

Análise de precisão e acurácia de métodos de posicionamento em tempo real na determinação de desníveis

RESUMO

Leonardo Assumpção Moreira
leonardoamoreira@gmail.com
orcid.org/0000-0002-4172-0165
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Cláudia Pereira Krueger
cpkrueger64@gmail.com
orcid.org/0000-0002-4839-1317
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

O uso do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) vem se difundindo nas mais distintas aplicações, e o método de posicionamento em tempo real tem sido uma forma de determinação de coordenadas de veemente importância em diversas áreas da engenharia. Com o progresso da ciência e da tecnologia, novos equipamentos vêm sendo desenvolvidos, proporcionando uma melhora na precisão e a acurácia destes levantamentos, permitindo sua aplicação em monitoramento de linhas de costa, execução de levantamentos hidrográficos e cadastrais, entre outros. O presente artigo avalia a acurácia e precisão de alguns destes métodos de posicionamento em tempo real, como: o RTK via NTRIP (*Network Transport of RTCM Via Internet Protocol*) e o RTG (*Real Time Gipsy*). A área de pesquisa localizou-se na Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), em Niterói/RJ, permitindo a realização de levantamentos simultâneos com 03 equipamentos. Como resultado dos desníveis realizados, os erros altimétricos médios apresentados foram de 0,0608m para o NTRIP e 0,4332m para o RTG. Em relação às precisões, os valores médios calculados foram de 0,0869m para o NTRIP e 0,4246m para o RTG. Dessa forma, o NTRIP obteve melhores resultados para o experimento realizado, tanto na precisão quanto na acurácia, considerando-se todas as variáveis impostas pela metodologia adotada. O rastreamento NTRIP perdeu algumas correções diferenciais devido a problemas de conectividade do telefone celular com o rastreador. O rastreamento RTG não apresentou problemas quanto ao recebimento das correções diferenciais em todo o experimento.

PALAVRAS-CHAVE: Posicionamento em tempo real. RTK via NTRIP. RTG. Avaliação de acurácia e precisão.

INTRODUÇÃO

Atualmente posicionar um objeto em qualquer lugar da superfície terrestre, ou seja, atribuir-lhe coordenadas geodésicas, é uma tarefa que pode ser realizada com relativa simplicidade, contudo conseguir tal posicionamento por muito tempo foi um desafio a ser superado.

Na década de 1970, surge o GPS (*Global Positioning System*), um sistema de radionavegação desenvolvido com o intuito de ser o principal sistema de navegação das forças armadas norte-americanas. Ele tem como princípio básico de navegação a distância entre o usuário e, pelo menos, quatro satélites, permitindo que um usuário em qualquer ponto da superfície da Terra tenha acesso aos sinais dos satélites para serem rastreados (MONICO, 2008).

Em razão do grande desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GPS, uma ampla comunidade usuária surgiu, facilitando o trabalho e aumentando o desenvolvimento em vários setores.

Nesse momento também houve um grande crescimento da telefonia móvel e da eletrônica dos equipamentos, o que se tornou um novo paradigma e tendência mundial, aumentando a busca por posições acuradas em tempo real (KRUEGER, 1996).

Os métodos de posicionamento em tempo real tiveram um importante e grande desenvolvimento nas últimas décadas, podendo alcançar acurácia centimétrica, sem que um processamento de dados seja efetuado a posteriori. Com o surgimento desses métodos, surge a necessidade de se testar novas tecnologias e de se conhecer suas reais e verdadeiras potencialidades.

Os data de marés representam a superfície de referência por meio da qual são realizadas as medições batimétricas (NOAA, 2006), e permitem reduzir os estágios de nível d'água em relação à esta superfície de referência e obter assim informações a respeito da variabilidade do dado original (PATRICK, 2000). São amplamente utilizados em projetos de engenharia costeira, de levantamentos hidrográficos e de levantamentos sísmicos de reflexão rasa, em investigações dos movimentos da crosta terrestre, em modelos numéricos hidrodinâmicos e para a obtenção de informações de elevações do nível d'água para estudos estuarinos.

Para que a elevação do NMM local (Nível Médio dos Mares local), e a elevação do fundo marinho regional sejam determinados necessita-se realizar a amarração da régua maregráfica utilizada no levantamento à referências de nível (RN) próximas. Tal transporte, respeitando-se a precisão determinada, deve ser realizado pelo técnico responsável utilizando-se dos métodos e equipamentos que lhe ofereçam maior rendimento do serviço e menor custo.

Este trabalho justifica-se pela inexistência de pesquisas que abordem o tema proposto, ou seja, comparar a precisão e a acurácia dos posicionamentos em tempo real em rede (RTG - *Real Time Gipsy*) e dos posicionamentos em tempo real usando apenas uma estação de referência (RTK via NTRIP - *Real Time Kinematic via Network Transport of RTCM via Internet Protocol*) em relação a um posicionamento admitido como padrão durante a execução de levantamentos simultâneos.

Além disso, o posicionamento por esses métodos vem sendo aos poucos incorporado nas atividades que envolvem levantamentos geodésicos,

topográficos, cadastrais e hidrográficos, mineração, monitoramento de veículos e frotas, controle preciso de maquinário, construção civil, obras viárias, projetos de infra-estrutura, veículos autônomos, entre outras aplicações, o que corrobora com a necessidade de se verificar a acurácia desses métodos de posicionamento em tempo real.

Em estudos publicados, verifica-se um aumento de pesquisas aplicando os métodos de posicionamento em tempo real em diferentes finalidades. Em nível nacional percebe-se em 1994 (KRUEGER, 1994) o método sendo empregado no posicionamento de trens e em 1996 (KRUEGER, 1996) este método de posicionamento passa a ser utilizado no posicionamento de embarcações em levantamentos batimétricos. Wübbena *et al.* (1995) comentou, já nesta data, o grande interesse nas aplicações em tempo real em nível internacional, e na integração com outros ramos, que necessitam de coordenadas precisas, como é o caso do GIS (*Geographic Information System*).

Em análise da precisão e da correção espacial nas técnicas DGPS (*Differential GPS*) e RTK, Prado (2001) utiliza 12 (doze) estações testes cujos comprimentos das linhas de base variam de 0,2 km a 29 km para avaliar a degradação que ocorre na precisão do posicionamento devido a correlação espacial nas técnicas anteriormente citadas. Em sua conclusão constata que para tais linhas de base, o DGPS possibilitou erros horizontais inferiores a 3,5 m, ao passo que na técnica RTK, estes erros não ultrapassaram a 6 cm. Com respeito aos erros altimétricos, verificou-se que os mesmos são inferiores a 4 m na técnica DGPS e a 15 cm na técnica RTK.

Dentre os trabalhos que aplicam o NTRIP, cita-se Guterres (2009) que comparou o NTRIP com o RDS (*Radio Data System*), indicando que o NTRIP forneceu resultados mais precisos, com desvio padrão de 1,88 m, e um erro médio quadrático de 1,62 m.

Pirti (2007) investigou a precisão alcançável do RTK e a repetitividade dos resultados sob diferentes configurações de constelações de satélites, assim como em alterações nos locais dos projetos. Os resultados da pesquisa mostraram que o RTK foi mais estável para as componentes horizontais do que para a vertical, e que a latência dos dados gerou erros de poucos milímetros. Os testes para a avaliação do desempenho do RTK foram realizados próximo a florestas e ambientes urbanos, e constataram problemas referentes ao bloqueio de sinal e à latência dos dados.

Em análise da acurácia horizontal do posicionamento GPS Diferencial empregado em levantamentos hidrográficos a partir de sistemas DGPS, RTK e RTG, Ramos *et al.* (2007) afirma que os resultados obtidos na pesquisa indicam a adequabilidade dos sistemas RTK e RTG às especificações para o posicionamento horizontal recomendadas pela IHO (*International Hydrographic Organization*) para Levantamentos Hidrográficos de Ordem Especial. Contudo, os sistemas DGPS dependem do estudo dos erros correlacionados com a distância, sendo recomendados para levantamentos de primeira ordem.

