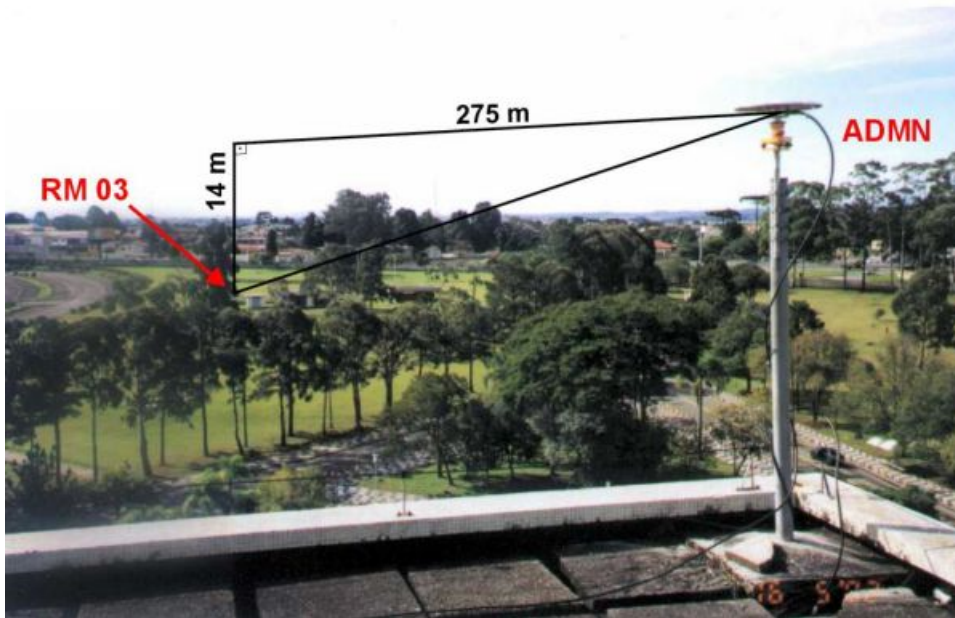


Figura 1 : Vértices RM03 e ADMN

Tabela 2 : Coordenadas geodésicas dos marcos RM03 e ADMN
(Nota: altitude geométrica em metros)

Marco	Latitude	Longitude	Altitude
RM03	-25° 26' 54,12910"	-49° 13' 51,43680"	925,758
ADMN	-25° 27' 02,22386"	-49° 13' 55,57402"	939,490

Os marcos relativos foram definidos por 6 estações cujas coordenadas geodésicas precisas foram determinadas a partir de um posicionamento relativo com a técnica estática em uma campanha realizada em julho de 2001. Estes marcos possuem diferentes linhas de base em relação às estações de referência RM03 e ADMN, variando de 1,5 a 14 km conforme ilustra a figura 1.

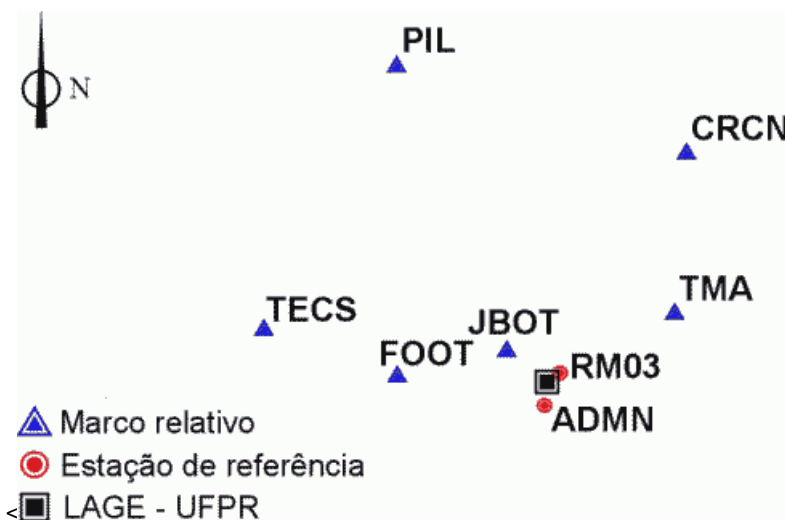


Figura 2 : Configuração geométrica da área de teste
(Nota: escala 1:300.000)

4.2 Levantamento de campo

Os levantamentos caracterizaram-se por uma estação de referência e uma estação móvel. A estrutura dos elementos que compõem cada uma das estações está representada nas figura 3.

