



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**MARAIZA DA COSTA NASCIMENTO**

**ANÁLISE DA ACURÁCIA EM LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS SOB**  
**DIFERENTES CONDIÇÕES DE CAMPO**

**FORTALEZA-CE**  
**JULHO-2016**

MARAIZA DA COSTA NASCIMENTO

ANÁLISE DA ACURÁCIA EM LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE CAMPO

Monografia apresentada ao Curso de  
Agronomia do Departamento de Engenharia  
Agrícola da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes  
Costa

Co-orientador: Me. José Vidal de Figueiredo

FORTALEZA-CE

JULHO-2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

N196a Nascimento, Maraiza da Costa.  
Análise da acurácia em levantamentos topográficos sob diferentes condições de campo / Maraiza da Costa Nascimento. – 2016.  
65 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa .  
Coorientação: Prof. Me. José Vidal de Figueiredo.

1. Levantamentos topográficos. 2. GNSS e Estação Total. 3. Processamento de dados. I. Título.  
CDD 630

---

MARAIZA DA COSTA NASCIMENTO

ANÁLISE DA ACURÁCIA EM LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE CAMPO

Monografia apresentada ao Curso de  
Agronomia do Departamento de  
Engenharia Agrícola da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial  
para obtenção do título de Engenheira  
Agrônoma

Aprovada em 07/07/2016.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes da Costa (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Mestre José Vidal de Figueiredo (Co-orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távares Costa (Conselheiro)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

## RESUMO

NASCIMENTO, Maraiza da Costa, Universidade Federal do Ceará. Junho de 2016. **Análise da acurácia em levantamentos topográficos sob diferentes condições de campo.** Orientador: Carlos Alexandre Gomes Costa; Co-orientador: José Vidal de Figueiredo.

O crescente desenvolvimento dos métodos e técnicas GNSS, deram origem a questionamentos sobre os métodos e níveis de precisão para a realização dos levantamentos topográficos. Nem sempre é possível levantar pontos apenas com essa Tecnologia, devido a eventuais obstruções aos sinais GNSS que podem existir nos locais de interesse. Objetivou-se avaliar a acurácia em levantamentos topográficos realizados com receptores GNSS e estação total sob diferentes condições de campo e processamento de dados. Para isso, foram utilizados três métodos distintos de levantamentos topográficos. O posicionamento relativo estático rápido com intervalos de tempo de 5 e 30 minutos para rastreamento, com os seguintes processamentos de dados: processamento pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e processamento utilizando as coordenadas base da estação geodésica do IBGE, este levantamento foi realizado em uma poligonal fechada de seis vértices. O levantamento cinemático em tempo real (Real Time Kinematic - RTK) foi realizado através de caminhamento numa poligonal aberta sob as seguintes condições: campo aberto, rede elétrica, copa de árvores e edificações resultando na coleta de 321 pontos. O método de interseção a vante utilizou a estação total para determinar as coordenadas dos marcos a partir de coordenadas geodésicas de referência obtidas por GNSS. Os resultados mostram que o melhor método para levantamentos topográficos relativo estático rápido é o rastreamento com período de tempo de 30 minutos e processamento pela RBMC, pois foi o que apresentou melhores precisões e que se enquadrava em todas as normativas em estudos. No levantamento cinemático em tempo real a condição de campo que causa maior variação na horizontal e na vertical foi a copa de árvores. Os valores das altitudes geométricas obtidos pelo método de interseção a vante comparadas com as altitudes geodésicas obtidas pelo GNSS apresentaram as maiores variações em campo. Conclui-se que os melhores métodos para obtenção de dados GNSS, é o posicionamento relativo estático rápido com intervalo de tempo de 30 minutos, processando os dados pela RBMC e o cinemático em tempo real sob condições de campo aberto. As altitudes divergem quando utilizamos equipamentos com metodologia de cálculo diferentes.

**Palavras-chave:** Levantamentos topográficos. GNSS e Estação Total. Processamento de dados.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, Maraiza da Costa, Federal University of Ceará. June 2016. **Analysis of accuracy in topographic survey under different field conditions.** Advisor: Carlos Alexandre Gomes Costa; Co-supervisor: José Vidal de Figueiredo.

The increasing development of GNSS methods and techniques have given rise to questions about the methods and accuracy levels to carry out the surveys. It is not always possible to raise only points with this technology due to possible obstructions to GNSS signals that may exist in places of interest. This study aimed to evaluate the accuracy of surveys conducted with GNSS receivers and total stations under different field conditions and data processing. For this, we used three different methods of surveying. The relative static positioning fast with 5 time intervals and 30 minutes for screening, with the following data processing: processing by the Brazilian Monitoring Network Continuo (RBMC) Positioning by Precise Point (PPP) and processing using the coordinates of base station geodesic IBGE, this survey was conducted in a closed polygonal six vertices. The kinematic real-time (Real Time Kinematic - RTK) was performed by a polygonal traversal open under the following conditions: open, grid, tree canopy and buildings resulting in collecting 321 points. The intersection of the forward method used the total station to determine the coordinates of landmarks from geodetic coordinate reference obtained by GNSS. The results show that the best method for relative static surveying is fast screening with time of 30 minutes and processing by RBMC because it was the one that presented better accuracies and that fitted in all normative studies. In kinematic real-time condition field that causes greater variation in the horizontal and vertical was the canopy of trees. The geometric altitude values obtained by the intersection method to forward compared to geodetic altitudes obtained by GNSS showed the greatest variations in the field. It is concluded that the best methods for obtaining GNSS data is static relative positioning with rapid 30 minute time interval, processing the data and the kinematic RBMC in real time under open field conditions. Altitudes differ when using equipment with different calculation methodology.

**Keywords:** Topographical Survey. GNSS and Total Station. Data processing.

## LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Interpretação geométrica da ambiguidade no sistema GPS.....	20
Figura 2 - Exemplo de interseção a vante com dois ângulos. ....	27
Figura 3 - Caso geral da interseção a ré.....	28
Figura 4 - Representação geométrica da medição por interseção a ré.....	29
Figura 5 - Método da irradiação. ....	29
Figura 6 - Localização da poligonal fechada laboratório de hidráulica e irrigação (UFC). ....	34
Figura 7- Localização da área do caminhamento da poligonal aberta, Campus do Pici (UFC) .....	34
Figura 8 - Marco de concreto com plaqueta de identificação.....	35
Figura 9 - Localização dos marcos vértices da poligonal fechada. ....	37
Figura 10 - Diferentes condições de campo da poligonal aberta.....	38
Figura 11 - Receptor GNSS CHC modelo X900.....	39
Figura 12 - Estação Total RUIDE RTS-822R. ....	40
Figura 13 - Fluxograma de processamento e ajuste de coordenada pela RBMC programa Topcon Tools.....	42
Figura 14 - Fluxograma de processamento da base e dos marcos vértices por posicionamento por ponto preciso do IBGE.....	43
Figura 15 Fluxograma de processamento utilizando o relatório da estação base do IBGE. ....	43
Figura 16 - Dispersão da localização da base da poligonal fechada em diferentes métodos de processamento. ....	46
Figura 17 -Dispersão da localização dos marcos vértices da poligonal fechada com períodos de tempo de 5 minutos em diferentes métodos de processamento. ....	47
Figura 18 - Dispersão da localização dos marcos vértices da poligonal fechada com período de tempo de 30 minutos em diferentes métodos de processamento. ....	50
Figura 19 - Variação de altitudes geométricas dos marcos vértices da poligonal fechada em diferentes períodos de tempo e métodos de processamento. (a) rastreo com 30 minutos. (b) rastreo com 5 minutos. ....	53
Figura 20 - Variação do desvio padrão horizontal e vertical apresentados nas condições de campo. ....	56
Figura 21 - Variação entre as coordenadas de interseção a vante e as coordenadas topográficas do método estático rápido com intervalo de tempo de 5 minutos. ....	57

Figura 22 - Variação entre as coordenadas de interseção a vante e as coordenadas topográficas do método estático rápido com intervalo de tempo de 30 minutos. ....57



## LISTA DE TABELA

Tabela 1 -Classificação de estações totais e suas respectivas precisões angulares e lineares..	26
Tabela 2 -Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha base.....	31
Tabela 3 - Variação da precisão em função do tempo no processamento IBGE-PPP.....	32
Tabela 4 - Critérios do PEC.....	33
Tabela 5 - Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais. ....	33
Tabela 6 - Dados coletados em campo com intervalos de tempo de 5 e 30 minutos. ....	41
Tabela 7 - Teste de Dunn para as precisões horizontais.....	54
Tabela 8 - Teste de Dunn para as precisões verticais.....	55

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
2.1 Métodos de levantamentos topográficos .....	13
2.2 Sistema de posicionamento global .....	15
2.3 Técnica Cinemático em Tempo Real (Real Time Kinematic -RTK) .....	23
2.4 Taqueômetro - Estação total .....	25
2.5 Acurácia dos métodos.....	30
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	34
3.1 Descrição da área.....	34
3.2 Descrições dos pontos e condições de caminhamento .....	35
3.3 Equipamentos e Software .....	38
3.4 Levantamentos topográficos para aquisição de dados.....	40
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	46
4.1 Processamento .....	46
4.2 Caminhamento sob diferentes condições de campo .....	53
4.3 Interseção a vante .....	57
<b>5.CONCLUSÕES</b> .....	59
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60
<b>ANEXO A – RELATÓRIO ESTAÇÃO GEODÉSICA SAT-CE-01 (90098)</b> .....	64
<b>ANEXO B – DADOS BRUTOS E RINEX COLETADOS COM RECEPTOR GNSS COM PERÍODOS DE 5 E 30 MINUTOS.</b> .....	65

## 1 INTRODUÇÃO

A topografia tem sido importante desde o início da civilização. Suas aplicações mais antigas foram na medição e na marcação de limites de posse das propriedades. Com o passar dos anos, houve um aumento constante de sua importância em decorrência da demanda crescente por uma série de mapas e outros tipos de informações espacialmente relacionadas e da necessidade expandida do estabelecimento de linha e grau precisos para orientar as operações de construção.

Hoje, a importância da medição e do monitoramento de nosso ambiente está se tornando cada vez mais crítica à medida que nossa população se expande, terrenos se valorizam e recursos naturais diminuem, e atividades humanas continuam a enfatizar a qualidade de nossos solo, água e ar. Usando modernas tecnologias terrestres, aéreas e por satélites com computadores para processar dados, os topógrafos contemporâneos são capazes de medir e monitorar a terra e seus recursos naturais literalmente de forma global.

Terras valorizadas e a importância de limites precisos, além da demanda por melhorias públicas nas áreas dos canais, das ferrovias e das rodovias, levaram a topografia à uma posição de destaque. Mas recentemente, o grande volume de construções geral, diversas divisões de terras que exigem registros precisos e as demandas impostas pelos campos de exploração e ecologia exigiram um programa maior de topografia. A topografia ainda é sinal de progresso no desenvolvimento, no uso e na preservação dos recursos da terra.

Historicamente, os levantamentos topográficos eram realizados através de medições usando métodos terrestre e, até pouco tempo atrás, o teodolito e a trena eram os principais instrumentos. Cálculos, relatórios, gráficos, e mapas eram preparados em forma de cópia em papel por meio de processos manuais. Hoje, o moderno arsenal de ferramentas disponíveis para medição e coleta de informações ambientais, inclui instrumentos eletrônicos para medir automaticamente distância e ângulos, sistemas de medição por satélite para obter rapidamente posições precisas de pontos bastante espaçados e sistemas modernos de imagem aéreas digitais e varredura a "laser" para mapear e coletar rapidamente outras formas de dados sobre a terra na qual vivemos.

Os desenvolvimentos em equipamentos de topografia e mapeamento agora evoluíram ao ponto em que os instrumentos tradicionais que eram usados como: o teodolito, nível rústico e a trena. Foram quase totalmente substituídos por uma série de novos equipamentos de alta tecnologia.

Entre eles estão a estação total que pode ser usada para medir e registrar automaticamente distâncias horizontais e verticais, ângulos horizontais e verticais, além de calcular coordenadas planas; o sistema global de navegação por satélite (GNSS, do inglês Global Navigation Satellite Systems), e o sistema de posicionamento global (GPS, do inglês Global Positioning System), que pode oferecer informação de localização precisa para praticamente qualquer tipo de levantamento. Essa tecnologia possibilita medir inúmeros pontos em curto intervalo de tempo. Nem sempre é possível cumprir todas as tarefas de posicionamento, devido a eventuais perdas de sinais por obstruções que possam existir nos locais de interesse. Por isso, torna-se necessária a integração com o emprego de métodos terrestres de medição angulares e lineares com Estação Total, para determinação de pontos intervisíveis em áreas impossibilitadas de receber os sinais dos satélites GPS; áreas essas frequentes em ambientes urbanos e rural.

Essa integração entre os equipamentos muitas vezes leva precisões de ordem inferiores aos levantamentos topográficos.

Duas classificações gerais dos levantamentos são geodésicas e topográficas. Elas diferem principalmente nas suposições em que os cálculos são baseados, embora as medições de campo para levantamentos geodésicos normalmente sejam realizadas para uma ordem de precisão mais alta do que aquelas para levantamentos topográficos.

No levantamento geodésico, a superfície curva da terra é considerada a partir da realização de cálculos em uma elipsóide (superfície curva de tamanho e forma similar ao da terra). Os métodos geodésicos são empregados para determinar posições relativas de momentos bastante espaçados e para calcular comprimentos e direções das longas linhas entre eles. Para esse tipo de levantamento a utilização de posicionamento por satélite pode oferecer as posições necessárias com muito mais acurácia, velocidade e economia.

