

AVALIAÇÃO DO USO DA TECNOLOGIA GNSS/RTK E GNSS/RTX PARA MEDIÇÕES RÁPIDAS DE COORDENADAS E ÁREA EM LOCAL DE INUNDAÇÃO

*Evaluation of GNSS/RTK and GNSS/RTX technology for quick measures of quotas
and areas in flood places*

Gianfranco Consoli

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Curso de Especialização em Informações Espaciais Georreferenciadas

Av. Unisinos, 950 – Bloco 6A - Caixa Postal 275 – 93.022-000 – Bairro Cristo Rei - São Leopoldo – RS, Brasil
consoli.eng@terra.com.br

Adriane Brill Thum

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Curso de Especialização em Informações Espaciais Georreferenciadas

Av. Unisinos, 950 – Bloco 6A - Caixa Postal 275 – 93.022-000 – Bairro Cristo Rei - São Leopoldo – RS, Brasil
adrianebt@unisinos.br

RESUMO

Para avaliar os impactos causados por enchentes, podemos utilizar a altimetria e o cálculo da área de inundação, como ferramentas para prevenção e mitigação de novos casos. Com o avanço das tecnologias dos receptores de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e de técnicas disponíveis para uso profissional é possível determinarmos em um curto espaço de tempo, um conjunto de informações técnicas necessárias, para uma análise rápida da situação no momento da ocorrência do fato, ou também logo após o evento ocorrido. Este artigo apresenta uma comparação entre as informações de altimetria e posição de pontos no sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) obtidas através de nivelamento geométrico, nivelamento trigonométrico, levantamento com receptores GNSS em modo estático, receptores GNSS no modo RTK (*Real Time Kinematic*) e receptores GNSS no modo RTX (*Real Time Extended*). Para tais análises foram implantados pontos topográficos criados pelo autor, em localidade sujeita a inundações no município de Portão/RS. Uma das principais constatações foram que as diferenças encontradas em altimetria são mais significativas que as diferenças encontradas nas coordenadas posicionais dos pontos de controle, mas ao analisarmos o fator rapidez e precisão necessária, vemos que estas novas tecnologias podem ser de grande valia para o monitoramento e prevenção de cheias.

Palavras-chave: GNSS, RTK, RTX

ABSTRACT

To assess the impacts caused by floods, we can use altimetry and the calculation of the flood area as tools for prevention and mitigation of new cases. With the advancement of GNSS (*Global Navigation Satellite System*) receivers and techniques available for professional use, it is possible to determine, in a short period of time, a set of technical information necessary for a rapid analysis of the situation at the time of the occurrence of the fact, or also soon after the event occurred. This article presents a comparison between altimetry and positioning of points in the UTM (*Universal Transverse Mercator*) coordinate system obtained through geometric leveling, trigonometric leveling, static GNSS receiver survey, GNSS receiver in RTK mode Kinematic) and GNSS receivers in RTX (*Real*

Time Extended) mode. For these analyzes, topographic points created by the author were implanted in a locality subject to floods in the municipality of Portão / RS. One of the main findings was that the differences found in altimetry are more significant than the differences found in the positional coordinates of the control points, but when analyzing the factor of speed and precision required, we can see that these new technologies can be of great value for the monitoring and flood prevention.

Keywords: GNSS, RTK, RTX

1. INTRODUÇÃO

O tema deste artigo tem como foco o estudo do posicionamento de pontos de coordenadas (x, y, z), obtidos através de equipamentos de GNSS em modo RTK e GNSS em modo RTX, comparando-os com outros métodos disponíveis para obtenção destas medidas.

O objetivo principal é verificar se são significativas as diferenças encontradas com estes métodos, que propiciam de forma mais rápida a obtenção de dados de campo, em relação ao nivelamento geométrico com nível, nivelamento trigonométrico com estação total, e método GNSS estático. A precisão neste caso, para efeito de análise será fornecida pelo nivelamento e contranivelamento geométrico utilizando um nível ótico.

Como objetivo secundário procurou-se analisar se também são significativas as diferenças encontradas com estes métodos em relação as coordenadas dos pontos (UTM), em relação aos dados obtidos com levantamento planimétrico com estação total, e equipamento GNSS em modo estático, analisando ainda uma comparação entre estes métodos no cálculo de uma área formada pelos pontos topográficos implantados no local. A análise da precisão será com os dados de coordenadas UTM obtidos do levantamento planialtimétrico, com o uso de estação total, a qual formou uma poligonal fechada – classe II, segundo NBR 13.133 (ABNT, 1994).

É importante salientar que foi escolhida e será analisada uma área de terras, que não irá possuir vegetação de porte, construções e quaisquer tipos de elementos que possam causar interferência nos sinais de GNSS. Inclusive, fora solicitado a retirada de veículos das proximidades dos pontos topográficos instalados, para que não houvesse possibilidade de interferência por reflexão dos sinais de GNSS.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os sistemas de navegação via satélite - GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para uso profissional, como temos neste trabalho de pesquisa de topografia são compostos pelo sistema GPS (*Global Positioning System*) dos EUA, GLONASS da Rússia, GALILEU da Europa, COMPASS da China, além de outros em fase de estruturação. Estes sistemas fornecem as coordenadas horizontais e vertical, em qualquer horário e ponto da superfície terrestre, devido as constelações completas de satélites de suas órbitas, através da transmissão de sinais para a Terra, que são recebidos por receptores, e que estão referenciados a elipsóides terrestres, que possibilitam o processamento e execução dos cálculos em uma determinada zona (fuso) relativos a um mesmo referencial. O princípio para determinação destas coordenadas é baseado na medição das pseudo-distâncias (distância do satélite-antena afetada por efeito ionosféricos ou

erros sistemáticos) entre a antena de um receptor e os sinais emitidos por no mínimo quatro satélites conforme é relatado em Mônico (2008).

No caso específico de nosso trabalho, para o nosso País, o sistema referencial utilizado pelo Sistema Geodésico Brasileiro é o SIRGAS 2000, que estabelece o eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra, onde a origem está localizada no centro de massa da Terra segundo Mônico (2000). O SIRGAS 2000 usa o elipsóide GRS80 (*Geodetic Reference System, 1980*) como elipsóide de referência global. Em Mônico (2008) temos que os sistemas SIRGAS 2000 e WGS 84 (sistema de referência utilizado pelos sinais de satélite da rede GPS a partir de 1997) foram atualizados na mesma época de referência, e desta forma podemos considerar que as coordenadas em WGS 84 são compatíveis com as coordenadas SIRGAS 2000.

