

Análise das variações das altitudes obtidas com RTK visando o monitoramento de massas de água por meio de plataformas Eulerianas

RESUMO

O monitoramento de corpos de água tem importância fundamental na gestão, prevenção e minimização dos efeitos diretos e indiretos provenientes de desastres naturais. Neste âmbito, a utilização de sistemas de posicionamento por satélites é pertinente, visto que atende as premissas inerentes a estes monitoramentos proporcionando diversas vantagens como agilidade, melhor relação custo - benefício e independência de condições climáticas. O escopo do presente trabalho é a análise das respostas obtidas a partir de variações controladas na altura de uma antena receptora, empregando-se o método de posicionamento diferencial em tempo real mediante o uso da técnica RTK (*Real Time Kinematic*) para verificação da aplicabilidade desta técnica em monitoramentos realizados por meio de plataformas Eulerianas. Na análise dos resultados verificou-se a discrepância máxima de 0,05m em condições ideais de rastreamento. Nos casos em que existiam obstruções, embora de pequeno porte, as soluções foram obtidas por meio da medida do código conduzindo a discrepâncias acima de 4m. Portanto, conclui-se que o RTK pode ser empregado no monitoramento do nível de água desde que possíveis obstruções existentes entre estação de referência e a móvel não sejam significativas.

PALAVRAS-CHAVE: GNSS. Correções Diferenciais. Nível de água. Desastres Naturais.

Jorge Felipe Euriques

jorge_euriques@yahoo.com.br
orcid.org/0000-0001-9234-7551
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

Claudia Pereira Krueger

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

Anderson Renato Viski

anderviski@gmail.com
orcid.org/0000-0003-0627-5139
Universidade Federal do Paraná (UFPR),
Curitiba, Paraná, Brasil.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o 5º maior país do mundo em extensão territorial e possui grande disponibilidade de recursos hídricos, seja de água doce, a qual detém aproximadamente 12% da água doce superficial do planeta, de acordo com o Portal Brasil (2015), seja salgada, através da grande extensão de seu litoral, de aproximadamente 7.367km.

O monitoramento destas massas de água é necessário na gestão de tais recursos a fim de se garantir a adequada utilização dos mesmos para as mais diversas atividades humanas como no abastecimento, indústria, geração de energia elétrica, navegação, agropecuária, lazer, etc. Esta utilização deve estar em harmonia com o meio em que se encontram visando o uso e desenvolvimento sustentável para que estejam de igual forma, disponíveis às futuras gerações. Além disto, o monitoramento de massas de água é indispensável também no planejamento e gestão de medidas aplicadas a prevenção ou na minimização dos efeitos causados por desastres naturais.

Segundo Tobin e Montz (1997) apud Marcelino (2008) “Os desastres naturais podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedem a capacidade dos afetados em conviver com o impacto”.

Conforme os dados do Informe GEO Brasil (2002) os desastres naturais mais comuns no Brasil durante a década de 1991 a 2001 foram: estiagem 55,1%; secas 19,9%; enchurradas ou inundações bruscas 20,6%; enchentes ou inundações graduais 1,7%, vendavais ou tempestades 0,9%; vendavais muito intensos ou ciclones extratropicais 0,3%; incêndios florestais 0,4%; além de granizo, alagamentos e outros 1,0%. Através destes dados, pode-se observar que, em sua grande maioria, estes desastres envolvem, mesmo que de forma indireta, massas de água, e com isto, fica destacada a importância cada vez maior do desenvolvimento de sistemas de monitoramento contínuo das mesmas a fim de se consolidar métodos de prevenção e minimização dos danos e prejuízos ambientais, sociais e econômicos causados por desastres naturais.

Através do monitoramento contínuo do nível de água de rios, dos mares, de reservatórios e demais massas de água têm-se uma ferramenta valorosa para auxílio na tomada de decisão do poder público e das populações que podem ser afetadas pelos efeitos de desastres naturais (EURIQUES, 2015).

Neste âmbito, a utilização de sistemas de posicionamento por satélites GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) é pertinente, visto que atende as premissas inerentes a estes monitoramentos, além de proporcionar diversas vantagens quando comparado a outros métodos de monitoramento, destacando-se a agilidade, melhor relação custo-benefício e independência de condições climáticas (SEEBER, 2003).

Visando garantir eficácia e robustez no monitoramento almeja-se monitorar e, por conseguinte, determinar possíveis variações em tempo real. Para isto, pode ser adotado o método de posicionamento de satélites que aplica as correções diferenciais em tempo real.

Neste trabalho foram analisados os resultados obtidos por meio da técnica RTK (*Real Time Kinematic*), na qual o envio de correções diferenciais é realizado por meio de antenas de rádio.

Além da escolha da técnica a ser utilizada para realização de um monitoramento específico, neste caso, o de massas de água, torna-se necessário o desenvolvimento ou adaptação de métodos, sistemas e equipamentos que possam auxiliar na obtenção de dados com qualidade e precisão nas medidas realizadas e, com isto, nos resultados alcançados.

Desde 2006 o Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia - LAGEH da Universidade Federal do Paraná vem trabalhando frente ao desenvolvimento de equipamentos com tecnologia nacional e de baixo custo. As aplicações têm sido em áreas específicas da Geodésia Espacial, Geodésia Marinha e Levantamentos Hidrográficos.

Dentre os equipamentos desenvolvidos pelo LAGEH destacam-se modelos de plataformas Eulerianas (Figura 4), que são compostas por boias e aletas, nas quais podem ser acoplados receptores GNSS, possibilitando a realização de observações relacionadas à posição da plataforma e a determinação de variações no nível de água.

O escopo do presente trabalho consiste na análise das respostas obtidas a partir de variações controladas na altura de uma antena receptora GNSS, empregando-se o método de posicionamento diferencial em tempo real mediante o uso da técnica RTK. A partir desta análise pretende-se verificar a possível utilização desta técnica em plataformas Eulerianas de baixo custo visando o monitoramento contínuo e em tempo real do nível de água.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

SISTEMAS DE POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

A partir da década de 70 surgiram os primeiros sistemas de posicionamento por satélites. Inicialmente estes sistemas foram utilizados e desenvolvidos exclusivamente para fins militares, contudo, devido as suas diversas aplicabilidades, passaram a ser disponibilizados a setores civis. A partir destes sistemas, em condições preestabelecidas, é possível posicionar-se sobre a superfície da Terra, ou próximo a ela, 24 horas por dia, de maneira contínua, independentemente das condições climáticas. (SEEBER, 2003).

Segundo Krueger (2006), a grandeza fundamental nestes sistemas é a medida do tempo decorrido entre a emissão do sinal pela antena do satélite e a recepção do mesmo na antena do receptor.