Nos levantamentos topográficos, a base de referência para o trabalho de campo e para os cálculos é considerada uma superfície horizontal plana. A direção de um fio de prumo é considerada paralela por toda a região do levantamento, e todos os ângulos observados são considerados planos. Os equipamentos utilizados nesses levantamentos são os de medições angulares e linear como a estação total.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é avaliar a acurácia em levantamentos topográficos realizados com receptores GNSS e estação total sob diferentes condições de campo e processamento de dados.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Métodos de levantamentos topográficos

Os primeiros registros sobre levantamentos cadastrais tiveram início com a divisão do Egito em parcelas territoriais, em 1400 a.C., para fins tributários (cobrança de impostos), por Agrimensores da época. As demarcações de limites dessas parcelas eram desfeitas anualmente pelas enchentes do Rio Nilo e novos levantamentos eram feitos para remarcar os limites às suas margens. Para esta atividade, os agrimensores dispunham de cordas, instrumentos de medição utilizados naquela época (WOLF e GHILANI, 2006).

Devido aos inúmeros levantamentos realizados às margens do Rio Nilo, os pesquisadores Gregos, fizeram buscas por alternativas a fim de solucionar os problemas relacionados a estes levantamentos, tornando-se os pioneiros no desenvolvimento da Ciência Geométrica. No entanto, a Topografia aplicada a levantamentos foi permitida graças ao surgimento da geometria pelos estudiosos Gregos, sendo eles os primeiros a escrever tratados de Topografia, entre os quais se destacou “Heron”, responsável pela escrita de “The Dioptra”, que relata métodos de levantamento de campo, desenhos de plantas e execução de cálculos relacionados a levantamentos (WOLF e GHILANI, 2006).

Em uma visão mais ampla, outros povos também contribuíram para o desenvolvimento da área de levantamento. De acordo com Espartel (1961), os métodos e instrumentos de medição topográficos foram também concebidos pelos Árabes e Romanos, que embora primitivos, propiciaram descrever, delimitar e avaliar propriedades rurais, com finalidades cadastrais.

Com o passar do tempo, já nos séculos XVIII e XIX, houve avanços significativos na área de levantamentos, devido à necessidade de definição de limites e mapeamento da Inglaterra da França. Na obtenção destes limites foi exigido uma precisão e determinação por triangulação. Portanto, para controlar a realização dos levantamentos foi criada em um congresso realizado em 1807, a “Coast Survey”, órgão responsável pelos levantamentos (WOLF e GHILANI, 2006). Com isso, surge a necessidade de aperfeiçoamento e criação de novos instrumentos de medição na área de mensuração topográfica.

O aperfeiçoamento dos instrumentos topográficos foi concebido graças a estudiosos, entre os quais, pode-se citar: o Engenheiro Suíço Henrique Wild, o Geodesta Italiano Ignazio Porro, e o Alemão Carl Zeiss. Já nos levantamentos topográficos, a evolução foi dada graças a Pothenot e Hansen (ESPARTEL, 1961).

O primeiro método de levantamento topográfico a ser utilizado foi o método da interseção a ré, também denominado problema de “Pothenot”, aplicado aos levantamentos cadastrais desde a criação da geometria, cuja solução era obtida por cálculos manuais (GAMA, 2008).

A interseção a ré baseia-se no conhecimento da lei de igualdade dos ângulos inscritos em arcos iguais, vem sendo utilizado há mais de 2000 (dois mil) anos e sua aplicação nos levantamentos geodésicos se deu no século XVII (PENÃ, 2002).

Com o desenvolvimento da geometria e instrumentação topográfica, outros métodos de levantamento planimétrico foram criados, entre os quais, pode-se citar: a triangulação (envolve também os métodos da interseção a ré e a vante) e poligonação. Estes métodos foram aplicados durante muito tempo na densificação de Redes Geodésicas de Referência, fato que começou a mudar na década de 1970, com a chegada dos Sistemas de Posicionamento por Satélites (GNSS) em especial o Sistema de Posicionamento Global (GPS) (GAMA, 2008).

Quando se trata de áreas grandes, somente a aplicação de métodos terrestres de medição com o emprego de Estação Total não é viável, porque os custos e o tempo de execução se elevam fazendo necessária à adoção de outros métodos de levantamento. Uma alternativa para amenizar esta situação, surgiu com a chegada dos métodos de medição por satélites proporcionando rapidez e precisão aos levantamentos cadastrais. Diante deste fato, é necessário salientar que quase sempre é necessário combinar os métodos de medição por satélites aos métodos terrestres de medição (GAMA, 2008).

O GNSS é visto como mais uma alternativa para realizar levantamentos sobre a superfície terrestre, revolucionando os métodos e técnicas de coleta de dados no campo. Nas últimas décadas os métodos desse Sistema vêm sendo bastante aplicados em medições.

Por causa da alta exatidão e o curto tempo de observação, o GNSS pode ser empregado economicamente para levantamentos de detalhes em áreas rural e urbana. As principais áreas de aplicação estão relacionadas com a instalação ou manutenção de Cadastro Multifinalitário ou Sistemas de Informações Geográficas (SEEBER, 2003).

Um grande problema no levantamento topográfico com GNSS é a perda de sinal causada pelas edificações, árvores, torres, pontes, entre outros. Esta é a razão exclusiva porque o emprego do GPS no levantamento está restrito para áreas abertas. Com a presença de tais obstruções, o GPS será empregado principalmente para determinar os pontos de estação ocupados por taqueômetros eletrônicos (Estações Totais) ou outros instrumentos convencionais utilizados em levantamentos (SEEBER, 2003).

## **2.2 Sistema de posicionamento global**

A utilização de ferramentas para a determinação de coordenadas de um determinado objeto ou fenômeno sobre a superfície da terra está hoje associada entre o público usuário desta tecnologia, ao sistema de posicionamento global norte-americano, ou, GPS, que teve sua origem em um sistema iniciado na década de 1960, o NNSS (Navy Navigation Satellite System), também conhecido como TRANSIT, cujas medidas se baseavam no efeito Doppler (SEEBER 1993). Nesse sistema, as órbitas dos satélites eram muito baixas e não havia uma quantidade muito grande de satélites. Faltava, portanto, uma solução que oferecesse boa precisão, facilidade de uso e custos acessíveis para os usuários.

O Sistema de Posicionamento Global, conhecido por GPS (Global Positioning System) ou NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite with Time And Ranging), é um sistema de rádio navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD - Department of Defense), com o objetivo de ser o principal sistema de navegação das forças armadas americanas. Em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do alto grau de desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores GNSS, uma grande comunidade usuária emergiu nas mais variadas aplicações civis (navegação, posicionamento geodésico e topográfico). A concepção do sistema permite que um usuário, em qualquer parte da superfície terrestre, possa obter a sua posição de forma rápida, acurada e a qualquer instante, rastreando no mínimo quatro satélites (MONICO, 2008).

### **Segmentos do Sistema GPS**

#### **Segmento Espacial**

O segmento espacial é formado por um conjunto de satélites GNSS que transmite sinais de rádio navegação para qualquer ponto próximo da superfície terrestre. No final do ano de 2010 havia 31 satélites GPS operacionais, os quais tinham a função de gerar e transmitir os seguintes sinais: mensagens de navegação, sinais de código e das portadoras L1, L2 e L5 (MUNDOGEO, 2010). Anteriormente, em 1994, o sistema alcançou a configuração mínima exigida para cobertura global, com vinte e quatro satélites operacionais, que circulam a terra numa órbita elíptica a uma altitude de aproximadamente 20.200 km, distribuídos em seis

planos orbitais, e com uma inclinação nominal de  $55^\circ$  (cinquenta e cinco graus) em relação ao plano do equador e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais (MONICO,2008). Desta forma, a posição de cada satélite se repete, a cada dia, quatro minutos antes que a do dia anterior. Esta configuração garante que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis em qualquer ponto da superfície terrestre, a qualquer hora.

Segundo MOREIRA (2011), os satélites do sistema GPS emitem sinais (portadoras), que consistem na combinação de códigos, informações de posições dos satélites (almanaque e efemérides) definidores de suas órbitas, parâmetros de correção das influências atmosféricas e de demais informações necessárias ao cálculo do posicionamento. Atualmente a maioria dos satélites GPS transmite duas ondas portadoras: L1 e L2, que são geradas a partir de osciladores de frequência de alta precisão (cristais de Rubídio ou Césio), que geram uma frequência fundamental ( $f_0$ ) de 10,23 MHz, a qual é multiplicada pelos fatores 154 e 120 respectivamente.

Desta forma, segundo Hofmann-Wellenhof et al. (1994), as frequências (L) e os comprimentos de onda ( $\lambda$ ) de L1 e L2 são:

$$L1 = 1.575,42 \text{ MHz e } \lambda \cong 19,0 \text{ cm.}$$

$$L2 = 1.227,60 \text{ MHz e } \lambda \cong 24,4 \text{ cm.}$$

A exceção é o satélite GPS IIF-1 colocado em órbita em maio de 2010, que é o primeiro do futuro Bloco IIF, que emite uma terceira portadora denominada de L5, com  $115 * f_0$ , ou seja, 1.176,45 MHz e  $\lambda \cong 25,5 \text{ cm.}$

Estas duas frequências são geradas simultaneamente, permitindo aos usuários corrigir grande parte dos erros devido à refração ionosférica. O código C/A (Coarse Acquisition) ou SPS - “Standard Positioning Service” (serviço de posicionamento padrão), com comprimento de onda por volta de 300 metros é transmitido a uma razão de 1,023 MHz e modulado somente sobre a onda portadora L1, e possui um período de 1 milissegundo (MONICO, 2008).

Segundo Pessoa (1996) o sinal GPS é definido como um conjunto de informações moduladas sobre uma onda que se propaga com uma frequência predefinida e que pode ser captada pelo receptor GPS. Entre as diversas informações estão os códigos (C/A e P) e as mensagens de navegação. Assim, qualquer receptor GPS, sincronizado com o sinal GPS, em uma ou duas frequências portadoras (L1 ou L1 e L2) captam estas informações. Esta estrutura permite não só medir a fase da portadora e sua variação, mas também o tempo de propagação (SEEBER, 1993).



## **Segmento de Controle**

O segmento de controle é responsável pela operacionalidade do sistema GPS. Sua principal função é atualizar as mensagens de navegação transmitidas pelos satélites. Para isso, este segmento é composto por cinco estações monitoras (Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia, Colorado Springs), equipadas com osciladores externos de alta precisão e receptores de dupla frequência que rastreia os satélites visíveis e transmite os dados para a estação de controle central (MCS: Master Control Station), localizada em Colorado Springs (EUA), que tem por finalidade receber e processar os dados das estações monitoras, determinando a órbita de cada satélite. Além do processamento são feitas correções no relógio do satélite com o objetivo de atualizar as mensagens de navegação. A mensagem atualizada é transmitida para os satélites do sistema GPS, através das antenas das estações de Kwajalein, Ascension Island e Diego Garcia, e os satélites por sua vez retransmitem para o segmento dos usuários (MONICO, 2008).

Segundo Segantine (1998), o segmento de controle desempenha as seguintes funções: rastrear os satélites do sistema, determinar as suas órbitas e prever a sua trajetória nas 24 horas seguintes; transmitir periodicamente as mensagens de navegação para cada satélite; corrigir as efemérides transmitidas e os erros dos relógios e determinar o sistema de tempo GPS.

## **Segmento Usuário**

Conforme Fortes (1994), o segmento usuário está relacionado a tudo que diz respeito à comunidade de usuários civil e militar e aos receptores GPS, sendo que, os receptores podem ser classificados de acordo com a finalidade a que se destinam: de navegação, topográficos e geodésicos. Esta distinção é feita de acordo com o tipo de sinal observado pelo receptor, por código (C/A e P) ou por fases da portadora (L1 e L2) e pela precisão fornecida por cada equipamento.

Monico (2008) cita os principais componentes de um receptor GPS: antena com pré-amplificador, seção de radiofrequência para a identificação e processamento do sinal, microprocessador para controle do receptor, amostragem e processamento dos dados, oscilador, interface com o usuário, bateria, memória para o armazenamento dos dados.

Segundo Monico (2008), o canal de um receptor é considerado sua unidade eletrônica primordial, podendo o receptor possuir um ou mais canais. Os tipos de canais

podem ser divididos em sequenciais, multiplexados e multicanais (canais dedicados). Nos receptores sequenciais, o canal alterna entre satélites dentro de intervalos regulares, em geral não coincidentes com a transmissão de dados, o que torna este de tipo de receptor mais lento para obter a primeira posição. Já a técnica multiplex apresenta um recurso de software que possibilita um bom ganho de recepção utilizando apenas um canal, simulando um equipamento com um sistema de múltiplos canais.

Nos receptores multicanais ou de canais paralelos, cada canal rastreia continuamente um dos satélites visíveis, sendo necessários no mínimo quatro canais para obter posição e correção do relógio em tempo real. Os receptores modernos contam com até doze canais para cada frequência, além de canais extras para outros sistemas GNSS.

### **Formas de medição das distâncias no GNSS**

O principal objetivo do sistema GNSS é utilizar os sinais emitidos pelos satélites para determinação da posição de um observador sobre a superfície terrestre. A medida fundamental que provém destas observações é a distância, que pode ser determinada por meio de receptores apropriados para captar sinais dos códigos C/A ou P e a fase da portadora (MONICO, 2008).

A fase da portadora é captada pelo receptor por meio de duas frequências de onda emitidas pelos satélites: a L1 (1.575 MHz) e L2 (1.227 MHz). As observações da fase também permitem a determinação da distância entre os satélites e o receptor, medindo-se a diferença de fase entre o sinal recebido do satélite e o sinal gerado pelo receptor. Os receptores GPS fornecem medidas da parte fracionada da fase da onda portadora, acrescidas do número total de ciclos desde o início das observações. Esta característica faz com que as medidas de fase sejam ambíguas por um número inteiro de ciclos denominado de ambiguidade (SEGANTINE, 1998).

Para alcançar a precisão na casa dos milímetros é necessário resolver a ambiguidade de cada satélite, porém, os fatores limitantes são: os distúrbios e mudanças das condições atmosféricas, as obstruções aos sinais dos satélites e outras interferências.

