

DGPS em Rede: Aspectos teóricos, Implementação e Análise dos Resultados

Luiz Fernando Antonio Dalbello ¹
Prof. MSc. Daniele Barroca Marra Alves ²
Prof. Dr. João Francisco Galera Monico ³

UNESP/FCT – Departamento de Cartografia
19060-900 Presidente Prudente SP

¹ lfdalbelo@gmail.com
² danibarroca@yahoo.com.br
³ galera@prudente.unesp.br

Resumo: Desde o surgimento do GPS várias técnicas de posicionamento foram desenvolvidas com o intuito de explorar a capacidade que o GPS tem de prover coordenadas acuradas sobre a superfície terrestre, ou próximo dela. Um dos métodos de posicionamento que tem se destacado é o *Differential GPS* (DGPS). Esse método pode ser utilizado em várias aplicações, como por exemplo: navegação, levantamentos, atividades de engenharia, locação, agricultura de precisão entre outras. O conceito básico do DGPS assume uma alta correlação dos erros em uma determinada área, como os causados pela ionosfera e pela troposfera. No entanto, com o afastamento da estação móvel com relação a estação base ocorre uma diminuição da eficiência do método. Deste modo, nesta pesquisa, foi implementado o DGPS em rede, visando minimizar a decorrelação dos erros na área de abrangência da rede.

Abstract: Since GPS appearance, several positioning techniques have been developed with the intention of exploring the capacity that GPS has to provide accurate coordinates on the terrestrial surface, or near to it. One of the positioning methods that has been outstanding is the *Differential GPS* (DGPS). This method can be used in several applications, for example: navigation, surveying, engineering activities, location, precision agriculture among others. The basic concept of DGPS assumes a high correlation of the errors in a determined area, as caused by ionosphere and troposphere. However, when the distance between the rover and base stations increases, the method efficiency decreases. Aiming to reduce this problem, in this research, the DGPS Network was implemented, in order to minimize the decorrelation errors in the Network area.

1 Introdução

O DGPS é um dos métodos desenvolvidos pela comunidade civil que provê uma razoável precisão utilizando uma estação base nas proximidades da estação móvel. Deste modo, no conceito básico do DGPS assume-se uma alta correlação dos erros inerentes ao posicionamento (efeitos de ionosfera e troposfera) em uma determinada região de interesse. O DGPS tem sido utilizado em diversas aplicações como: navegação, levantamentos, atividades de engenharia, locação, agricultura de precisão, etc. No DGPS os dados podem ser processados em tempo real, bem como após a coleta de dados (pós-processamento) (Seeber, 2003; Monico 2000).

O DGPS utiliza como observável básica a pseudodistância ou pseudodistância filtrada pela portadora. No entanto, o método que utiliza somente as pseudodistâncias é o mais empregado na prática (Monico, 2000).

Cabe ressaltar que as pseudodistâncias contêm erros como: refração troposférica (Sapucci, 2003), efeitos ionosféricos (Matsuoka, 2003), erros do relógio do satélite e do receptor (Monico, 2000), erro nas órbitas dos satélites GPS e multicaminho (Souza, 2004). No que concerne ao multicaminho, assume-se que a estação de referência foi implantada em local com o mínimo desse efeito, ou calibrada através de técnicas apropriadas.

Para tentar minimizar a decorrelação dos erros envolvidos no posicionamento, o DGPS foi implementado utilizando correções de uma rede de estações referência. Assim, a partir das estações que compõem a rede, as correções para a posição da estação móvel podem ser calculadas. Essa estação deve se localizar na região de abrangência da rede. O uso de uma rede de estações de referência, ao invés de uma única estação de referência, permite modelar os erros sistemáticos na região, fazendo com que esses erros sejam reduzidos e a acurácia do posicionamento melhorada (Lapachelle\Alves, 2002). Nessa pesquisa, as correções DGPS geradas para cada estação serão utilizadas para gerar a correção da estação móvel, por meio de uma interpolação (seção 3.1).

1.1 Objetivos

O objetivo desse artigo é apresentar a implementação do DGPS em rede, com o intuito de minimizar os efeitos da decorrelação espacial dos erros envolvidos no posicionamento DGPS, de modo que seja similar ao *Wide Area DGPS* (WADGPS).