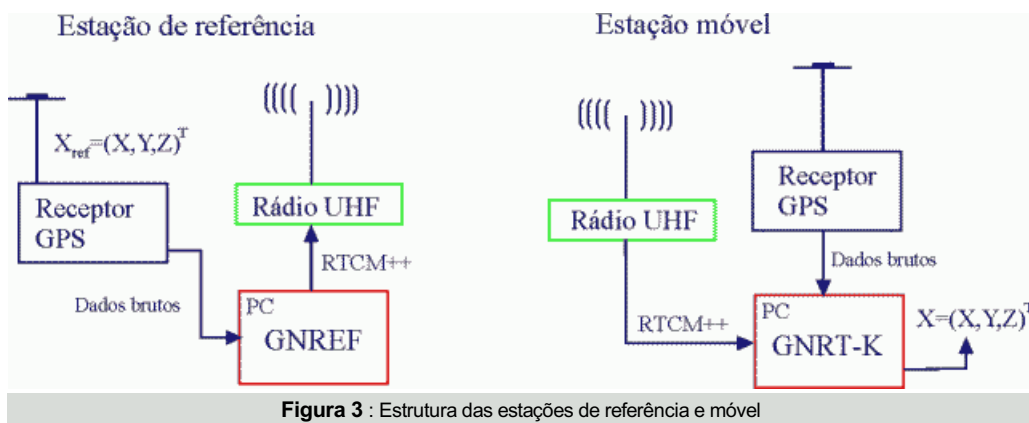


Figura 3 : Estrutura das estações de referência e móvel

Foram utilizados os seguintes equipamentos nestes levantamentos de campo:

- receptor Ashtech Z-XII geodésico de dupla frequência (L1 e L2), antena de recepção;
- sistema de comunicação – rádios Pacific Crest (2 e 35 W, UHF);
- microcomputador (programa GNREF/GNRT-K em sistema operacional OS-2).

Os computadores de ambas estações receberam a instalação do programa GNREF/GNRT-K, cujos módulos são configurados para operar conforme sua função específica. Um esquema dos módulos componentes deste programa, estruturados para as estações de referência e móvel, está ilustrado nas figuras 4 e 5 respectivamente.

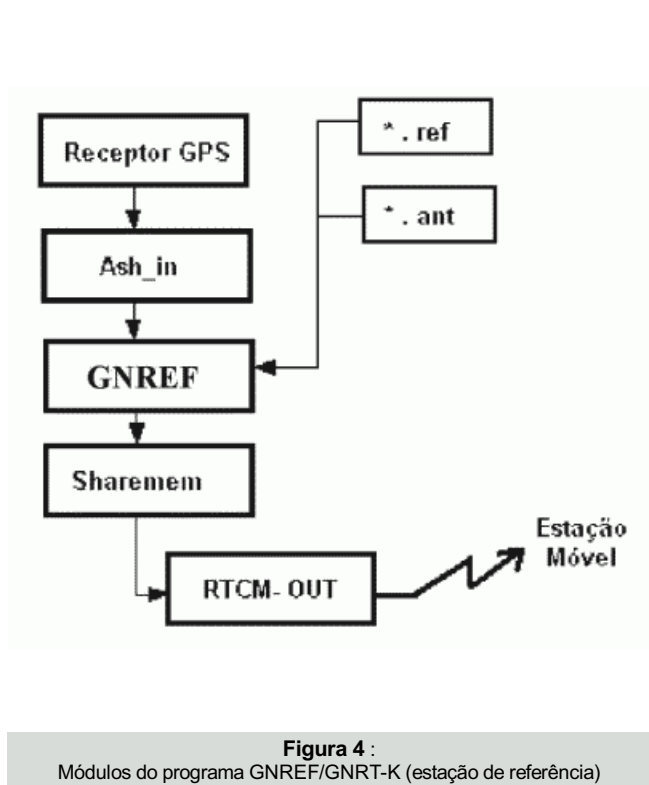


Figura 4 : Módulos do programa GNREF/GNRT-K (estação de referência)