### **Influência dos erros nas medições GNSS**

Segundo Camargo et al. (2000), os erros sistemáticos (causas conhecidas), que afetam o posicionamento de pontos com GPS estão relacionados com as órbitas dos satélites,

os erros dos relógios dos satélites e receptores; a propagação do sinal na atmosfera (refração troposférica e ionosférica); multicaminhamento do sinal; perdas de ciclos da portadora (cycle slips) e a SA (Selective Availability). Alguns destes erros podem ser eliminados ou pelo menos reduzidos se forem empregadas técnicas adequadas de observação e de processamento dos dados observados. De acordo com Segantine (1998), várias fontes de erros estão associadas ao posicionamento absoluto e, fundamentalmente, estes erros são: erro do relógio do satélite, erro do relógio do receptor, erro dos dados das efemérides transmitidas e erro da propagação do sinal.

Os relógios dos satélites constituem outra fonte de erro associada aos satélites. Como as pseudodistâncias são determinadas em função do intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção do sinal, é necessário que os relógios estejam corretamente sincronizados com o tempo GPS. Assim, uma diferença de  $1\mu\text{s}$  (microsegundo) produzirá um erro de 300 metros na pseudodistância (MOREIRA, 2011).

O receptor pode em alguma circunstância receber, além do sinal que chega diretamente à antena, sinais refletidos em superfícies vizinhas à mesma (multicaminhamento). Os sinais emitidos pelos satélites percorrem um caminho direto até a antena receptora para determinar a distância satélite-receptor, porém a presença de obstáculos como: prédios, árvores, redes de transmissão e solo refletem o sinal resultando em caminhos mais longos que o direto. Os sinais refletidos possuem um tempo de propagação maior, sofrendo distorção em amplitude e fase, tanto o código, como as portadoras L1 e L2 são afetadas por esse efeito (MONICO, 2008).

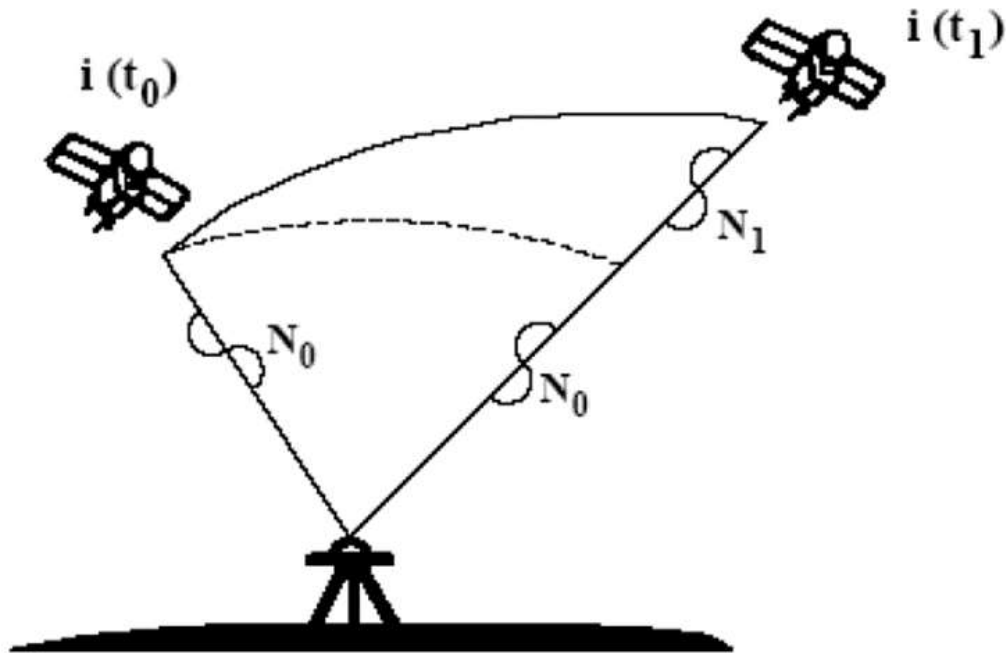
As medidas de fase são, normalmente, contínuas com respeito ao período de uma sessão de observação. Quando não há uma continuidade na medida da fase, ou seja, perda da contagem do número inteiro de ciclos medidos no receptor, ocorre a denominada perda de ciclos (cycle slips), isto pode ocorrer devido ao bloqueio do sinal por obstáculos (construções, árvores, montanhas, etc), aceleração da antena, variações bruscas na atmosfera, interferências de outras fontes de rádio e problemas com o receptor e o programa computacional. Quando ocorre perda de ciclos, é de se esperar que a parte fracional permaneça correta, somente o número inteiro de ciclos sofre um salto (LEICK, 2004).

### **Determinação das Ambiguidades GNSS**

O problema nas medições de fase da portadora para Stewart (2001) é que elas não fornecem diretamente a informação da distância receptor-satélite, mas a medida da diferença

de fase entre o sinal que chega do satélite e um sinal gerado no receptor por um oscilador interno. Estas medidas de fase são registradas no receptor a partir da primeira observação em um dado instante  $t_0$ , passando-se a monitorar a variação do número inteiro de ciclos ( $N_1$ ) após o instante inicial  $t_0$ , conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Interpretação geométrica da ambiguidade no sistema GPS.



Fonte: FREIBERGER JUNIOR (2002).

Todavia, o número de ciclos ou comprimento de onda inteiros ocorridos na portadora no instante  $t_0$  é desconhecido, logo, a contagem de ciclos obtida ( $N_0$ ) é um valor ambíguo. Assim, resta a determinação do número efetivo de comprimentos de onda contidos entre o centro de fase da antena do receptor e o centro de fase da antena de cada satélite no instante da primeira observação, incógnita esta denominada ambiguidade GPS (GARNÉS, 2001).

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. Podem ser adotados quatro tipos de estratégias para o cálculo das ambiguidades (SEEBER, 2003).

## **Métodos de posicionamento GNSS**

Posicionamento é definido como sendo a determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. Pode então ser classificado em posicionamento absoluto, quando as coordenadas de um objeto estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, quando as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas. No tocante ao posicionamento utilizando GNSS, independentemente do estado do objeto, podem-se ter posicionamentos absoluto, relativo e combinações com a presença ou ausência de movimento, ou seja, posicionamento cinemático e posicionamento estático respectivamente (MONICO, 2008).

Para Hofmann-Wellenhof et al. (1994), o posicionamento por ponto ou absoluto caracteriza-se pela utilização de um único receptor que calcula a sua posição em relação a quatro ou mais satélites através das observações de código.

O método relativo ou diferencial é aquele em que as observações são realizadas por dois receptores, sendo um instalado num local de coordenadas conhecidas e o outro nos pontos a determinar, formando assim um vetor ou linha base. Neste caso, para obter uma melhor precisão no posicionamento, pode-se fazer as correções dos erros, citados anteriormente, de duas maneiras: por meio do pós processamento dos dados, obtidos simultaneamente pelos dois receptores, ou por transmissão dos dados de uma estação de referência para o receptor móvel, onde os erros são calculados em tempo real. (HOFMANN-WELLENHOF et al., 1994; SEGANTINE, 1998).

No posicionamento com GNSS surgiram vários métodos intermediários entre posicionamento estático e cinemático, explorando a capacidade do sistema em fornecer coordenadas altamente precisas depois de um breve período de coleta de dados, ou mesmo com o receptor em movimento. Diante disso, surgiram várias denominações para os métodos rápidos desenvolvidos. Algumas vezes, denominações diferentes são utilizadas para descrever o mesmo procedimento. Entre os vários termos surgidos destacam-se: estático rápido, semicinemático, pseudocinemático, cinemático puro ou contínuo, cinemático rápido, pseudo-estático, “stop and go” (MONICO, 2008).

### **Posicionamento relativo estático**

Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de acordo com o comprimento da linha de

base e a precisão requerida (INCRA, 2010). A observável normalmente usada é a dupla diferença da fase da portadora, por apresentar melhores resultados em termos de acurácia. Trata-se da técnica mais utilizada em posicionamento geodésico. Como a acurácia da fase da portadora é muito superior que a da pseudo-distância, esta última não melhora os resultados significativamente quando o período de coleta de dados for longo. Mesmo assim, as pseudo-distâncias devem estar disponíveis, pois elas são utilizadas no pré-processamento para estimação do erro do relógio do receptor (MONICO, 2008).

Neste método podem-se utilizar receptores de simples (L1) ou dupla frequência (L1 e L2). No campo deve-se ter um receptor fixo servindo de base, coletando dados continuamente, enquanto o outro receptor percorre as áreas e pontos de interesse para coleta de dados. Não há necessidade da continuidade de rastreamento durante as mudanças de pontos de interesses nem do receptor permanecer ligado durante o percurso. Os dados coletados da estação base e do receptor de caminhada são processados para que se solucione o vetor de ambiguidade e se consiga uma melhor precisão (MOREIRA 2011).

### **Posicionamento relativo estático rápido**

O posicionamento relativo estático rápido difere do estático somente pelo tempo de ocupação da estação, que pode variar de 5 a 30 minutos (INCRA, 2010). A utilização deste método é propícia para levantamentos em que se deseja alta produtividade.

### **Posicionamento relativo semicinemático stop-and-go**

O princípio de funcionamento do posicionamento relativo Stop-and-go exige a solução do vetor das ambiguidades presentes em uma linha de base a determinar. E isso é alcançado quando a geometria dos satélites e as estações envolvidas na medição são alteradas. Portanto, são coletados dados por dois curtos períodos na mesma estação. As duas coletas devem estar separadas por um intervalo de tempo de 20 a 30 minutos (MONICO, 2000).

Em Segantine (2002) é visto que durante o deslocamento da antena remota é necessário que o receptor permaneça ligado em sintonia com os satélites disponíveis no horizonte do observador.

O comprimento da linha de base para este tipo de posicionamento deve ser de no máximo 20 km (INCRA, 2010).

## **Posicionamento diferencial GPS**

Neste método de acordo com Monico (2008), se a localização de um receptor for conhecida, podem-se comparar os valores obtidos com os valores teóricos e deste modo calcular correções às medições, as quais podem ser usadas para também corrigir as medições dos outros receptores que estão em pontos desconhecidos. O receptor na posição conhecida é chamado receptor base ou de referência, o receptor ou os receptores que estão em posições desconhecidas são chamados móvel ou “rover”.

Neste método de posicionamento baseado na observação do código os resultados são instantâneos, mas não são precisos (MONICO, 2008).

As técnicas diferenciais baseadas na observação da fase da portadora são capazes de alcançar elevada acurácia de posicionamento em função da maior precisão obtida pelas observáveis de fase da portadora. A validação destas correções diferenciais torna-se menos efetiva à medida que aumenta a distância entre as estações móvel e de referência, degradando progressivamente a qualidade do posicionamento (BRIONES, 1999).

### **2.3 Técnica Cinemático em Tempo Real (Real Time Kinematic -RTK)**

Foi uma técnica desenvolvida no início dos anos 90 como uma alternativa para melhorar a precisão do método diferencial baseado em observações do código ou código suavizado pela onda portadora (DGPS). A técnica RTK poderá usar correções diferenciais de fase ou observações brutas, geradas e transmitidas por uma estação de referência. Segundo Hofmann- Wellenhof et al. (2003), dependendo dos dados transmitidos pela estação de referência, a técnica RTK será classificada como posicionamento diferencial ou relativo.

Além das correções diferenciais de fase podem ser transmitidas as observações de pseudodistância e de fase da onda portadora, tomadas a partir da estação de referência. Os dados são transmitidos em formato apropriado, estabelecido pela RTCM SC-104 (Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committe 104). As correções diferenciais são aplicadas diretamente na fase observada em um receptor móvel, e as observações de pseudodistância e fases utilizadas em algoritmos de dupla diferença de fase (DDF), possibilitando uma navegação com precisão centimétrica em tempo real (MONICO, 2008).

Estas precisões somente são possíveis com a solução das ambiguidades inteiras no receptor móvel, durante o seu movimento. Esta solução é obtida com o emprego das técnicas

conhecidas como “on-the-fly” (OTF) ou “on-the way” (OTW). O tempo de fixação das ambiguidades (TTFA - time to fix ambiguities) dependerá do comportamento dos erros dependentes da distância, podendo ser igual a apenas uma época, para curtas distâncias e sob condições favoráveis. Sendo assim, o TTFA constitui um dos fatores limitantes do alcance da técnica RTK (SEEBER, 2003).

Outras limitações de alcance são determinadas pelo meio de comunicação empregado e as chamadas perdas de espaço livre, quando utilizados sinais de rádio para transmissão dos dados. O alcance pode ser aumentado com o uso de redes de Estações de Referência (PDGPS) (MOREIRA, 2011).

As medidas de fase da portadora são altamente sensíveis a perdas de ciclos. É preciso que a estação móvel disponha de softwares adequados para rápida detecção e correção destas falhas de sinal, que estão diretamente associadas à solução das ambiguidades enquanto em movimento, através da técnica OTF. O uso do algoritmo de triplas diferenças de fase (TDF), e o uso de modelos de solução que empregam geometria-livre podem ser utilizados para detecção das perdas de ciclos (LEICK, 2004).

Conforme Willgalis et al. (2002), o RTK limita-se a linhas de base entre 5 e 10 km em decorrência do alcance do enlace de comunicação das correções diferenciais e da utilização apenas da portadora L1 para determinação das pseudodistâncias, ainda que a onda portadora L2 esteja disponível para acelerar a resolução das ambiguidades. Para linhas de bases até 10 km a estação de referência e o receptor móvel podem rastrear simultaneamente a mesma constelação de satélites, gerando certa correlação entre os erros em ambas as estações, pois além da eliminação dos erros dos relógios, os efeitos atmosféricos e os erros nas órbitas são considerados semelhantes nas estações, tornando efetivas no receptor móvel as correções geradas na estação de referência. Ambas as estações devem rastrear pelo menos cinco satélites, para se ter uma boa solução das ambiguidades.