O uso das tecnologias de GNSS aplicadas a levantamentos de glebas em áreas urbanas é um instrumento muito produtivo, segundo Seeber (2003) citado em Gama, *et al.*(2012), quando associado à estação total, pois proporciona rapidez e acurácia na aquisição de dados, mas também apresenta limitações devido as obstruções e reflexões causadas pelas edificações, árvores, torres e outros elementos. Segundo estes autores o emprego de técnicas de GNSS estaria restrito a áreas abertas, restando ao GNSS a determinação dos pontos de referência a serem ocupados pelas estações totais.

O fator de escala k também utilizado pelos receptores GNSS, é um coeficiente de redução de escala que é variável conforme o afastamento em relação ao MC (meridiano central) do fuso horário (no caso fuso 22), ou seja, as medidas do terreno para serem projetadas devem ser multiplicadas pelo fator correspondente à região onde está sendo efetuada a medida. Em nosso trabalho como efetuamos as medidas GNSS em UTM, o fator de escala $k = 0,9996$. pois estamos dentro da zona de redução, que vai de E (320.000 – 500.000).

O PPP (*Posicionamento por Ponto Preciso*), é um método de posicionamento absoluto de GNSS, em que se obtém as coordenadas de um ponto utilizando apenas um receptor, conforme Mônico (2000) e Seeber (2003) citado em Alves (2010). Mônico (2008) relata ainda, que quando as observações são pós-processadas é possível utilizar as efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites e modelos para os fenômenos físicos que afetam as observações, obtemos precisões acuradas ao nível de poucos centímetros. O PPP isoladamente realizado no ponto base (N) elimina a necessidade de aquisição simultânea de dados de rastreamento a partir de uma estação de referência (base) e os problemas decorrentes das distâncias que envolvem as linhas de base. As observações podem ser coletadas por receptores de simples (L1) ou de dupla frequência (L1/L2), como foi o caso de nosso trabalho. A função da portadora L2 é a de reduzir os erros de ionosfera, melhorando a precisão.

Conforme o IBGE (2017), o programa MAPGEO2015, atualmente, faz o cálculo da ondulação geoidal de um ponto por meio das coordenadas geográficas, utilizando o DATUM SIRGAS 2000. Castro (2002) relata que para se obter a altura ortométrica (H), que é a distância entre um ponto na superfície terrestre e o geóide, a partir da altura elipsoidal (h), que é a distância fornecida pelos receptores de GNSS entre a superfície terrestre e o elipsóide, utilizamos a equação: $H = h - N$, onde N é a ondulação geoidal, que é a distância que separa o modelo geoidal e o modelo elipsoidal. Todas estas informações foram obtidas no PPP on-line realizado junto ao IBGE.

O método de posicionamento relativo estático, o qual utilizamos para a determinação do ponto base (N), consiste na determinação da diferença de posição entre uma estação de

referência e uma estação de posição desconhecida, com o objetivo de calcular o valor da linha de base entre as duas estações, podendo proporcionar, conforme Mônico (2008) uma acurácia entorno de 1,0 até 0,1ppm. Este método balizou a determinação das coordenadas plano-retangulares UTM SIRGAS 2000, do ponto base (N) de referência. No trabalho de pesquisa, utilizou-se uma máscara de elevação de 15°, para os receptores de GNSS, que é a mais indicada, relata Mônico (2000), pois reduz os efeitos topográficos. Nas comparações realizadas por Almeida *et al* (2015) e Almeida *et al* (2016) é demonstrado que o posicionamento relativo estático, é ainda o método de posicionamento mais acurado com GNSS em comparação com o PPP, pois utiliza combinação linear livre da ionosfera, que independe dos comprimentos e das quantidades de linhas de base envolvidas e também dos intervalos de tempo de rastreamento.

No método de posicionamento relativo cinemático RTK (*Real Time Kinematic*), segundo Mônico (2008) e Scussel (2011), a precisão desse sistema é obtida por meio de um par de receptores, onde um deles (*base*), fica estacionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e calcula o erro entre a posição fornecida pelos satélites e a posição real. Esse erro é usado para calcular um sinal de correção que é enviado por uma conexão de rádio para o outro receptor (*rover*) que estará nos pontos de coleta de dados, corrigindo instantaneamente a posição deste. A precisão de um receptor em modo RTK, para Scussel (2011), tem a ver com a dispersão dos seus pontos, enquanto que a exatidão está ligada à distância entre uma coordenada conhecida e informada pelo receptor. Para este o sistema RTK é o sinal de correção diferencial mais preciso e exato disponível para uso agrícola, com uma precisão na ordem de 2,5 cm, comparado ao sistema RTX (*Real Time Extended*), que proporciona uma precisão na ordem de 3,8 cm, segundo o fabricante Trimble. Já no trabalho apresentado por Passaquala, *et al* (2015) a precisão observada no ensaio estático foi de 0,0055 m para o RTK, e 0,026 m para o RTK em rede via rádio, mas quando alterou-se o ensaio para modo cinemático a precisão observada foi de 0,01 m para o RTK, 0,049 m para o RTK em rede via rádio.

Para Scussel (2011), a fabricante Trimble, desde 2011 já opera com a tecnologia para correção GNSS de alta precisão RTX, que combina dados em tempo real com algoritmos de posicionamento proporcionando acurácias melhores que quatro centímetros, em alguns minutos de convergência.