2 Conceitos básicos do DGPS convencional

O DGPS foi desenvolvido inicialmente com o intuito de reduzir os efeitos provocados pela *Selective Availability* (SA). É uma técnica usada para melhorar a posição do usuário através da aplicação de correções providas de uma estação de monitoramento GPS, chamada estação base (estação de coordenadas conhecidas). Essas correções podem ser enviadas ao usuário através de um link de rádio (Figura 01) (Seeber, 2003).

Diferentes procedimentos podem ser utilizados para a geração das correções, como (Seeber, 2003):

- **Correções na posição** – a posição da estação de referência derivada do GPS é comparada com sua posição considerada verdadeira. As correções da posição ΔX , ΔY , ΔZ ou $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$ e Δh , são transmitidas e utilizadas para corrigir a posição do receptor móvel;
- **Correções na pseudodistância** – as pseudodistâncias observadas (arquivos de observação) de todos os satélites visíveis são comparadas com as calculadas a partir das coordenadas da estação base e dos satélites. As diferenças e suas variações são transmitidas para o receptor móvel para corrigir as pseudodistâncias observadas (seção 2.1). No entanto, devido a decorrelação dos erros (ionosfera, troposfera e órbita), quando o receptor móvel se afasta da estação de referência, a acurácia decresce aproximadamente 1m para cada 100 km.

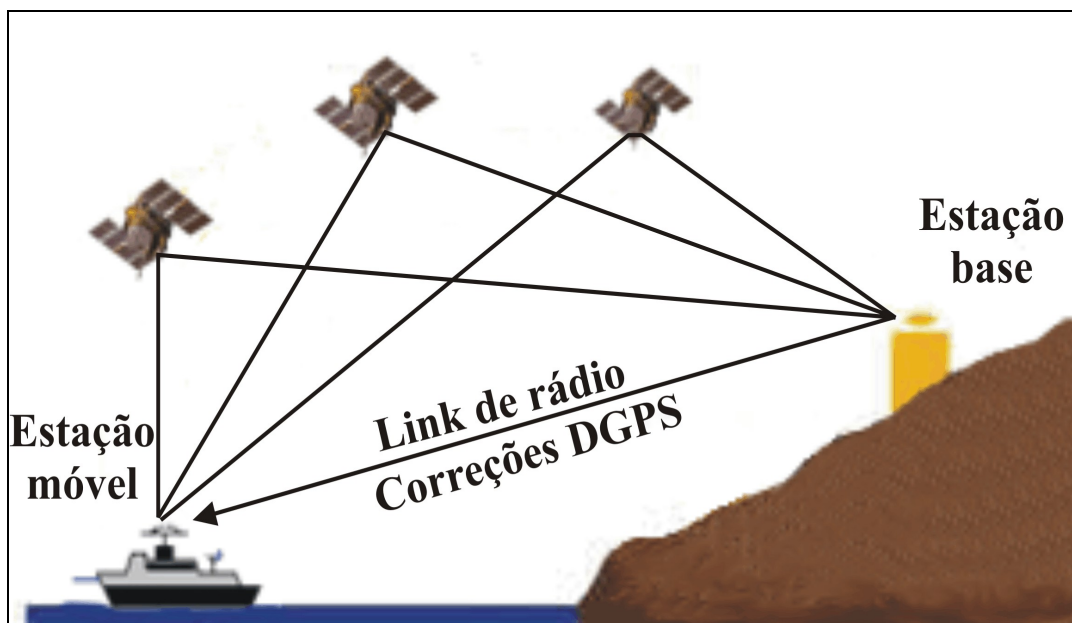


Figura 01 – Conceito do DGPS

No caso das correções na pseudodistância, para o DGPS convencional, o cálculo é feito da seguinte forma: a partir das órbitas dos satélites GPS (efemérides transmitidas ou precisas) e as coordenadas da estação base (conhecidas), faz-se o cálculo da distância geométrica entre a estação base e o satélite para um determinado instante. Assim, com a diferença entre as distâncias calculadas e as pseudodistâncias contidas no arquivo de observação, e considerando também o erro do relógio do receptor que é diferente para a estação base e a estação móvel, tem-se a correção que será enviada ao receptor móvel.

O DGPS é uma técnica cujo processamento geralmente é realizado em tempo real, porém o processamento dos dados após a coleta pode ser realizado sem problema. No processamento em tempo real, as variações devem ser enviadas para o receptor móvel com suas respectivas correções, pois existe uma latência, ou seja, um atraso das correções devido ao tempo de cálculo e de envio das mesmas (Hofmann-Wellenhof\Lichtenegger\Collins, 1997).