O uso das correções diferenciais (mensagens RTCM 20/21) possibilita uma diminuição dos erros devidos à latência, em função: das correções diferenciais possuírem uma variação temporal menor que as observações brutas (mensagens RTCM 18/19); da simplificação dos cálculos na estação móvel; e de um menor volume de dados para transmissão, o que permite usar larguras de banda menores. Porém a estação móvel depende da confiabilidade das correções geradas na estação de referência (RTCM, 2001). Além disto, quando são utilizadas observações brutas de fase e pseudodistância, geralmente são usados os mesmos algoritmos nas estações de referência e móvel, cancelando os erros correlacionados pela diferenciação. A aplicação das correções diferenciais poderá redundar em erro, já que



estas podem não ter sido obtidas pelo mesmo algoritmo empregado no receptor móvel (RTCM, 2001).

Segundo Prado (2001), o uso das observações brutas de pseudodistância e de fase da onda portadora permite uma modelagem mais adequada ao levantamento, bem como a eliminação dos erros dos relógios dos satélites e dos receptores. Em função disto o par de mensagens 18/19 tem sido mais usado do que as correções providas pelas mensagens 20/21.

No sistema RTK, a estação de referência ou a estação móvel podem ser composta de receptores de simples ou dupla frequência, uma associação de antenas, um conjunto de rádio e suas antenas associadas (PINTO, 2000).

Para se conseguir um melhor resultado, a antena do GPS da estação de referência deve ser montada em um local livre, com a finalidade de evitar ao máximo possível os efeitos de multicaminhamento. A antena do link de rádio deverá ser montada o mais alto possível para maximizar a área de cobertura (Langley, 1998).

Melhores resultados podem ser obtidos quando a estação de referência e o receptor móvel estiverem rastreando 8 ou mais satélites comuns, com PDOP menor que 2. Bons resultados, entretanto, podem ser conseguidos com dois receptores rastreando 5 satélites comuns com PDOP menor que 4 (Langley, 1998).

## **2.4 Taqueômetro - Estação total**

A estação total é provavelmente o mais popular dos equipamentos topográficos de maior importância na atualidade utilizados nos levantamentos topográficos, substituindo na totalidade a utilização de teodolitos eletrônicos de distância isolados (WOLF, 2003).

A estação total acopla em um único equipamento o teodolito, um distanciômetro, um microprocessador e uma memória interna para armazenar o grande número de informações coletadas em campo.

A ABNT 14.166 (1998, p. 7) classifica as estações totais de acordo com suas respectivas precisões angulares e lineares (Tabela 1) e orienta o cadastrador, especificando a classe do equipamento que se deve utilizar para a implantação de uma poligonal topográfica.

Tabela 1 -Classificação de estações totais e suas respectivas precisões angulares e lineares.

<b>Classes de estações totais</b>	<b>Precisão angular</b>	<b>Precisão linear</b>
<b>1 – precisão baixa</b>	$\leq \pm 30''$	$\pm (5\text{mm} + 10 \text{ ppm D})$
<b>2 – precisão média</b>	$\leq \pm 07''$	$\pm (5\text{mm} + 5 \text{ ppm D})$
<b>3 – precisão alta</b>	$\leq \pm 02''$	$\pm (3\text{mm} + 3 \text{ ppm D})$

Fonte: ABNT 13.133 (1998, p. 7).

D = Distância medida em km.

Nota: ppm – parte por milhão (10<sup>-6</sup>).

Os levantamentos topográficos aplicando métodos terrestres de medição são, em geral, apoiados a um conjunto de pontos de coordenadas geodésicas conhecidas (campo de pontos de referência), cuja determinação pertence ao domínio da Geodésica e materializados de forma estáveis, facilmente visíveis, designados por vértices geodésicos.

Historicamente, os métodos terrestres de medição sempre foram aplicados a levantamentos topográficos por serem métodos tradicionais e capazes de fornecer medidas com precisão considerável, mas apresentam algumas limitações quanto aos demorados procedimentos de aquisição de dados no campo (SOUZA, 2001).

Essas limitações foram reduzidas devido ao uso de novos equipamentos e softwares que tornaram a coleta de dados praticamente automatizada. Por outro lado, mesmo aplicando outros métodos de medição como os fotogramétricos e GNSS, quase sempre é necessário integrá-los aos métodos terrestres de medição, por exemplo, os métodos de interseção a vante, a ré, poligonação, irradiação, redes horizontais angulares e lineares (GAMA, 2008).

### **Método da Interseção a Vante e a Ré**

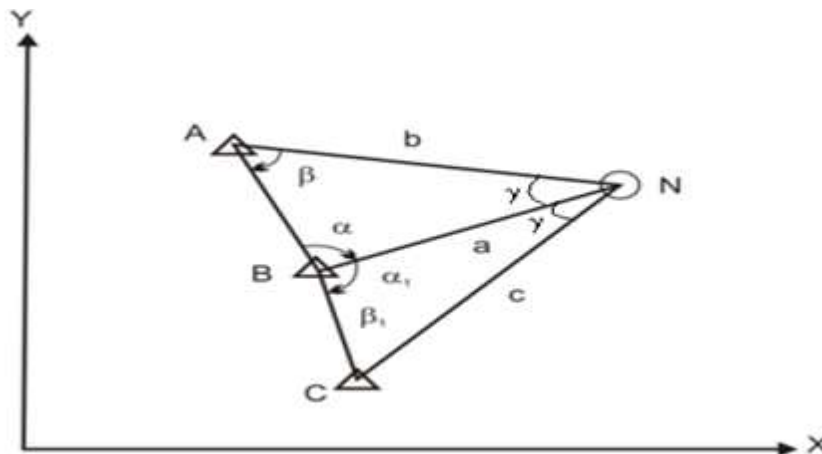
O método da interseção a vante é recomendado em casos como, por exemplo, quando os pontos-objeto não são de fácil acesso fazendo necessária a utilização de métodos trigonométricos para determiná-los (SILVA et al, 2006).

O método da interseção a vante também pode ser aplicado quando as estações de referência não são intervisíveis entre si, neste caso, utiliza-se um conjunto de 4 pontos de referência para se fazer a visualização do ponto N a ser determinado (GAMA, 2008).

## Solução Geométrica da Interseção a Vante

No método de Interseção a Vante as coordenadas do ponto N são obtidas a partir de pontos de coordenadas conhecidas. Isso é possível quando se tem os ângulos internos dos pontos A e B,  $\beta$  e  $\alpha$  respectivamente, como mostra a Figura 2 (KAHMEN e FAIG, 1988).

Figura 2 - Exemplo de interseção a vante com dois ângulos.



Fonte: GAMA (2008).

As coordenadas aproximadas  $X_0$  e  $Y_0$  do ponto N representado na Figura 02 são calculadas conforme a formulação matemática (HÄBLER e WACHSMUTH, 1984) dadas pelas equações:

$$X_0 = \frac{X_2 \cdot \tan\beta + X_1 \tan\alpha - \Delta X \cdot \tan\alpha \cdot \tan\beta}{\tan\alpha + \tan\beta}$$

$$Y_0 = \frac{Y_2 \cdot \tan\beta + Y_1 \cdot \tan\alpha + \Delta Y \cdot \tan\alpha \cdot \tan\beta}{\tan\alpha + \tan\beta}$$

Onde,

$X_0$  e  $Y_0$  são as coordenadas aproximadas do ponto N;

$\alpha$  e  $\beta$  são os ângulos internos e;

$\Delta X$  e  $\Delta Y$  são as diferenças de coordenada dos pontos de referência A e B.

As coordenadas precisas do ponto N podem ser obtidas a partir de várias direções com base nos pontos fixos A, B e C (Figura 2), com coordenadas determinadas a este ponto N, aplicando o ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (KAHMEN e FAIG, 1988).

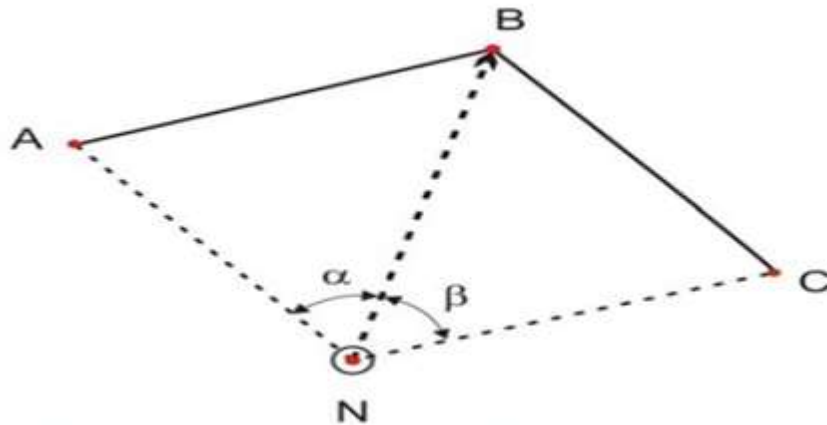
## Solução Geométrica da Interseção a Ré

O método planimétrico denominado Interseção a Ré, tem solução geométrica baseada no conhecimento na lei da igualdade dos ângulos inscritos em arcos iguais (PEÑA, 2002).

O método planimétrico topográfico da Interseção a Ré consiste na determinação das coordenadas X e Y que definem a posição planimétrica de pontos, mediante observações de ângulos feitas destes pontos a no mínimo três pontos geodésicos com coordenadas conhecidas (PEÑA, 2002). A posição do ponto desejado é determinada pela medição de dois ângulos entre outros pontos (KAHMEN e FAIG, 1988).

O instrumento deve ser instalado em um ponto onde convenientemente exista uma excelente visibilidade para todo trabalho. Conforme pode ser observado na Figura 3, no caso mais geral da Interseção a Ré, são disponibilizados três pontos: A, B e C, com coordenadas conhecidas e a pretensão é determinar a posição do ponto N (GAMA, 2008).

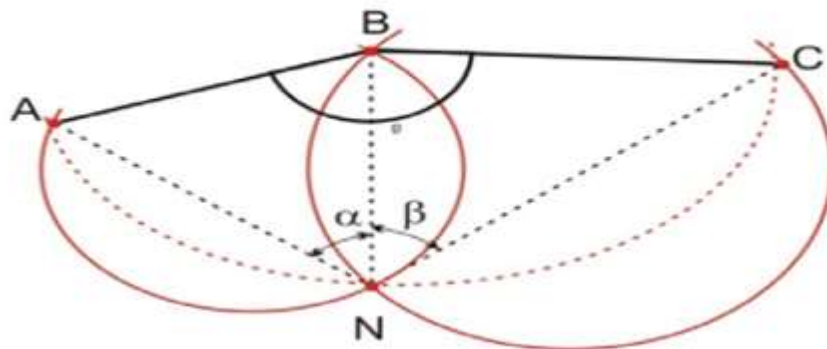
Figura 3 - Caso geral da interseção a ré.



Fonte: PEÑA (2002)

Para determinar a posição de um ponto N, estaciona-se uma Estação Total sobre N como mostra a Figura 4, e medem-se os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$  com linhas de visadas direcionadas aos três pontos de referência (A, B e C). Dessa forma, o ponto N será determinado pela interseção dos arcos formados entre os ângulos  $\alpha$  (no segmento AB) e  $\beta$  (no segmento BC) e  $\alpha + \beta$  (sobre o segmento AC) (GAMA,2008).

Figura 4 - Representação geométrica da medição por interseção a ré.



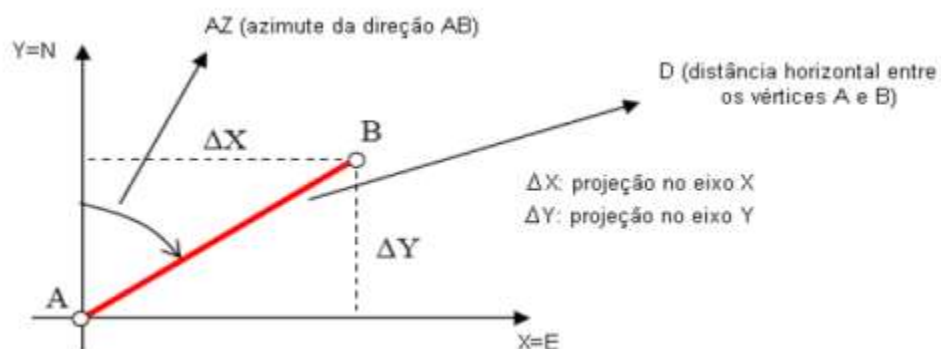
Fonte: GAMA (2008).

O problema terá a solução conforme Peña (2002) sempre que o ponto N não estiver na chamada “circunferência perigosa”, definida por Ramos et al (2007) como a circunferência que passa pelos três pontos de apoio (A, B e C).

### Método da Irradiação

A irradiação é um processo utilizado em levantamentos topográficos para georreferenciar os pontos de limites destas a um Sistema de Referência por meio de medição de coordenadas polares (ângulos e distâncias). A amarração ao Sistema de Referência é realizada através de dois pontos que integrem o sistema ou por um ponto e um azimute (GAMA,2008).

Figura 5 - Método da irradiação.



Fonte: VEIGA (2007).

Na aplicação do método da irradiação (Figura 5), a transformação das coordenadas polares em retangulares é realizada da seguinte maneira: uma vez conhecidas as coordenadas de um ponto (A) e o azimute do alinhamento dos pontos A e B, a posição de (B) é determinado pelas equações dada por (PINTO, 1992):

$$X_B = X_A + D_{AB} \cdot \text{sen}(AZ_{AB})$$

$$Y_B = Y_A + D_{AB} \cdot \text{cos}(AZ_{AB})$$

Onde,

$X_B$  e  $Y_B$  são as coordenadas retangulares do ponto B;

$X_A$  e  $Y_A$  são as coordenadas conhecidas do ponto A;

$D_{AB}$  é a distância entre os pontos A e B e;

$AZ_{AB}$  é a azimute do alinhamento AB.