Os sinais enviados pelos satélites são propagados à velocidade da luz no vácuo, logo, a partir do conhecimento do tempo de propagação do sinal pode-se determinar a distância geométrica entre as antenas do satélite e do receptor, a qual devido à influência de erros é chamada de pseudodistância.

As pseudodistâncias são calculadas a partir de duas observáveis básicas, os códigos e as medidas de fase da onda portadora, das quais a observável mais precisa é a medida da fase da onda portadora. Essa observável corresponde à

diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no receptor, ambas no mesmo instante de recepção t .

Segundo Seeber (2003), a equação de observação básica da pseudodistância por meio da medida da fase da onda portadora para uma época genérica (t) pode ser descrita pela Equação 1:

$$PD_{\Phi} = D + cdt_u + cdt_{trop} + cdt_{ion} + cdt_s + c \frac{N}{f_{\Phi}} + \varepsilon_D \quad (1)$$

Onde:

PD_{Φ} : Pseudodistância por meio da medida de fase da onda portadora.

D : Distância geométrica entre a antena do receptor e a antena do satélite.

t : Época de observação.

c : Velocidade da luz no vácuo.

dt_u : Erro de sincronismo entre o relógio do receptor e o tempo GPS.

dt_{trop} : Atraso na propagação do sinal na Troposfera.

dt_{ion} : Atraso na propagação do sinal na Ionosfera.

dt_s : Erro de sincronismo entre o relógio do satélite e o tempo GPS.

N : Ambiguidades.

f_{Φ} : Frequência da onda portadora.

ε : Demais erros, ou erros não modelados, como o efeito do multicaminho, ruído, variações do centro de fase da antena, etc.

A determinação de coordenadas nestes sistemas é baseada na medição destas pseudodistâncias de no mínimo quatro satélites para a determinação da posição e tempo (erro de não sincronismo do relógio do receptor e do satélite). A partir das coordenadas conhecidas destes satélites, ou seja, das efemérides, referenciadas a um sistema de referência, é possível determinar as coordenadas de um ponto na superfície terrestre. (SEEBER, 1993, apud FREIBERGER JUNIOR, 2007).

Diversos são os erros que atuam nestes sistemas sendo podendo estar relacionados aos satélites, aos receptores e a propagação do sinal.

De acordo com Krueger (2006) estes erros referem-se:

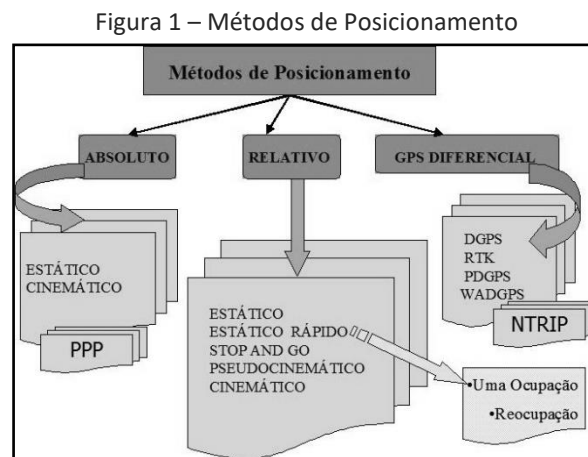
- Ao estado dos relógios do receptor e dos satélites em relação ao tempo GPS;
- Às orbitas dos satélites;
- À propagação do sinal na atmosfera;
- Ao efeito do multicaminho;
- Ao ruído nas observações; e

- Ao centro de fase da antena receptora.

Para a obtenção de alta precisão no posicionamento estes devem ser eliminados, ou minimizados por meio de técnica e procedimentos específicos.

MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

Existem diferentes métodos de posicionamento por satélites conforme esquematizado na Figura 1.



Fonte: Krueger (2006).

Cada um destes métodos fora idealizado com o intuito de se priorizar características e necessidades específicas do levantamento a ser realizado, concomitante ao desenvolvimento da tecnologia envolvida.

MÉTODOS DE POSICIONAMENTO DIFERENCIAL

O posicionamento diferencial conhecido pela sigla DGPS (*Differential GPS*) caracteriza-se pela utilização de no mínimo uma estação de referência, ou seja, estacionada sobre um ponto de coordenadas precisas conhecidas, e uma estação móvel, cujas coordenadas se almeja determinar.

Um sistema de comunicação pode transmitir tais correções por meio de antenas de rádio transmissora, pela internet, por satélites geoestacionários entre outros.

Existem diferentes classificações para os métodos de posicionamento diferencial, sendo que estas são dadas de acordo com fatores como o sistema de comunicação empregado entre as estações, tipo de observável utilizada no cálculo da correção, número de estações de referência, entre outros, conforme segue:

- DGPS (*Differential GPS*);
- RTK (*Real Time Kinematic*);
- PDGPS (*Precise DGPS*);
- WADGPS (*Wide Area DGPS*).

MÉTODO DE POSICIONAMENTO DIFERENCIAL RTK

O RTK (*Real Time Kinematic*) é uma das modalidades do método de posicionamento diferencial. Esta técnica requer a utilização de uma estação de referência e uma estação móvel. A partir desta estação de referência são calculadas as correções diferenciais que são transmitidas à estação móvel através de um canal de comunicação rádio UHF (*Ultra High Frequency*).

“Estas correções diferenciais referem-se à correções das posições ou das pseudodistâncias por meio da fase da onda portadora, as quais proporcionam melhor precisão nas determinações. No segundo caso, a estação móvel pode rastrear uma subconstelação da constelação observada pela estação de referência”. (KRUEGER, 1996)

Segundo Krueger (1996), desta forma as correções são calculadas a partir da diferença entre as pseudodistâncias verdadeiras e calculadas para cada um dos satélites da estação de referência.

Após recepção a estação móvel aplica tais correções e busca a resolução das ambiguidades para determinação de coordenadas precisas em tempo real.

As correções são enviadas da estação de referência para a estação móvel através de um meio de comunicação em um formato apropriado RTCM.

