

INTEGRIDADE NO POSICIONAMENTO RTK E RTK EM REDE

Integrity in RTK and network RTK positioning

EDUARDO DE MAGALHÃES BARBOSA ¹

JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO ²

DANIELE BARROCA MARRA ALVES ²

LEONARDO CASTRO DE OLIVEIRA ³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
AE 310 SUL, Avenida NS 10 esquina com Avenida LO 5, 77.021-090
Centro, Palmas - TO,

² Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP
R. Roberto Simonsen 305, 19060-900 – Presidente Prudente – São Paulo

³ Instituto Militar de Engenharia

Praça General Tiburcio, 80 – Urca, 22270-290 – Rio de Janeiro
magbarbosa@yahoo.com.br; galera@fct.unesp.br; danibarroca@yahoo.com.br;
leonardo@ime.eb.br

RESUMO

Os avanços tecnológicos nos métodos de posicionamento têm possibilitado o desenvolvimento de metodologias que viabilizam a sua utilização pelo usuário numa diversidade de aplicações. Um dos métodos de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de grande destaque é o RTK (*Real Time Kinematic*), cujo conceito tem como princípio básico a alta correlação dos erros provocados pela ionosfera, troposfera e órbita dos satélites na estação de referência e em uma estação próxima de interesse, além da existência de um link de rádio ou de outro sistema de comunicação que permita a transmissão dos dados coletados na base ao usuário. Porém quando as distâncias vão aumentando, a correlação é perdida. Esse fato motivou o desenvolvimento do conceito de rede de estações de referência (RTK em Rede), visando superar esta deficiência. O RTK em Rede utiliza a infra-estrutura de uma rede de estações de referência para disponibilizar correções ao usuário. Tanto o conceito de RTK como o de RTK em rede permitem introduzir o conceito de integridade, muito utilizado em navegação, no contexto da Geodésia. Nesse artigo é apresentada a teoria sobre integridade e sua utilização no

RTK e RTK em rede no contexto da rede GNSS do Estado de São Paulo. Nos resultados obtidos observou-se que a garantia da integridade indicada por $HPL < AL$, $VPL < AL$ e $AC < AL$, representados pelo nível de proteção horizontal (HPL) e nível de proteção vertical (VPL) em relação ao limite de alarme (AL) e a acurácia (AC), na média foram de 68,3% e 63,9% para a componente horizontal e vertical, respectivamente. Discussões sobre esses resultados são apresentadas.

Palavras-chave: RTK; RTK em rede; Integridade.

ABSTRACT

Technological advances in positioning methods have enabled the development of methodologies that allow its use in a great variety of applications. One method of GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning of high performance is the RTK (Real Time Kinematic) whose basic principle takes advantage of the high correlation of the errors caused by ionosphere, troposphere and satellite orbit in a reference station and a nearby station of interest, besides requiring a radio link or other communication system to transmit the data from the base to the user. But as the distances increase, the correlation decreases and the performance is reduced. To reduce this problem, the concept of network stations (RTK Network) was developed. Such approach uses the infrastructure of a network of reference stations to provide corrections to the network users. The RTK and RTK network allows introducing the concept of integrity, widely used in navigation, in the context of Geodesy. In this article, we present the concept of integrity and its use for evaluating the integrity on RTK and RTK network in the context of São Paulo State GNSS network. Results showed that to guarantee the integrity displayed by $HPL < AL$, $VPL < AL$ and $AC < AL$, represented by horizontal protection level (HPL) and vertical protection level (VPL) in relation to the alarm limit (AL) and accuracy (AC) were on average 68.3% and 63.9% for the horizontal and vertical, component respectively.

Keywords: RTK; Network RTK; Integrity.

1. INTRODUÇÃO

O posicionamento relativo em tempo real denominado *Real-Time Kinematic* (RTK) tem sido muito empregado, pois permite ao usuário determinar a sua posição acurada em tempo real. Esse método pode alcançar acurácia centimétrica, sem a necessidade de um processamento posterior dos dados, desde que a solução das ambigüidades obtida for confiável (DAI et al., 2003). No entanto, o uso do RTK possui uma limitação; com o aumento do comprimento da linha de base os resultados são degradados, pois os erros de ionosfera, troposfera e órbita dos satélites obtidos pelo usuário reduzem sua correlação, chegando ao ponto de inviabilizar o posicionamento (ALVES, 2008). Com a proposta de sanar esse problema, surge o RTK em rede, no qual uma rede de estações de referência é

utilizada para gerar correções diferenciais para a fase e pseudodistância aos usuários.

Este foi método possibilita uma melhor disponibilidade, qualidade (acurácia) e integridade no posicionamento e na navegação (ALVES, AHN e LACHAPELLE, 2003).

A integridade é um indicador de qualidade utilizado rotineiramente na aviação civil, que pode ser utilizado no posicionamento RTK e RTK em rede. A integridade é uma medida de confiança que se pode ter sobre a exatidão das informações fornecidas por um sistema de navegação, isto é, a capacidade que o sistema tem de informar aos usuários quando o sistema não deve ser utilizado (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

Neste artigo é descrito e investigado o conceito de integridade no posicionamento RTK e RTK em rede, incluindo os experimentos realizados no contexto da rede GNSS do Estado de São Paulo (GNSS-SP). Os modelos utilizados para o cálculo da integridade na aviação civil foram utilizados, com alteração da acurácia factível de ser obtida na Geodésia. .