Souza (2013) analisou os métodos de posicionamento PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) cinemático pós-processados pelos serviços do NRCan (*Natural Resources Canada*) e IBGE-PPP, PPP cinemático em tempo real via software BNC 2.6 (*BKG Ntrip Client*) do BKG (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*), posicionamento RTK usando o NTRIP da RBMC-IP e o posicionamento relativo

cinemático pós-processado, tomando-se como referências os vértices da Rede de Referência Cadastral da Cidade de Recife. A acurácia dos métodos foram: pós-processamento relativo (0,207m); PPP IBGE online (0,896m); RTK/NTRIP (2,855m); PPP tempo real BKG (10,458m).

MÉTODO DE POSICIONAMENTO EM TEMPO REAL RTK VIA NTRIP

A técnica RTK usualmente emprega as correções diferenciais da fase da onda portadora ou as observações brutas desta observável, geradas e transmitidas por uma estação de referência (RAMOS, 2007).

As correções diferenciais são aplicadas diretamente na fase observada em um receptor móvel, e as observações de pseudodistâncias e fases utilizadas em algoritmos de dupla diferença de fase (DDF), possibilitando uma navegação com precisão centimétrica em tempo real (MOREIRA, 2011).

O processo de estimação e validação das ambiguidades GNSS é comumente denominado na literatura de resolução ou fixação das ambiguidades. O posicionamento diferencial de precisão é obtido a partir da fixação inicial das ambiguidades inteiras. Esta operação é chamada de inicialização. A partir deste valor inicial das ambiguidades o receptor móvel tem condições de calcular a pseudodistância a partir da fase da portadora acumulada. Entretanto, se houver alguma perda de sinal, o cálculo da pseudodistância sofrerá uma alteração de um determinado número de ciclos inteiros, sendo necessária uma nova inicialização (LANGLEY, 1998).

A precisão alcançada no RTK depende da capacidade desta técnica em resolver as ambiguidades em tempo real, que depende do comprimento da linha de base, disponibilidade de dupla frequência, número de satélites rastreados, multicaminho dos sinais GNSS e ocorrência de perdas de sinal (LEICK, 1995).

O NTRIP é um protocolo HTTP (*Hipertext Transfer Protocol*) desenvolvido com o propósito de substituir o *link* de rádio pela conexão via Internet. Foi desenhado de forma a distribuir dados GNSS continuamente a um receptor estático ou móvel via Internet, inclusive a *wireless* (MOREIRA, 2011). A crescente disponibilidade dos serviços de Internet através da telefonia celular, do tipo GSM (*Global System for Mobile Communications*), GPRS (*General Packet Radio Services*), modem 3G foi o grande fator motivador para o seu desenvolvimento.

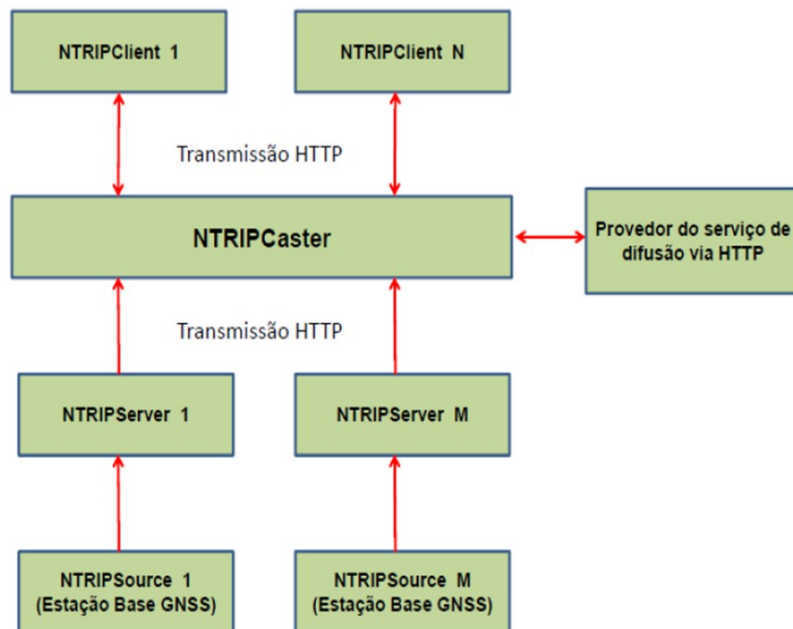
Como um protocolo, foi concebido de forma a disseminar correções diferenciais ou outros tipos de dados GNSS em fluxos contínuos através da Internet. Suas principais características são:

- a) está baseado em HTTP;
- b) tem a disponibilidade de distribuir qualquer tipo de dados GNSS em fluxo;
- c) tem a capacidade de aceitar uma grande quantidade de usuários simultaneamente;
- d) o acesso aos dados é realizado de forma segura sem a necessidade de o usuário estar em contato direto com as estações de referência;

- e) está habilitado a fornecer o fluxo de dados através de qualquer rede móvel TCP/IP (*Transfer Control Protocol / Internet Protocol*) e;
- f) a largura de banda necessária para disseminar as correções GNSS é relativamente pequena. Aproximadamente 0,5 Kb/s para DGPS e 5 Kb/s para RTK (GONZALEZ-MATESANZ et al., 2004).

O NTRIP é basicamente composto por três componentes, conforme ilustrado na Figura 1: o *NTRIP Server*, o *NTRIP Caster* e o *NTRIP Client* (DAMMALAGE et al., 2008). O *NTRIP Server* é o aplicativo que cria um canal de transferência de dados entre o receptor GNSS instalado em uma estação de referência e o *NTRIP Caster*. O *NTRIP Caster* é o distribuidor dos dados no formato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) pela Internet para os usuários. Ele é um aplicativo que, preferencialmente, deve ficar instalado em um servidor do centro de controle de dados de uma rede de referência, como por exemplo, a RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS - IBGE).

Figura 1 – Esquema de funcionamento do NTRIP



Fonte: Adaptado de Moreira (2011).

Para Rogowski et al. (2004), as principais vantagens do NTRIP são:

- a) fácil acesso aos dados das ERAs (Estações de Referência Ativa) (limitado apenas pela capacidade do tronco de comunicação da internet);
- b) melhor interação e redução de custo para os usuários de receptores GNSS;
- c) mediações rápidas e com alta acurácia para a maioria dos trabalhos geodésicos e;
- d) maior alcance quando comparado com o rádio convencional para transmissão das observações de fase da estação base para móvel.

O Brasil possui um serviço de posicionamento, disponibilizado desde maio de 2009, chamado Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real (RBMC-IP), oferecido gratuitamente e mantido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Tal serviço disponibiliza seus dados via protocolo Internet, no formato RTCM, permitindo dessa forma conexões simultâneas de usuários que possuem acesso à internet através de telefonia celular. Atualmente, o serviço conta com 120 estações ativas. De acordo com o IBGE, são permitidos no máximo 1000 acessos simultâneos ao serviço da RBMC-IP (IBGE, 2017).