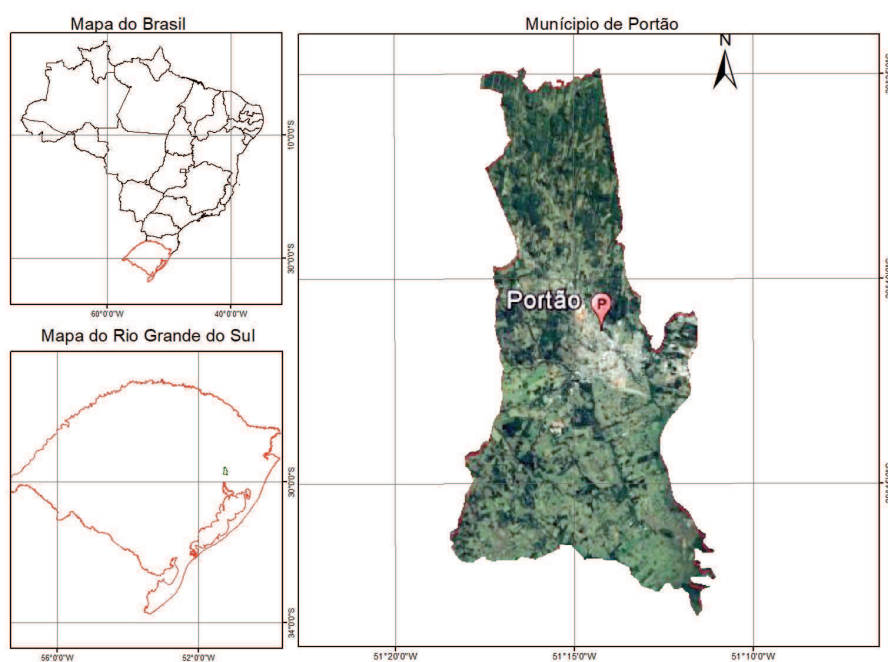
Esta tecnologia utiliza dados gerados em tempo real a partir de uma infraestrutura global de estações de referência, para calcular posições ao nível de centímetros, baseadas em informações de órbita e relógio de satélites. Além de precisão, para determinadas áreas, a tecnologia RTX pode alcançar um tempo de convergência de menos de um minuto, permitindo o início imediato do trabalho. Também permite a reconexão de interrupções nos sinais GNSS em até 2 minutos, melhorando o período de reconvergência, mantendo a mesma precisão e desempenho.

Na pesquisa realizada por Trevisan, *et al* (2014) em um determinado ensaio estático a precisão foi de 0,005 e 0,033 m, para RTK e RTX, respectivamente, sendo melhor que as precisões informadas pelos fabricantes. No entanto, nesta mesma pesquisa, no ensaio cinemático ambos os receptores tiveram precisão menores, sendo mais afetado o RTX, que apresentou uma precisão de 0,179 m considerando um modelo de referência absoluto. Quando foi utilizado um modelo de referência a cada 15 minutos, a precisão melhorou, com valores de 0,012 m para o RTK e 0,054 m para o RTX.

Como as áreas sujeitas a inundações normalmente possuem vegetação em suas proximidades, incorporou-se na pesquisa o ponto X1, que é um ponto na mata próximo ao arroio Noque, e de acordo com Krueger *et al*, (2006), quando sinais de ondas de satélite passam por copas de árvores eles sofrem reflexão, ocasionando um retardo no tempo de chegada destes sinais, e que é denominado de multicaminhamento.

3. ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo está localizada no município de Portão/RS, pertencente a região metropolitana de Porto Alegre, distante 42 km da capital, no estado do Rio Grande do Sul – Brasil, conforme podemos ver na figura 1.



Datum SIRGAS 2000

Base Cartográfica CPRM Geodiversidades

Imagem Portão – Satélite Google

Fig. 1 - Mapa de localização

Foi utilizado para estudo a área do passeio público da rua 20 de Setembro, no trecho entre a área verde municipal (ao Norte), onde se localiza o arroio Noque, e a avenida Garibaldi (ao Sul), num trecho de 300 metros de extensão aproximada, conforme figuras 2, 3 e 4.



Fig. 2 - Imagem georreferenciada com pontos do levantamento
 Fonte: Imagem de satélite de 05/2017, georreferenciada com uso do AutoCad.



Fig. 3 – Fotografia da rua onde foram instalados os pontos utilizados no levantamento
 Fonte: Imagem do próprio autor do trabalho na data de 07/01/2017.

A escolha desta área foi pelo fato de haver alagamentos neste local, devido ao extravasamento do arroio Noque em períodos de chuva prolongada, e também pelas características das edificações e vegetações no entorno, as quais, por serem de baixo porte e

afastadas dos pontos de coleta de dados não irão influenciar nas recepções dos sinais de satélite, vistos que estes foram ajustados para uma máscara de elevação de 15 graus. Propositamente alguns pontos de coleta (X1 e X2) foram instalados na proximidade da mata da área verde (ao Norte da rua), para que pudéssemos analisar se haveria alguma interferência sobre os sinais recebidos pelos equipamentos de GNSS para estes pontos. A figura 4 demonstra o local no entrono da mata.



Fig. 4 – Fotografia dos pontos X1 e X2 coletados nas bordas da vegetação
Fonte: Imagem do próprio autor do trabalho na data de 07/01/2017.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Como na maior parte das cidades brasileiras (GAMA *et al.*, 2012), no município de Portão, são inexistentes estruturas geodésicas, tais como Redes de Referência Cadastral, que possam dispor de coordenadas com a indicação das acurácias posicionais, e desta maneira, deveríamos pelo menos estabelecer 02 bases que serviriam de pontos de referência para o levantamento planimétrico desejado, e que dependendo da distância, o período de rastreamento pode variar de 30min até 6h, de acordo com Mônico (2008).

Para a execução deste trabalho foram instalados 10 pontos de coleta de dados denominados de A1, A2, A3 que além de coleta de sinais de GNSS, utilizou-se para o fechamento da poligonal; pontos X1, X2, X3, X4, X5, X6, usou-se apenas para coleta de dados, e ponto N onde foi instalado o receptor GNSS que serviu de Base com rastreamento de 4 horas.

Utilizou-se para o nivelamento geométrico um Nível Ótico Eletrônico da marca Kolida modelo DL-202 e mira específica para uso em altimetria, e para o levantamento planialtimétrico, onde foi realizado o nivelamento trigonométrico, usou-se uma Estação Total da marca Topcon Sygnus 2LS, a qual possui precisão angular de 2" e precisão linear de 2mm+2ppm com uso de prisma. Para o rastreamento de 4 horas da Base foi usado um equipamento GNSS L1/L2 da marca South modelo S 86-T, que coleta sinais GPS (*Global Position System*) e GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) que possui precisão para modo estático de 3mm+0,5ppm (precisão horizontal) e 5mm+0,5ppm (precisão vertical), e para o rastreamento em modo estático (20min) e

modo relativo RTK (*Real Time Kinematic*) foi com o receptor da marca South modelo GNSS S82T L1/L2 RTK que coleta sinais GPS e GLONASS e possui precisão no modo RTK de 10mm+1ppm (precisão horizontal) e 20mm+1ppm (precisão vertical), e para o rastreamento em modo estático (20min). Para o rastreamento também relativo, mas com o uso de apenas um receptor de sinais GNSS, foi usada a tecnologia RTX (*Real Time Extended*), com o equipamento da marca Spectra Precision modelo SP60, que permite o uso da banda L com contratação de serviço de CenterPoint-RTX fornecido por satélite e possibilita precisão horizontal de 4cm e vertical de 9cm, conforme fabricante.