2. POSICIONAMENTO CINEMÁTICO EM TEMPO REAL (RTK)

No posicionamento RTK são utilizados dois receptores coletando dados continuamente. Um dos receptores é denominado estação de referência (base) e fica posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas. O outro receptor (receptor móvel), localizado nas proximidades, coleta dados nos pontos de interesse do usuário para determinação da posição em tempo real.

Segundo Monico (2008) e Seeber (2003) a tecnologia RTK é baseada nas seguintes características:

- transmissão em tempo real dos dados de fase da onda portadora e pseudodistância da estação base para estação móvel ou das correções das observáveis;

- resolução das ambiguidades para linha de base entre a estação base e o móvel com solução quase instantânea *on the way* ou *on the fly*;

- determinação confiável do vetor da linha de base em tempo real.

No entanto, no posicionamento RTK, os erros envolvidos no processo (ionosfera, troposfera e órbita dos satélites), são proporcionais ao comprimento da linha de base, o que restringe a distância entre a estação de referência e o usuário a poucos quilômetros. Para superar este problema, foi desenvolvido o conceito de rede de estações de referência (RTK em rede) (LANDAU, VOLLATH e CHEN, 2002; ALVES, AHN e LACHAPELLE, 2003; RIZOS, 2002; WILLGALIS, 2003; FORTES, 2002).

3. POSICIONAMENTO RTK EM REDE

A utilização do RTK em rede já é uma realidade em muitos países e está associada ao aumento da demanda por informações espaciais de alta qualidade e em

tempo real. A utilização de redes para disponibilizar o posicionamento em outros países como Alemanha já existe desde 1996 com a rede SAPOS. Na região da Catalunha tem-se também a rede CATNET desde 2006 para o posicionamento RTK. Além disso, existem outras redes que estão distribuídas pelo USA, Austrália e outros países para esta mesma finalidade.

A utilização de um número maior de estações de referência permite realizar a combinação¹ das observações por meio de modelagem, e assim tratar os erros atmosféricos dentro da área de abrangência da rede. A modelagem dos erros facilita a solução correta das ambiguidades da fase da onda portadora, condição indispensável para obtenção da acurácia a nível centimétrico no posicionamento.

De acordo com Fotopoulos (2000), todas as técnicas baseadas em múltiplas estações de referência necessitam do conhecimento a priori das ambiguidades das duplas diferenças entre as estações de referência da rede. Após solucionar as ambiguidades, as correções de rede na forma de correções FKP² e/ou os dados da Estação de Referência Virtual (VRS) podem ser gerados e então fornecidos aos usuários para melhorar a acurácia do posicionamento.

As características básicas do RTK em rede são: maior número de estações são utilizadas como referência (podendo variar de três a dezenas ou a centenas estações); possibilidade de realizar o controle de qualidade; as distâncias entre as estações de referência podem ser muito maiores, aproximadamente 70 km (TRIMBLE, 2010), se comparado ao RTK; a área de abrangência é muito maior para o usuário atuar; a área é totalmente coberta na região de abrangência da rede (ALVES, 2008; ALVES e MONICO, 2010).

Neste trabalho foi adotado o conceito de VRS para disponibilizar o RTK em rede. A idéia básica de uma VRS é gerar dados simulando uma estação de referência próxima ao receptor do usuário, fornecendo desempenho semelhante a uma linha de base curta. Assim, não existe a necessidade de ter fisicamente um receptor em um ponto conhecido próximo ao usuário (VOLLATH et al., 2000; WANNINGER, 2002).

No Brasil, tem-se disponível algumas redes GNSS ativas, como a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)/ Rede Incra de Bases Comunitárias do GPS (RIBAC). Mas na RBMC/RIBAC a distância entre as estações ainda é muito grande, o que inviabiliza o posicionamento RTK em rede. Na configuração atual da RBMC, é possível realizar o DGPS em rede, haja vista que neste método as estações de referência podem estar mais distantes.

Desde 2006 tem-se disponível a Rede GNSS ativa do Estado de São Paulo (Rede GNSS-SP) que foi implantada com o intuito de aumentar a disponibilidade de estações ativas no estado. Atualmente a rede GNSS-SP conta com 10 estações em

¹ Os dados das estações são utilizados para modelar os erros correlacionados na região de abrangência da rede (ALVES, AHN e LACHAPELLE, 2003)

² FKP é o acrônimo de Flächenkorrekturparameter, que significa parâmetros de correção de área.

funcionamento, o que deverá ser ampliado num futuro próximo. Os dados da Rede GNSS podem ser acessados em tempo real via internet a partir do centro de controle localizado na FCT/Unesp de Presidente Prudente. Isso possibilita o posicionamento geodésico com dados disponibilizados em tempo real (GEGE, 2010).

3. INDICADORES DE QUALIDADE

O desempenho de um sistema de navegação é normalmente caracterizado por um indicador estatístico de qualidade. Como existem variações nas definições dos parâmetros de qualidade, esse indicador depende da aplicação e do sistema de navegação do usuário (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

Um dos parâmetros de qualidade utilizado para representar a confiança no sistema de posicionamento e navegação é a integridade (CAA, 2004).