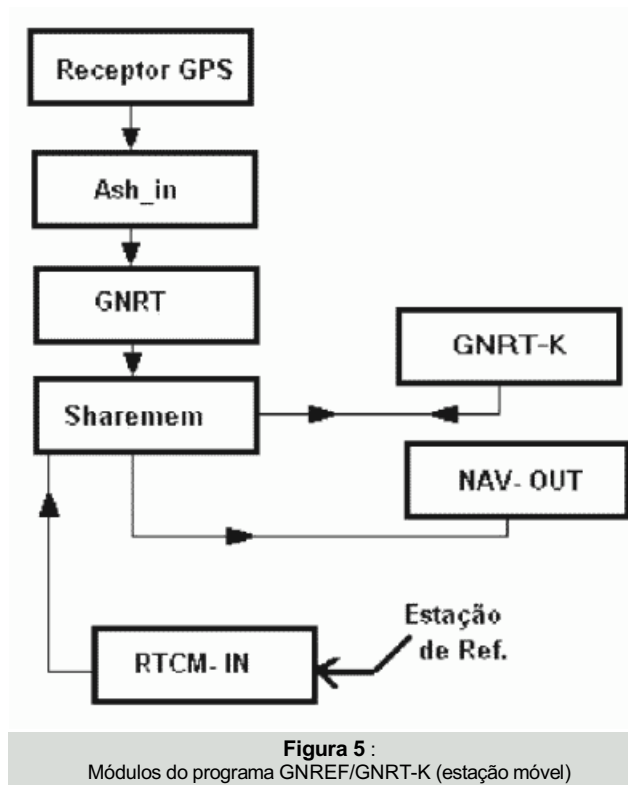


Figura 5 : Módulos do programa GNREF/GNRT-K (estação móvel)

Inicialmente foi utilizado o marco RM03 como estação de referência (seção 4.1). O módulo GNRT-K gerou e transmitiu continuamente as correções no formato RTCM++ para a estação móvel, esta efetuando ocupações aos marcos relativos (figura 2, seção 3.1). Elas foram executadas com a antena GPS estacionária, i.e., devidamente instalada sobre o marco de interesse e tomadas as medidas de altura inclinada da antena visando a obtenção da altura vertical, que foi inserida no programa.

Em cada marco foram realizadas 2 ocupações com intervalo de 1 hora entre elas objetivando-se uma mudança na constelação GPS. Efetuou-se em média 10 inicializações visando determinar as ambigüidades inteiras nestas seções. Foram ainda anotadas as informações relativas ao rastreo (número de satélites, PDOP e VDOP).

Posteriormente, a estação de referência foi transladada para o vértice ADMN (figura 1, seção 4.1) e repetido todo o procedimento descrito anteriormente.

4.3 Resultados e análises

Após a ocupação dos marcos da área teste (figura 2, seção 4.1) e obtenção das coordenadas geodésicas em tempo real, foram analisadas a qualidade destes resultados. O tempo GPS de referência, as coordenadas geodésicas e os respectivos desvios padrão foram retirados de um arquivo texto gerado pelo próprio módulo GNRT-K. Inicialmente, procedeu-se ao cálculo das diferenças entre as coordenadas conhecidas e as coordenadas obtidas em tempo real para cada ocupação. Esta diferença caracteriza o erro em posição a cada fixação de ambigüidade. No gráfico da figura 6 estão indicados os erros em latitude e longitude para as 15 seções efetuadas no marco TMA, distante 3,5 km da estação de referência.