No dia 07/01/2017 foram realizados todos os trabalhos de campo, com todos os equipamentos listados, inclusive a instalação dos pontos de coordenadas N, A1, A2, A3, X1, X2, X3, X4, X5, e X6 com piquetes de madeira. Após uma programação inicial, foram iniciados os serviços com a instalação da estação total no ponto A1, que em conjunto com os pontos A2, A3 e N fizeram o fechamento da poligonal classe II, e a partir destes foram feitas irradiações para os pontos X1, X2, X3, X4, X5, e X6.

Concomitante ao trabalho do levantamento planialtimétrico, realizou-se o rastreamento com o equipamento GNSS SP60 em modo relativo RTX, que demorou 25 minutos para atingir as precisões aferidas do equipamento. Os dados de rastreamento deste equipamento eram armazenados em coletora própria, na qual, assim como nos outros equipamentos GNSS, também foram inseridos dados gerais, ou seja, o sistema de referência das Américas, SIRGAS 2000, e o fuso 22 do local onde estavam sendo feitas as medições. O rastreamento dos pontos de coordenadas com o GNSS em modo RTX, foi realizado em apenas 25min, demonstrando que esta metodologia é apropriada para levantamentos cadastrais onde se requer rapidez, além de ser facilmente operável, pois necessita de apenas um (01) equipamento GNSS com coletora de dados, pois faz a correção diferencial via satélite. O modelo RTX SP60 utilizado neste trabalho, permite o uso da banda L com contratação de serviço de CenterPoint - RTX fornecido por satélite mediante a assinatura anual deste, mas que necessita um tempo de convergência de até 30 min, para alcance de precisão horizontal de 4cm e vertical de 9cm, conforme fabricante.

Após a conclusão destes 02 levantamentos, iniciou-se o levantamento da base N, a qual seria realizado um PPP on line após decorridos 14 dias, com o GNSS S86-T, a qual ficou operando neste ponto por 4 horas ininterruptas. Concomitante a este tempo de rastreamento, iniciamos o rastreamento dos pontos GNSS em modo estático, com o equipamento GNSS S82-T, ficando estacionamos 20min em cada ponto. Esta coleta de sinais ficou armazenada diretamente no equipamento, e o serviço foi concluído após 2h30min, sendo feito o processamento e ajustamento destes pontos com a inserção da coordenada ajustada no PPP on line do ponto N.

Na sequência, aproveitando o tempo de rastreamento da base N, iniciou-se o levantamento com o mesmo GNSS S82-T só que agora em modo relativo RTK, com o uso de coletora de dados. Todos os pontos foram rastreados num período curto de 40min, além de coletados pontos de alinhamento de meio-fios, para ajuste do sistema viário. Novamente vimos que esta metodologia é apropriada para levantamentos cadastrais onde se requer rapidez, mas que agora necessita de dois (02) equipamentos de GNSS em uso simultâneo, com conexão via rádio para correção diferencial.

Para finalizar as medições, com o uso do nível ótico e mira, realizou-se o nivelamento e o contranivelamento entre todos os pontos presentes no trabalho. Este serviço foi deixado por último, pois necessitávamos de todos os pontos livres, sem nenhum outro equipamento instalado,

mas que não foi um processo rápido, pois demorou 1h30min para ser realizado, sendo necessário duas pessoas para executá-lo. O nivelamento geométrico classifica-se como composto com caminhamento simples (SILVA, 2015) e foi realizado com Nível Ótico Eletrônico e tripé metálico com leitura a laser na mira metálica. O nivelamento ocorreu na sequência dos pontos X6, X5, A3, X4, X3, N, A1, A2, X2 e X1, e o caminho inverso tomou-se para o contranivelamento, partindo-se de X1 até chegar em X6. As estações de mudança foram ocupadas em locais diferentes para nivelamento e contranivelamento.

Nas fotografias 01 a 06 podem ser visualizadas as etapas realizadas nesta pesquisa, a qual fica sintetizada através do organograma apresentado na figura 05