### **Método da Poligonação**

A poligonação consiste no estabelecimento de um campo de vértices de poligonais, observação e cálculo dessas poligonais, formadas por um conjunto de segmentos de retas contíguos, que formam uma linha poligonal, dos quais são medidos a extensão dos lados e a amplitude dos ângulos por eles formados (FONTE e VICENTE, 2007). Cabe salientar que estas poligonais devem ser conectadas a um campo de pontos geodésicos de referência, georreferenciados ao Sistema de Referência Geodésico Brasileiro (SIRGAS 2000).

Um dos elementos necessários para a definição de uma poligonal são os ângulos formados por seus lados. A medição destes ângulos pode ser feita utilizando técnicas como pares conjugados, repetição, ou outra forma de medição de ângulos. Normalmente, são determinados os ângulos externos ou internos da poligonal (VEIGA et al, 2007).

As Poligonais segundo SOUZA et al (2005) são classificadas em três tipos: poligonais abertas, poligonais apoiadas e Poligonais fechadas.

### **2.5 Acurácia dos métodos**

De acordo com Werlich et al. (2012), nos dias de hoje, com o avanço da tecnologia, principalmente no âmbito das ciências geodésicas, cada vez mais os equipamentos de mensuração apresentam precisões da ordem de centímetros pelo fabricante, para alguns

equipamentos como receptores GNSS estas precisões chegam a ser da ordem de milímetros dependendo do método de rastreamento utilizado.

Segundo Araújo et al. (2012), para se determinar a acurácia de um ponto, deve-se escolher outras estações com coordenadas conhecidas com qualidades iguais ou superiores a que será levantada, e a diferença entre os valores encontrados e os conhecidos será a acurácia. As diferenças, portanto, representam a variação das distâncias obtidas no intervalo de cada ponto.

Segundo o IBGE (2008), há uma dificuldade muito grande em definir valores que representem a precisão do posicionamento geodésico com GNSS, tendo em vista todas as variáveis que influenciam essa precisão. Neste sentido vários pesquisadores vêm trabalhando para definir de forma mais confiável e realística possível os valores para a precisão posicional em função do comprimento da linha de base, do tempo de observação e do tipo de equipamento utilizado (L1 e L1/L2). Entretanto, devido às dificuldades em determinar esses valores de forma homogênea, ainda não há resultados definitivos que expressem as relações entre essas variáveis e a precisão. De um modo geral, a Tabela 2 mostra a precisão aproximada do posicionamento relativo com GNSS, em função do tipo de equipamento utilizado, tempo de rastreamento das observações, e comprimento das linhas de base.

Tabela 2 -Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha base.

<b>Linha de Base</b>	<b>Tempo de observação</b>	<b>Equipamento Utilizado</b>	<b>Precisão</b>
00 - 05 km	05 - 10 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1 ppm
05 - 10 km	10 - 15 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1 ppm
10 - 20 km	10 - 30 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1 ppm
20 - 50 km	02 - 03 hr	L1/L2	5mm + 1 ppm
50 - 100 km	Mínimo 03 hr	L1/L2	5mm + 1 ppm
> 100 km	Mínimo 04 hr	L1/L2	5mm + 1 ppm

Fonte: IGN – Instituto Geográfico Nacional (Espanha) – Curso GPS en Geodesia y Cartografía

Uma forma de avaliar a qualidade das coordenadas determinadas com o IBGE-PPP é verificar o sigma(ou desvio padrão) das coordenadas. O sigma é calculado considerando um intervalo de confiança de 95%, e representa a confiabilidade interna do processamento aqui chamado de precisão, para as componentes latitude, longitude e altitude.

Uma outra forma para avaliar a qualidade das coordenadas é através das diferenças entre as coordenadas determinadas pelo IBGE-PPP com as coordenadas conhecidas do marco, permitindo assim uma análise da confiabilidade externa, denominada de acurácia (IBGE,2013).

Ao processar os dados GNSS utilizando o IBGE-PPP, uma ou um conjunto de coordenadas serão estimados, caso o modo de processamento selecionado seja Estático ou Cinemático, respectivamente. Associado a cada uma dessas coordenadas estará uma precisão estimada. Essa precisão será influenciada principalmente pelo tipo de observável utilizada (L1 e/ou L1&L2), pelo tipo de levantamento (estático ou cinemático), e pelo tempo da sessão de observação realizado no levantamento. Essa precisão fornece um indicativo da qualidade das coordenadas determinadas no processamento (IBGE, 2013). A tabela 3 mostra a variação da precisão em função do tempo no processamento IBGE-PPP.

Tabela 3 - Variação da precisão em função do tempo no processamento IBGE-PPP.

<b>Tipo de Receptor</b>	<b>Uma frequência</b>		<b>Duas frequências</b>	
	<b>Planimétrico(m)</b>	<b>Altimétrico(m)</b>	<b>Planimétrico(m)</b>	<b>Altimétrico(m)</b>
<b>Após 1 hora</b>	0,450	1,000	0,030	0,050
<b>Após 2 horas</b>	0,300	0,800	0,015	0,025
<b>Após 4 horas</b>	0,200	0,500	0,006	0,015
<b>Após 6 horas</b>	0,180	0,400	0,004	0,010

Fonte: IBGE, 2013

O Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira através de procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de documentos cartográficos no Território Brasileiro, criando o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC.

As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os critérios apresentados no tabela 4:



Tabela 4 - Critérios do PEC.

<b>Carta</b>	<b>PEC Planimétrico</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>PEC Altimétrico</b>	<b>Erro Padrão</b>
Classe A	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala	1/2 equidistância	1/3 da equidistância
Classe B	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala	3/5 equidistância	2/5 da equidistância
Classe C	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala	3/4 equidistância	1/2 da equidistância

Fonte: Decreto Nº 89.817 de 20 de junho de 1984

De acordo com a PEC (1984) os termos Desvio Padrão (DP), Erro Padrão (EP) e Erro Quadrático Médio (EQM) devem ser considerados como sinônimos. Visando expor de forma clara, precisa e concisa os conceitos relacionados com a qualidade posicional desejada para os Produtos Cartográficos Digitais (PCD), as novas especificações técnicas dos produtos cartográficos digitais utilizam os termos precisão e exatidão.

As escalas abrangidas no PCD são: 1:1.000; 1:2.000; 1:5.000; 1:10.000; 1:25.000; 1:50.000; 1:100.000 e 1:250.000. Os produtos digitais foram classificados em 4 classes (“A”, “B”, “C” e “D”), tendo como norteador o Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984. Para as escalas não abrangidas por esse decreto foram realizadas extrapolações, mantendo-se os valores previstos do PEC Planimétrico e do PEC Altimétrico.

Na Tabela 5, o PEC-PCD Planimétrico e o EP das classes “B”, “C” e “D” correspondem, nessa ordem, as classes “A”, “B”, “C” do PEC Planimétrico previstas no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

Tabela 5 - Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais.

PEC	PEC PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,4	0,85	2,8	1,7	7	4,25	14	8,51	28	17	70	42,6
A	B	0,5	0,3	1	0,6	2,5	1,5	5	3	12,5	7,5	25	15	50	30	125	75
B	C	0,8	0,5	1,6	1	4	2,5	8	5	20	12,5	40	25	80	50	200	125
C	D	1	0,6	2	1,2	5	3	10	6	25	15	50	30	100	60	250	150

Fonte:PEC-PCD

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Descrição da área

Este trabalho foi desenvolvido no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC) em duas áreas distintas. A primeira área foi implantando uma poligonal fechada nas dependências do Laboratório de Hidráulica e Irrigação, como mostra na figura 6.

Figura 6 - Localização da poligonal fechada laboratório de hidráulica e irrigação (UFC).



Fonte: Elaborada pelo autor

Na segunda área foi delimitada uma poligonal aberta que teve sua localização nas dependências do Campus do Pici, como mostra a figura 7.

Figura 7- Localização da área do caminhamento da poligonal aberta, Campus do Pici (UFC)



Fonte: Elaborada pelo autor

O Marco Base de referência utilizado nos experimentos está localizado no Campus da Universidade Federal do Ceará, em terreno da antiga Escola de Agronomia, 33 m a Leste do prédio da Estação Agrometeorológica. O marco base está materializado através de marco de tronco de pirâmide de concreto, salientando-se uns 0,20 m acima do nível do solo, estampada e nomeada como estação geodésica SAT-CE-01(90098) (Anexo A).

### 3.2 Descrições dos pontos e condições de caminhamento

#### Poligonal Fechada

Foram definidos seis marcos vértices, estrategicamente distribuídos na área. Os pontos foram materializados no campo através de marcos de concretos com dimensões 0,10m x 0,10m x 0,60m cravados no solo com uma profundidade de 0,50m e 0,10m acima do solo e identificados através de plaquetas de alumínio devidamente fixadas sobre o marco de concreto, como mostra a figura 8.

Figura 8 - Marco de concreto com plaqueta de identificação.



Fonte: Elaborada pelo autor

Os marcos vértices implantados em campo receberam as seguintes descrições e localizações:

- **M01** – Localizado ao Norte (latitude  $3^{\circ}44'45,41425''S$ , longitude  $38^{\circ}34'50,92546''W$ ) com 147,474 metros de distância da base de referência. Aproximadamente a 1 metro do muro do LIMA (Laboratório de Investigação de Acidentes com Maquinas Agrícolas) e a 5 metros da cerca que delimita toda área, como pode ser visto em A. (Figura 9).

- **M02** – Localizado ao Este (latitude  $3^{\circ}44'46,71623''S$ , longitude  $38^{\circ}34'49,64796''W$ ) com 195,619 metros de distância da base de referência. A 1 metro da cerca que delimita a área próximo a copa de uma mangueira, como pode ser visto em B. (Figura 9).

- **M03** – Localizado ao Sul (latitude  $3^{\circ}44'50,97630''S$ , longitude  $38^{\circ}34'54,03443''W$ ) com 200,769 metros de distância da base de referência. A 3 metros do muro que delimita a Universidade com a rua Pernambuco e a 5 metros de um poste de alta tensão, mostrado em C. (Figura 9).

- **M04**– Localizado a Oeste (latitude  $3^{\circ}44'49,26300''S$ , longitude  $38^{\circ}34'55,00720''W$ ) com 143,258 metros de distância da base de referência. A 15 metros de dois postes de alta tensão e a 30 metros do muro que delimita a Universidade com a rua Monarcas, apresentado em D. (Figura 9).

- **M05** – Localizado a Oeste (latitude  $3^{\circ}44'47,13372''S$ , longitude  $38^{\circ}34'53,59308''W$ ) com 99,246 metros de distância da base de referência. Sob uma linha de transmissão de energia elétrica e a 13 metros do poste de alta tensão, mostrado em E. (Figura 9).

- **M06** – Localizado ao Norte (Latitude  $3^{\circ}44'45,61414''S$ , longitude  $38^{\circ}34'53,65608''W$ ) com 68,153 metros de distância da base de referência. A 20 metros do muro que delimita o Laboratório de Hidráulica e Irrigação, apresentado em F. (Figura 9).

Figura 9 - Localização dos marcos vértices da poligonal fechada.



Fonte: Elaborada pelo autor

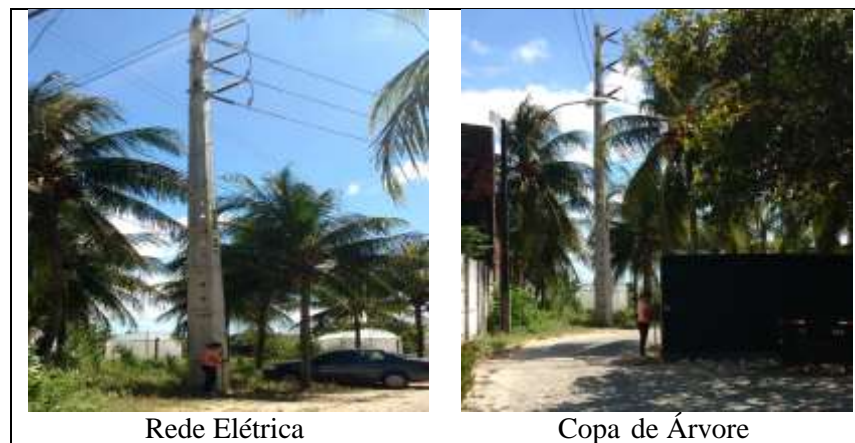


### Poligonal Aberta

O método utilizado para a elaboração da poligonal aberta foi o de caminhamento sem a marcação de pontos no solo. A coleta dos pontos teve intervalos de aproximadamente 20 metros e teve início no Laboratório de Hidráulica e Irrigação percorrendo 7km em extensão do campus e áreas vizinhas e teve termino no Estação Agrometeorológica (Figura 7).

Ao total foram coletados 321 pontos em todo o percurso com as seguintes condições de campo: copas de árvores, rede elétrica, edificações e campo aberto, como mostra a figura 10.

Figura 10 - Diferentes condições de campo da poligonal aberta.



Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.3 Equipamentos e Software

A seguir serão apresentados os receptores GNSS, o software de processamento e a estação total utilizados na coleta e ajuste dos dados:

- **Receptor GNSS**

Para o rastreamento do posicionamento dos marcos da poligonal fechada e para o caminhamento foram utilizados quatro receptores GNSS da marca CHC modelo X900, como mostra a figura 11.

Figura 11 - Receptor GNSS CHC modelo X900.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo o manual do fabricante, o receptor X900 GNSS CHC utiliza a mais recente tecnologia GNSS através da integração de 72 canais de rastreamento GPS (L1, L2, L2C, L5), GLONASS (L1, L2) e SBAS: WAAS, EGNOS e MSAS, com tecnologia avançada de redução de multicaminhamento e com precisões:

- Levantamentos cinemáticos em tempo real (RTK): precisão horizontal: 10 mm + 1 ppm e vertical: 20 mm + 1 ppm.
- Levantamento Pós Processado (Modo Estático): precisão horizontal: 5 mm + 1 ppm e vertical: 10 mm + 1 ppm.