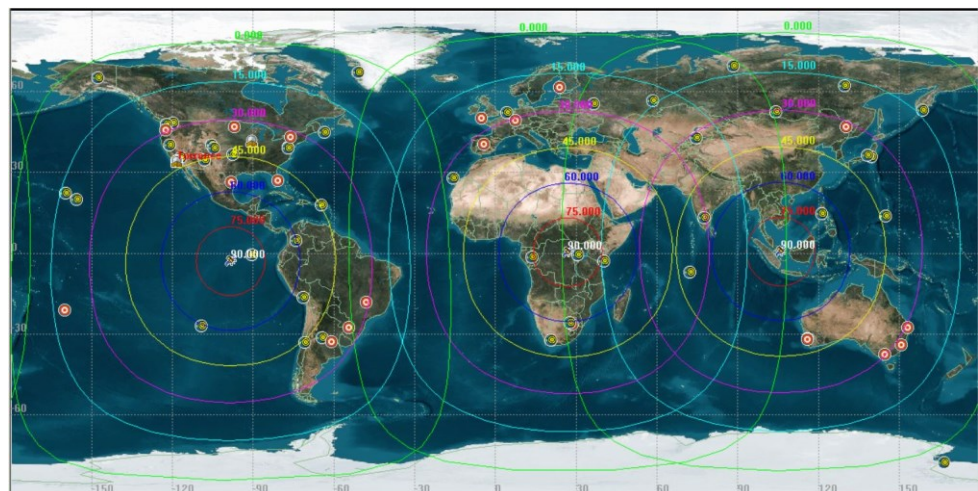
Para ter acesso às correções diferenciais geradas pela RBMC-IP, o usuário necessita de uma conexão de internet sem fio, um receptor GNSS e um *software* que permita a aplicação das correções diferenciais oriundas da estação de referência desejada (IBGE, 2017).

MÉTODO DE POSICIONAMENTO RTG

A tecnologia GDGPS (*Global Differential GPS*) foi financiada pelo NASA's *Earth Science Technology Office* e desenvolvida pelo JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) em apoio a missões científicas, para qualquer parte do planeta, que necessitavam de posicionamento em tempo real com acurácias compatíveis com as obtidas pelos métodos pós-processados (ARROYO-SUAREZ et al., 2005).

A rede C-Nav GcGPS é formada por 53 estações de referências (Figura 2), operadas pela NavCom e pela JPL, sendo quatro estações principais (*Master*) localizadas em *Colorado Springs (Colorado)*, *Naval Observatory (Maryland)*, *Torrance (California)* e *Moline (Illinois)*. Possui ainda 3 NPH (*Network Processing Hubs*) localizados em *Torrance (California)*, *Moline (Illinois)* e *Pasadena (California)*. Esta técnica é incorporada por alguns serviços comerciais WADGPS (*Wide Area Differential GPS*), que proveem correção diferencial global GPS (GDGPS). O sistema WADGPS RTG continental usa algoritmos de correção que fornece um conjunto único de correções para toda uma área continental (RAMOS, 2007).

Figura 2 – Rede de estações de referência do RTG



Fonte: Dixon [200-].

Baseados em melhorias e refinamentos do algoritmo GIPSY-OASIS II (*GPS Inferred Positioning SYstem and Orbit Analysis Simulation Software*), foi desenvolvido o *Real Time* GIPSY (RTG), que estima e modela com precisão vários parâmetros e fontes de erros dos satélites GPS, como a imprecisão nas órbitas dos satélites, através de dados recebidos em tempo real, via Internet, de uma rede global de estações de referência, gerando correções para as órbitas e relógios de cada satélite GPS ativo, que são retransmitidas para os usuários através da Banda L dos satélites de comunicação INMARSAT (1525-1565 MHz) (RAMOS, 2007).

Os NPH processam as observações GPS brutas de dupla frequência oriundas das estações de referência da rede, e geram um conjunto de correções RTG, baseadas em combinações lineares livres dos efeitos ionosféricos. Estas correções são transmitidas, via *link* de comunicações terrestres, aos centros de controle dos satélites geo-estacionários para retransmissão aos usuários do sistema (HUDSON e SHARP, 2001).

No plano conceitual, é semelhante a outros sistemas *Wide-Area DGPS*, no entanto, difere dos demais pela utilização de receptores de dupla frequência em vez de receptores de uma frequência apenas, o que permite a modelagem direta de efeitos de refração ionosférica. A precisão de 1 sigma por eixo horizontal raramente ultrapassa os 10 cm. A precisão do sistema não é dependente da localização geográfica (RAMOS, 2007).

ACURÁCIA E PRECISÃO

O grau de incerteza apresentado pelas medidas, intitulado erro experimental, faz com que a decorrência da mensuração seja tida por alto ou baixo grau de confiança, mas em nenhum momento com completa certeza. Tal suspeita faz com que por diversas vezes se realize a mesma medição repetidamente, tornando necessário para resolver tal problema analisar a acurácia e a precisão das observações levantadas, a fim de adotar uma solução para a questão. De acordo com Dalmolin e Santos (2014), o vocábulo medida é associado ao processo de medir, enquanto que observação está associada ao resultado do processo, ou seja, ao valor. Ambos estão sujeitas aos erros.

Os erros podem ser classificados quanto à sua natureza como grosseiros, sistemáticos (determinados) ou aleatórios (randômicos ou acidentais). Os erros grosseiros são geralmente causados por desatenção de quem está realizando a medição. Tais erros podem e devem ser excluídos quando detectados. Os erros sistemáticos podem ser preditos e eliminados através de cuidados no próprio ato da medição. Pelo fato de possuírem efeito acumulativo nas medições, são conhecidos também por vício ou tendência. Os erros acidentais ocorrem em um ou outro sentido da medição (positivo ou negativo), e por esse fato não pode ser associada a nenhuma outra causa conhecida. Tais erros tendem a se anular com o aumento do número de observações, e podem ser tratados com análise estatística (GEMAEL, 1994).

De acordo com Mikhail e Ackermann (1976), a acurácia é o grau de proximidade de uma estimativa com o seu parâmetro, e a precisão é o grau de consistência da grandeza medida com a sua média.

Já de acordo com Gemael (1994), precisão associa-se a efeitos aleatórios (dispersão das observações), e acurácia associa-se a efeitos sistemáticos e aleatórios.

Segundo Dalmolin e Santos (2014), a precisão é o grau de consistência entre os valores observados e se baseia na diferença algébrica entre as medidas. Ou seja, a precisão evidencia o grau de dispersão das observações em torno de sua média. Já a acurácia é o grau de aproximação que os valores medidos apresentam em relação ao valor verdadeiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na área de estudo localizada na DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) foi efetuado o experimento de análise de desníveis em um perfil. Este experimento ocorreu nos limites do Complexo Naval da Ponta da Armação, no município de Niterói, estado do Rio de Janeiro. As coordenadas aproximadas da DHN são latitude $22^{\circ} 53' 01,25''$ -S e longitude $43^{\circ} 07' 45,86''$ -W, com altitude elipsoidal média de 0 metros, no sistema de referência SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, realização do ano 2000).

Na Figura 3 visualiza-se a área onde foi materializada uma linha de nivelamento composta de oito piquetes, com extensão de aproximadamente 12 m e com um desnível da ordem de 7 m. Destaca-se que essa área apresenta um índice mediano de arborização a noroeste, o que pode representar uma fonte para multicaminho dos sinais dos satélites naquele setor por parte dos levantamentos propostos. A seleção de uma área com tais características visou representar mais realisticamente situações de possível emprego desse tipo de equipamento. Cita-se como exemplo o transporte da altitude de uma RN para a implantação de uma régua maregráfica próxima a um curso d'água contendo mata ciliar com árvores que ofereçam obstáculos parciais para a utilização de tais métodos de posicionamento.

Figura 3 – Área selecionada para a realização do perfil do terreno.



Fonte: Adaptado do Google Earth (2015).

Brasileira de Execução de Levantamentos Topográficos) (ABNT, 1994). Foi empregado o nível Leica Sprinter 100 (Tabela 1). O erro permitido na realização desse nivelamento geométrico foi de 20 mm vezes a raiz quadrada de k , sendo k a distância média do nivelamento e do contranivelamento em quilômetros (ABNT, 1994).