A variação temporal diz respeito à latência das correções diferenciais, ou seja, é o intervalo de tempo decorrido desde o instante em que foram geradas as correções até o instante em que são utilizadas no cálculo da posição da estação móvel (Briones\Kueguer, 1999). A latência depende das características do sistema que realiza os cálculos, o controle e o envio das correções por um sistema de transmissão. A taxa de transmissão dada em bits por segundo (bps) depende da capacidade que o sistema de comunicação tem de transferir os dados da estação base para a estação móvel (Saatkamp\Krueger, 2002). Deste modo quanto maior for a taxa de transmissão menor será a latência.

Segundo Parkinson\Enge (1996) se as correções forem aplicadas a pseudodistância da estação móvel com uma latência de até 10 segundos, os erros comuns as duas estações serão praticamente eliminados, proporcionando uma precisão de 1m (1 *sigma*) num raio de 50 km. No entanto, Poz et al. (2003) apresenta experimentos para distâncias curtas em que latências maiores que 10 segundos (de 20 a 90 segundos) não influenciam nos resultados. Isso mostra que a desativação do SA acarretou em uma lenta variação dos erros, o que permite um aumento da taxa de atualização das correções sem prejudicar os resultados do posicionamento com o DGPS (Poz, 2003).

Usualmente, a área de cobertura para que se tenha um bom desempenho é de aproximadamente 150 km (Parkinson\Enge, 1996). Porém segundo Monico (2000), para algumas aplicações um afastamento de até 1000 km pode apresentar resultados com precisão em um intervalo de 1 a 10m.

2.2 Pseudodistância

A medida da pseudodistância é obtida a partir da correlação entre o código gerado pelo satélite no instante de transmissão (t^s) e sua réplica gerada no receptor no instante de recepção (t_r). O termo pseudodistância é usado em virtude do não-sincronismo entre os relógios responsáveis pela geração do código no satélite e

sua réplica no receptor (Leick, 1995). Vários fatores acarretam erros na determinação da pseudodistância, como por exemplo: erros dos relógios do satélite e do receptor, refração troposférica, efeitos ionosféricos, multicaminho, erro da órbita do satélite, etc. A equação que fornece a pseudodistância entre o satélite e o receptor na época t , é dada por (Gizawy, 2003; Olynic, 2002):

$$PD_r^s(t) = \rho_r^s(t) + c(dt_r - dt^s) + I_r^s + T_r^s + dm_r^s + d\rho_r^s + \epsilon_{PD_r^s} \quad (2.1)$$

onde:

- $\rho_r^s(t)$ - distância geométrica entre o receptor no instante de recepção do sinal e o satélite no instante de transmissão, em metros;
- C - velocidade da luz no vácuo, m/s;
- dt_r - erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante de recepção, em segundos;
- dt^s - erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante de transmissão, em segundos;
- I_r^s - erro causado pela refração ionosférica, em metros;
- T_r^s - erro causado pela refração troposférica, em metros;
- dm_r^s - erro causado pelo multicaminho, em metros;
- $d\rho_r^s$ - erro causado pela órbita do satélite, em metros;
- $\epsilon_{PD_r^s}$ - erro da pseudodistância devido aos efeitos não modelados e aleatórios.

No DGPS convencional, os termos referentes a ionosfera, troposfera, multicaminho e órbita não são introduzidos nos cálculos.

2.3 Correção do erro do relógio do receptor

Para o cálculo do erro do relógio do receptor (dt_r) da estação base (conhecida) é utilizada a equação:

$$PD_r^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) \quad (2.2)$$

onde:

- PD_r^s - pseudodistância medida entre o satélite r e receptor s , obtida nos arquivos de observação, em metros;
- ρ_r^s - distância geométrica entre o satélite s no instante de transmissão e o receptor r no instante de recepção, em metros;
- c - velocidade da luz no vácuo, em m/s;

Dessa forma, será determinado um valor de dt_r para cada observação com segue:

$$dt_r = (PD_r^s - \rho_r^s + c dt^s) / c \quad (2.3)$$

E em seguida, será calculada a média de todos os valores, obtendo assim um único valor \overline{dt}_r para a época específica, o que irá melhorar sua qualidade.

$$\overline{dt}_r = \frac{\sum_{i=1}^n dt_r}{n} \quad (2.4)$$

Na equação (2.4) n é o número de observações da época.