3.1 Integridade

A integridade está relacionada ao nível de confiança que se pode ter da informação dada por um sistema de navegação. Inclui-se a habilidade do sistema de navegação em fornecer avisos na hora certa e válidos para o usuário quando o sistema não deve ser utilizado para fins operacionais. Mais especificamente, um sistema de navegação é solicitado a enviar um aviso (um alarme) de um mau funcionamento (devido ao limite de alerta fixado ter sido excedido) para os usuários num dado período de tempo (tempo para o alarme) (CAA, 2004).

No cálculo da integridade comparecem vários parâmetros, de uso rotineiro na aviação civil, denominados de tempo especificado para o alarme (TTA – *Time To Alarm/alert*) e o limite de alerta (AL – *Alarm Limit*), o qual reflete o erro máximo tolerável do sistema. Para descrever a integridade e o risco de integridade usa-se o nível de proteção (PL – *Protection Levels*), pois o erro instantâneo verdadeiro é desconhecido, sendo denotado erro de posição (PE – *Position Error*). Já o AL, como definido anteriormente, especifica o PE máximo admissível antes que o alarme seja acionado. O PL é a estimativa do erro do sistema de navegação que faz ligação ao PE. A integridade é garantida enquanto PL > PE. Se PL > AL a integridade é perdida, um alarme é disparado, e ao mesmo tempo a continuidade e a disponibilidade também são perdidas (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008).

O conceito de PL é dividido em duas componentes, a vertical PL (VPL – *Vertical Protection Levels*) e a horizontal PL (HPL – *Horizontal Protection Levels*). Essas variáveis são consideradas como níveis independentes e podem ser obtidas a partir dos modelos matemáticos dados por (HOFMANN-WELLENHOF, LICHTENEGGER e WASLE, 2008):

$$VPL = k_{vpl} \sigma_0 \sqrt{q_{uu}} \quad (1)$$

$$HPL = k_{HPL} \sigma_0 \sqrt{\frac{q_{nn} + q_{ee}}{2} \sqrt{\left(\frac{q_{nn} + q_{ee}}{2}\right)^2 + q_{ne}^2}} \quad (2)$$

sendo que os elementos q_{nn} , q_{ee} , q_{ne} e q_{uu} são as variâncias obtidas da MVC dos parâmetros estimados no sistema de coordenadas geodésico local e σ_0 é o sigma a priori.

Segundo Roturier et al. (2001), o fator k^3 (em (1) e (2)) escala a variação da posição a um nível compatível com a exigência de integridade na aviação civil. Por exemplo, para aplicações de aproximação de aeronaves em poucos e decolagens com precisão no domínio de aviação, os valores de k para os níveis de proteção horizontal (k_{HPL}) e vertical (k_{VPL}) são $k_{VPL} = 5,33$ e $k_{HPL} = 6,0$, supondo uma função de distribuição normal (RTCA, 2006).

Quando se monitora a integridade o objetivo é determinar se um sistema ou se uma medida de posição atende aos requisitos de desempenho de um sistema de navegação.

Nos serviços de monitoramento da integridade, com a utilização de uma rede de estações GNSS, analisa-se a condição dos sinais dos satélites quanto à sua garantia de eficiência. Como no RTK em rede é utilizado uma rede de estações, também é possível implementar o monitoramento desse elemento. No entanto, esse elemento ainda não é de uso comum na Geodésia, requerendo investigações no que concerne a quantificação, padronização e certificação (BARBOSA, 2010).

4. METODOLOGIA

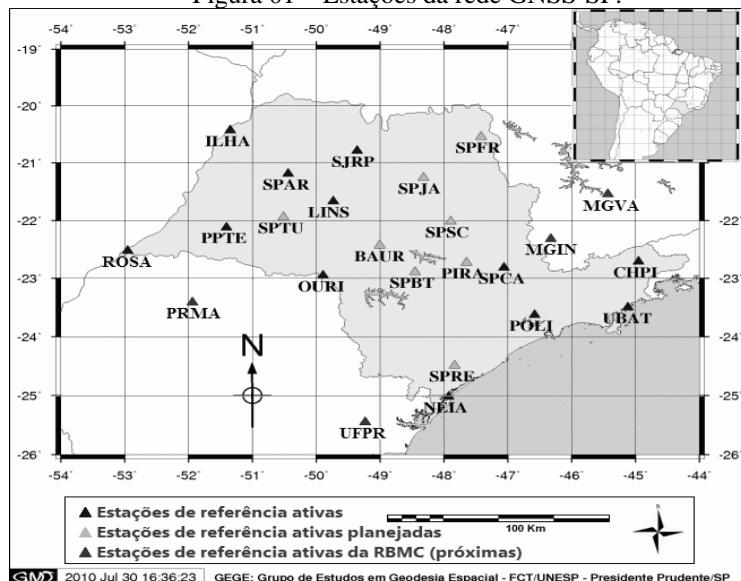
Para alcançar os objetivos desse trabalho foram utilizados dados das estações de referência da rede GNSS-SP implantada no estado de São Paulo (Figura 01). O *software* utilizado foi o GPSNet da Trimble, ele foi empregado para acessar as estações de referência ativas da rede, fazer o processamento e disponibilizar os dados aos usuários.