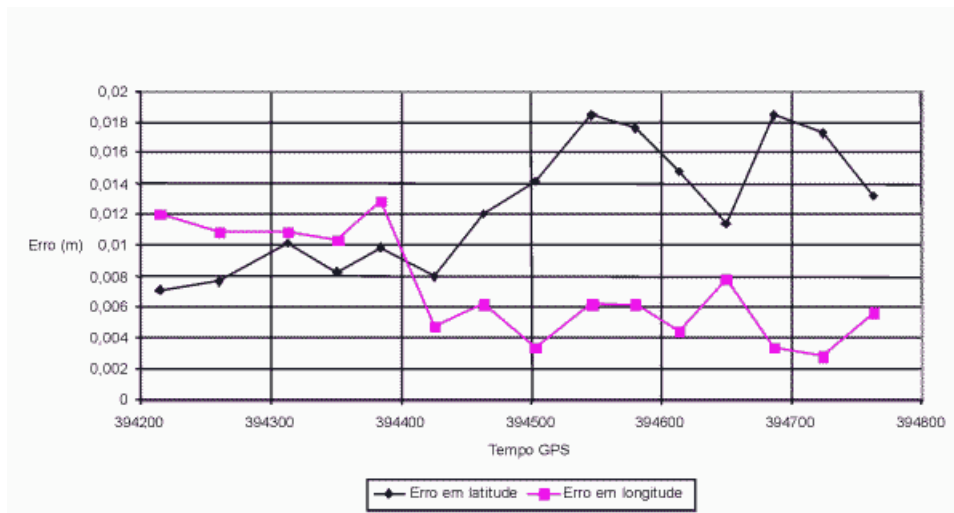


Figura 6 : Erro em latitude e longitude x tempo GPS (marco TMA – 2ª ocupação)

Verifica-se que neste marco o erro das coordenadas em latitude está compreendido entre 7,1 mm e 18,5 mm e em longitude entre 2,8 mm e 10,3 mm, comprovando que o sistema possibilita a obtenção de soluções abaixo do centímetro. Também foram analisados os erros planimétricos e altimétricos correspondentes a cada fixação de ambigüidade. Os erros nas componentes planimétrica e altimétrica apresentaram um valor médio de 18 mm e 28 mm respectivamente (figura 7).

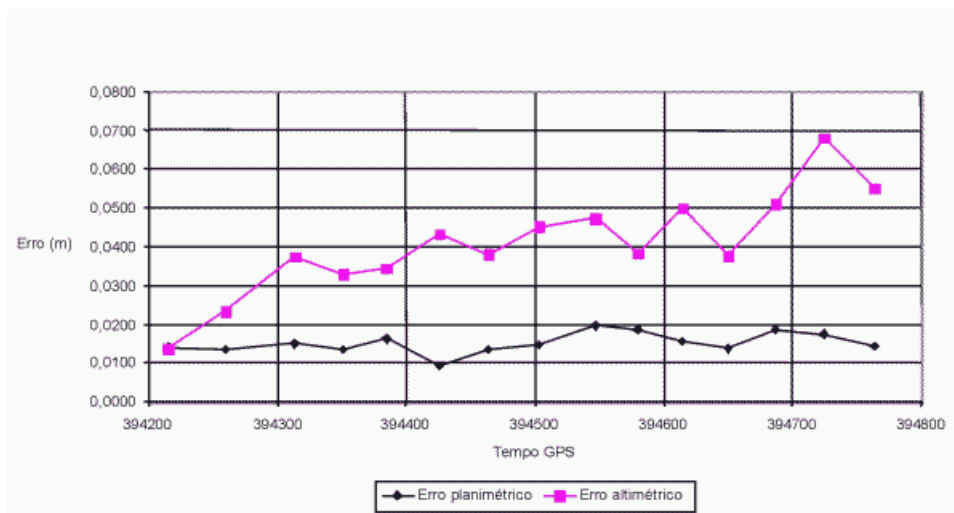


Figura 7 : Erros planimétrico e altimétrico x Tempo GPS (marco TMA – 2ª ocupação)

No gráfico da figura 8 apresentam-se as porcentagens das observações realizadas nas duas ocupações para cada uma das estações relativas tendo como estação de referência o marco RM03, cujos erros planimétricos encontram-se inferiores a 1cm + 10ppm.