As coordenadas geodésicas destes 8 piquetes, que compõem o perfil do terreno em estudo, foram obtidas por meio de um posicionamento relativo estático rápido utilizando equipamentos GPS Leica 900CS, com intervalo de gravação dos dados igual a 1 segundo, máscara de elevação de 10° e um tempo de ocupação aproximado de 5 minutos. Esses 8 pontos foram processados duas vezes, utilizando no primeiro processamento apenas a frequência L1 e no segundo as frequências L1 e L2.

Visando atingir o objetivo proposto neste trabalho, as coordenadas geodésicas destes piquetes também foram obtidas por meio dos métodos de posicionamento em tempo real (RTK via NTRIP e RTG).

No levantamento RTK via NTRIP foi utilizado o equipamento GPS Leica RX1250Xc. Foram empregadas as correções diferenciais enviadas da estação da RBMC-IP RIOD, do IBGE, que dista aproximadamente 19,6 km da área de estudo. Infelizmente durante o processo não foi possível estabelecer conexão com a estação do Observatório Nacional (ONRJ), que estava mais próxima da área em questão (aproximadamente 9,7 km).

Nos levantamentos RTG foi empregado o equipamento GPS C-Nav3050 gentilmente cedido pela DHN.

Foram efetuadas duas ocupações (matutina e vespertina), visando o rastreamento sob diferentes geometrias de constelações de satélites, com duração aproximada de 5 minutos para cada período e para cada método diferencial a ser analisado. Na Tabela 1 apresenta-se uma síntese dos equipamentos empregados, bem como, as configurações efetuadas.

Tabela 1 – Configuração dos equipamentos GPS para a realização dos levantamentos

Modelo do receptor GPS aplicando a técnica RTK via NTRIP	Leica RX1250Xc
Modelo do receptor GPS aplicando a técnica RTG	C-Nav3050
Modelo do nível utilizado	Leica Sprinter 100
Precisão informada pela literatura	técnica RTK via NTRIP 1cm+1ppm (LEICA, 2005).
	técnica RTG 5cm (horizontal) e 15cm (vertical) (CNAV, 2014).
	Nível 10mm para $D \leq 10m$ (LEICA, 2007).
Tipo de equipamentos GPS utilizados	L1+L2
Intervalo de gravação dos dados	1 segundo
Máscara de elevação dos satélites	10°
Tempo de coleta de dados por ocupação	~ 5 min

Fonte: Autoria própria (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão indicados os valores dos desníveis entre os piquetes, e o desnível total entre o primeiro e o último piquete. Percebe-se que o desnível entre esses é de 7,2445 m.

Tabela 2 – Valor médio dos desníveis obtidos com o nivelamento geométrico (Classe IIN)

Lances	Valor dos desníveis (m)	Distância média (m)	Erros permitidos (mm)	Erros cometidos (mm)
P1 - P2	0,7185	7,1500	1,6900	1,0000
P2 - P3	1,0175	7,6500	1,7500	2,0000
P3 - P4	0,7835	6,0500	1,5556	1,0000
P4 - P5	1,2090	5,0000	1,4140	2,0000
P5 - P6	1,0145	4,7500	1,3700	1,0000
P6 - P7	1,3185	4,5000	1,3400	1,0000
P7 - P8	1,1830	4,8000	1,3800	1,0000
Soma	7,2445			

Fonte: Autoria própria (2015).

Conforme exposto anteriormente, foram efetuados os posicionamentos pelo método relativo estático rápido dos 8 piquetes. Os dados coletados em campo foram processados por meio do programa *Leica Geo Office* e na Tabela 3 é apresentada a configuração empregada nestes processamentos.

Tabela 3 – Configuração dos processamentos do MPRER

Especificações	Seleções
Efemérides	Precisas
Modelo troposférico	<i>Hopfield</i>
Modelo ionosférico	<i>Standart</i>
Máscara de elevação	10°
Frequência do 1º Processamento	L1
Frequência do 2º Processamento	L1+L2
Solução das ambiguidades	Automática (fixa/flutuante)
Antenas	Modelos IGS

Fonte: Autoria própria (2015).

No primeiro processamento realizado, não foi possível resolver as ambiguidades para os pontos 05 e 06, ficando a solução encontrada para os referidos pontos do tipo flutuante (Tabela 4). No segundo processamento efetuado conforme indicado na Tabela 3 utilizando-se as frequências L1 e L2, foram resolvidas todas as ambiguidades para os 08 pontos rastreados, ficando a solução encontrada para os referidos pontos do tipo fixa.

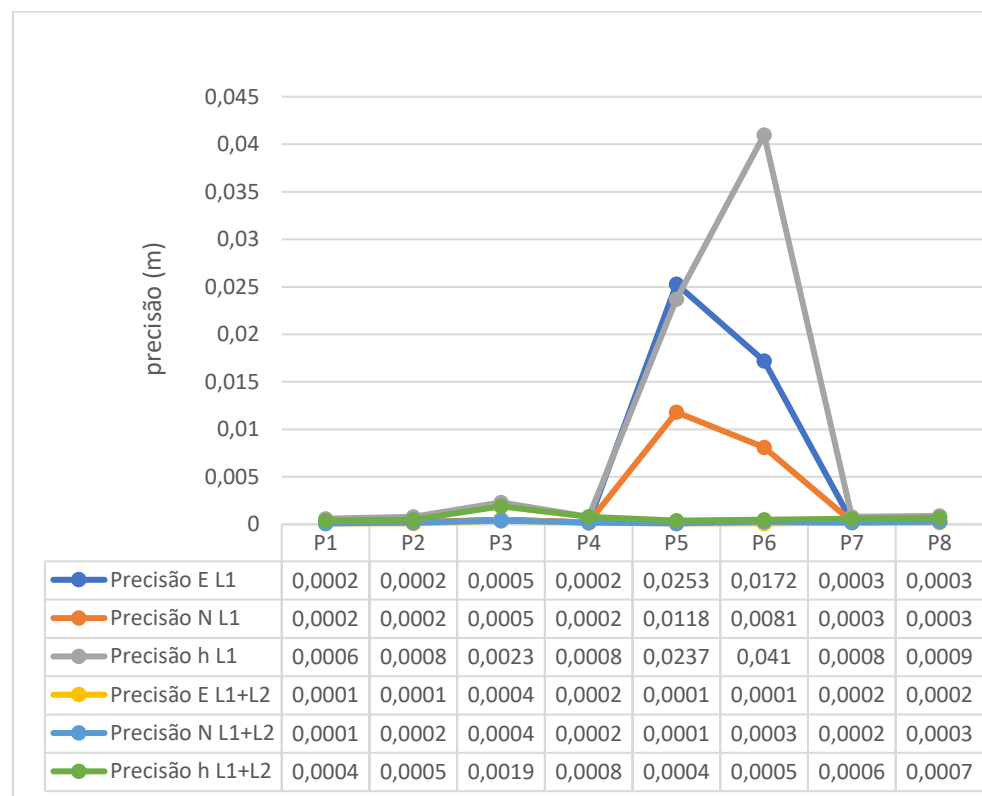
Tabela 4 – Coordenadas altimétricas, tipo de solução e ambiguidade obtidas com os processamentos do Levantamento GPS nas frequências L1 e L1+L2

Ptos	Frequência L1			Frequências L1+L2		
	Altitude elipsoidal (m)	Tipo de solução	Amb.	Altitude elipsoidal (m)	Tipo de solução	Amb.
P1	-4,1039	fixa	sim	-4,1071	fixa	sim
P2	-3,3590	fixa	sim	-3,3655	fixa	sim
P3	-2,3385	fixa	sim	-2,3303	fixa	sim
P4	-1,5871	fixa	sim	-1,5831	fixa	sim
P5	-0,2430	flutuante	não	-0,3876	fixa	sim
P6	0,9965	flutuante	não	0,6318	fixa	sim
P7	1,9655	fixa	sim	1,9567	fixa	sim
P8	3,1647	fixa	sim	3,1694	fixa	sim

Fonte: Autoria própria (2015).