Para realizar os experimentos em campo, foi utilizado um receptor Trimble R8 GNSS com uma controladora portátil dotada de sistema operacional *Windows Mobile* e o *software Survey Controller* (v. 12.45) específico do fabricante.

Foram realizadas coletas durante dois períodos do dia, um iniciando pela manhã entre as 7 e 8 horas e outro a tarde entre as 13 e 14 horas. Além disso, foram repetidas as coletas durante dois dias consecutivos para cada localidade.

³ O valor de k é determinado a partir de uma distribuição Rayleigh desde que a proteção seja bidimensional. Já para aplicações com dois fatores unidimensionais k é determinado de uma distribuição Normal, correspondendo a lateral (*crosstrack*) e a proteção vertical (ROTURIER et al., 2001).

Figura 01 – Estações da rede GNSS-SP.



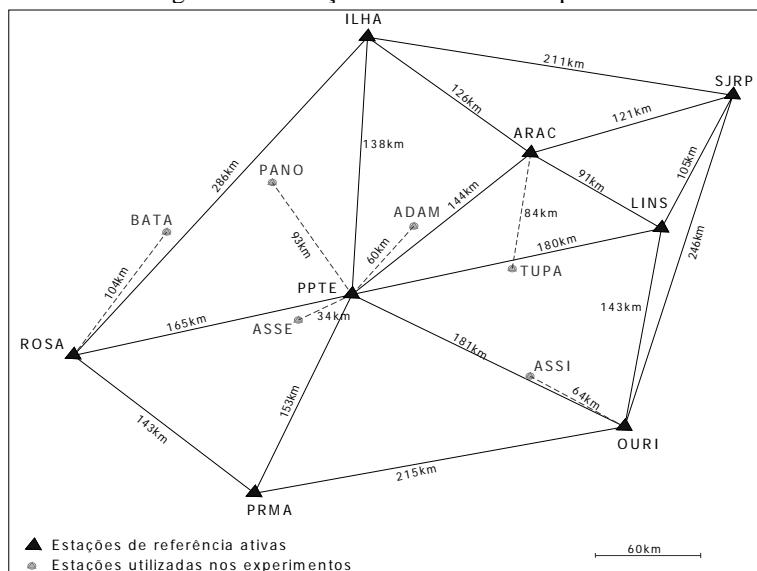
Os experimentos foram realizados utilizando diferentes configurações do sistema. Para isto, quatro estratégias de coleta (VRS, VRS_S, RTK e RTK_S) foram adotadas e suas particularidades são apresentadas no Quadro 01. Cabe apenas ressaltar que as estratégias VRS e VRS_S referem-se ao RTK em rede e RTK e RTK_S ao posicionamento RTK.

Quadro 01 – Descrição das estratégias de coleta.

Estratégias	Descrição
VRS	Foi utilizada como referência uma VRS gerada pelo sistema próxima ao usuário. No posicionamento foram empregadas as observáveis dos sistemas GPS e GLONASS (GNSS) e a observável L2C.
VRS_S	Foi utilizada como referência uma VRS gerada pelo sistema próxima ao usuário, empregando apenas as observáveis GPS sem a observável L2C.
RTK	Foi utilizada como referência uma estação da rede, neste caso, a mais próxima, que é a mesma utilizada como base pelo GPSNet para gerar a VRS. No posicionamento foram empregadas as observáveis GNSS incluindo a observável L2C.
RTK_S	Foi utilizada como referência uma estação da rede, neste caso, a mais próxima. No posicionamento foram empregadas as observáveis GPS sem a observável L2C.

Foram utilizados dados da rede GNSS-SP (PPTE, ILHA, ROSA, OURI, SJRP, ARAC e LINS) e de coletas de dados realizadas em pontos dentro da área de abrangência da rede (ASSE, ADAM, ASSI, TUPA, PANO e BATA) (Figura 02). Esses pontos têm suas coordenadas conhecidas em SIRGAS 2000, o que possibilita compará-las com as coordenadas obtidas nos experimentos.

Figura 02 – Estações utilizadas nos experimentos.



As estações selecionadas para a realização dos experimentos estão localizadas em diferentes distâncias da estação base e as respectivas distâncias são apresentadas no Quadro 02. Cabe ressaltar que a mesma estação utilizada como base no RTK foi utilizada como base para gerar a VRS no RTK em rede.

Quadro 02 – Estações base e as distâncias da base.

Estação Coletada	Estação Base	Distância
ASSE	PPTE	34,84 km
ADAM	PPTE	60,77 km
ASSI	OURI	64,97 km
TUPA	ARAC	84,13 km
PANO	PPTE	93,39 km
BATA	ROSA	104,54 km

Após a definição das localidades de coletas de dados e a configuração do *software* GPSNet, os procedimentos de coleta foram realizados de acordo com as datas indicadas no Quadro 03.

Quadro 03 – Dias das coletas de dados.