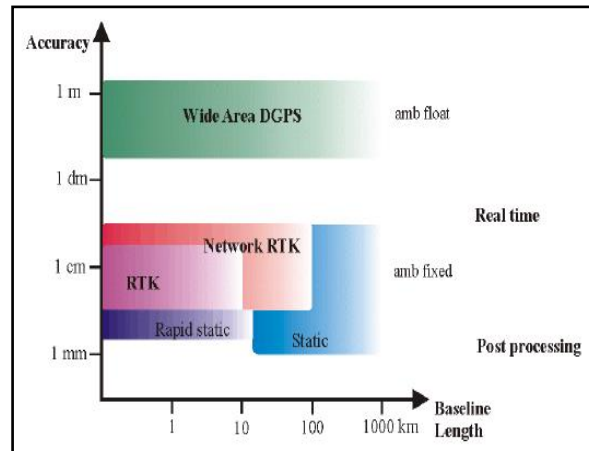
O formato RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*) é o padrão estabelecido para as correções diferenciais desde 1985. Apresenta várias versões sendo que, a partir da versão RTCM 2.1 tem-se as mensagens 18 à 21 que atendem as aplicações cinemáticas em tempo real de alta precisão. A mensagem 18 proporciona medidas da fase da onda portadora, ao passo que a medida da pseudodistância é fornecida pela mensagem 19. As mensagens tipo 20 e 21 contêm as correções da fase da portadora e das medidas das pseudodistâncias, conforme calculadas pelas estações de referência (KRUEGER, 1996).

Este método proporciona precisões abaixo do metro e é limitado, segundo Willgalis et. al. (2002) à linhas de base curtas, devido ao alcance da comunicação radio adotada no envio de correções diferenciais, e ao fato de que no RTK utiliza-se apenas uma das portadoras, a L1, ainda que a L2 esteja disponível para acelerar a resolução das ambiguidades.

As Figuras 2 e 3 apresentam as precisões admitidas nos métodos de posicionamento diferencial em função da dimensão da linha de base, método empregado e tempo de ocupação.

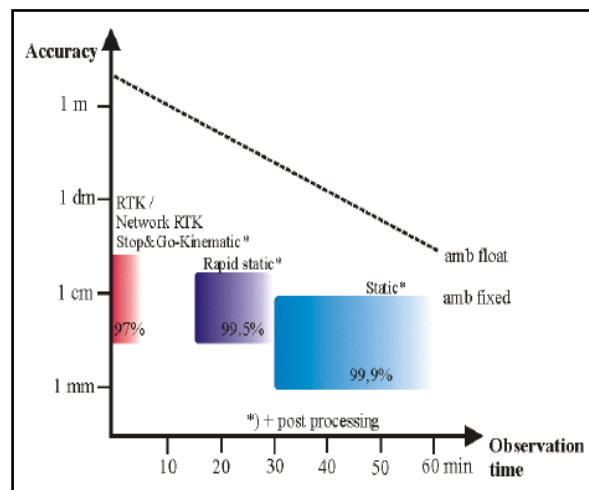
Além destes, deve-se considerar o fato de que nos métodos de posicionamento diferencial em tempo real não se pode anular os efeitos provenientes dos erros inerentes às órbitas dos satélites e àqueles provenientes da propagação dos sinais na ionosfera e troposfera por diferenciação de observação entre as estações.

Figura 2 – Precisão em função da dimensão da linha de base e do método de posicionamento



Fonte: Willgalis et al. (2002).

Figura 3 – Precisão admitida em função do tempo de ocupação e do método de posicionamento diferencial



Fonte: Willgalis et al. (2002).

PLATAFORMAS EULERIANAS

Plataformas Eulerianas são boias nas quais podem ser acopladas antenas receptoras de sinal GNSS com o intuito de possibilitar, neste caso, a detecção de variações no nível vertical de massas de água.

Medidas de Euler ou Eulerianas são realizadas em um ponto fixo ou região geográfica conhecida.

Segundo Viski (2012), a representação da velocidade determinada por uma plataforma Euleriana pode ser definida por meio de métodos de posicionamento por satélites, conforme Equação 2.

$$\vec{V} = \vec{V}(x, y, z, t) \tag{2}$$

Sendo:

$x = (\phi)$: latitude geodésica;

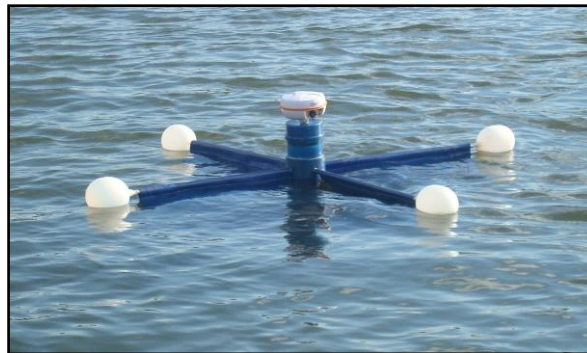
$y = (\lambda)$: longitude geodésica;

$z = (h)$: altitude elipsoidal;

t : intervalo de gravação das observações.

A Figura 4 apresenta um dos modelos de plataformas Eulerianas desenvolvidas pelo Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia da UFPR.

Figura 4 – Plataforma Euleriana



Fonte: Viski (2015).

METODOLOGIA

A metodologia foi definida considerando-se testes com diferentes configurações a fim de melhor representar o comportamento das respostas obtidas frente a variações controladas na altura da antena. Para isso, foram realizados testes em diferentes locais de rastreamento, suscetíveis a obstruções ou livres delas, sendo alternadas as dimensões das linhas de base e as variações controladas aplicadas, entre outras particularidades. Os testes foram realizados com o conjunto RTK Leica 1200 GX1230, composto por dois receptores de dupla frequência e o rádio de comunicação *Pacific Crest PDL*, compatível ao conjunto. As soluções analisadas advêm do método de posicionamento diferencial RTK gravadas continuamente.

Os testes foram efetuados aplicando-se uma variação controlada a partir da altura de 1,5m na antena fixada a uma haste graduada.

Aplicou-se a variação controlada de 1 metro para os dois primeiros testes (Teste 1 e Teste 1.1) e de 0,5m para os demais testes. Tal variação controlada foi reproduzida com auxílio de um tripé topográfico e haste graduada.

O intervalo de gravação de dados utilizado nos rastreios foi de 1 segundo com máscara de elevação de 10° . Esta configuração permite, respectivamente, a abundância de dados durante o tempo de rastreamento e minimização dos erros provenientes da troposfera.

A constância ou cadência da variação entre a antena elevada e reduzida caracteriza a regularidade em que tal variação controlada foi aplicada na haste graduada.

Denominaram-se cadência Intervalar e cadência Contínua para o modo em que a variação foi aplicada. No primeiro caso foram efetuadas observações por cerca de 2 minutos com a antena na posição inicial e com o mesmo intervalo de tempo na posição elevada. Esta operação foi executada durante todo o período de coleta de dados.

A constância dita Contínua caracteriza-se pela observação direta da altitude elipsoidal na posição inicial e imediatamente na posição elevada da antena, e assim sucessivamente até o fim do rastreo.