As precisões altimétricas e planimétricas alcançadas com a frequência L1 foram da ordem de décimos de milímetros, com exceção dos pontos 05 e 06, que apresentaram suas precisões na casa dos centímetros (Figura 4). Já para as frequências L1 e L2, as precisões altimétricas e planimétricas alcançadas ficaram na ordem de décimos de milímetros, com exceção da precisão altimétrica do ponto 03, que se apresentou na casa dos milímetros.

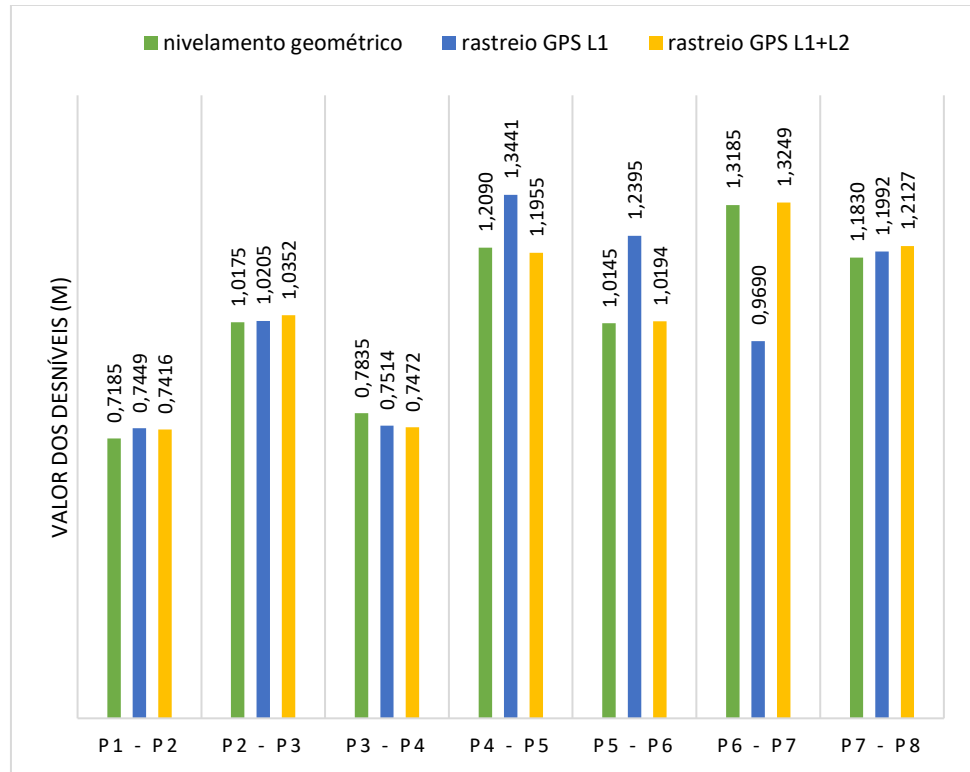
Figura 4 – Precisões obtidas com o processamento do Levantamento GPS nas frequências L1 e L1+L2



Fonte: Autoria própria (2015).

Da comparação dos valores dos desníveis obtidos entre o nivelamento geométrico e o rastreo GPS realizado e processado com as frequências L1 e L1+L2, verificou-se que os desníveis do nivelamento apresentaram valores próximos àqueles obtidos pelo Rastreo GPS L1+L2 (F).

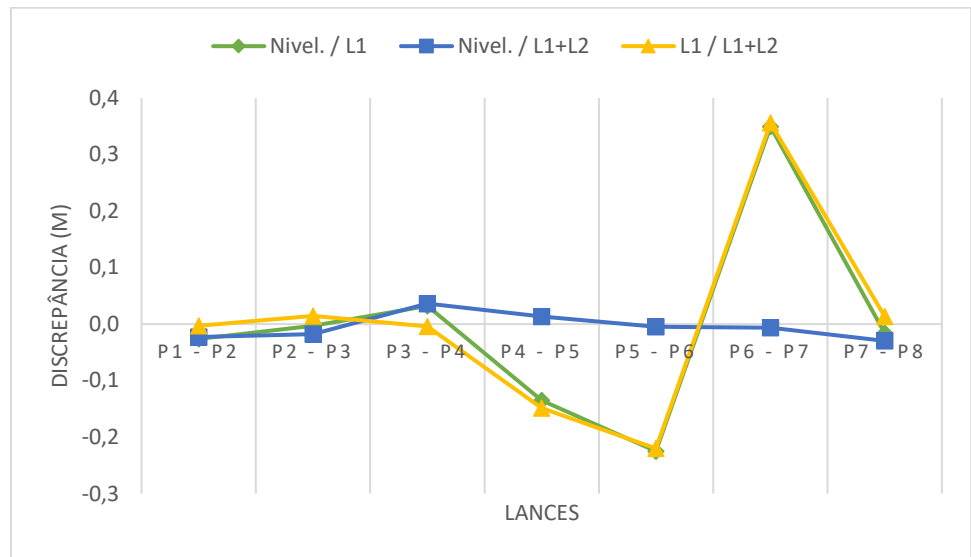
Figura 5 – Comparação de desníveis entre o nivelamento geométrico e o rastreo GPS



Fonte: Autoria própria (2015).

As diferenças das altitudes elipsoidais entre os piquetes foram avaliadas com os desníveis tidos como padrão e obtidos por meio do nivelamento geométrico de visadas iguais, conforme citado anteriormente. Na Figura 6, percebe-se que as maiores diferenças entre os desníveis obtidos por meio deste nivelamento e pelos rastreios GPS ocorrem nos lances em que as soluções apenas com o processamento da frequência L1 foram flutuantes (P5 e P6). Na comparação destes desníveis com aqueles obtidos com as soluções do processamento L1+L2, verifica-se que as diferenças em 03 lances (P4-P5, P5-P6 e P6-P7) foram inferiores a 1,4 centímetros, enquanto que no primeiro caso foi de aproximadamente 20 centímetros.

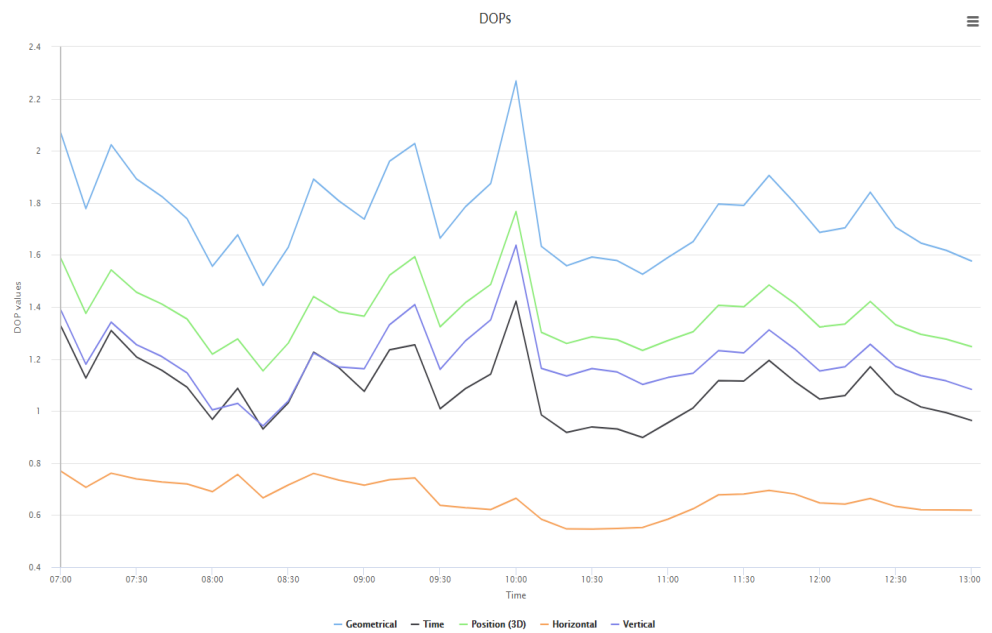
Figura 6 – Comparação entre desníveis (discrepâncias encontradas) (em metros)



Fonte: Autoria própria (2015).