- **Software Topcon Tools**

Conforme o manual do software Topcon Tools (2004) este, fornece um ambiente de apresentação integrada para um simples e rápido processamento e ajuste das observações de campo. E é composto de módulos, tais como: processamento de dados de Estação Total e/ou RTK, pós processamento das observações GPS ou combinação das três opções de módulos.

- **Estação Total**

A Estação Total da marca RUIDE modelo RTS-822R, apresentada na figura 12. Segundo o manual do fabricante desta estação total, as precisões: angular de 2 segundos e linear de 2mm + 2ppm.

Figura 12 - Estação Total RUIDE RTS-822R.



Fonte: Elaborada pelo autor

### **3.4 Levantamentos topográficos para aquisição de dados.**

Neste experimento para aquisição de dados foram utilizados os seguintes levantamentos topográficos: posicionamento relativo estático rápido com intervalos de tempo de 5 e 30 minutos, com os seguintes processamentos de dados: processamento pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e processamento utilizando as coordenadas base da estação geodésica do IBGE SAT-CE-01 (Anexo A); o levantamento cinemático em tempo real (Real Time Kinematic - RTK) sob diferentes condições de campo e interseção a vante.

#### **Método de posicionamento relativo estático rápido**

A aquisição dos dados ocorreu no dia 02 de junho de 2016, utilizando o Datum Sirgas 2000 para referencial elipsoidal. Inicialmente, o equipamento base foi montado sobre o marco de concreto do IBGE SAT-CE-01 com altura da antena de 1,067m o mesmo foi ligado às 9h 15min e começou a rastrear com uma taxa de gravação de 5 segundos. O equipamento base permaneceu ligado o tempo necessário para fazer o rastreamento dos marcos vértices da poligonal fechada.

O rastreamento dos marcos vértices da poligonal fechada ocorreu em dois momentos distintos. O primeiro foi com intervalo de tempo de 5 minutos e o segundo com intervalo de tempo de 30 minutos.



O equipamento móvel (rover) foi instalado em cada marco vértice da poligonal rastreando com uma taxa de gravação de 5 segundos. O primeiro intervalo de tempo foi de 5 minutos no fim do rastreio o equipamento foi desligado e ligado novamente no mesmo posicionamento para o rastreio de 30 minutos. Esse procedimento foi realizado em todos os marcos vértices da poligonal fechada, como mostra a tabela 6.

Tabela 6 - Dados coletados em campo com intervalos de tempo de 5 e 30 minutos.

Pontos	<b>Dados com 5 minutos</b>			<b>Dados com 30 minutos</b>		
	Tempo Inicial	Tempo Final	Altura da Antena (m)	Tempo Inicial	Tempo Final	Altura da Antena (m)
M01	9h 48min	9h 53min	1,485	10h 33min	11h 03min	1,313
M02	10h 28min	10h 34min	1,485	9h 41min	10h 11min	1,250
M03	9h 50min	9h 55min	1,553	10h 00min	10h 30min	1,553
M04	10h 40min	10h 45min	1,553	10h 50min	11h 20min	1,553
M05	11h 48min	11h 54min	1,485	11h 15min	11h 45min	1,485
M06	10h 02min	10h 07min	1,485	10h 40min	11h 10min	1,485

Fonte: Elaborada pelo autor

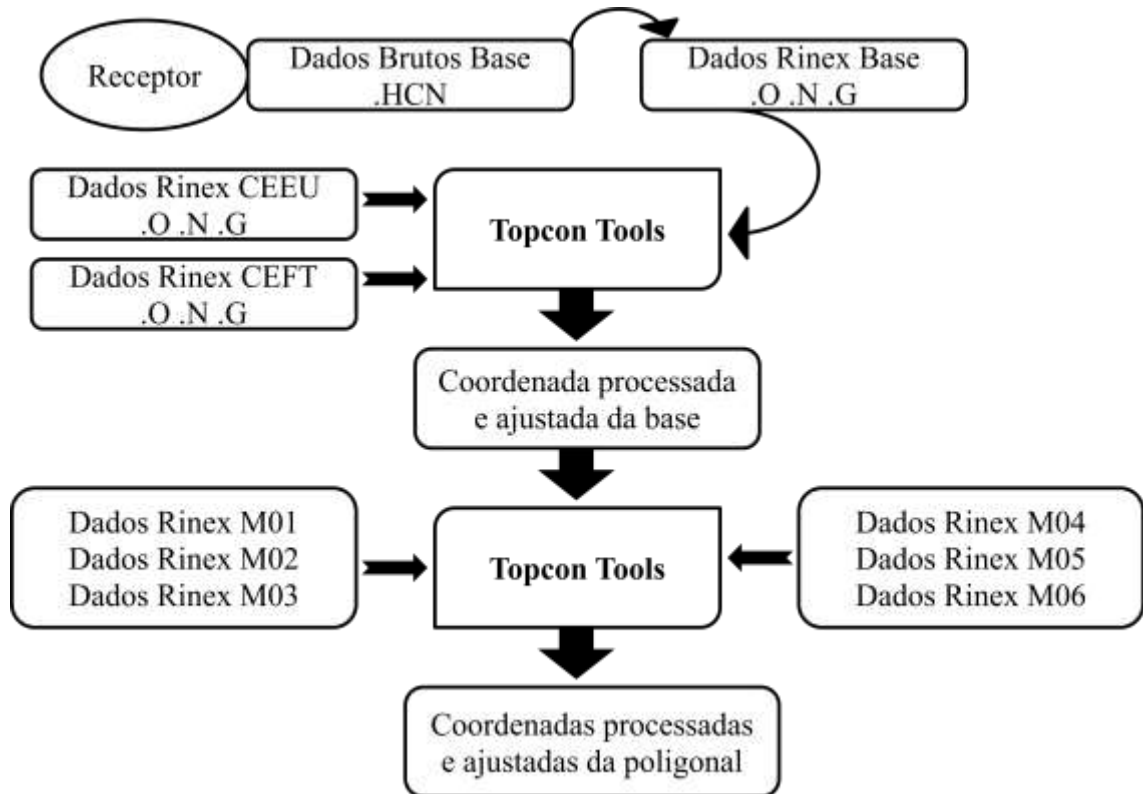
Ao fim do rastreio dos marcos vértices da poligonal, a base foi desligada as 12h 03min obtendo 2h 47min de rastreio.

Os dados brutos coletados pelos receptores GNSS foram extraídos através do programa HuaceNav – Hcloader e convertido para a extensão rinex no programa Hcrinex (Anexo - B). Programas disponibilizados pelo fabricante do equipamento.

### **Processamento dos dados**

Inicialmente, foi realizado o processamento pela RBMC, a coordenada base foi processada e ajustada através de duas coordenadas de referência no programa Topcon Tools. As bases de referência utilizadas foram a CEEU localizada no município do Eusébio-CE e a CEFT localizada no município de Fortaleza-CE, que fazem parte da rede brasileira de monitoramento contínuo. Os marcos vértices da poligonal fechada foram processados e ajustados utilizando a base processada e ajusta pela RBMC, como mostra a figura 13.

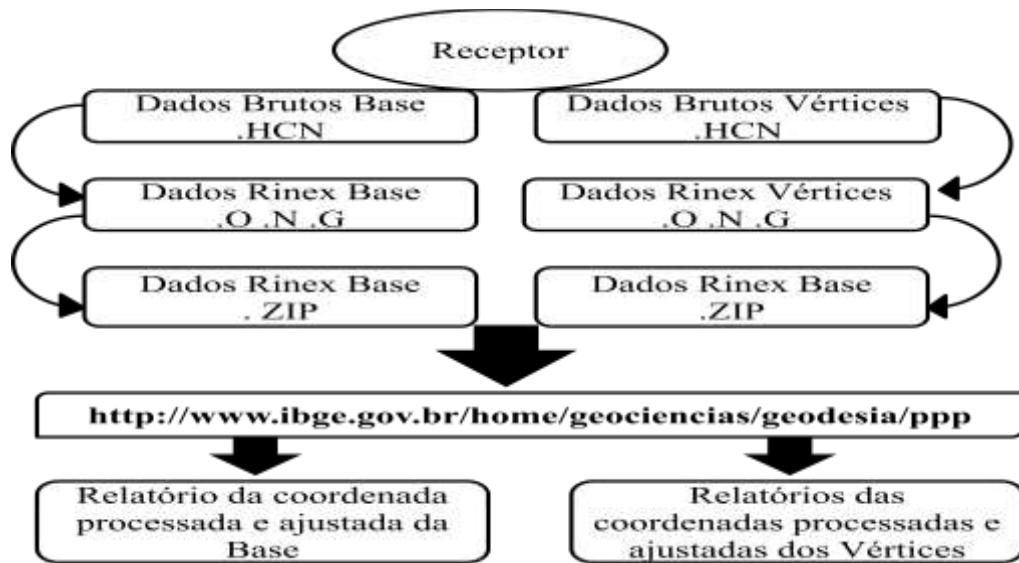
Figura 13 - Fluxograma de processamento e ajuste de coordenada pela RBMC programa Topcon Tools.



Fonte: Elaborada pelo autor.

No posicionamento por ponto preciso (PPP), a base e os marcos vértices foram processados através do serviço online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o processamento pelo IBGE - PPP consistiu no encaminhamento dos dados rinex na extensão zip para a página do IBGE <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/> onde foram processados e ajustados, após o processo os dados foram disponibilizados em forma de relatórios, como mostra a figura 14. Esse processamento fica sobre a coordenação do IBGE.

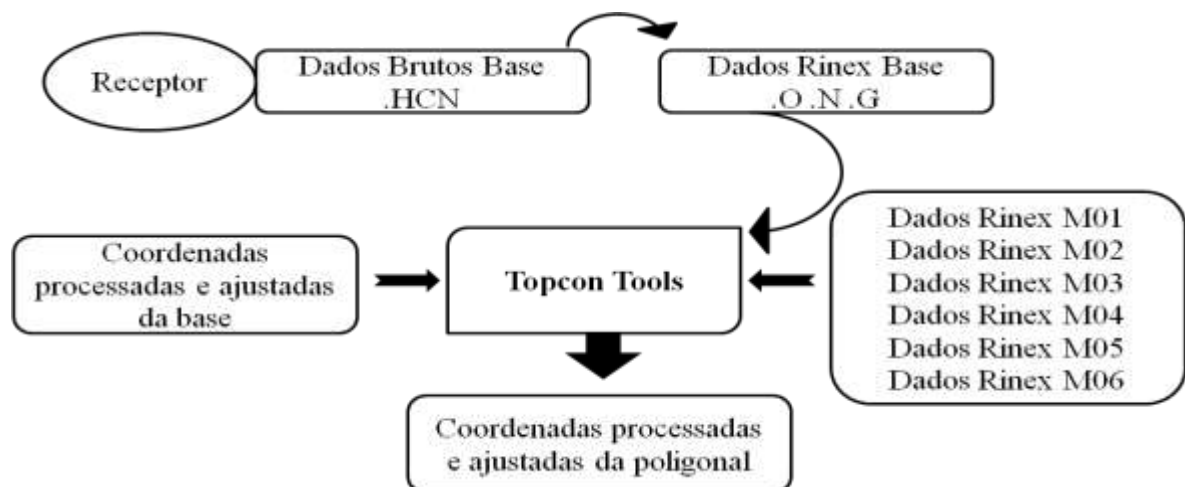
Figura 14 - Fluxograma de processamento da base e dos marcos vértices por posicionamento por ponto preciso do IBGE.



Fonte: Elaborada pelo autor

No processamento utilizando as informações de base do relatório da estação geodésica do IBGE SAT-CE-01 (Anexo A), os marcos vértices foram processados e ajustados no programa Topcon Tools através das coordenadas base descritas no relatório, como mostra a figura 15. Este processamento serviu de comparação para os outros métodos de processamento pois o relatório da estação geodésica do IBGE SAT-CE-01 é a coordenada oficial do marco base.

Figura 15 Fluxograma de processamento utilizando o relatório da estação base do IBGE.



Fonte: Elaborada pelo autor

### **Cinemático em tempo real (RTK)**

Para a obtenção dos dados da poligonal aberta o método utilizado foi o cinemático em tempo real (RTK) na forma de caminhamento. O dados foram obtidos no dia 06 de junho de 2016, utilizando o Datum Sirgas 2000 como referencial elipsoidal. O receptor base foi montado sobre a estação base geodésica do IBGE acoplada a uma rádio transmissor conectados em uma antena de amplificação do sinal, todo sistema estava sendo alimentado por uma fonte de energia externa. Após a montagem do receptor base deu-se início a configuração da controladora de dados nela foram introduzidas as coordenadas norte, este e altitude geodésica especificada no relatório da estação geodésica do IBGE SAT-CE-01 (Anexo - A). Após a inicialização do receptor base, o receptor móvel foi acoplado a um bastão graduado com valor fixo de 2 metros de altura e uma antena de recepção do sinal de base para as correções.

O caminhamento teve início no Laboratório de Hidráulica e Irrigação, percorrendo 7 km do campus e áreas vizinhas tendo termino na Estação Agrometeorológica. A coleta de dados aconteceu sob as seguintes condições de campo: campo aberto, rede elétrica, copa de árvores e edificações com intervalos de aproximadamente 20 metros entre pontos.

Neste método não há necessidade de processamento dos dados, pois as coordenadas são processadas e ajustadas na hora da armazenagem na controladora. Os dados coletados no caminhamento foram transformados em arquivo de texto na controladora de dados e descarregada no computador através de cabo USB.

Os dados experimentais obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Dunn em nível de 5% de probabilidade.

### **Interseção a vante**

O levantamento topográfico foi realizado com a Estação Total Ruide RTS-822R (figura 12) e dois prismas refletores com constante aditiva de -0,030m acoplado a um bastão graduado com nível de bolha. Para a obtenção dos dados dos seis marcos vértices da poligonal fechada foram utilizadas as coordenadas geodésicas obtidas pelo método de posicionamento relativo estático rápido processadas e ajustadas pela RBMC com intervalo de 5 e 30 minutos de rastreo.