As diferentes configurações estabelecidas para cada teste estão identificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Configurações dos testes realizados

Teste	Constância	Varição	Est. Ref.	Est.Móvel	LB
1	Intervalar	1m	RM03	PT1	12m
1.1	Int. e Cont	1m	RM03	PT1	12m
2	Int. e Cont	0,5m	Pilar2000	PT1	3m
3	Contínua	0,5m	Pilar2000	PT1	3m
4	Contínua	0,5m	Pilar2000	RN15	290m
5	Contínua	0,5m	Pilar2000	PT2	250m
6	Contínua	0,5m	Pilar2000	PT1	3m

Fonte: Adaptado de Euriques (2015).

Est. Ref: Estação de referência.

Est. Móvel: Estação Móvel.

LB: Linha de Base.

Os testes foram realizados nas imediações do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia – LAGEH, situado no campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, localizado à Avenida Coronel Francisco Heráclito dos Santos, bairro Jardim das Américas, na cidade de Curitiba - PR, Figura 5.

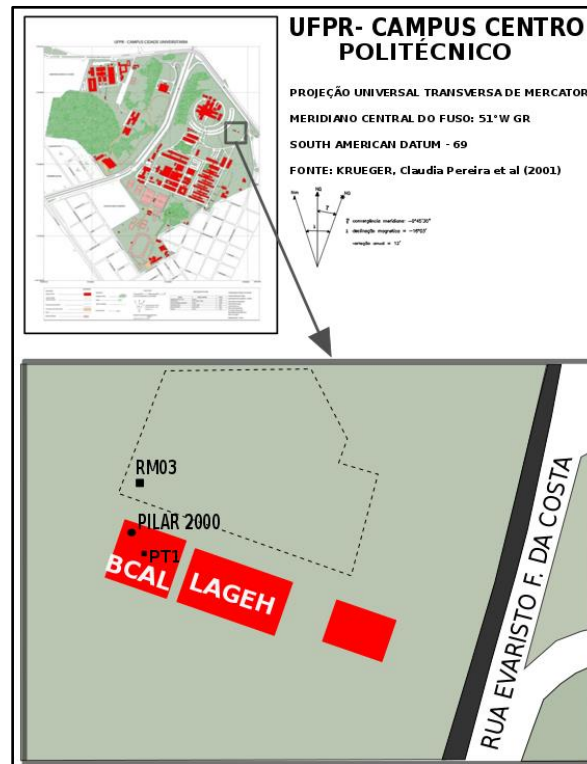
Em função das diferentes características almejadas para os testes, ocuparam-se diferentes pontos com a estação móvel. Inicialmente ocupou-se o ponto denominado PT1, situado na Base de Calibração de Antenas GNSS - BCAL-UFPR, que se situa na laje do auditório nas imediações do LAGEH, tendo como referência o ponto RM03, situado no solo, próximo a referida edificação. Posteriormente, visando realizar testes com linhas de base maiores e com obstruções parciais entre as estações, ocupou-se a Referência de Nível-RN15, Figura 6, e um ponto denominado PT2, tendo como referência o Pilar 2000, também situado na BCAL-UFPR.

Como estações de referência definiram-se dois pontos, o RM03 e o Pilar 2000, ambos com coordenadas preliminarmente conhecidas no sistema de referência SIRGAS 2000.

Utilizou-se a referência RM03 para os testes 1 e 1.1, posteriormente optou-se por utilizar o Pilar 2000, com isto, tornou-se possível realizar testes livres de quaisquer obstruções entre as estações.

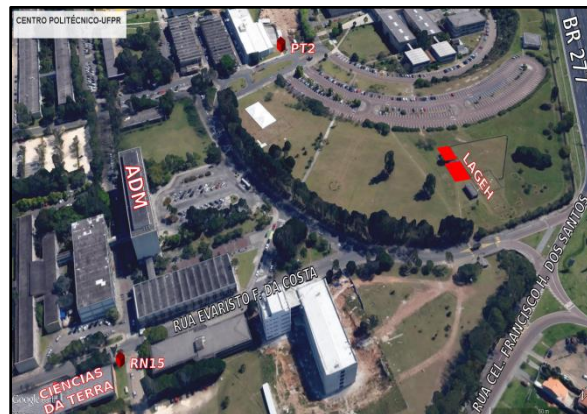
Tendo em vista que o método adotado é caracterizado por proporcionar determinações em tempo real, foi possível realizar análises diretamente sobre os dados obtidos por meio de planilha de cálculo.

Figura 5 – Área de estudo. Imediações do LAGEH



Fonte: Autoria própria (2016).

Figura 6 – Área de estudo. Campus Centro Politécnico-UFPR



Fonte: Adaptado do Google Earth (2016).

Através dos dados brutos coletados foi possível verificar, por meio do software Leica Geo Office 7.0 – LGO, o número de satélites envolvidos durante o rastreamento e suas elevações, bem como, os valores de DOPs (Dilution of Precision), que caracterizam parcialmente a qualidade dos dados obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados foi realizada com base na comparação dos resultados obtidos com valores de referência concernentes a altitude elipsoidal determinada através do método de posicionamento relativo estático, e também com a variação controlada produzida. Nos testes de cadência intervalar calculou-se a

altitude elipsoidal média no intervalo observado para compará-la a altitude de referência, caracterizando a discrepância da altitude. Além disto, efetuou-se a diferença entre as médias nos intervalos com antena elevada e com antena reduzida, ou seja, a variação das altitudes médias nos intervalos, para comparação com a variação controlada aplicada obtendo-se a discrepância da variação. Na sequência serão apresentados os resultados e análises inerentes a cada um dos sete testes.

TESTE 1

O Teste 1 foi realizado de maneira intervalar, ou seja, após realizada a variação na altura da antena manteve-se a mesma estática por alguns minutos.

A Tabela 2 exibe os principais resultados obtidos neste teste.

Tabela 2 – Resultados do Teste 1 Intervalar

Intervalo (s)	Altitude média(m)	Variação Média(m)	Discrepância variação(m)	Discrepância altitude (m)
1-178	927,4397	0,9896	-0,0104	0,0419
239-358	928,4712			0,0315
421-477	927,4744	0,9982	-0,0018	0,0347
542-608	928,4397			0,0329

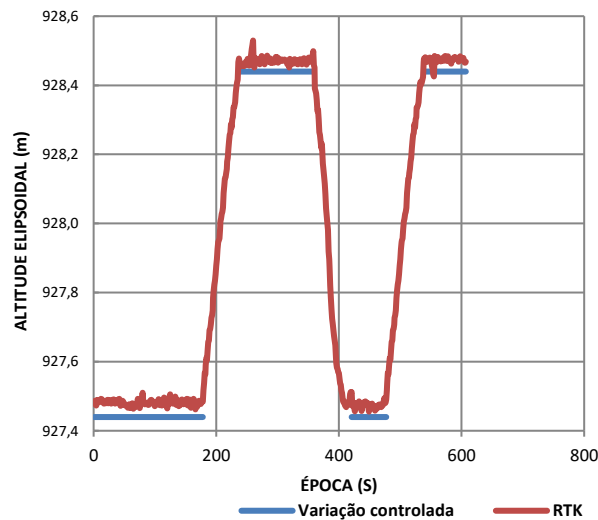
Fonte: A autoria própria (2016).