Na figura 7 verifica-se que o rastreo matutino apresentou PDOP máximo de 1,8, e HDOP máximo de 1,6.

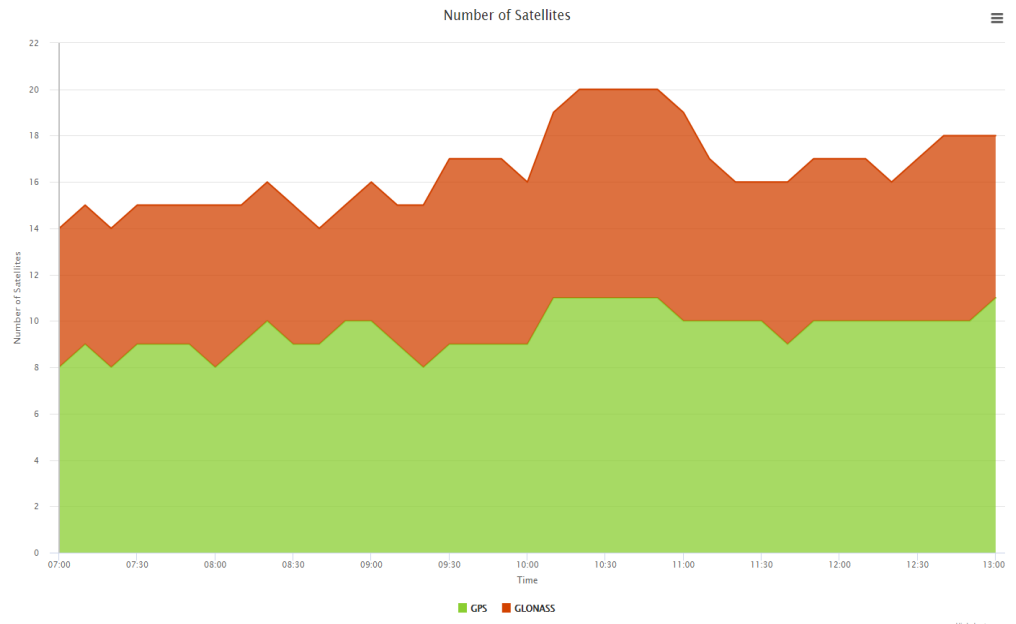
Figura 7 – Gráfico dos DOPs do rastreo matutino



Fonte: Autoria própria (2015).

Durante o rastreo, verificou-se uma constelação máxima de 20 satélites, sendo 11 GPS e 09 GLONASS, e uma constelação mínima de 17 (09 GPS e 08 GLONASS) (figura 8).

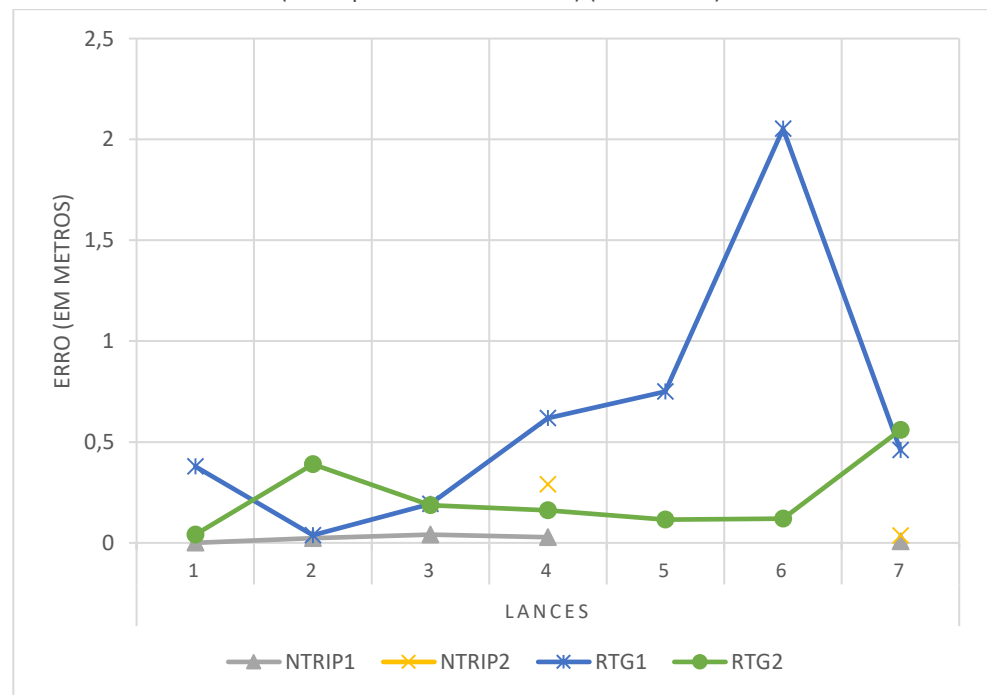
Figura 8 – Gráfico da constelação de satélites do rastreo matutino



Fonte: Autoria própria (2015).

A Figura 9 mostra graficamente a discrepância dos valores dos lances dos levantamentos quando comparados com os valores do nivelamento geométrico. Destaca-se, dentre os demais resultados, o valor obtido pelo levantamento RTG1 (o número 1 indica a ocupação matutina do levantamento) quando da realização do 6º lance. As ocupações vespertinas dos levantamentos recebem a numeração 2 como forma de identificação das mesmas.

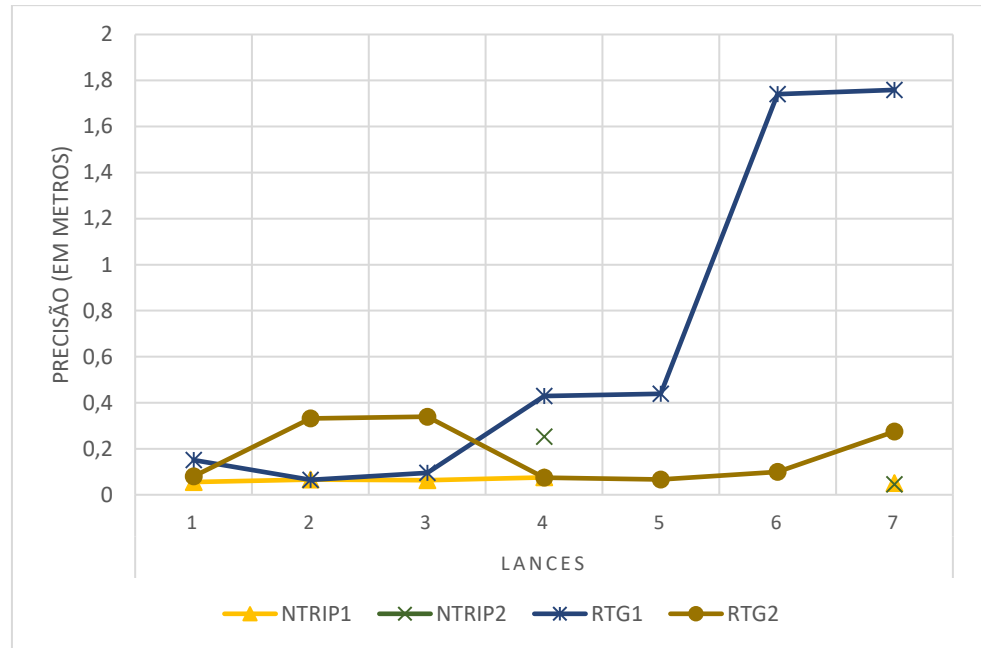
Figura 9 – Erros dos lances dos levantamentos em relação ao nivelamento geométrico (discrepâncias encontradas) (em metros)



Fonte: Autoria própria (2015).