Estação	Data
ASSE	19 e 20/02/2010
ADAM	20 e 21/11/2009
ASSI	13 e 14/01/2010
TUPA	18 e 19/11/2009
PANO	02 e 03/12/2009
BATA	11 e 12/01/2010

Cabe salientar que as coletas foram realizadas no modo estático apesar do interesse em cinemático. As coletas no modo cinemático não foram realizadas devido as dificuldades na análise da acurácia e integridade com o receptor em movimento.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Os valores de integridade foram calculados a partir dos modelos descritos na seção 3. Para calcular os valores de VPL e HPL são necessários os valores da MVC dos parâmetros estimados no sistema de coordenadas locais e o sigma a priori. Foi necessário retirar os valores da MCV de forma manual, o que inviabilizou o processamento de todos os pontos coletados. Dessa forma, foram escolhidos pontos que pudessem dar uma representatividade da diversidade dos resultados. Posteriormente, foram realizadas as propagações da MVC do sistema cartesiano para o sistema local e assim calculados os valores para HPL e VPL.

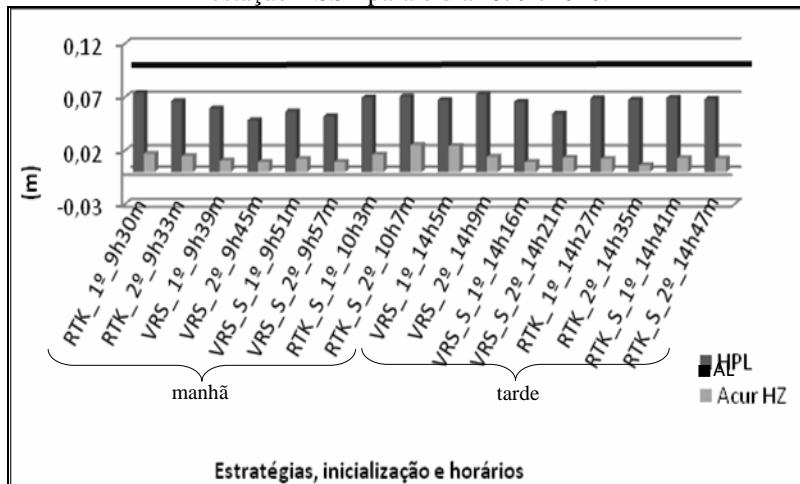
Analizando possíveis valores para propor o limite de alarme (AL), decidiu-se adotar neste trabalho o valor de 10 cm, como sendo o limite a ser ultrapassado pelos níveis de proteção horizontal (HPL) e vertical (VPL) para acionar o alarme. Isso se deve ao fato de que no posicionamento RTK e RTK em rede foi assumido que não se deseja acurácia inferior a esse limiar.

Nesse trabalho os valores para HPL e VPL são apresentados com mais detalhes para as estações ASSE e PANO, as quais apresentaram a melhor e a pior condição para o posicionamento dentro da rede, respectivamente. Posteriormente é apresentada uma tabela que sumariza os resultados de todas as estações.

Os valores obtidos e apresentados na Figura 03 referem-se à coleta com base no posicionamento RTK e RTK em rede. Ela descreve a integridade (HPL) da componente horizontal e os valores de acurácia obtidos para estação ASSE, em

cada ponto analisado. Os valores de acurácia referem-se a diferença entre as coordenadas de referência e as obtidas no posicionamento RTK, RTK em rede.

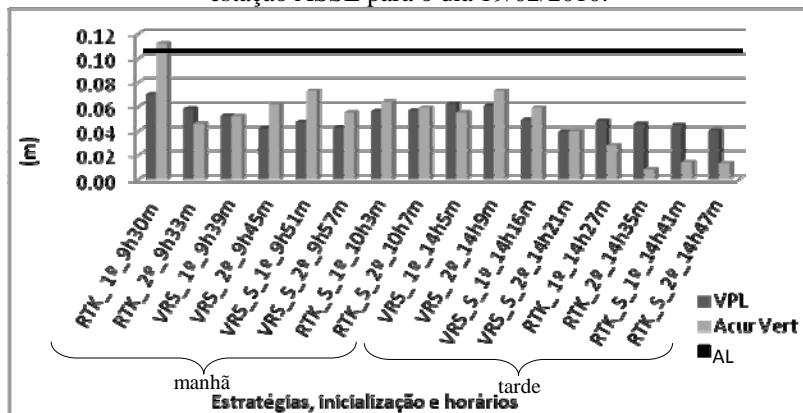
Figura 03 – Comparação entre os resultados de HPL e os erros obtidos na estação ASSE para o dia 19/02/2010.



Com relação aos valores de HPL, espera-se que estes sejam maiores que os valores de acurácia, visto que a estimativa do HPL estabelece um nível de segurança para garantir que as informações possam ser dadas corretamente. A partir da Figura 03 pode-se notar que para as diferentes estratégias e períodos do dia a integridade foi garantida, pois os valores de HPL são menores que o AL. Comparando os valores do HPL com os valores de acurácia é possível verificar que nenhuma informação equivocada seria dada ao usuário do sistema.

Dentro do conceito de PL, a componente vertical é definida segundo as estimativas do VPL. Dessa forma, na Figura 04 são apresentados os valores de VPL e da acurácia obtidos na estação ASSE.

Figura 04 – Comparação entre os resultados de VPL e os erros obtidos na estação ASSE para o dia 19/02/2010.