2.4 Cálculo das correções das pseudodistâncias

A partir dos termos referentes aos erro do relógio do satélite (dt^{s_i}) e o erro do relógio do receptor $\overline{dt_{r_i}}$, será obtida uma correção para cada pseudodistância, restando apenas os erros residuais, que é dada por:

$$\Delta p(t_i) = PD_r^s(t_i) - \rho_r^s(t_i) - c(\overline{dt_{r_i}} - dt^{s_i}) \quad (2.5)$$

onde t_i é o tempo na época especificada.

Na equação (2.5), a distância geométrica calculada ρ_r^s , será obtida a partir das coordenadas conhecidas da estação base e das coordenadas dos satélites, essas últimas fornecidas pelo International GNSS Service (IGS), isto é

$$\rho_r^s = \sqrt{(X^S(t^s) - X_B(t_r))^2 + (Y^S(t^s) - Y_B(t_r))^2 + (Z^S(t^s) - Z_B(t_r))^2} \quad (2.6)$$

onde:

- $X^S(t^s), Y^S(t^s), Z^S(t^s)$ - coordenadas do satélite no instante de transmissão do sinal;
- $X_B(t_r), Y_B(t_r), Z_B(t_r)$ - coordenadas da estação base no instante de recepção do sinal.

Portanto, para determinar as correções residuais da pseudodistância, a pseudodistância observada (arquivo de observação) será subtraída da calculada $(\rho_r^s + c(\overline{dt_{r_i}} - dt^s))$. Em seguida, assim que dados de novas épocas ficarem disponíveis, o processo será repetido e as variações das correções serão calculadas para serem disponibilizadas aos usuários juntamente com as correções. Logo, obtendo-se as correções Δp das épocas t_i e t_{i+1} , por exemplo, pode-se calcular a variação da correção $\Delta \dot{p}$ como:

$$\Delta \dot{p} = \frac{\Delta p(t_{i+1}) - \Delta p(t_i)}{(t_{i+1} - t_i)}, \quad (2.7)$$

Assim, as correções e suas respectivas variações podem ser aplicadas nas pseudodistâncias da estação móvel. Essa correção pode ser gerada seguindo o formato RTCM SC-104 desenvolvido pela *Radio Technical Commission for Maritime Services* (RTCM, 2004).

Um detalhe que deve-se observar é que as coordenadas dos satélites utilizadas na equação 2.6 devem ser as calculadas no instante de transmissão do sinal. No entanto, o instante de transmissão deve ser determinado por um método iterativo.

2.5 Utilizando as correções

Na concepção do DGPS, o usuário que deseja utilizar as correções da pseudodistância na época t_k em relação a época t_0 deverá aplicar a seguinte seguinte correção na pseudodistância observada:

$$\Delta p(t_k) = \Delta p(t_0) + \Delta \dot{p}(t_0)(t_k - t_0) \quad (2.8)$$

onde:

- $\Delta p(t_k)$ é a correção a ser aplicada;
- $\Delta p(t_0)$ é a correção na época t_0 ;
- $\Delta \dot{p}(t_0)$ é a razão de variação da correção.

Assim, no DGPS as correções (equação (2.8)) serão aplicadas nas pseudodistâncias observadas da estação móvel. Portanto, na estação móvel, as pseudodistâncias corrigidas (PD_{corr}) serão dadas por:

$$PD_{corr} = PD_r^s(t_k) + c \left(\overline{dt}_{r_k} - dt_k^s \right) - \Delta p(t_k) \quad (2.9)$$

Utilizando as observáveis corrigidas, tal como na equação (2.9), o usuário poderá realizar o posicionamento por ponto nessa estação para determinar sua posição (Monico, 2000).

3 DGPS em rede

No DGPS em rede as correções diferenciais são calculadas, individualmente, para cada uma das estações de referência da rede. O cálculo das correções para cada uma das estações é feito do mesmo modo que para o DGPS convencional (seção 2.4). No entanto para se aplicar as correções diferenciais para a estação móvel, deve-se obter um único vetor de correções, ou seja, uma única correção de pseudodistância para cada satélite. Nesse sentido, um modelo de interpolação deve ser utilizado.