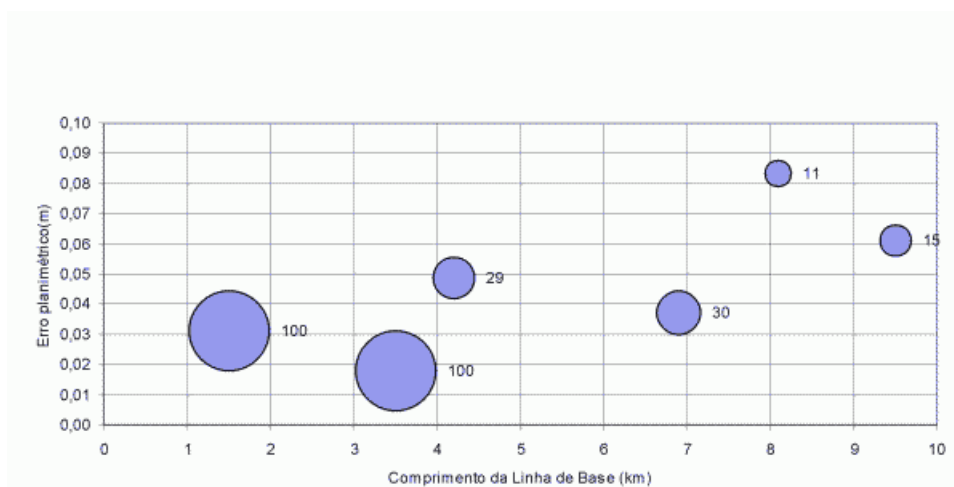


Figura 8 : Erros planimétricos inferiores a 1cm + 10 ppm (estação de referência RM03)

Visando investigar a influência do comprimento da linha de base na precisão do posicionamento e no TTFA, foi gerado um gráfico (figura 9) que resume as estações relativas em ordem crescente de linhas de base relacionadas com os valores médios dos erros planimétricos e dos tempos de fixação de ambigüidades para todas as observações realizadas (duas ocupações com 10 seções médias) empregando-se a estação de referência no marco RM03.

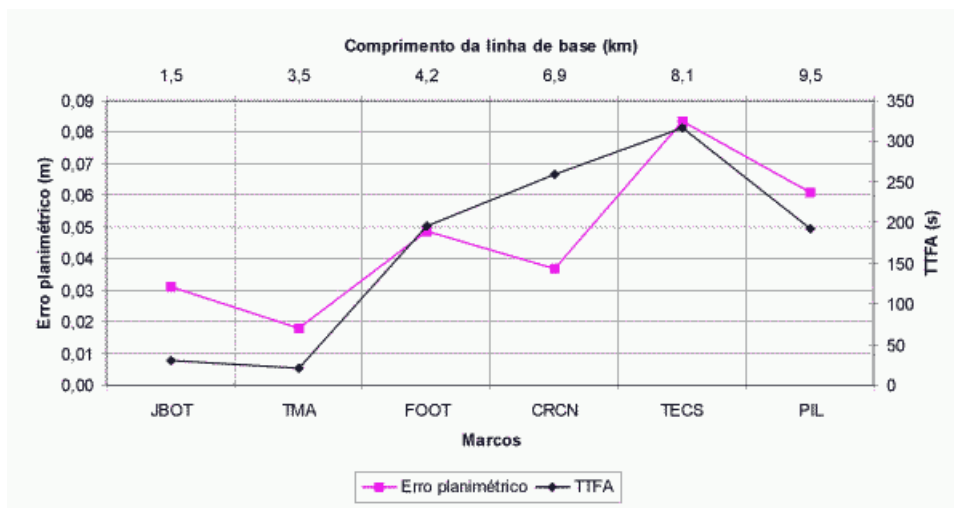


Figura 9 : Erro planimétrico x TTFA (estação de referência RM03)