Fotografia 1 – Nivelamento Geométrico



Fotografia 2 – Nivelamento Trigonométrico



Fotografia 3 – Rastreio GNSS da Base



Fotografia 4 – Rastreio GNSS estático



Fotografia 5 – Rastreio GNSS modo RTK



Fotografia 6 – Rastreio GNSS modo RTX

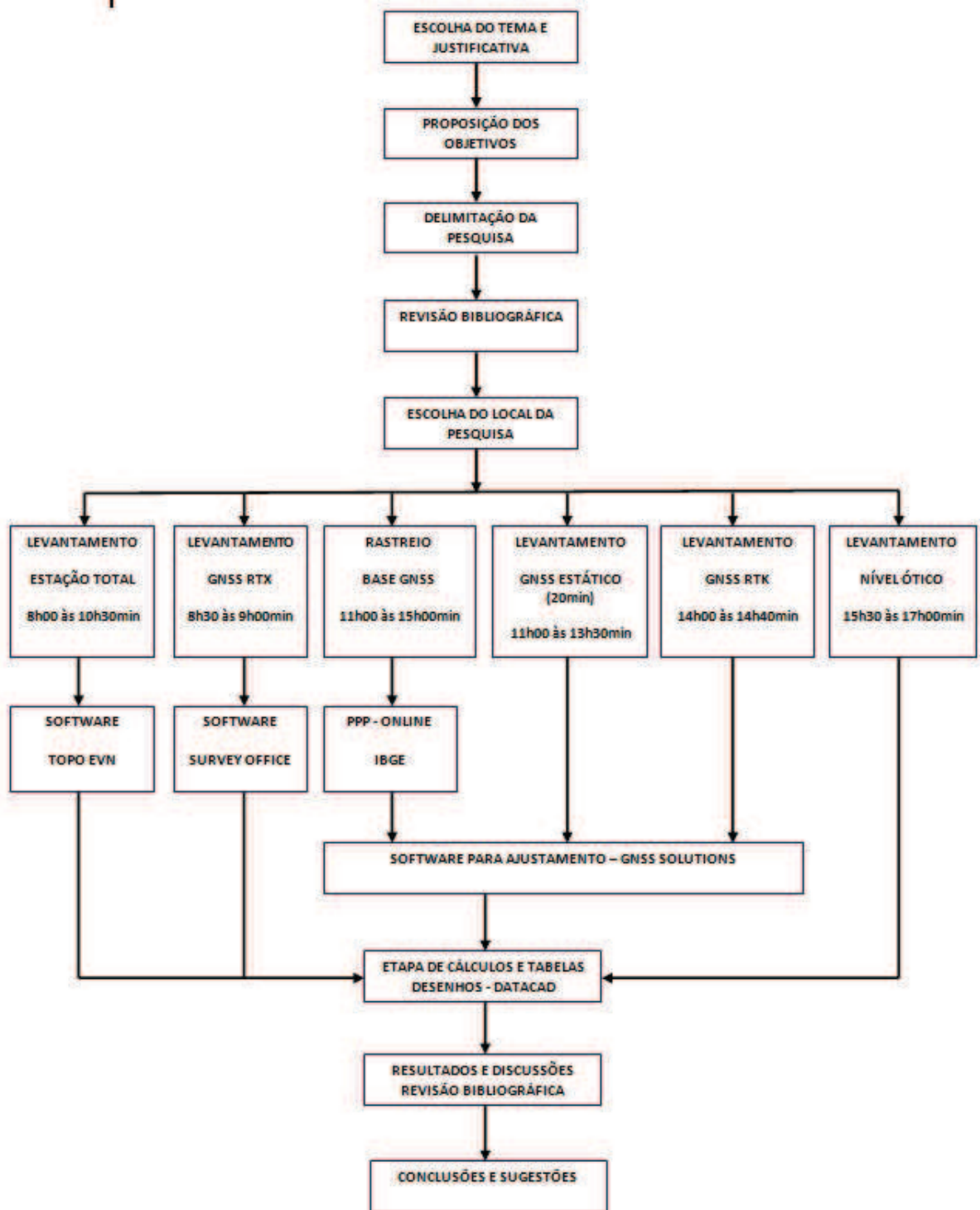


Fig. 5 – ORGANOGRAMA DE PESQUISA
 Fonte: Imagem do próprio autor do trabalho na data de 14/10/2017.

De posse dos dados coletados em campo partiu-se para a etapa de cálculos, processamento e ajustamento dos dados com o uso de normas técnicas e softwares de GNSS. Os cálculos das planilhas do nivelamento geométrico e trigonométrico seguiram as orientações da NBR 13133 (ABNT, 1994), para determinação e distribuição dos erros cometidos, e efetuar a correção e enquadramento em classe I de acordo com a referida norma. As coordenadas e altitudes obtidas podem ser conferidas no próximo capítulo.

Os arquivos com os dados brutos da Base (N), foram enviados, após 14 dias, ao serviço gratuito de PPP online disponibilizado pelo IBGE, porque já estariam com a correção os relógios dos satélites. As coordenadas (x,y,z) obtidas com este PPP, para o ponto Base (N), serviram de ponto referencial para os demais ajustamentos. No PPP da base (N) retirou-se os dados das coordenadas UTM de referência e altitude elipsoidal, altitude ortométrica e a ondulação geoidal. Os dados brutos do GNSS da Base (N), e os do GNSS em modo estático (20min) e GNSS em modo RTK foram triangulados com as bases POAL e SMAR da rede RBMC, através do software de processamento de dados GNSS Solutions da Spectra Precision. Através do software de processamento de dados Survey Office da Spectra Precision, foram determinadas as coordenadas e altitudes dos pontos com o levantamento realizado com GNSS em modo RTX.

Com os pontos calculados e ajustados, foram elaboradas tabelas comparativas com os resultados obtidos de modo a verificar se os equipamentos GNSS em modo RTK e GNSS em modo RTX, podem ser usados para levantamentos cadastrais rápidos, no que diz respeito ao tema de pesquisa proposto.

Os processamentos e ajustamentos dos dados GNSS dos pontos implantados foram realizados adotando-se as estações de referência da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) , POAL e SMAR, localizadas a 42km e 250km, respectivamente, da área em estudo. O software GNSS Solutions, específico para os receptores GNSS utilizados, foi usado nos processamentos com as efemérides precisas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir apresentaremos os resultados obtidos após a conclusão dos cálculos, processamentos e ajustamentos realizados com as informações cadastradas com os diferentes tipos de equipamentos e técnicas. Ressaltando o fato de que o objetivo principal desta pesquisa é o de verificar se são significativas as diferenças encontradas com os métodos relativo estático GNSS RTK e GNSS RTX, que propiciam de forma mais rápida a obtenção de dados de campo, em relação ao nivelamento geométrico com nível, nivelamento trigonométrico com estação total, e método GNSS estático 20min.

Podem ser observados na Tabela 1 os resultados obtidos com os diferentes equipamentos e diferentes modos, para obtenção da altitude dos pontos de controle implantados no local. Nota-se que, com exceção do modo GNSS estático 20min, todos os outros métodos tiveram todos os pontos levantados. A partir do rastreamento de 4 horas do ponto N (base), conseguiu-se realizar, após 14 dias (para possibilitar o uso das efemérides precisas), o PPP online através do site do IBGE. Neste documento estão fornecidas além das informações das coordenadas de referência do ponto N (base), as informações da altitude elipsoidal deste ponto (32,100m), e as altitudes ortométrica e a ondulação geoidal.

Como o objetivo da pesquisa é o de verificar a possibilidade do uso das tecnologias GNSS RTK e GNSS RTX para aquisição de dados de maneira rápida, para efeito de comparação, neste trabalho, utilizou-se a altitude elipsoidal. Para os outros métodos apresentados, foram transformadas as suas cotas de altitude, a partir do mesmo referencial do ponto N de altitude elipsoidal de 32,100m. Caso o objetivo fosse o de informar as alturas reais ou a geração de um mapa com cotas, deveríamos utilizar a altura ortométrica.