A partir da Tabela 2 se verifica que a maior discrepância entre a média das altitudes elipsoidais no intervalo e o valor de referência foi de 0,0419m e a maior discrepância em relação a variação controlada foi de aproximadamente 1cm. Estes valores são considerados ótimos, visto que a precisão preconizada pela literatura para condições ideais é abaixo do metro.

Faz-se necessário ressaltar que neste caso, realizou-se o teste em condições ideais, com linha de base extremamente curta (< 12m) e sem obstruções consideráveis que pudessem impedir a comunicação entre as estações de referência e a móvel. A Figura 7 representa o comportamento das respostas obtidas com o RTK também como as variações controladas produzidas ao longo do tempo de rastreamento.

Através dos dados brutos pode-se verificar que a constelação observada no rastreamento foi de 17 satélites, sendo 10 da constelação NAVSTAR-GPS e 7 do GLONASS. O Valor do PDOP ficou entre 1,4 e 2, tendo 100% das ambiguidades resolvidas verificando-se apenas um salto de ciclo.

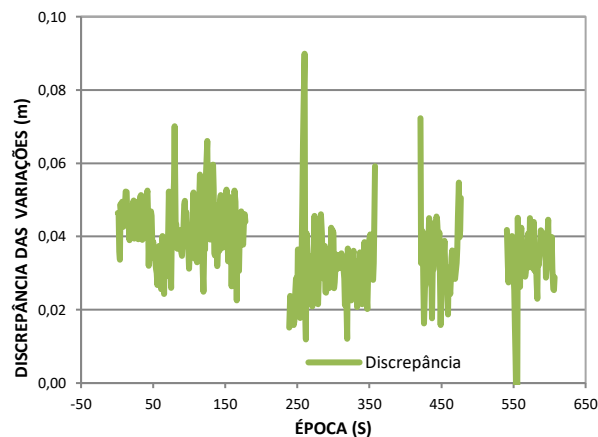
Figura 7 – Teste 1



Fonte: Adaptado de Euriques (2015).

A Figura 8 caracteriza as discrepâncias entre as observações obtidas em tempo real e a variação controlada produzida destacando-se os picos 0,0899m, maior discrepância observada, e o de 0,008m caracterizando o valor mais próximo ao valor de referência.

Figura 8 – Discrepâncias das variações observadas no Teste 1



Fonte: Adaptado de Euriques (2015).

TESTE 1.1

Este teste foi realizado em duas modalidades, com constância intervalar e outro de maneira contínua. A Tabela 3 representa os resultados obtidos com constância intervalar diferenciando-se do Teste 1 pelo dia e horário de rastreo.

A maior discrepância entre a média das altitudes elipsoidais no intervalo e o valor de referência foi de 0,0401m, e a maior discrepância em relação à variação controlada foi de aproximadamente 5 cm.

Através dos dados brutos pode-se verificar que nas duas modalidades do teste, obteve-se a mesma configuração de satélites, a constelação observada foi de 17 satélites, sendo 10 da constelação NAVSTAR-GPS e 7 do GLONASS. Não

houve saltos de ciclos e o valor do PDOP máximo foi de 1.7, com 100% das ambiguidades resolvidas.

Tabela 3 – Resultados do Teste 1.1 Intervalar

Intervalo(s)	Altitude média(m)	Varição Média(m)	Discrepância variação (m)	Discrepância altitude (m)
1-365	927,4738	1,0060	-0,0060	0,0341
546-606	928,4798			0,0401
666-785	927,4238	1,0525	0,0525	-0,0159
846-906	928,4764			0,0367
1087-1206	927,4720	1,0009	0,0009	0,0323
1267-1386	928,4729			0,0332

Fonte: Autoria própria (2016).

A maior discrepância entre a média das altitudes elipsoidais no intervalo e o valor de referência foi de 0,0401m, e a maior discrepância em relação à variação controlada foi de aproximadamente 5 cm.

Através dos dados brutos pode-se verificar que nas duas modalidades do teste, obteve-se a mesma configuração de satélites, a constelação observada foi de 17 satélites, sendo 10 da constelação NAVSTAR-GPS e 7 do GLONASS. Não houve saltos de ciclos e o valor do PDOP máximo foi de 1.7, com 100% das ambiguidades resolvidas.

A maior discrepância entre as observações e os valores de referência foi de 0,5599m, contudo, ao analisar o conjunto destas discrepâncias juntamente com as informações da constelação de satélites, verificando-se que não ocorreram saltos de ciclos e que os valores de PDOP foram de até 1,7, pode-se desconsiderar este valor, visto que este teve um comportamento atípico. Com isto, se filtrado este conjunto de dados, eliminando-se esta observação atípica, o valor mais discrepante é 0,0668m.

Posteriormente realizou-se o teste de maneira contínua, ou seja, verificando-se valores pontuais com a antena elevada e com a antena reduzida. Os resultados deste teste são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do Teste 1.1 Contínuo

Instante(s)	Altitude (m)	Varição Média(m)	Discrepância variação (m)	Discrepância altitude (m)
1	927,4777	0,9804	-0,0196	0,038
21	928,4581			0,0184
35	927,4901	0,9733	-0,0267	0,0504
48	928,4634			0,0237
61	927,4743	0,997	-0,003	0,0346
74	928,4713			0,0316
86	927,4702	1,0305	0,0305	0,0305
102	928,5007			0,061
118	927,4874	0,9881	-0,0119	0,0477
132	928,4755			0,0358
165	927,4718	0,9995	-0,0005	0,0321
178	928,4713			0,0316

Fonte: Autoria própria (2016).

TESTE 2

O Teste 2 foi realizado de maneira intervalar e contínuo. A partir deste teste passou-se a utilizar como referência o Pilar 2000 devido a sua localização privilegiada, visto que este pilar compõe a BCAL e assim como o PT1 situa-se na laje do auditório. Além disto, almejando estudar a resposta do RTK frente às variações rápidas, ou de menor magnitude, passou-se a aplicar variações menores, de 0,50m.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos no teste 2 Intervalar. A maior discrepância entre a média das altitudes elipsoidais nos intervalos e os valores de referência foi de 0,0183m, e a maior discrepância da diferença das altitudes médias calculadas nos intervalos em relação à variação controlada aplicada foi de 0,0066m. Neste teste os resultados obtidos foram melhores que os dos testes anteriores, possivelmente devido a linha de base ter sido reduzida para 3 m e sem obstruções entre as estações.