Analisando a Figura 04 é possível verificar que alguns valores obtidos para o VPL não representam um bom indicativo para garantir a integridade. Pois em alguns casos os valores de VPL são menores que os obtidos na acurácia, isso significa que o sistema informaria equivocadamente a disponibilidade quando não deveria. Um exemplo desse engano ocorre no ponto obtido utilizando a estratégia RTK_9h30m da manhã. Nesse caso o valor para VPL foi 7 cm e a acurácia obtida foi de 11cm, valor esse que também está acima do limite de alarme, porém não seria acionado o alarme, pois o VPL não ultrapassou o limite para o alarme AL.

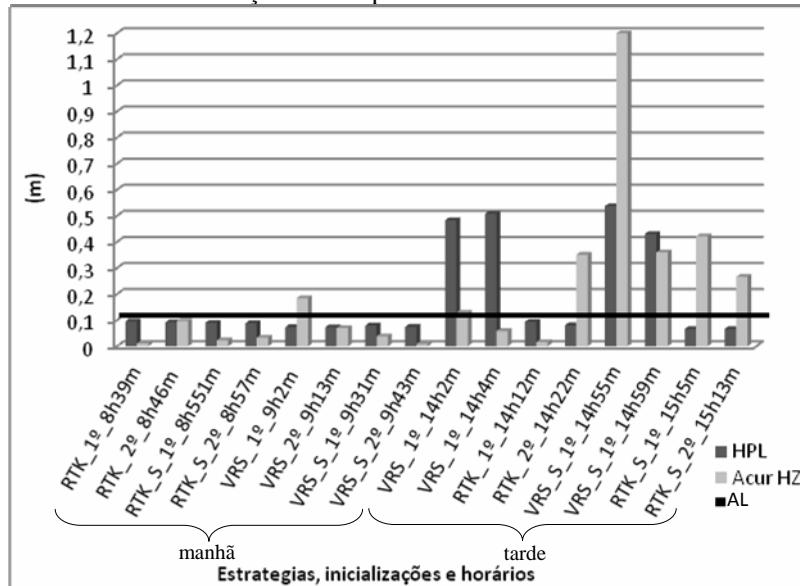
Nota-se que os resultados obtidos no posicionamento RTK e RTK em rede normalmente são piores para a componente vertical. Mas, os modelos adotados (seção 3.1) são mais conservadores para essa componente em virtude das necessidades da aviação civil o que difere da aplicação em Geodésia que não exige tanta confiança na componente vertical.

Cabe acrescentar que os modelos desenvolvidos para calcular a integridade nas aplicações da aviação civil são baseados no posicionamento por código, pois a qualidade exigida é da ordem de 6m na horizontal e 2m na vertical para o CAT. III (CAA, 2004). Já no posicionamento RTK a acurácia exigida é muito melhor, de ordem centimétrica.

Outro fato que deve ser observado é que, quando o vetor das ambiguidades é fixado, a precisão é muito otimista para o posicionamento. No entanto, as vezes esses valores não estão corretos (devido a solução incorreta das ambiguidades), mas a precisão permanece muito boa, porém não acurada. Mais detalhes são apresentados em Barbosa (2010). Pode se observar que o algoritmo apresenta dificuldade na solução das ambiguidades devidos aos efeitos da ionosfera.

Na Figura 05 encontram-se os resultados para a estação PANO, que possui a situação menos favorável se comparada as demais estações coletadas, uma vez que, está localizada mais distante da estação base.

Figura 05 – Comparação entre os resultados de HPL e os erros obtidos na estação PANO para o dia 03/12/2009.



Nota-se na Figura 05 que dos 16 casos analisados seis apresentaram valores de HPL inferiores a acurácia, o que representa aproximadamente 35% dos resultados. Além do mais, quatro desses pontos obtiveram valores de HPL que garantiam a integridade, porém, os valores de acurácia ultrapassam o AL (informação equivocada). No período da manhã obteve-se o melhor desempenho, possivelmente em virtude dos menores efeitos da ionosfera, e pode-se observar que nas estratégias RTK_S e VRS_S os valores de acurácia em relação ao HPL são mais coerentes (VPL > Acurácia). No período da tarde como os efeitos da ionosfera são maiores é possível observar que os valores obtidos nas estratégias VRS (14h2min) e VRS_S (14h59min) apresentam valores de HPL que informam a perda da integridade. Porém cabe salientar que no período da tarde as estratégias VRS e VRS_S foram coletadas com ambiguidades flutuantes⁴. Voltando a analisar o período da tarde, observa-se que a inicialização obtida para a estratégia RTK_S está com problema na