3.1 INTERPOLAÇÃO DAS CORREÇÕES DIFERENCIAIS PARA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO MÓVEL

Nessa pesquisa, apesar de outras possibilidades, é utilizada a equação de um plano para determinar a correção diferencial (CD) para posição do usuário, isto é:

$$CD = aX + bY + cZ \quad (3.1)$$

Na equação (3.1), X, Y e Z são as coordenadas cartesianas das estações de referência da rede e CD é a correção diferencial da estação. Sendo assim, utilizando três estações pode-se determinar os parâmetros a, b e c. Determinados estes parâmetros, os mesmos são aplicados à equação (3.1) para obter o valor da correção diferencial para a posição do receptor móvel. Para o caso de se utilizar um número maior de estações deve-se utilizar outro modelo matemático para realizar a interpolação.

Obtidas as correções diferenciais para a estação móvel as mesmas são aplicadas as pseudodistâncias desta estação para realizar o posicionamento por ponto.

4 EXPERIMENTOS REALIZADOS COM O DGPS EM REDE

Para verificar qual a contribuição da utilização do método de DGPS em rede, realizou-se alguns experimentos comparando os resultados obtidos com o DGPS em rede e os resultados obtidos com o DGPS convencional (seção 2) utilizando uma única estação de referência.

Nos experimentos foram utilizadas 5 estações base: UEPP (Presidente Prudente), MARI (Maringá), NEIA (Cananéia), PARA (Curitiba) e PIRA (Pirangi) (figura 02). A estação móvel utilizada em todos os experimentos foi a de Quata (QUAT). Os dados processados são dos dias 19 e 22 de maio de 2005, das 11 às 15 h (horário local). Os dados foram coletados a uma taxa de 15 segundos. Para as coordenadas dos satélites foram utilizadas as efemérides precisas fornecidas pelo IGS.

O DGPS em rede foi realizado em três configurações diferentes, de modo que em cada uma das configurações foram utilizadas 3 estações de referência. As configurações utilizadas foram:

- A = UEPP, MARI e PIRA;
- B = UEPP, PARA e PIRA;
- C = UEPP, NEIA e PIRA;

A disposição das estações citadas acima é apresentada na figura 02.

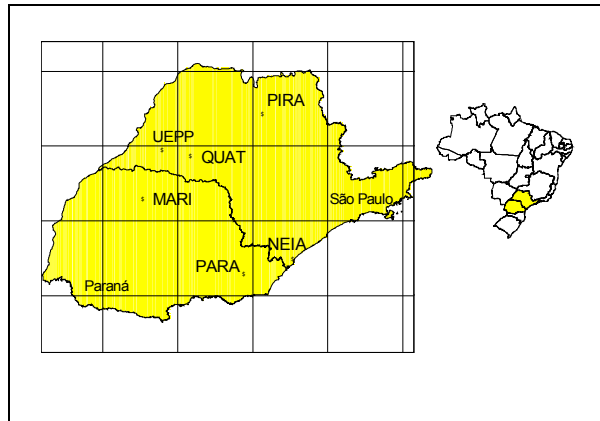


Figura 02 – Estações GPS do estado de São Paulo e do Paraná.

Em seguida fez-se o processamento com o DGPS que utiliza apenas uma estação de referência (DGPS convencional). Dado que a estação UEPP é a mais próxima da estação móvel (QUAT) ela foi utilizada como base neste experimento. A estação mais próxima foi escolhida devido ao fato de que no DGPS, quanto mais próxima a estação base, melhores são os resultados. Assim, os resultados obtidos utilizando apenas uma estação de referência (UEPP) serão comparados com o DGPS em rede processado com as três configurações citadas.

A figura 03 apresenta as discrepâncias resultantes em planimetria (RP) e a componente altimétrica (h) para o DGPS em rede realizado com a configuração A e o DGPS convencional, para os dias 19 e 20 respectivamente. Apenas uma época de observação é considerada para a obtenção da posição.