Tabela 5 – Resultados do Teste 2 Intervalar

Intervalo (s)	Altitude média(m)	Variação Média(m)	Discrepância variação (m)	Discrepância altitude (m)
1-62	927,4214	0,5066	0,0066	-0,0183
76-195	927,9280			-0,0117
220-302	927, 4227	0,5049	0,0049	-0, 0170
320-429	927, 9275			-0, 0121

Fonte: Autoria própria (2016).

A constelação observada durante o rastreamento foi de 18 satélites, sendo 10 da constelação NAVSTAR-GPS e 8 da GLONASS. O Valor do PDOP ficou entre 1,4 e 1,8 tendo 100% das ambiguidades resolvidas, ocorrendo 5 saltos de ciclo.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos no teste 2 no modo contínuo.

Tabela 6 – Resultados do Teste 2 Contínuo

Instante (s)	Altitude (m)	Variação Média(m)	Discrepância variação (m)	Discrepância altitude (m)
1	927,4222	0,5046	0,0046	-0,0175
10	927,9268			-0,0129
21	927,4297	0,5025	0,0025	-0,01
33	927,9322			-0,0075
46	927,4231	0,4942	-0,0058	-0,0166
62	927,9173			-0,0224
77	927,4215	0,5034	0,0034	-0,0182
90	927,9249			-0,0148
104	927,4218	0,512	0,012	-0,0179
123	927,9338			-0,0059

Fonte: Autoria própria (2016).

Os valores discretos descritos na Tabela 6 referem-se aos instantes em que a antena foi elevada e reduzida. A maior discrepância verificada entre o valor

observado da altitude e o valor de referência da altitude elipsoidal foi de 0,0224m e a maior discrepância entre as variações observadas em relação à variação controlada aplicada foi de 0,012m.

TESTE 3

O teste 3 foi realizado de forma contínua. A Tabela 7 indica os resultados obtidos.

Neste teste a maior discrepância entre o valor da componente vertical observado e o valor de referência foi de 0,0224m e a maior discrepância entre a variação observada em relação à variação controlada foi de 0,012m.

Tabela 7 – Resultados do Teste 3 Contínuo

Instante (s)	Altitude (m)	Variação Média(m)	Discrepância variação (m)	Discrepância altitude (m)
17	927,416			-0,0237
37	927,9324	0,5164	0,0164	-0,0073
49	927,4253			-0,0144
64	927,9317	0,5064	0,0064	-0,008
77	927,4373			-0,0024
92	927,9304	0,4931	-0,0069	-0,0093
101	927,264			-0,0133
113	927,9403	0,5139	0,0139	0,0006
127	927,4246			-0,0151
140	927,9167	0,4921	-0,0079	-0,023
151	927,4331			-0,0066
165	927,9299	0,4968	-0,0032	-0,0098
177	927,4152			-0,0245
191	927,9256	0,5104	0,0104	-0,0141

Fonte: Autoria própria (2016).

A constelação observada foi de 12 satélites, sendo 7 da constelação NAVSTAR-GPS e 5 da GLONASS. O Valor do PDOP ficou entre 1,7 e 1,9, com 100% das ambiguidades resolvidas.

TESTE 4

O teste 4 foi realizado de forma contínua. Foi escolhida a RN15 para ocupar a estação móvel por caracterizar uma linha de base maior que as anteriores, por ser um ponto bem definido e de fácil acesso. Esta RN situa-se no passeio em frente ao prédio de Ciências da Terra e dista aproximadamente de 100m do Pilar 2000.

Antes da realização deste teste averiguou-se a visibilidade entre as estações, sendo que, embora existissem árvores e edificações próximas ao ponto ocupado, estas obstruções foram consideradas inicialmente parciais por não bloquearem a visibilidade entre as estações. Contudo, de acordo com os resultados obtidos, Tabela 8, associados ao controle de campo efetuado durante o período de rastreamento constata-se que as correções diferenciais não foram recebidas pela estação móvel de forma contínua.

Percebe-se que, decorrido cerca de 120 épocas de observação a altitude elipsoidal passa a apresenta valores discrepantes. É importante ressaltar que, embora a antena móvel não estivesse recebendo as correções diferenciais de forma contínua por meio da fase da onda portadora, o sistema continuou determinando coordenadas, seja por meio do código suavizado pela onda portadora ou com soluções realizadas diretamente por meio do código. Nestes casos, como as observáveis utilizadas não correspondem à fase da onda, o método de posicionamento não pode ser considerado o RTK, mas sim DGPS (*Differential GPS*). Neste método são empregados o código C/A (Fácil Acesso), ou o código suavizado pela onda portadora, sendo que, no emprego do código C/A pode-se obter precisões de 1 a 5 metros dependendo, dentre outros fatores, do comprimento da linha de base (SEEBER, 2003).

Tabela 8 – Resultados do Teste 4 Contínuo

Instante (s)	Altitude (m)	Varição Média(m)	Discrepância Variação (m)
1	913, 1763		
21	913, 6844	0, 5081	0, 0081
51	913, 1546		
76	913, 6923	0, 5377	0, 0377
97	913, 1715		
119	913, 9512	0, 7797	0, 2797
137	913, 4904		
158	914, 1179	0, 6275	0, 1275
172	914, 6706		
211	910, 8562	-3, 8144	-4, 3144
238	914, 6777		
267	914, 0337	-0, 644	-1, 144

Fonte: Autoria própria (2016).

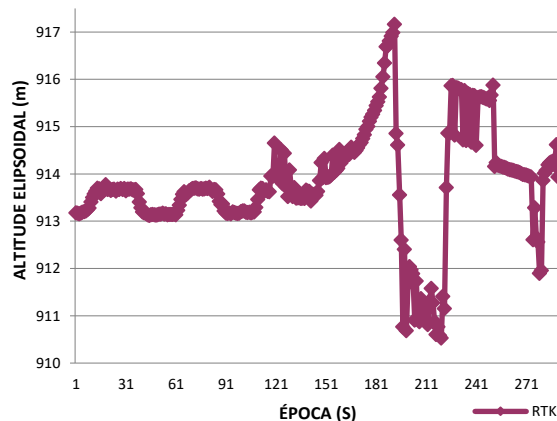
Desta forma, devido a não recepção das correções diferenciais calculadas pela fase da onda portadora, obteve-se no instante 172 a discrepância de 4,3144m, entre a variação controlada aplicada no teste e a observada.