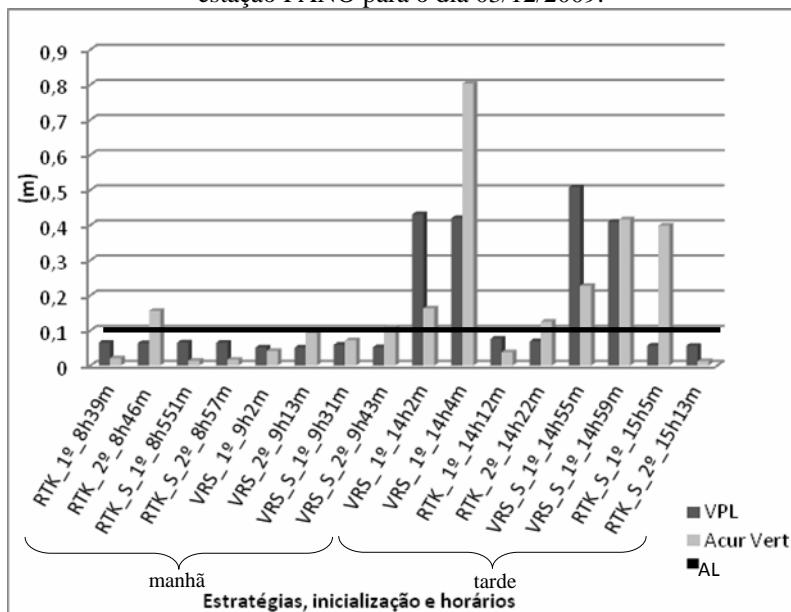
⁴ Após esperar de 30 minutos no ponto e não ser obtido solução da ambigüidade, os dados no período da tarde (VRS e VRS_S) foram coletados utilizando a solução flutuante.

solução das ambiguidades, pois ao analisar os valores obtidos na primeira e na segunda inicialização foram encontradas grandes diferenças caracterizando erro na solução das ambiguidades. Neste caso têm-se valores de HPL da ordem de 6 cm, ao passo que a acurácia obtida foi de 40cm para a coleta as 15h5min e 26cm as 15h13min.

Na análise geral dos valores de HPL apresentados na Figura 05 é possível afirmar que em 56% dos casos os valores foram coerentes com acurácia obtida, os demais 44% apresentaram alguma inconsistência.

Continuando com a análise da integridade na estação PANO, são apresentados na Figura 06 os valores de VPL.

Figura 06 – Comparação entre os resultados de VPL e os erros obtidos na estação PANO para o dia 03/12/2009.



Observando os valores de VPL (Figura 06) obtidos na estação PANO é possível identificar que dos 16 casos, apenas 8 apresentaram resultados coerentes (VPL > Acurácia) o que representa 50 % da amostra. Os melhores resultados foram obtidos para a estratégia RTK_S no período da manhã. No período da tarde o VPL informa que a integridade foi perdida para as estratégias VRS e VRS_S. Porém, o pior caso ocorreu nos casos RTK (8h46min), VRS (9h43min), RTK (14h22min) e RTK_S (15h5min) em que o VPL equivocadamente garante a integridade.

Na Tabela 01 foram realizadas análises para verificar o desempenho obtido pelos indicadores de integridade HPL e VPL em relação a acurácia e o AL. A Tabela 01 apresenta um sumário dos resultados obtidos para todas as estações.

Na obtenção dos valores de porcentagem apresentados na Tabela 01 foram consideradas três condições para a análise da integridade:

- ✓ Na primeira condição é avaliado se a acurácia é menor que os valores de HPL e VPL respectivamente para as componentes horizontais e verticais (Acu. Horz. < HPL e Acu. Vert. < VPL).
- ✓ Na segunda condição é analisado se a integridade aparente é garantida pelos índices HPL e VPL com relação ao AL (HPL < AL e VPL < AL).
- ✓ Na terceira análise é verificado se os índices HPL e VPL são menores que o AL e também se os valores de acurácia são menores que o AL.

Tabela 01 – Taxa de sucesso da integridade para as componentes Horizontais e Verticais.

Estação	Horizontal			Vertical		
	AC*<HPL	HPL<AL	HPL <AL e AC*<AL	AC*<VPL	VPL<AL	VPL <AL e AC*<AL
ASSE	100%	100%	100%	43,8%	100%	93,8%
ADAM	75,0%	81,3%	75,0%	68,8%	87,5%	75,0%
ASSI	80,0%	81,3%	68,8%	26,7%	100%	68,8%
TUPA	56,3%	81,3%	56,3%	56,3%	87,5%	62,5%
PANO	62,5%	75,0%	50,0%	50,0%	75,0%	50,0%
BATA	46,7%	86,7%	60,0%	33,3%	100%	33,3%
Média	70,1%	84,2%	68,3%	46,5%	91,7%	63,9%

*Acurácia

Observando a Tabela 01 pode-se perceber que quando a condição para o posicionamento (aumento da distância Quadro 02) se tornou pior, mais equívocos ocorreram nos valores de integridade. A coerência nos resultados para HPL e VPL em relação a acurácia foi na média 70,1% e 46,5% para a componente horizontal e vertical, respectivamente. Para a componente vertical existiu uma grande dificuldade em fornecer um indicativo real para os resultados. A garantia da integridade indicada por HPL < AL e VPL < AL foi de 84,2% e 91,7%, valores relativamente bons, mas não representam a acurácia, pois quando se verificou também AC<AL obteve-se em média 68,3% e 63,9% para as componentes horizontal e vertical. Esses valores estão muito aquém dos obtidos somente pelos indicadores HPL e VPL.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada uma revisão teórica sobre os principais conceitos envolvidos no RTK e RTK em rede, os quais são utilizados para descrever os componentes necessários nesse tipo de posicionamento. Foram apresentados ainda os conceitos relacionados ao cálculo da integridade, bem como a sua origem na aviação civil e a possibilidade de sua utilização no conceito de RTK em rede.