Constata-se que o aumento da linha de base compromete a precisão do posicionamento e o TTFA. Para as linhas de base de até 5 km, o TTFA resultou em uma média de 80 segundos enquanto para as linhas de base acima de 5 km este valor superou a média de 280 segundos. Os erros planimétricos sofreram um acréscimo gradual, resultando em uma média de 30 mm para as linhas de base de até 5 km e 60 mm para as linhas de base acima de 5 km. Os valores dos erros da componente altimétrica também sofreram acréscimos, de 140 mm nas linhas de base de até 5 km para 200 mm nas linhas de base acima de 5 km.

Na seqüência repetiu-se as análises para a série de levantamentos realizados com a estação de referência instalada no vértice ADMN desta vez com a estação elevada (figura 1, seção 3.1), sob a hipótese de favorecer a transmissão das correções diferenciais bem como trazer possíveis melhoras às soluções geradas na estação móvel.

No gráfico da figura 10 observam-se as porcentagens de observações realizadas nas duas ocupações para cada uma das estações relativas cujos erros planimétricos encontram-se inferiores a $1\text{cm} + 10\text{ppm}$.

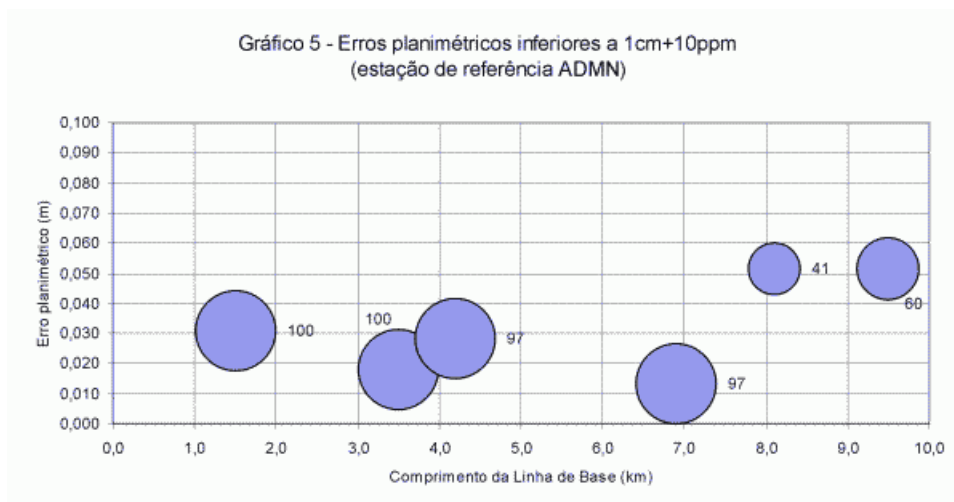


Figura 10 : Erros planimétricos inferiores a $1\text{cm} + 10\text{ppm}$ (estação de referência ADMN)

Comparando-se o gráfico da figura 10 com o gráfico da figura 8 percebe-se que houve um aumento das porcentagens das observações cujos erros planimétricos encontram-se inferiores a $1\text{cm} + 10\text{ppm}$. Os resultados mostraram uma resposta positiva com a mudança da estação de referência, indicando que houve melhoras nas condições da estação móvel, conduzindo a observações mais precisas e confiáveis.

Pela análise do gráfico na figura 11, conclui-se que para as linhas de base de até 5 km os erros planimétricos e altimétricos resultaram em um valor médio de 25 mm e 60 mm respectivamente e TTFA médio de 30 segundos, enquanto que para as linhas de base acima de 5 km estes valores ficaram em 38 mm, 200 mm e 220 segundos, respectivamente.