O equipamento foi estacionado sobre os vértices de interesse e configurado para a operação de interseção onde são necessárias duas coordenadas de referência. Após a configuração foi feita a visada para o prisma refletor posicionado sobre os marcos de referência devidamente nivelado. O método foi realizado em todos os marcos vértices.

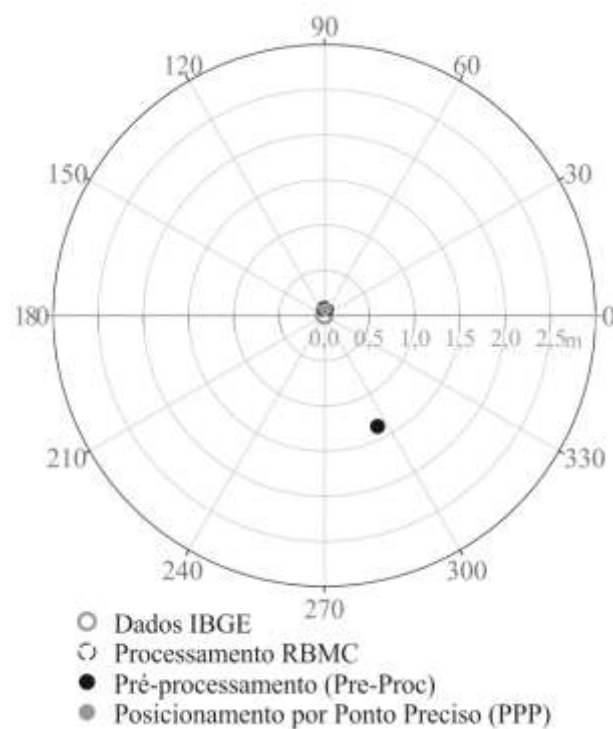
Os dados armazenados na estação total foram transferidos para um cartão de memória, e posteriormente, para um computador. As coordenadas obtidas na interseção a vante foram comparadas com as coordenadas geodésicas convertidas para coordenadas topográficas locais pois a estação total gera coordenadas topográficas locais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Processamento

Nas figuras 16, 17 e 18 observa-se a dispersão das localizações da base e dos marcos vértices obtidos por três métodos de processamento, a saber: Pré-processamento, Processamento pela RBMC e Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), e distintos intervalos de tempo.

Figura 16 - Dispersão da localização da base da poligonal fechada em diferentes métodos de processamento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

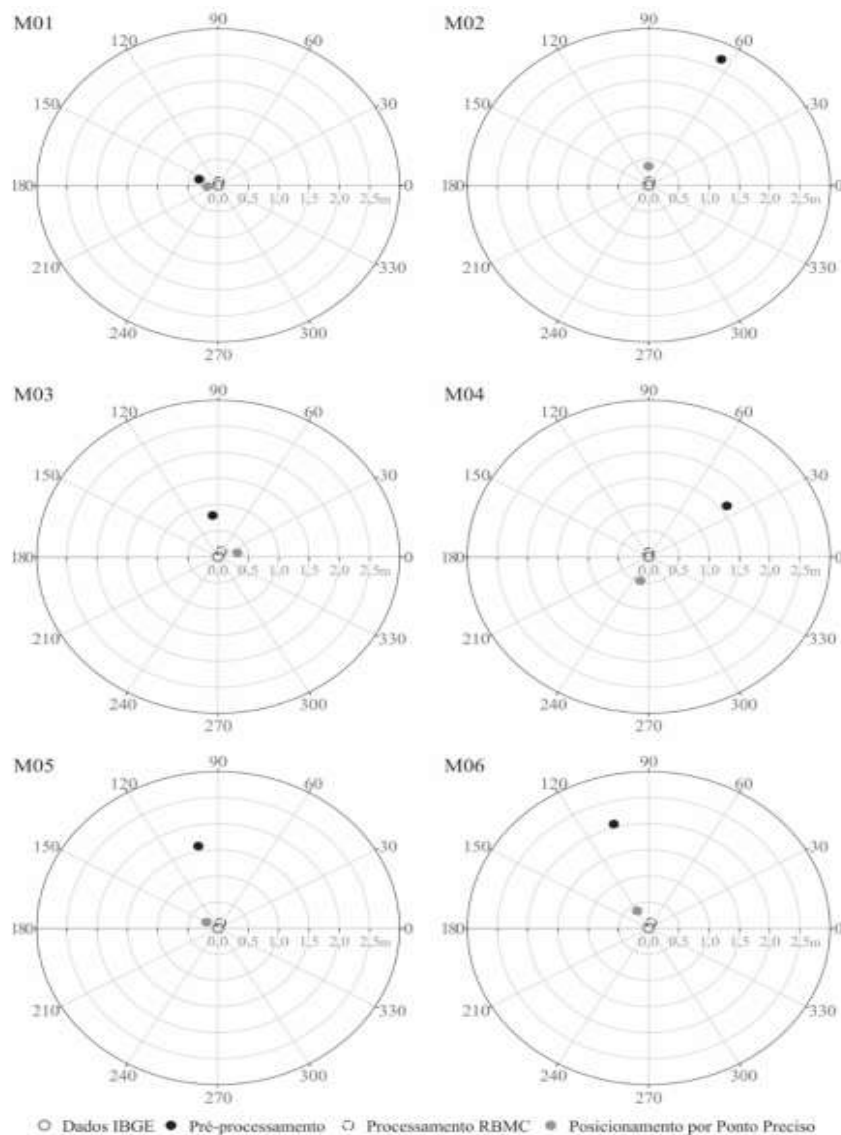
Observa-se na figura 16 uma discrepância na localização da coordenada de base no pré-processamento em relação a estação geodésica oficial, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo e o posicionamento por ponto preciso.

Comparando o relatório de estação geodésica SAT-CE-01 (Anexo A) com os métodos de processamento em estudo obtivemos o melhor resultado com o processamento pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) com variações  $\pm 0,011\text{m}$  no norte e  $\pm 0,069\text{m}$  no este. Com os melhores resultados de desvio padrão  $\pm 0,003\text{m}$  no norte e  $\pm 0,004\text{m}$  no este.

O método de posicionamento por ponto preciso (PPP) apresentou valores próximos do apresentado no processamento pela RBMC com variação entre os métodos de  $\pm 0,018\text{m}$  no norte e  $\pm 0,018\text{m}$  no este. Com desvio padrão de  $\pm 0,002\text{m}$  no norte e  $\pm 0,009\text{m}$  no este

Portanto os métodos de processamento pela RBMC e posicionamento por ponto preciso PPP se enquadram nas normativas do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC (Tabela 4) e dos Produtos Cartográficos Digitais (PCD) na classe A (Tabela 5). Já o processamento PPP está nas conformidades prevista na norma técnica por tempo do IBGE PPP (Tabela 3).

Figura 17 -Dispersão da localização dos marcos vértices da poligonal fechada com períodos de tempo de 5 minutos em diferentes métodos de processamento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Verifica-se na figura 17 a dispersão das localizações dos marcos vértices da poligonal que foram rastreadas com período de tempo de 5 minutos. Observa-se que há uma discrepância nas localizações das coordenadas dos marcos vértices M02, M03, M04, M05 e M06 no pré-processamento em relação as coordenadas obtidas pelo processamento da estação geodésica oficial, processamento pela RBMC e o posicionamento por ponto preciso. Discrepância esta que não é observada no marco vértice M01 onde todas as localizações estão próximas da localização do pré-processamento.

Contrastando os processamentos pela RBMC e o processamento realizado pelo relatório de estação geodésica podemos demonstrar que o método de processamento pela RBMC obtiver valores melhores no desvio padrão e nas variações, mostrados a seguir:

- M01 variação de  $\pm 0,011\text{m}$  no norte e  $\pm 0,069\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,010\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,011\text{m}$ .
- M02 variação de  $\pm 0,011\text{m}$  no norte e  $\pm 0,069\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,005\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,005\text{m}$ .
- M03 variação de  $\pm 0,011\text{m}$  no norte e  $\pm 0,069\text{m}$  no este no este, desvio padrão norte  $\pm 0,007\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,012\text{m}$ .
- M04 variação de  $\pm 0,011\text{m}$  no norte e  $\pm 0,069\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,004\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,006\text{m}$ .
- M05 variação de  $\pm 0,011\text{m}$  no norte e  $\pm 0,069\text{m}$  no este no este, desvio padrão norte  $\pm 0,005\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,006\text{m}$ .
- M06 variação de  $\pm 0,011\text{m}$  no norte e  $\pm 0,069\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,013\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,016\text{m}$ .

O método posicionamento por ponto preciso (PPP) comparado com o método de processamento com o relatório geodésico apresentou grandes variações e maiores desvios padrões entre as coordenadas, que podem ser vistos a seguir:

- M01 variação de  $\pm 0,264\text{m}$  no norte e  $\pm 0,112\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,253\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,672\text{m}$ .
- M02 variação de  $\pm 0,004\text{m}$  no norte e  $\pm 0,340\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,222\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,674\text{m}$ .
- M03 variação de  $\pm 0,036\text{m}$  no norte e  $\pm 0,768\text{m}$  no este no este, desvio padrão norte  $\pm 0,145\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,451\text{m}$ .
- M04 variação de  $\pm 0,079\text{m}$  no norte e  $\pm 0,462\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,144\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,411\text{m}$ .

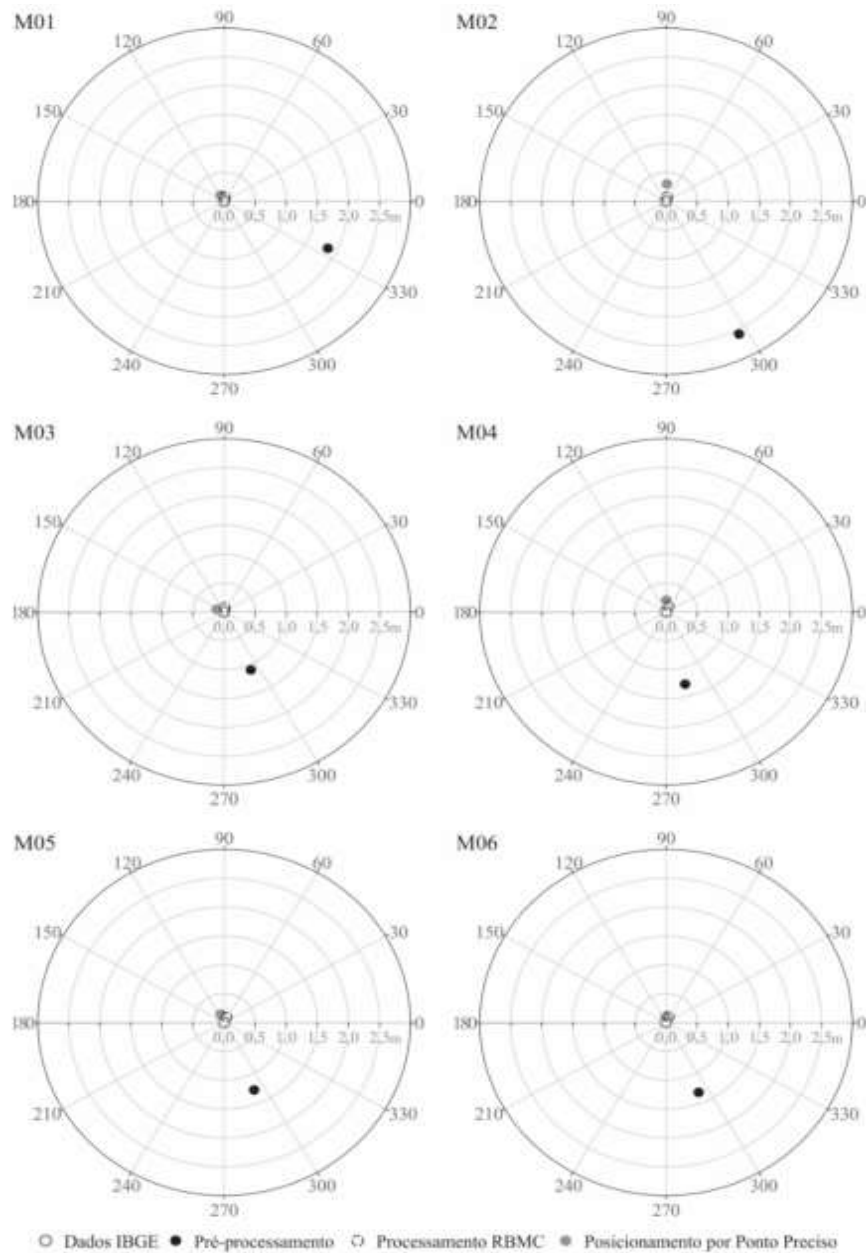


- M05 variação de  $\pm 0,134\text{m}$  no norte e  $\pm 0,070\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,244\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,692\text{m}$ .
- M06 variação de  $\pm 0,201\text{m}$  no norte e  $\pm 0,280\text{m}$  no este, desvio padrão norte  $\pm 0,235\text{m}$  e desvio padrão este  $\pm 0,670\text{m}$ .

Analisando as variações e os desvios padrões do método de processamento por ponto preciso (PPP) obtivemos que este método não é recomendado para períodos de tempo de 5 minutos e que não se enquadra nas normas técnicas por tempo do IBGE PPP (Tabela 3) e de precisões do posicionamento relativo em função do tempo e comprimento da linha base do IBGE (Tabela 2). Tendo uma classificação segundo aos Padrões de Exatidão Cartográficas – PEC e do Produtos Cartográficos Digitais (PCD) classe B (Tabela 5).