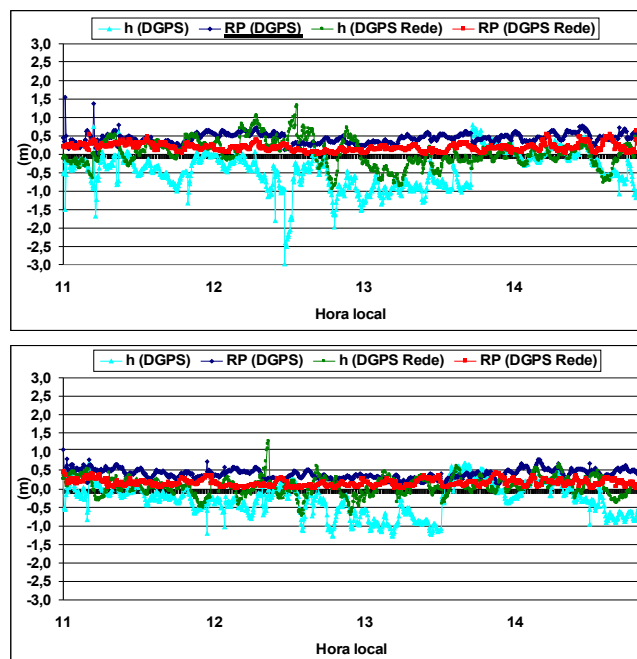


Figura 03– Discrepâncias em h e RP para o DGPS em rede (configuração A) e DGPS convencional (base UEPP) para o dia 19 e 22 respectivamente.

Pode-se verificar que para os dois dias o DGPS em rede, na configuração utilizada, proporcionou os melhores resultados. Observa-se também, que tanto para o dia 19 quanto para o dia 22, as maiores discrepâncias obtidas com o DGPS convencional ocorrem no período das 12 às 14 horas. Este resultado era esperado, pois trata-se de um dos períodos de maior influência da ionosfera. Já os resultados obtidos com o DGPS em rede são mais homogêneos, há uma melhor modelagem dos erros envolvidos no posicionamento.

De modo análogo fez-se a comparação dos resultados obtidos com as bases da configuração B no DGPS em rede e os resultados obtidos no DGPS convencional (utilizando a estação UEPP como base). Os resultados obtidos com esses processamentos para os dias 19 e 22 são apresentados na figura 04.

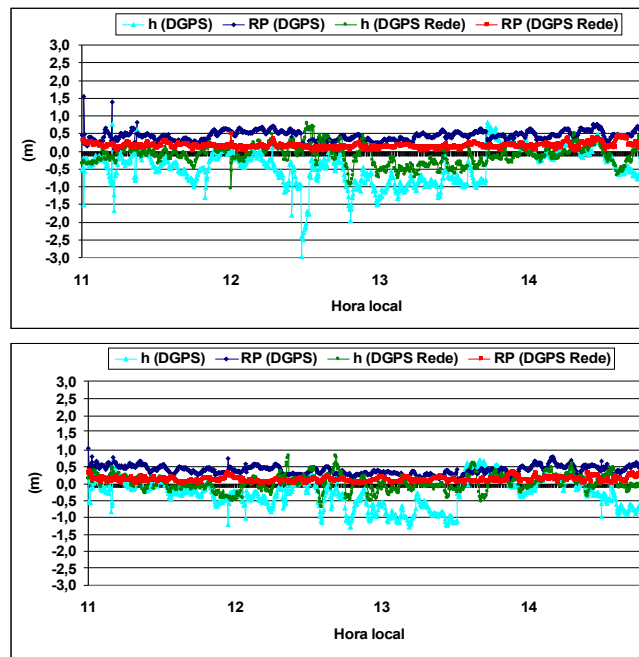


Figura 04– Discrepâncias em h e RP para o DGPS em rede (configuração B) e DGPS convencional (base UEPP) para o dia 19 e 22 respectivamente.

Novamente, para esta configuração da rede GPS os resultados proporcionados pelo DGPS em rede apresentaram uma significativa melhoria com relação ao DGPS convencional. Pode-se notar ainda uma pequena melhoria dos resultados da configuração B com relação a configuração A, tanto para o dia 19 como para o dia 22.

Os resultados obtidos com a configuração C no DGPS em rede são apresentados nas figuras 05.