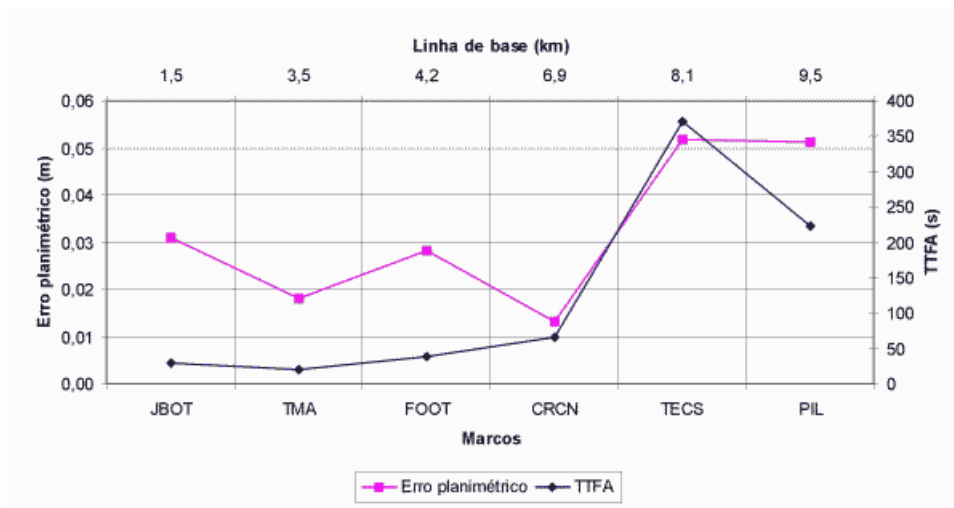


Figura 11 : Erro planimétrico x TTFA (estação de referência ADMN)

Comparando-se os gráficos das figura 11 e 9 nota-se que houve uma melhora nos resultados para as estações de linhas de base superior a 3,5 km onde os erros planimétricos foram reduzidos. O TTFA também foi reduzido, com exceção dos marcos TECS e PIL, que tiveram um acréscimo de 75 segundos e 25, segundos respectivamente.

5 Conclusões e recomendações

Para ambas as estações de referência (RM03 e ADMN) os resultados atendem às especificações técnicas para aplicações em levantamentos cadastrais, indicando a viabilidade da técnica RTK com uso do programa GNREF/GNRT-K, permitindo um maior rendimento nos levantamentos cadastrais.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que a mudança da estação de referência se mostrou viável para as linhas de base inferiores a 10 km, revelando uma melhora de 30 % na precisão do posicionamento planimétrico com uma redução média de 25% no TTFA. A estratégia adotada não surtiu efeitos significativos para melhorar a precisão altimétrica, que não recebeu melhoras expressivas com relação aos primeiros levantamentos.

No sentido de investigar a precisão alcançada no posicionamento RTK faz-se necessário que se realizem mais experimentos com um número maior de marcos relativos. Dessa forma, disponibilizar-se-á mais informações que possam esclarecer o comportamento do sistema RTK (e.g. tempo de fixação das ambigüidades, precisão entre outras variáveis) frente às influências sistemáticas cujas causas permanecem obscuras.

6. Referências Bibliográficas

Bauer, M.: *Vermessung und Ortung mit Satelliten: NAVSTAR-GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme*. 4., Wichmann, Heidelberg, 1997.

Geopp: *GPS Positionierung in Echtzeit*, Geo++ GmbH, Garbsen, 2001, p. 1-7. Disponível em <<http://www.geopp.de>>. Acesso em maio/2002.

Krueger, C.P.: *Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho*. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

Leick, A.: *GPS: Satellite surveying*, 2. Ed, J.Wiley, New York, 1995.

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

Willgalis, S.; Seeber, G.; Krueger, C.P.; Romão, V.M.C.: *A real time reference network for Recife, Brazil, enabling precise and reliable cadastral surveys*. In: FIG XXII International Congress, Washington, D.C. USA, 2002, p. 1-14.

Wübbena, G.; Bagge, A.: *Präzises DGPS in Echtzeit für Vermessung und GIS-Anwendungen*. In: DVW-Praxisseminar DGPS-Anwendungen, Hamburg, 1995, p.01 a 16.

Wübbena, G.; Bagge, A.; Seeber, G.; Böder, V.; Hankemeier, P.: *Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise*