Tabela 1 – Altitudes Elipsoidais.

PONTO	ALTITUDE	ALTITUDE	ALTITUDE	ALTITUDE	ALTITUDE
	ELIPSOIDAL	ELIPSOIDAL	ELIPSOIDAL	ELIPSOIDAL	ELIPSOIDAL
	(mm) NÍVEL	(mm) ESTAÇÃO TOTAL	(mm) GNSS ESTÁTICO	(mm) GNSS - RTK	(mm) GNSS - RTX
A1	31,808	31,800	31,857	31,756	31,886
A2	31,895	31,882	31,944	31,840	31,983
A3	35,870	35,867	X	35,827	35,941
X1	32,474	31,454	31,613	31,434	31,576
X2	31,800	31,780	31,855	31,761	31,873
X3	32,664	32,632	X	32,607	32,722
X4	32,960	32,926	X	32,900	32,956
X5	38,108	38,102	38,164	38,072	38,197
X6	38,656	38,654	38,736	38,599	38,768
N	32,100	32,100	32,100	32,100	32,133

A precisão neste caso, para efeito de análise foi fornecida pelo nivelamento e contranivelamento geométrico utilizando o nível ótico. A Tabela 2 demonstra os desvios em cada ponto de controle em relação ao referencial do nivelamento geométrico. Para o cálculo da média dos desvios em cada técnica, analisou-se a média dos desvios com todos os pontos, a média dos desvios sem o ponto X1(na mata), e a média dos desvios sem os pontos X1, X5 e X6.

Quando são comparados os desvios com todos os pontos, tem-se que os resultados em todas as técnicas são insatisfatórios na ordem de dezena de centímetros, mas quando é retirado o ponto X1 (localizado quase dentro da mata do arroio Noque), melhoram significativamente os resultados, pois neste ponto específico temos o efeito do multicaminhamento interferindo nos resultados. O uso da estação total com nivelamento trigonométrico apresenta o melhor resultado (15mm), que é em média quatro vezes melhor quando comparado aos desvios dos equipamentos que utilizaram sinais de satélite.

Já os equipamentos de GNSS estático 20min (58mm), GNSS RTK (50mm) e GNSS RTX (72mm) ofereceram distorções da ordem de centímetros, como fora relatado pelos autores pesquisados, e conforme informações dos fabricantes dos equipamentos.

Tabela 2 – Média dos Desvios.

PONTO	ALT. ELIPS.	DESVIO	DESVIO	DESVIO	DESVIO
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
	NÍVEL	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTX
A1	31,808	0,008	0,049	0,052	0,078
A2	31,895	0,013	0,049	0,055	0,088
A3	35,870	0,003		0,043	0,071
X1	32,474	1,020	0,861	1,040	0,898
X2	31,800	0,020	0,055	0,039	0,073
X3	32,664	0,032		0,057	0,058
X4	32,960	0,034		0,060	0,004
X5	38,108	0,006	0,056	0,036	0,089
X6	38,656	0,002	0,080	0,057	0,112
N	32,100	0,000	0,000	0,000	0,033
MÉDIA DESVIOS TODOS PONTOS		0,126	0,192	0,160	0,163
MÉDIA DESVIOS - S / PTO X1		0,015	0,058	0,050	0,072
MÉDIA DESV. - S / PTOS X1,X5,X6		0,018	0,051	0,051	0,062

Num segundo momento fizemos uma análise comparativa, considerando apenas a avaliação do desnível máximo do trecho na rua 20 de setembro, entre o ponto X2 (mais baixo) e o ponto X6 (mais elevado). A Tabela 3 demonstra os desníveis obtidos com cada equipamento, e neste caso o desnível apresentado pela estação total, através do nivelamento trigonométrico, e o desnível do GNSS no modo RTK, foram os menores (18mm), do que o desnível com o GNSS RTX apresentou o pior resultado (39mm), como já era esperado.

Tabela 3 – Desnível total no trecho avaliado.

PONTO	ALTITUDE	ALTITUDE	ALTITUDE	ALTITUDE	ALTITUDE
	ELIPSOIDAL	ELIPSOIDAL	ELIPSOIDAL	ELIPSOIDAL	ELIPSOIDAL
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
	NÍVEL	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTX
X2	31,800	31,780	31,855	31,761	31,873
X6	38,656	38,654	38,736	38,599	38,768
dif. X6-X2	6,856	6,874	6,881	6,838	6,895
diferença	Referencial	0,018	0,025	0,018	0,039
diferença	Referencial	18mm	25mm	18mm	39mm

Quando ao analisar estes resultados com relação ao tema da pesquisa, que se refere a possibilidade de uso de técnicas de GNSS RTK e GNSS RTX para medições rápidas para a determinação de cotas de altura em locais de inundação, vemos que a diferença em altura de 5cm no modo GNSS RTK e 7,2cm no modo GNSS RTX são relativamente pequenas dependendo do relevo da área de inundação e da velocidade que ocorrem as cheias nos rios e arroios. Citamos por exemplo as cheias do rio Caí, afluente do rio dos Sinos, em que as cheias variam entre 10,00 a 15,00 metros acima do leito normal, e a velocidade de subida das águas faz com que estas subam em média entre 10 a 20cm por hora.

Outro objetivo deste trabalho foi o de analisar a variação posicional existente entre as coordenadas UTM obtidas com os métodos de GNSS e as coordenadas UTM utilizadas como referencial, obtidas com o levantamento planialtimétrico realizado com a estação total. A referência de partida para todos os métodos foi realizada através da coordenada do ponto N (base), obtida através do PPP online deste ponto depois de 14 dias. As tabelas 4 e 5 demonstram, respectivamente, as coordenadas e desvios dos pontos em relação ao Norte (N) e Este (E).