Através da Figura 9 é possível verificar as respostas referentes à componente vertical em relação ao tempo. Verificou-se que desde o instante inicial até a época 110 as soluções geradas não foram obtidas pela fase da onda portadora, contudo, elas têm certa regularidade e correspondem às variações produzidas. Estas soluções são determinadas por meio suavização das pseudodistâncias determinadas por código.

A suavização destas observações é realizada por meio de algoritmos, dentre estes cita-se àquele desenvolvido por Lachapelle et. al. (1986) que realiza a combinação das medidas do código e da fase da onda portadora.

A partir da época 110 obteve-se degradação progressiva das respostas obtendo-se discrepâncias acima de 4m.

Figura 9 – Teste 4



Fonte: Adaptado de Euriques (2015).

A constelação observada neste teste foi de 19 satélites. O Valor do PDOP ficou entre 1,4 e 13, ou seja, teve valores que não atendem as premissas sugeridas para a utilização do método RTK visto que o PDOP em determinados momentos foram maiores que 4. Neste caso, 90% das ambiguidades resolvidas.

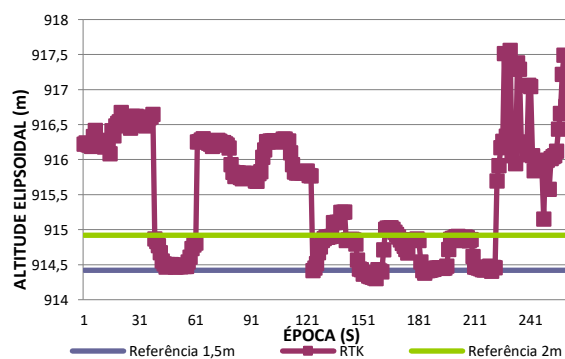
TESTE 5

O teste 5 consistiu na variação da altura da antena móvel RTK com linha de base de aproximadamente 200m e com menos obstruções que no teste 4, neste caso, árvores de menor porte entre as estações. A Tabela 9 demonstra os resultados obtidos neste teste, na qual se verifica que, embora a linha de base tenha sido maior que no teste anterior, os resultados obtidos foram melhores que no teste 4, possivelmente devido às obstruções existentes serem menos significativas. A maior discrepância entre a variação observada e a variação aplicada foi de 1,1924m.

Através da Figura 10, que corresponde ao gráfico das respostas RTK em relação ao tempo, verifica-se que nos instantes 1 ao 30 e 60 ao 120 ocorreu um offset de aproximadamente 1m nas respostas obtidas, porém, o comportamento é correspondente às variações aplicadas.

A partir do instante 220 ocorrem picos consecutivos nas soluções caracterizando as maiores discrepâncias em relação aos valores de referência.

Figura 10 – Teste 5



Fonte: Adaptado de Euriques (2015).

Tabela 9 – Resultados do Teste 5 Contínuo

Instante (s)	Altitude (m)	Variação Média(m)	Discrepância Variação (m)
1	916,2193	0,2993	-0,2007
32	916,5186		
49	914,4975	1,6924	1,1924
70	916,1899		
89	915,8044	0,4585	-0,0415
104	916,2629		
118	915,808	-0,5617	-1,0617
139	915,2463		
155	914,3317	0,3355	-0,1645
175	914,6672		
188	914,4304	0,4135	-0,0865
203	914,8439		
217	914,43	1,6279	1,1279
231	916,0579		
243	915,8403	1,502	1,002
262	917,3423		

Fonte: Autoria própria (2016).

TESTE 6

O teste 6 foi realizado em condições já realizadas nos testes anteriores, com variação de 0,50, de maneira contínua e em condições ideais, porém, em horário distinto. Neste, a maior discrepância entre o valor observado e o valor de referência foi de 0,0199m e a maior discrepância em relação à variação controlada foi de 0,0127m.

Através do pós-processamento pode-se verificar que a constelação observada foi de 15 satélites, sendo 10 da constelação NAVSTAR-GPS e 5 do GLONASS. O Valor do PDOP ficou entre 1,5 e 2 com 100% das ambiguidades resolvidas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram que, frente a variações na altura da antena utilizando-se a técnica RTK, obtêm-se respostas em tempo hábil, de forma precisa e acurada, já que, com exceção de parte dos testes 4 e 5, os resultados são melhores que àqueles preconizados pela literatura nas condições em que os testes foram realizados.

A análise destes dados consistiu na verificação das discrepâncias entre as respostas RTK obtidas e a variação controlada aplicada e também das discrepâncias entre as respostas RTK frente à valores de referência das altitudes elipsoidais, os quais foram determinados pelo método de posicionamento relativo estático com pós-processamento dos dados, por meio dos quais foi possível eliminar perdas de ciclos e intervalos indesejados que degradaram a qualidade das soluções, sendo assim, considerados valores de referência.

Os Testes 1 e 1.1 foram realizados sobre o ponto PT1BCAL e tiveram como estação de referência o marco RM03, portanto linha de base de aproximadamente 12m, com variação controlada de 1m, diferenciaram-se pelo horário em que os testes foram aplicados, o primeiro realizado as 14h e o segundo 17h. Nestas condições, consideradas ideais, as precisões das respostas obtidas ficaram entre 0,0009m e 0,0520m e de acurácia com valores entre 0,015m e 0,0504m.

Os Testes 2, 3 e 6 foram realizados também sobre o PT1BCAL, com linha de base menor, 3m, sendo utilizado o Pilar 2000 como referência. Nestes testes realizados em diferentes horários 10h, 18h e 15h respectivamente, as precisões obtidas foram de 0,0025m a 0,0164m, e de acurácia entre 0,0006m a 0,0245m. Nestes testes obtiveram-se os melhores resultados observados, contudo destaca-se que os mesmos foram realizados em condições ideais de rastreamento e com linhas de base extremamente curtas, o que na grande maioria das vezes não corresponde às condições em aplicações práticas.

Os Testes 4 e 5 foram realizados em locais com obstruções parciais como árvores e próximos a construções e com linhas de base maiores, caracterizando situações mais próximas a aplicações práticas. Em ambos os pontos pode-se verificar que, embora a linha de base seja relativamente curta face o alcance preconizado pelo rádio de comunicação, as obstruções existentes inicialmente consideradas como parciais, prejudicaram o recebimento das correções diferenciais por meio da fase da onda portadora, por conseguinte, degradação dos resultados.