A precisão de cada lance pode ser graficamente analisada através da Figura 10. Nela pode-se observar que os 6º e 7º lances destacam dos demais levantamentos, pelos valores apresentados.

Figura 10 – Precisão dos levantamentos por lances (em metros)



Fonte: Autoria própria (2015).

Quando das análises de erro e precisão dos desníveis obtidos com os posicionamentos em tempo real, o desnível P1-P2 teve os melhores resultados obtidos na precisão altimétrica foram do rastreamento matinal do RTK via NTRIP (NTRIP1), com 0,0554 m. O equipamento RTK via NTRIP não obteve soluções fase em seu levantamento vespertino. Em relação ao erro altimétrico do equipamento RTG, o melhor resultado foi apresentado pelos rastreios do RTG2, com erro e precisão altimétricos de 0,0412 m e 0,0800 m, respectivamente.

Em relação ao desnível P2-P3, verificou-se que o levantamento vespertino RTK via NTRIP não obtiveram soluções fase. O NTRIP1 apresentou melhores erro e precisão altimétricos (0,0233 m e 0,0662 m, respectivamente), enquanto que o RTG matutino dispôs de resultados mais precisos e acurados que o vespertino.

Na análise de P3-P4, o levantamento NTRIP2, não obteve soluções fase. O NTRIP1 apresentou erro altimétrico de 0,0410 m, e precisão altimétrica de 0,0630 m. O RTG1 se mostrou mais acurado que o RTG2.

Em relação ao desnível P4-P5, o RTK via NTRIP apresentou soluções fase tanto no levantamento matutino, como no levantamento vespertino. O NTRIP1 e o RTG2 dispuseram de precisão altimétrica menor que 0,1 m.

No desnível P5-P6, não houve recepção de soluções fase pelos NTRIP1 e NTRIP2. A menor precisão altimétrica foi a do RTG2 (0,0664 m). No P6-P7, não houve recepção de soluções fase pelos NTRIP1 e NTRIP2. O RTG2 teve sua precisão altimétrica abaixo de 0,1 m.

Em relação ao desnível P7-P8, verificou-se que todos os levantamentos (matutinos e vespertinos) obtiveram soluções fase. O NTRIP1 e NTRIP2

apresentaram valores de precisão altimétrica abaixo de 0,1 m, e também foram os que apresentaram os menores erros planimétricos.

Na Tabela 5 é possível verificar os valores dos erros médios, erros médios absolutos e RMS para cada levantamento realizado no experimento. Destacam-se os levantamentos L1 e L1+L2, que apresentaram erro médio milimétrico.

Tabela 5 – Erros dos levantamentos em relação aos desníveis (em metros)

	Erro médio	Erro médio absoluto	RMS
L1+L2	-0,0046	0,0188	0,0217
L1	-0,0034	0,1125	0,1661
NTRIP1	-0,0107	0,0201	0,0249
NTRIP2	0,1625	0,1625	0,2060
RTG1	-0,1766	0,6418	0,8907
RTG2	0,1800	0,2247	0,2816

Fonte: Autoria própria (2015).

Quanto aos erros percentuais, o RTG2 é o levantamento que apresenta maior valor (Tabela 6), enquanto que o RTG1 apresenta o maior valor de erro percentual absoluto.

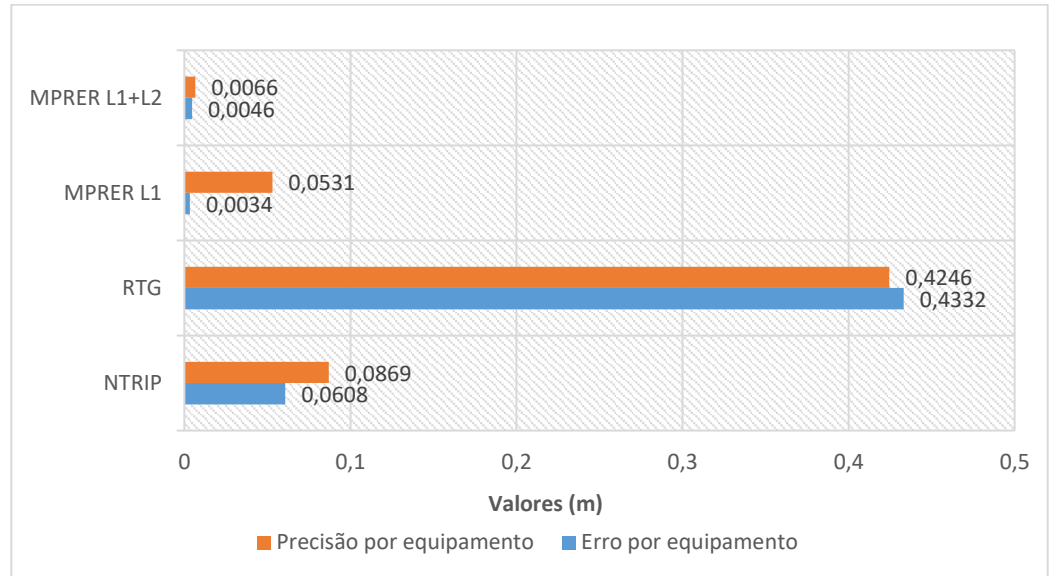
Tabela 6 – Erros percentuais dos levantamentos em relação aos desníveis

	Erro percentual (%)	Erro percentual absoluto (%)
L1+L2	-0,3834	2,0262
L1	-1,1553	9,8994
NTRIP1	-1,1912	2,1072
NTRIP2	13,4692	13,4692
RTG1	-8,8661	57,2715
RTG2	16,3866	21,2665

Fonte: Autoria própria (2015).

A Figura 11 mostra a precisão e o erro calculados por equipamentos, destacando o NTRIP como o equipamento com melhor precisão e erro no experimento realizado.

Figura 11 – Precisão e erro dos equipamentos levantados no experimento (em metros)



Fonte: Autoria própria (2015).

CONCLUSÕES

O presente experimento teve por finalidade verificar a precisão e a acurácia dos métodos de posicionamento em tempo real RTK via NTRIP e RTG para a realização de um perfil no terreno mostrando suas eficiências. A engenharia cartográfica, sendo integrante da área tecnológica, procura realizar suas pesquisas buscando sempre por novos métodos, com o intuito de reduzir custos e otimizar tarefas. Daí a importância destes métodos, que permitem a aquisição das informações, e subsequentemente a apresentação dos resultados em tempo real.

O equipamento RTK via NTRIP empregado nesta pesquisa recebe correções diferenciais através de um telefone celular que se comunica com o receptor por meio de conexão Bluetooth. Tal conexão pode acarretar mais perda das correções, quando comparado com os receptores que tem o slot para o chip de telefonia móvel colocado dentro dos mesmos.

De acordo com o IBGE, os posicionamentos RTK usando o protocolo NTRIP da RBMC-IP para distâncias de até 50 km entre a estação de referência e o *rover*, é possível obter resultados com ambiguidades inteiras e com precisões horizontal e vertical inferiores a 3 cm e 5 cm respectivamente. Já acurácia nestes casos pode chegar a 6 cm na componente horizontal e 17 cm na componente vertical (COSTA et al, 2008).