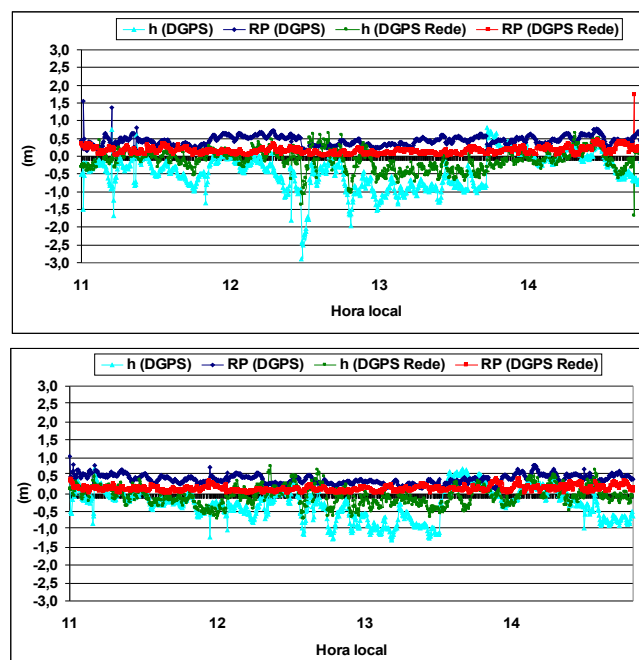


Figura 05– Discrepâncias em h e RP para o DGPS em rede (configuração C) e DGPS convencional (base UEPP) para o dia 19 e 22 respectivamente.

Os resultados obtidos com a configuração C apresentam resultados similares aos resultados apresentados com a configuração B. Da mesma forma que para as outras configurações apresentadas.

Na tabela 01 são apresentados os resultados do DGPS convencional para os dias 19 e 20, bem como os resultados obtidos para as três configurações da rede utilizada (A, B e C). Os dados apresentados nessa tabela (01) são as médias, os desvios-padrão e os erros médios quadráticos (EMQ) para cada uma das componentes (E, N, h) e para a resultante planimétrica.

Dos resultados apresentados para o dia 19 pode-se notar uma melhoria significativa do DGPS em rede com relação ao DGPS convencional. O mesmo pode-se dizer para os resultados do dia 22. O DGPS em rede para os dias 19 e 22 na configuração A proporcionou uma melhoria de aproximadamente 30 cm na componente altimétrica e de aproximadamente 25 na componente planimétrica.

Tabela 01 – Média, desvios-padrão e EMQ para as discrepâncias do DGPS em rede (configuração A, B e C) e para o DGPS convencional para os dias 19 e 22.

	DGPS Convencional (dia 19)				DGPS Convencional (dia 22)			
	E	N	h	RP	E	N	h	RP
Média (m)	0,356	-0,198	-0,441	0,437	0,330	-0,166	-0,290	0,399
DP (m)	0,117	0,172	0,498	0,136	0,127	0,149	0,435	0,125
EMQ	0,375	0,262	0,665	0,457	0,354	0,223	0,523	0,418
Configuração A								
DGPS em Rede (dia 19)				DGPS em Rede (dia 22)				
	E	N	h	RP	E	N	h	RP
Média (m)	0,008	-0,043	0,018	0,177	-0,048	-0,027	0,058	0,147
DP (m)	0,116	0,161	0,368	0,100	0,098	0,128	0,250	0,086
EMQ	0,116	0,167	0,368	0,203	0,109	0,131	0,257	0,170
Configuração B								
DGPS em Rede (dia 19)				DGPS em Rede (dia 22)				
	E	N	h	RP	E	N	h	RP
Média (m)	0,046	0,024	-0,127	0,149	0,005	-0,006	0,002	0,120
DP (m)	0,100	0,152	0,280	0,117	0,095	0,100	0,230	0,068
EMQ	0,110	0,154	0,307	0,189	0,095	0,101	0,230	0,138
Configuração C								
DGPS em Rede (dia 19)				DGPS em Rede (dia 22)				
	E	N	h	RP	E	N	h	RP
Média (m)	0,033	0,005	-0,118	0,148	0,002	0,012	-0,075	0,130
DP (m)	0,101	0,142	0,294	0,098	0,100	0,111	0,257	0,074
EMQ	0,106	0,142	0,317	0,177	0,100	0,112	0,267	0,150

A configuração B apresenta resultados melhores que os resultados obtidos com a configuração A, tanto para a componente planimétrica, quanto para a componente altimétrica.

Analisando os resultados obtidos para a configuração C pode-se notar que a componente planimétrica para o dia 19 foi o melhor resultado obtido, se comparado com a configuração A e B. Com relação a planimetria para o dia 19 tem-se um melhor resultado apenas com relação a configuração A. E para o dia 20 as componentes planimétrica e altimétrica foram melhores que a configuração A.

Afim de melhor visualizar a contribuição para a acurácia do posicionamento de cada configuração (A, B e C) com relação ao DGPS convencional, a figura 06 apresenta o EMQ para RP e para h obtidos em cada uma delas e os resultados obtidos como DGPS utilizando apenas a UEPP como base.