O tipo de correção recebida pela estação móvel pode ser verificado em campo graças à configuração definida no equipamento, através da qual é indicado na tela do receptor a observável utilizada nas determinações, além disto, a regularidade no recebimento das correções diferenciais por meio da fase da onda portadora é indicada por alertas sonoros, ou beeps, dados em função do intervalo de gravação dos dados.

No teste 4 obteve-se discrepâncias entre as variações controladas aplicadas e variações observadas de até 3,8144m, apresentando, portanto, qualidade muito inferior às preconizadas pela literatura.

Verificou-se que no início do teste 4 a estação móvel recebeu as correções diferenciais por meio do código suavizado pela onda portadora, até o instante em que houve perda destas correções fazendo com que as soluções obtidas apresentassem discrepâncias superiores a 4 metros.

No Teste 5 a mesma dinâmica, foi aplicada, contudo realizou-se os testes em um local com menos obstruções, ainda assim, em determinados instantes a estação móvel deixou de receber correções determinadas por meio da fase da onda portadora, obtendo-se com isto, valores de discrepâncias de até 1,6924m.

Após a realização dos cálculos e das análises dos testes efetuando-se as comparações entre respostas obtidas com o RTK frente a variações controladas na altura da antena e também em relação aos valores de referência das altitudes elipsoidais, conclui-se que o RTK pode ser adequado no monitoramento de massas de água desde consideradas, além das condições já definidas pela literatura em acordo aos equipamentos utilizados, a existência de obstruções pouco significativas no trajeto de propagação da comunicação entre as estações

de referência e a estação móvel, de modo que as correções diferenciais por meio da fase da onda portadora possam ser enviadas de maneira contínua. Verificou-se que mesmo árvores de pequeno porte prejudicaram de forma significativa as respostas obtidas.

Os resultados obtidos fundamentam a realização de novos estudos e, com isto, sugere-se a continuidade da pesquisa por meio de testes com antenas acopladas às plataformas para simulações mais próximas às situações em que se almeja adotá-las.

A não existência de obstruções entre as estações em termos práticos é muito difícil de ser obtida, portanto, recomenda-se também, que sejam realizados estudos relacionados à melhoria na comunicação considerando a existência de obstruções, mesmo que parciais entre as estações.

Analysis of variations in altitude obtained with RTK aimed at monitoring water masses through Eulerian platforms

ABSTRACT

The monitoring of the water level is fundamental for management, prevention and minimization of primary and secondary effects from natural disasters. In this context, the use of satellite positioning systems is appropriate because it meets the needs inherent in such monitoring, providing several advantages as agility, most cost-effective and independent of weather conditions. The scope of this paper is the analysis of the responses obtained from controlled variations in the height of a rover antenna, using the differential positioning method in real time through the technique RTK (Real Time Kinematic) to verify the applicability of this technique in monitoring conducted by Eulerian platforms. By the results obtained it can be seen maximum discrepancy of 0.05m in optimal conditions. In the cases with partial obstructions between the radio antenna and the rover antenna the solution was obtained by code observations leading to differences over 4m. Therefore, it is concluded that the RTK can be used in the monitoring level of water when the obstructions between the reference station and rover station are not significant.

KEYWORDS: GNSS. Differential Corrections. Water Level. Natural Disasters.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de iniciação científica, a Fundação Araucária e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

REFERÊNCIAS

EURIQUES, J. F., Análise da Variação Vertical em Plataformas Eulerianas Determinada por meio de Técnicas de Correções Diferenciais Obtida por GPS In: **EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XXIII.**, 2015. Curitiba. Resumos... Universidade Federal do Paraná, 2015. 103 p.

EURIQUES, J. F.; KRUEGER, C. P.; VISKI, A. R., ANÁLISE DAS RESPOSTAS OBTIDAS COM RTK FRONTE A VARIAÇÕES CONTROLADAS DA ALTURA DA ANTENA. In: **III JGEOTEC Jornada de Geotecnologias do estado do Rio de Janeiro**, 2015, Rio de Janeiro. Trabalhos completos e resumos extendidos, 2015.

FREIBERGER JUNIOR, J. Investigações da Calibração Relativa de Antenas GNSS. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2007.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. GEO BRASIL 2002: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Disponível em: <http://www.academia.edu/318161/GEO_Brasil_2002_Perspectivas_Do_Meio_Ambiente_No_Brasil>. Acessado em 8 de Março de 2015.

MARCELINO, E. V., Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos. Santa Maria/RS: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2008.36p. Disponível em: <<http://mtcm18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm18@80/2008/07.02.16.22/doc/publicacao.pdf>>. Acessado em 1º de fevereiro de 2015.

PORTAL BRASIL. Lei das águas assegura a disponibilidade do recurso no país. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/10/lei-das-aguas-assegura-a-disponibilidade-do-recurso-no-pais>>. Acessado em 02 de Março de 2015. Acessado em 03 de março de 2015.

KRUEGER, C. P., Posicionamento por satélites. Apostila do Curso de Especialização em Geotecnologias – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

KRUEGER, C. P., Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho. Tese de Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1996

KRUEGER, C. P.; SLUTTER, C. R.; MITISHITA, E. A.; VEIGA, L. A. K.; OLIVAS, M. A. A.; FAGGION, P. L. (2001). Mapeamento da Cidade Universitária. CDROM. Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LACHAPELLE, G.; HAGGLUND, J.; FALKENBERG, W.; BELLEMARE, P.; CASEY, M.; EATON, M. GPS land kinematic positioning experiments. In: **Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning**, Austin, Texas, 1986.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Application**. Berlin – New York, 2003.

VISKI, A. R. Análise da Atenuação do Efeito do Multicaminho no Posicionamento GPS de Plataformas Lagrangeanas e Eulerianas em Massas de Água. 2012. 110p. Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

WILLGALIS, S., SEEBER, G., KRUEGER, C. P., ROMÃO, V. M. C. A Real Time GPS Reference Network for Recife, Brazil, Enabeling Precise and Reliable Cadastral Surveys. In: **FIG XXII International Congress**, 2002, Washington D.C., USA, 2002.

Recebido: 08 jun. 2016

Aprovado: 20 mar. 2017

DOI: 10.3895/rbgeo.v5n2.5506

Como citar: EURIQUES, J. F.; KRUEGER, C. P.; VISKI, A. R. Análise das variações das altitudes obtidas com RTK visando o monitoramento de massas de água por meio de plataformas Eulerianas. **R. bras.**

Geom., Curitiba, v. 5, n. 2, p. 126-148, abr/jun. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Jorge Felipe Euriques

Rua Luís Leão, 1, Apto 125, CEP 80030-010, Curitiba, Paraná, Brasil.

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