Tabela 4 – Dados coletados e desvios das coordenadas Norte (N)

PONTO	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTK	GNSS - RTX	GNSS - RTX
	POSIÇÃO (m)	POSIÇÃO (m)	DESVIO (mm)	POSIÇÃO (m)	DESVIO (mm)	POSIÇÃO (m)	DESVIO (mm)
	NORTE	NORTE	NORTE	NORTE	NORTE	NORTE	NORTE
A1	6.714.950,405	6.714.950,390	0,015	6.714.950,386	0,019	6.714.950,473	0,068
A2	6.714.953,820	6.714.953,802	0,018	6.714.953,798	0,022	6.714.953,899	0,079
A3	6.714.695,644	X	X	6.714.695,727	0,083	6.714.973,365	0,018
X1	6.714.973,347	6.714.973,285	0,062	6.714.973,296	0,051	6.714.695,841	0,197
X2	6.714.964,298	6.714.964,276	0,022	6.714.964,272	0,026	6.714.964,393	0,095
X3	6.714.851,193	X	X	6.714.851,218	0,025	6.714.851,290	0,097
X4	6.714.847,757	X	X	6.714.847,795	0,038	6.714.847,875	0,118
X5	6.714.657,284	6.714.657,388	0,104	6.714.657,386	0,102	6.714.657,471	0,187
X6	6.714.655,284	6.714.655,386	0,102	6.714.655,376	0,092	6.714.655,489	0,205
N	6.714.898,704	6.714.898,710	0,006	6.714.898,710	0,006	6.714.898,756	0,052
MÉDIA C/TODOS PONTOS			0,047		0,046		0,112
MÉDIA S/PTOS X1, X5 e X6			0,012		0,027		0,066
DESVIO MÉDIO (N)			12 mm		27 mm		66 mm

Pode-se verificar na tabela 4, que em relação as coordenadas Norte (N), quando são retirados os pontos que sofreram interferência X1(mata) e X5 e X6 (rede elétrica de alta tensão) a melhor média de desvios foi com o GNSS estático 20min (12mm), enquanto que os equipamentos GNSS RTK e GNSS RTX apresentaram, respectivamente, os desvio de 27mm e 66mm, muito próximos do que foi considerado pelos autores na revisão bilbliográfica, e dentro da ordem de grandeza esperada (centimétrica).

Tabela 5 – Dados coletados e desvios das coordenadas Leste (E)

PONTO	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTK	GNSS - RTX	GNSS - RTX
	POSIÇÃO (m)	POSIÇÃO (m)	DESVIO (mm)	POSIÇÃO (m)	DESVIO (mm)	POSIÇÃO (m)	DESVIO (mm)
	LESTE	LESTE	LESTE	LESTE	LESTE	LESTE	LESTE
A1	476.528,787	476.528,780	0,007	476.528,781	0,006	476.528,761	0,026
A2	476.517,242	476.517,246	0,004	476.517,248	0,006	476.517,222	0,020
A3	476.493,415	X	X	476.493,411	0,004	476.493,412	0,003
X1	476.527,094	476.527,077	0,017	476.527,082	0,012	476.527,087	0,007
X2	476.522,934	476.522,940	0,006	476.522,935	0,001	476.522,924	0,010
X3	476.513,523	X	X	476.513,428	0,095	476.513,392	0,131
X4	476.501,545	X	X	476.501,464	0,081	476.501,450	0,095
X5	476.475,380	476.475,382	0,002	476.475,381	0,001	476.475,350	0,030
X6	476.489,026	476.489,029	0,003	476.489,015	0,011	476.489,045	0,019
N	476.521,336	476.521,331	0,005	476.521,331	0,005	476.521,285	0,051
MÉDIA C/TODOS PONTOS			0,006		0,022		0,039
MÉDIA S/PTOS X1, X5 e X6			0,004		0,025		0,042
DESVIO MÉDIO (E)			4 mm		25 mm		42 mm

Pode-se verificar na tabela 5, que em relação as coordenadas Leste (E) a melhor média de desvios foi com o GNSS estático 20min (4mm), enquanto que os equipamentos GNSS RTK e GNSS RTX apresentaram, respectivamente, os desvio de 25mm e 42mm, muito próximos do que foi considerado pelos autores na revisão bilbliográfica. Possivelmente o motivo se deve ao fato da inserção do fator k, para as correções das medidas, que afetam mais as medidas em Leste que em Norte.

Na tabela 6 são apresentadas comparações da área e perímetro calculadas em UTM, para os diferentes métodos de levantamentos executados, onde a referência foi a área calculada a partir das coordenadas dos pontos A1, A2, N, X5 e X6 do levantamento planialtimétrico da poligonal executado com a estação total. Verificou-se que a área calculada se aproxima bastante da área de referência (3.761,908 m²), de modo que a diferença mínima se deu com o modo GNSS RTK - 1,494m² (0,04%) e a diferença maior foi do modo GNSS RTX – 3,668m² (0,098 %). Já as diferenças entre o perímetro da área avaliada (622,842m), e os equipamentos GNSS RTK – 3mm e GNSS RTX – 52mm foram muito boas.

Tabela 6 – Comparação entre área e perímetro calculadas em UTM

PONTO	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTX
	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)
ÁREA UTM	3.761,908	3.762,014	3.760,414	3.765,576
DIFERENÇA	3.761,908	0,106	1,494	3,668
% DIF	100,000	0,003	0,040	0,098

PONTO	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTX
	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)
PERIM. UTM	622,842	622,850	622,845	622,894
DIFERENÇA	622,842	0,008	0,003	0,052
% DIF	100,000	0,001	0,000	0,008

Na tabela 7 são apresentadas comparações da área e perímetro calculadas no PTL (*Plano Topográfico Local*), para os diferentes métodos de levantamentos executados, onde a referência foi a área calculada a partir das coordenadas dos pontos A1, A2, N, X5 e X6 do levantamento planialtimétrico da poligonal executado com a estação total. Também verificou-se que a área calculada se aproxima bastante da área de referência (3.764,995 m²), de modo que a diferença mínima se deu com o modo GNSS RTK - 1,578m² (0,042%) e a diferença maior foi do modo GNSS RTX - 3,589m² (0,095 %). Já as diferenças entre o perímetro da área avaliada (623,098m), e os equipamentos GNSS RTK - 6mm e GNSS RTX - 44mm também foram muito boas.