Na análise dos erros altimétricos com a utilização das soluções fase, o RTK via NTRIP apresentou melhor resultado com valor de 0,0608 m, seguido pelo RTG (0,4332 m). As melhores precisão e acurácia foram do RTK via NTRIP (0,0869 m e 0,1476 m, respectivamente), seguidas pelo RTG (0,4246 m e 0,8579 m, nesta ordem).

Quando da verificação do processamento do levantamento dos pontos dos desníveis do experimento com a frequência L1 e as frequências L1 e L2, tendo em vista a linha de base curta, observou-se que no primeiro processamento realizado

(L1) não foi possível resolver as ambiguidades para os pontos 05 e 06, ficando a solução encontrada para os referidos pontos do tipo flutuante, enquanto que para o segundo as soluções encontradas foram do tipo fixas. Sendo neste caso uma vantagem o equipamento operar com dupla frequência em face das obstruções presentes na área em estudo, conforme indicado anteriormente.

Analysis of accuracy and precision of real-time positioning methods in determination of land profiles

ABSTRACT

The use of GNSS (Global Navigation Satellite System) has been diffused in the most diverse applications, and the method of real-time positioning has been a form of measurement of very importance in several areas of engineering. With the progress of science and technology, new equipment has been developed, providing an improvement in the precision and accuracy of these surveys, allowing its application in coastline monitoring, hydrographic surveys, among others. This article evaluates the accuracy and precision of some of these real-time positioning methods, such as: RTK via Network Transport of RTCM Via Internet Protocol and RTG (Real Time Gipsy). The research area was located in the Directorate of Hydrography and Navigation (DHN), in Niterói / RJ, allowing simultaneous surveys with 03 equipment. In the experiment performed, regarding the analysis of slopes of a profile, in the analysis of altimetric errors, precision and accuracy with the use of the solutions phase, RTK via NTRIP presented better result, followed by RTG. NTRIP tracing missed some differential fixes due to cell phone connectivity issues with the crawler. RTG screening did not present any problems regarding the receipt of differential corrections throughout the experiment.

KEYWORDS: Real time positioning. RTK via NTRIP. RTG. Accuracy and precision evaluation.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LAGEH (Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia) pela acolhida, pelos momentos dedicados ao estudo e pelo empréstimo dos equipamentos necessários à realização do presente experimento. Agradecemos também à DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) pelo empréstimo do equipamento RTG e pela autorização de utilização de suas instalações para a realização do perfil do terreno.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

ARROYO-SUAREZ, E.N.; RILEY, J.L.; MABEY, D.L. Evaluating a global differential GPS system for hydrographic surveying. **Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE**, Washington, DC, v.3, p. 2557-2563, 2005. <http://dx.doi.org/10.1109/oceans.2005.1640155>

COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; JÚNIOR, M. J. N.; ABREU, M. A.; SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. RBMC em tempo real via NTRIP e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife, 8-11 de setembro, 2008.

CNAV SOLUTIONS. **C-NAV3050 user guide**. Revision 8. 2014, 189 p.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D.R.D. **Ajustamento de observações para geotecnologias**. Curitiba: Edição Revisada, 2014.

DAMMALAGE, T. L.; SRINUANDEE, P.; SAMARAKOON, L.; SUSAKI, J.; SRISAHAKIT, T. **Potential Accuracy and Practical Benefits of NTRIP Protocol Over Conventional RTK and DGPS Observation Method**. 2008. Disponível em <http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/ma06_102.htm>. Acessos em 25 abr. 2015.

DIXON, K. **Starfire: a global SBAS for sub-decimeter precise point positioning**. NavCom Technology Inc. [200-].

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. 1ª ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1994. 220p.

GOOGLE. **Google Earth website**. <http://earth.google.com/>, 2015.

GONZALEZ-MATESANZ, F. J.; WEBER, G.; CELADA, J.; DALDA, A.; QUIROS, R. **El Proyecto EUREF-IP, Resultados con GPRS**. 4ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Figueira da Foz (Portugal). 3-7 fevereiro 2004.

GUTERRES, S.D.R. **Investigações sobre posicionamentos pelo método DGPS usando transmissão das correções diferenciais pelo NTRIP e pelo RDS**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestre em Geomática) – Departamento de Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

HICKS, S. D. **Understanding Tides**. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2006.

HUDSON, J.R.; SHARP, T. **Globally Corrected GPS (GcGPS): C-Nav GPS System**. Dynamic Positioning Conference, Marine Technology Society, Houston, 2001.

IBGE. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real - RBMC-IP**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16332-rbmc-ip-rede-brasileira-de-monitoramento-continuados-sistemas-gnss-em-tempo-real.html?=&t=sobre>. 2017. Acessos em 23 jun. 2018.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e aplicações**. 2ª ed., São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

KRUEGER, C.P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão no âmbito marinho**. 1996. 267 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

KRUEGER, C.P. **Posicionamento Cinemático de Trens**. 1994. 185 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

LANGLEY, R. B. (1998). **RTK GPS**. Disponível em: <http://www.gpsworld.com/>

0199/0199innov.html. Acesso em: 24 out. 2000.

LEICA GEOSYSTEMS. **GPS1200 Technical Reference Manual version 2.0**, 2005. 1296 p.

LEICA GEOSYSTEMS. **GX1230 GG Technical Reference Manual**, 2005. 1416 p.

LEICA GEOSYSTEMS. **RX1200 User Manual version 7.0**, 2005. 214 p.

LEICA GEOSYSTEMS. **SPRINTER 100/100M/200/200M**. User Manual version 1.2. 2007. 84 p.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 1995.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**. University Press of America, 1976. 497 p.

MOREIRA, A. L. L. **Precisão do posicionamento RTK usando correções diferenciais transmitidas pelo sistema NTRIP (RBMC-IP)**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestre em Geomática) – Departamento de Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PATRICK, M. R. K. **Muted tidal regimes in marshes of the San Francisco estuary: Theory and implications for ecological restoration**. 2000. PhD dissertation, University of California at Berkeley, Berkeley, California, 2000.

PIRTI A. Evaluating the repeatability of RTK GPS. **Survey Review**, 43, 320 pp.177-186. Abril 2011.

PRADO, A., **Análise da Acurácia e da Correlação Espacial nas Técnicas DGPS e RTK**. 2001. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

RAMOS, A. M. **Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS Diferencial Preciso**. 2007. 221 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

RAMOS, A. M.; LEANDRO, D.; HUINCA, S. M.; KRUEGER, C. P. Análise da acurácia horizontal do posicionamento GPS diferencial empregado em levantamentos hidrográficos a partir de sistemas DGPS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2., COLÓQUIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 5., 2007, Presidente Prudente. **Anais** [...]. Presidente Prudente, SP: Universidade Estadual Paulista, 2007. v. 1. 9 p.

ROGOWSKI, M.; KUJAWA, L. et al. **Some experiences in RTK and DGPS measurements using internet and GSM mobile-phone**. 2004. 28 Abril 2015.

SOUZA, A. N. **Avaliação das coordenadas GNSS obtidas pelo Posicionamento Cinemático RTK/NTRIP e PPP.** 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

WÜBBENA, G., BAGGE, A. **GPS-bezogene Ortungssysteme. Beitrag zum 37. DVW-Seminar Hydrographische Vermessung - Heute-, Vorträge des 37. DVW-Seminar, 28.-29. März 1995, Universität Hannover.**

Recebido: 14 mar. 2019

Aprovado: 20 fev. 2020

DOI: 10.3895/rbgeo.v8n1.9843

Como citar: MOREIRA, L. A.; KRUEGER, C. P.. Análise de precisão e acurácia de métodos de posicionamento em tempo real na determinação de desníveis. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 003-025, jan/mar. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Leonardo Assumpção Moreira

Rua Grão Pará, 367, CEP 90850-170, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