Em termos da análise da integridade, primeiramente foi sugerido um valor de 10 cm para o AL o qual deve satisfazer as aplicações em tempo real. Os resultados obtidos mostraram em média 68,3% e 63,9% para as componentes horizontal e vertical, respectivamente atenderam o valor estipulado para o AL. Pode-se observar que ocorreram mais equívocos na componente vertical. O motivo mais provável está no modelo, que é mais rigoroso na componente vertical, em virtude das necessidades da aviação civil. A introdução do conceito de integridade na Geodésia, via o posicionamento com RTK em rede se mostrou eficiente, e pode ser útil. Em uma primeira análise, os resultados se mostraram promissores.

Finalizando, cabe acrescentar que, na Geodésia, a disponibilização da integridade ao usuário ainda não é possível. Isso ocorre devido as adequações necessárias nos equipamentos e nos softwares, de modo que facilitem o acesso aos dados da MVC do posicionamento, além de ferramentas que possibilitem ao centro de controle enviar mensagens ao usuário informando quando o sistema não deve ser utilizado.

AGRADECIMENTOS:

Agradecemos à Trimble por disponibilizar o software GPSNet, indispensável para a realização dessa pesquisa. Além disso, este trabalho foi desenvolvido com recursos financeiros da FAPESP (Processo 2006-04008-2) e das agências de fomento CNPq e CAPES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. B. M. *Posicionamento GPS utilizando conceito de estação virtual*. 2008. 164f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G. GPS/VRS positioning using atmospheric modeling. *GPS Solutions*, Berlin, v.14, n.4, DOI 10.1007/s10291-010-0187-3, 2010.
- ALVES, P.; AHN, Y.; LACHAPELLE, G. The effects of network geometry on network RTK using simulated GPS data. In: ION GPS 2003, Oregon Convention Center, Portland. *Proceedings...*, 2003.
- BARBOSA, E. M. *Integridade, disponibilidade e acurácia no posicionamento RTK e RTK em rede: Investigação no contexto da rede GNSS ativa do Estado de São*

- Paulo.* 2010. 140f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- CAA - CIVIL AVIATION AUTORITY. *GPS integrity and potential impact on aviation safety.* Paper 2003/9, April 2004.
- DAI, L.; WANG, J.; RIZOS, C.; HAN, S. Predicting atmospheric biases for real-time ambiguity resolution in GPS/GLONASS reference station networks. *Journal of Geodesy*, Berlin v. 76 n°11/12, p.617-628, 2003.
- FORTES, L. P. S. *Optimising the Use of GPS Multi-Reference Stations for Kinematic Positioning.* 2002. 355f. Tese (PhD in Geomatics Engineering) – University of Calgary, Calgary.
- FOTOPoulos, G. *Parameterization of DGPS carrier phase errors over a regional network of reference stations.* 2000. 202f. Dissertação (MSc) – University of Calgary, Calgary.
- GEGE – *Grupo de Estudo em Geodésia Espacial.* Disponível em: <http://gege.prudente.unesp.br/index_port.php?p=50>. Acesso em: 08 Mar. 2010.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. *GNSS – Global Navigation Satellite Systems, GPS, GLONASS, Galileo and more.* Spring-Verlage Wien, 2008. 501p.
- LANDAU, H.; VOLLATH, U.; CHEN, X. Virtual reference station systems. *Journal of Global Positioning System*, v.1, n.2, p.137-143, 2002.
- MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.* 2.ed. São Paulo: Unesp, 2008. 473p.
- RIZOS, C. Network RTK Research and Implementation - A geodetic perspective. *Journal of Global Positioning System*, v.1, n.2, p.144-150, 2002.
- ROTURIER, B.; CHATRE, E.; VENTURA-TRAVESET, J. *The SBAS integrity concept standardised by ICAO: application to EGNOS.* In: ESA, EGNOS for Professionals, Publications, GNSS conference, Serville, Spain, May. 2001.
- RTCA - RADIO TECHNICAL COMMISSION FOR AERONAUTICAL SERVICES. *Minimum operational performance standards for Global Positioning System/ wide area augmentation system airborne equipment.* DO-229D. Comitê Especial N° 159, 2006.
- TRIMBLE; *Trimble® GPS, guidance and precision agriculture solutions for all seasons, all crops, all terrains, all vehicles.* Portfolio 2010. Disponível em: <http://tr1.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-376567/022503-078C-UK_Ag_Portfolio_BRO_0108_1r.pdf>. Acesso em: 01 Mai. 2010
- VOLLATH, U.; BUECHERL, A.; LANDAU, H.; PAGELS, C.; WAGNER, B. Multi-base RTK positioning using virtual reference station. *ION GPS'2000, Proceedings*, p.123-131, 2000.
- WANNINGER, L. *Virtual reference stations for centimeter-level kinematic positioning.* ION GPS, Portland, Oregon, p.1400-1407, Sept. 2002.

WILLGALIS, S. ; SEEBER, G. ; KRUEGER, C. P. ; ROMÃO, V. M. C. *A real time GPS reference network for cadastral surveys in Recife, Brazil*. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 55, n. 01, p. 01-10, 2003.

(Recebido em junho de 2010. Aceito em dezembro de 2010.)