Tabela 7 – Comparação entre área e perímetro calculadas no PTL

PONTO	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTX
	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)
ÁREA PTL	3.764,995	3.765,015	3.763,417	3.768,584
DIFERENÇA	3.764,995	0,020	1,578	3,589
% DIF	100,000	0,001	0,042	0,095

PONTO	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTX
	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)
PERIM. PTL	623,098	623,098	623,092	623,142
DIFERENÇA	623,098	0,000	0,006	0,044
% DIF	100,000	0,000	0,001	0,007

Analisando estes resultados com relação ao tema da pesquisa, que se refere a possibilidade de uso de técnicas de GNSS RTK e GNSS RTX para medições rápidas na determinação de área em local de inundação, viu-se que as diferenças apresentadas pelos equipamentos de GNSS RTK e GNSS RTX no PTL e UTM são muito pequenas, e praticamente irrelevantes, pois o próprio posicionamento dos pontos de controle poderá resultar em variações de área muito maiores que as obtidas por estes equipamentos. Com relação aos perímetros da área calculada no PTL e UTM, verifica-se muito boa precisão nos resultados alcançados em relação ao referencial da estação total. Para o objetivo deste trabalho considera-se que a precisão alcançada foi muito boa.

Finalizando as comparações, a Tabela 8 nos demonstra as diferenças encontradas entre a área e perímetro calculadas no PTL e em UTM. Verifica-se que não importando o método utilizado, sempre as áreas no PTL serão maiores do que as em UTM, pois em UTM ocorre a influência do fator k, e que neste trabalho teve uma diferença de aproximadamente 3,00m² de área a maior no PTL. Do mesmo modo, o perímetro no PTL também será maior que em UTM, sendo que a diferença neste caso foi em média 25cm.

Tabela 10 – Comparação entre área e perímetro em UTM e PTL

PONTO	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTX
	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)	ÁREA (m ²)
ÁREA UTM	3.761,908	3.762,014	3.760,414	3.765,576
ÁREA PTL	3.764,995	3.765,015	3.763,417	3.768,584
DIFERENÇA	3,087	3,001	3,003	3,008

PONTO	ESTAÇÃO TOTAL	GNSS ESTÁTICO	GNSS - RTK	GNSS - RTX
	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)	PERIMETRO (m)
PERIM. UTM	622,842	622,850	622,845	622,894
PERIM. PTL	623,098	623,098	623,092	623,142
DIFERENÇA	0,256	0,248	0,247	0,248

6. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, verificou-se que com equipamentos de GNSS em modo RTK e GNSS em modo RTX, existe a possibilidade de medições rápidas de coordenadas e área em local de inundação, com precisões, na ordem de centímetros, tanto em altimetria quanto em posicionamento. A técnica GNSS RTK apresentou melhores resultados em comparação a técnica RTX, o que já era esperado de acordo com os autores citados na pesquisa e orientações técnicas dos fabricantes, mas o equipamento GNSS RTX leva vantagem por necessitar de apenas um equipamento e operador, enquanto que o GNSS RTK necessita de dois equipamentos e pelo menos um operador.

É importante salientar que existem outras técnicas mais precisas para determinação da altimetria e das coordenadas planas, mas se houver a necessidade de realização de levantamentos

onde o tempo de trabalho é fator importante, estas duas técnicas podem ser utilizadas com relativa precisão.

Verificou-se, ainda, que de fato o fenômeno do multicaminamento interfere nas medições de altimetria e posicionamento, de modo que na escolha dos pontos de coleta de dados, para uso dos métodos GNSS RTK e GNSS RTX é importante levar em conta este problema.

Sugere-se a continuidade desta pesquisa em local, onde haja edificações de maior porte, de modo a verificar a influência destas na precisão dos serviços de planialtimetria para estes dois métodos analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - NBR 13133/94. **Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. 35 p.

ALMEIDA, M.S. **Análise comparativa da qualidade posicional dos métodos de posicionamento por ponto preciso e do posicionamento relativo estático com GNSS**. Dissertação de Mestrado. 2015. 127 f. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2015.

ALMEIDA, M.S. ; DAL POZ, W.R **Posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente?** Artigo do Boletim de Ciências Geodésicas - BCG. 2016. p.175-195. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2016.

ALVES, C.M.D.; ROMÃO, V.M.C.; MÔNICO J.F.G.; GARNÊS, S.J.A. **Avaliação da Qualidade do Posicionamento por Ponto Preciso na sua Forma On-line**. III Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE, 2010.

CASTRO, A.L.P. **Nivelamento através do GPS: avaliação e proposição de estratégias**. Dissertação de Mestrado. 2002. 175 f. (Faculdade de Ciências e Tecnologia), Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente – SP, 2002.

GAMA, L.F.; DE SEIXAS, A.M.B. **Implantação e Análise de Estruturas Geodésicas Planimétricas Obtidas por GPS e Estação Total: Aplicações em Levantamentos Cadastrais Urbanos**. Revista Brasileira de Cartografia, nº62/2, 2012.

GAMA, L.F.; DE SEIXAS, A; SILVA E.V.; OLIVEIRA M.P.M.; DE ARAUJO M.G. **Análise Metodológica de Levantamentos GNSS/GPS em Área Urbanizada**. Revista Brasileira de Cartografia, nº62/2, 2012.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>> acessado em janeiro e outubro de 2017.

KRUEGER,C.P.; FREIBERGER Jr.J.; NARDEZ, N.N. **Georreferenciamento com o Nvistar-GPS em áreas florestais**. In: COBRAC, 2006. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC: Florianópolis, 2006.

MÔNICO, João F.Galera. **Posicionamento por ponto de Alta Precisão utilizando o GPS: uma solução para a geodinâmica**. Revista Brasileira de Geofísica, vol 18(1), 2000.

MONICO, João F. Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2.ed. - São Paulo: Editora UNESP, 2008.

PASSALAQUA, B.P; MALDANER, L.F; CANATA, T. ; MOLIN, J.P. **Avaliação da precisão dos sinais RTK e RTK em rede em ensaios estático e cinemático**. Anais do X SBIAGRO , 2015).

SCUSSEL, Alexandre – **Revista MundoGeo**. Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2011/06/30/trimble-lanca-nova-tecnologia-rtx-para-correcao-gnss/> acessado em outubro de 2017. Publicado em 30/06/2011.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2nd.ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003.

TRESCASTRO, Fabrício P. **Análise local da altitude ortométrica obtida através de posicionamento relativo e a altitude nivelada**. Anais do COBRAC 2016, UFSC, Florianópolis-SC, 2016.

TREVISAN, R. G.; EITELWEIN, M. T.; VILANOVA Jr., N. S.; SALVI, J. V.; PASSALAQUA, B. P.; MOLIN, J. P. **Avaliação da precisão dos Sinais Rtk E Rtx em ensaio estático e cinemático**. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP, 2014, São Pedro – SP, 2014.