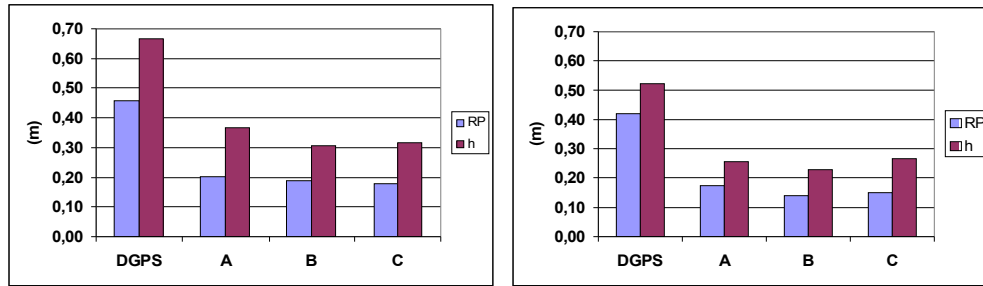


Figura 06 – Discrepâncias resultantes para o DGPS e para as configurações de rede A, B e C para os dias 19 e 22 respectivamente.

Dos resultados apresentados na figura 06 pode-se observar uma grande melhoria tanto em planimetria quanto em altimetria. A tabela 02 apresenta as melhorias para cada configuração dada em porcentagem.

Tabela 02 – Melhoria do DGPS em rede, em %, para as três configurações A, B e C, em relação ao DGPS convencional.

	A	B	C	A	B	C
Dia	19			22		
RP (%)	55,6	58,6	61,2	59,3	66,9	64,2
h (%)	44,6	53,8	52,4	50,9	56,0	48,9

Como se pode notar na tabela 02 as maiores contribuições foram em relação a planimetria. No entanto, uma significativa melhoria também foi obtida para a altimetria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como apresentado, os resultados obtidos com o DGPS em rede proporcionaram uma significativa melhoria na acurácia do posicionamento com relação ao DGPS no modo convencional. Com a utilização do conceito de DGPS em rede, várias demandas poderiam ser atendidas, como por exemplo, o georreferenciamento de imóveis rurais, o qual exige uma precisão melhor que 50 cm. A grande vantagem é que se pode ter uma razoável precisão em tempo real utilizando apenas a pseudodistância. Isso viabiliza a utilização de receptores de simples frequência. Investigações adicionais deverão ser realizadas, considerando afastamentos maiores das estações base.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Briones, A. B.; Krueger, C. P.: *Análise do posicionamento DGPS com base nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro*. In: Cd room do xix congresso brasileiro de cartografia, Recife, PE, 3-8 de outubro, 1999, 9p.

Gizawy, M. L. *Development of an Ionosphere Monitoring Technique Using GPS Measurements for High Latitude GPS Users*. Calgary, Dissertação (MSc) – University of Calgary, 2003. 174p.

Hofmann-Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Collins, J.: *GPS Theory and Practice*. 4 ed. Wien: Springer-Verlage, 1997. 326p.

Lachapelle, G.; Alves, P.: *Multiple Reference Station Approach: Overview and Current Research*. Journal of Global Positioning System, v.1, n.2, p.133-136, 2002.

Matsuoka, M. T. *Avaliação de funções para a modelagem do efeito da refração ionosférica na propagação dos sinais GPS*. Presidente Prudente, Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, 2003. 164f.

Monico, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. 1.ed.

Unesp São Paulo, 2000. 287p.

Olynic, M. C. *Temporal characteristics of GPS error sources and their impact on relative positioning*. Dissertação (MSc) – University of Calgary, Calgary, 2002. 141f.

Parkinson, B. W.; Enge P. K. *Differential GPS*. Chapter 1 in *Global Positioning System: Theory and Applications II*. B. W. Parkinson and J. J. Spilker, Jr., eds. Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 163. Reston, Va.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996..

RTCM: *RTCM Recommended standards for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems Service)*. Version 3.0. Radio technical commission for maritime services, Virginia. 2004.

Sappucci, L. F. *Estimativa do vapor d'água atmosférico e a avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS*. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001. 167f.

Seeber, G.: *Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications*. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003.

Souza, E. M.: *Efeito de multicaminho de alta frequência no posicionamento relativo GPS estático: detecção e atenuação utilizando wavelets*. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004. 146f.