O processamento pela RBMC também merece destaque, pois apresentou que os marcos vértices M01, M03 e M06 não atingiram a precisão almejada na normativa de precisões do posicionamento relativo em função do tempo e comprimento da linha base do IBGE (Tabela 2). Isto foi ocasionado pelo menor tempo de rastreamento que no caso foi de 5 minutos. Contudo, este método continua sendo o de melhor avaliação pois tem menor variação e desvio padrão comparadas a das coordenadas processadas pelo relatório geodésico do IBGE, com uma classificação segundo os Padrões de Exatidão Cartográficas - PEC e do Produtos Cartográficos Digitais (PCD) classe A para desenhos com escala de 1:1000 (Tabela 5).

Figura 18 - Dispersão da localização dos marcos vértices da poligonal fechada com período de tempo de 30 minutos em diferentes métodos de processamento.



Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se na figura 18 que há uma divergência na localização de todas as coordenadas dos marcos vértices da poligonal no pré-processamento em relação a estação geodésica oficial, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo e o posicionamento por ponto preciso.

Comparando o processamento realizado pelo relatório de estação geodésica SAT-CE-01 com os métodos de processamento em estudo obtivemos os melhores resultados em

todos os marcos vértices da poligonal com o processamento pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), com as seguintes variações e desvio padrão:

- M01 variação de +/- 0,011m no norte e +/- 0,069m no este, desvio padrão norte +/- 0,005m e desvio padrão este +/- 0,007m.
- M02 variação de +/- 0,013m no norte e +/- 0,071m no este, desvio padrão norte +/- 0,012m e desvio padrão este +/- 0,012m.
- M03 variação de +/- 0,010m no norte e +/- 0,070m no este, desvio padrão norte +/- 0,004m e desvio padrão este +/- 0,006m.
- M04 variação de +/- 0,012m no norte e +/- 0,075m no este, desvio padrão norte +/- 0,003m e desvio padrão este +/- 0,005m.
- M05 variação de +/- 0,010m no norte e +/- 0,069m no este, desvio padrão norte +/- 0,003m e desvio padrão este +/- 0,004m.
- M06 variação de +/- 0,010m no norte e +/- 0,067m no este, desvio padrão norte +/- 0,003m e desvio padrão este +/- 0,004m.

Os valores resultantes do método de posicionamento por ponto preciso (PPP) comparado com os apresentados no processamento realizado pelo relatório de estação geodésica SAT-CE-01, divergiram quanto as variações e desvio padrão, como mostra a seguir:

- M01 variação de +/- 0,054m no norte e +/- 0,106m no este, desvio padrão norte +/- 0,025m e desvio padrão este +/- 0,078m.
- M02 variação de +/- 0,014m no norte e +/- 0,297m no este, desvio padrão norte +/- 0,021m e desvio padrão este +/- 0,083m.
- M03 variação de +/- 0,120m no norte e +/- 0,042m no este, desvio padrão norte +/- 0,029m e desvio padrão este +/- 0,082m.
- M04 variação de +/- 0,018m no norte e +/- 0,112m no este, desvio padrão norte +/- 0,024m e desvio padrão este +/- 0,075m.
- M05 variação de +/- 0,050m no norte e +/- 0,096m no este, desvio padrão norte +/- 0,024m e desvio padrão este +/- 0,099m.
- M06 variação de +/- 0,007m no norte e +/- 0,072m no este, desvio padrão norte +/- 0,024m e desvio padrão este +/- 0,073m.

Portanto, cabe salientar que o método de posicionamento por ponto preciso (PPP) não está nas conformidades prevista na norma técnica por tempo do IBGE PPP (Tabela 3) devido ao período de tempo de rastreamento ser menor do que especificado na norma e o desvio padrão se maior que o esperado. Este método também não se enquadra nas normativas de

precisões do posicionamento relativo em função do tempo e comprimento da linha base do IBGE (Tabela 2).

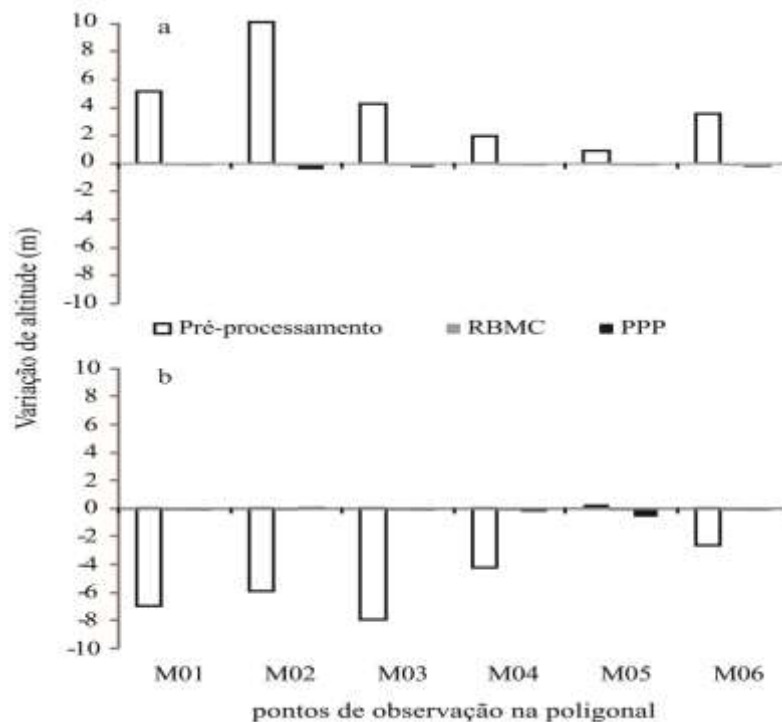
Os marcos vértices com período de tempo de 30 minutos M01, M03, M04, M05, M06 no método de processamento pela RBMC se enquadram nas normativas de precisões do posicionamento relativo em função do tempo e comprimento da linha base do IBGE (Tabela 2). Já o marco vértice M02 não obteve os valores de precisão esperada para este método. O marco vértice M02 (Figura 9) esteve em condições de campo desfavoráveis para a recepção do sinal em relação aos outros marcos vértices da poligonal. O mesmo se localizava sob uma copa de árvores onde recebeu maior interferência de multicaminhamento de ondas proveniente da refletância das folhas. O efeito do multicaminho pode produzir falhas no processamento de modo que este resolva erroneamente uma ambiguidade.

Os métodos de processamento pela RBMC e posicionamento por ponto preciso PPP se adequam aos do Padrões de Exatidão Cartográficas - PEC e do Produtos Cartográficos Digitais (PCD) na classe A (Tabela 5).

Comparando os métodos de processamento neste trabalho nos diferentes períodos de tempo de rastreamento temos que o melhor método para levantamentos topográficos relativo estático rápido e o processamento pela RBMC com período de tempo de rastreamento de 30 minutos pois foi o que apresentou melhores precisões e que se enquadrou em todas as normativas em estudos.

Na figura 19 apresentam-se as variações de altitudes dos marcos vértices nos períodos de tempo de 5 minutos e 30 minutos, nos seguintes métodos de processamento: pré-processamento, processamento pela RBMC e posicionamento por pontos preciso (PPP) que foram comparadas com as altitudes obtidas do processamento pelo relatório geodésico do IBGE.

Figura 19 - Variação de altitudes geométricas dos marcos vértices da poligonal fechada em diferentes períodos de tempo e métodos de processamento. (a) rastreo com 30 minutos. (b) rastreo com 5 minutos.



Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se que não houve desproporção nas variações de altitude geométrica apresentadas entre o processamento pela RBMC e pelo posicionamento por ponto preciso (PPP) comparadas as altitudes de referência nos dois períodos de tempo estudados neste trabalho.

Verifica-se que ocorreu maior variação da altitude geométrica no método pré-processamento comparados com as altitudes referência e as altitudes obtidas pelos métodos de processamento RBMC e posicionamento por ponto preciso (PPP). Cabe salientar que para os diferentes períodos de tempo de rastreo o gráfico se comportou de modo contrário. Rastreo de 30 minutos as altitudes variaram de 1,00m a 10,00m e para o rastreo de 5 minutos as altitudes variaram de 0,00m a -8,00m.

#### 4.2 Caminhamento sob diferentes condições de campo

Os dados experimentais obtidos em campo sob as seguintes condições: rede elétrica, copa de árvore, campo aberto e edificações. Foram submetidos à análise de variância

e as médias comparadas através do teste de Dunn em nível de 5% de probabilidade, apresentados nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Teste de Dunn para as precisões horizontais.

<b>Comparação</b>	<b>Qui Quadrado</b>	
	<b>Qt (0,05)</b>	<b>Qcal</b>
Copa de árvore vs Rede elétrica	2,39	6,063*
Copa de árvore vs Campo Aberto	2,39	9,043*
Copa de árvore vs Edificações	2,39	3,417*
Edificações vs Rede elétrica	2,39	3,036*
Edificações vs Campo Aberto	2,39	2,275**
Campo aberto vs Rede elétrica	2,39	1,936**

Fonte: Elaborada pelo autor

\*Significativo 5%

\*\*Não significativo 5%

Na Tabela 7, apresenta o teste de Dunn realizado para identificar as diferenças entre as precisões horizontais das variáveis rede elétrica, copa de árvores, campo aberto e edificações, comparando-se duas a duas. Os valores calculados na comparação entre copa de árvores e rede elétrica ( $Q_{cal} = 6,063$ ), na comparação entre copa de árvores e campo aberto ( $Q_{cal} = 9,043$ ), na comparação copa de árvores e edificações ( $Q_{cal}=3,036$ ) e na comparação edificações e rede elétrica ( $Q_{cal}=3,036$ ) foram maiores que o tabelado ( $Q_t = 2,39$ ). Pode-se afirmar, então, que a variável copa de árvores obteve diferença significativa nas precisões horizontais quando comparada as outras variáveis. O mesmo observa-se entre as variáveis edificações e rede elétrica que teve diferença significativa nas precisões.

Os valores calculados na comparação entre edificações e campo aberto ( $Q_{cal}=2,275$ ) e campo aberto e rede elétrica ( $Q_{cal}=1,936$ ) foram menores que o tabelado ( $Q_t=2,39$ ) então não teve diferença significativa entre as precisões horizontais das variáveis.

Tabela 8 - Teste de Dunn para as precisões verticais.

Comparação	Qui Quadrado	
	Qt (0,05)	Qcal
Copa de árvore vs Rede elétrica	2,39	6,671*
Copa de árvore vs Campo Aberto	2,39	7,766*
Copa de árvore vs Edificações	2,39	4,300*
Edificações vs Rede elétrica	2,39	2,970*
Edificações vs Campo Aberto	2,39	0,447**
Campo aberto vs rede elétrica	2,39	3,212*

Fonte: Elaborada pelo autor

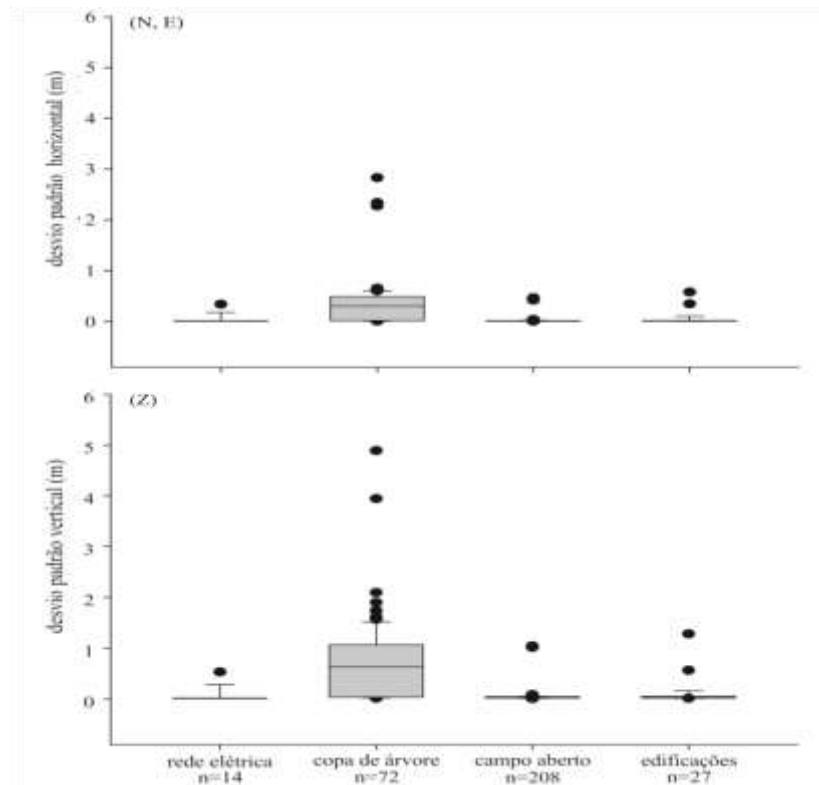
\*Significativo 5%

\*\*Não significativo 5%

Na Tabela 8, apresenta o teste de Dunn realizado para identificar as diferenças entre as precisões verticais nas variáveis rede elétrica, copa de árvores, campo aberto e edificações, comparando-se duas a duas. Os valores calculados na comparação entre copa de árvores e rede elétrica ( $Q_{cal} = 6,671$ ), na comparação entre copa de árvores e campo aberto ( $Q_{cal} = 7,766$ ), na comparação copa de árvores e edificações ( $Q_{cal}=4,300$ ), na comparação edificações e rede elétrica ( $Q_{cal}=2,970$ ) e na comparação campo aberto e rede elétrica ( $Q_{cal}=3,212$ ) foram maiores que o tabelado ( $Q_t = 2,390$ ). Pode-se afirmar, então, que a variável copa de árvores obteve diferença significativa nas precisões quando comparada as outras variáveis. Observa-se que a rede elétrica comparada a campo aberto e edificações nas precisões verticais obteve diferença significativa.

Os valores calculados na comparação entre edificações e campo aberto ( $Q_{cal}=0,447$ ) foi menor que o tabelado ( $Q_t=2,39$ ) então não teve diferença significativa entre as precisões verticais das variáveis.

Figura 20 - Variação do desvio padrão horizontal e vertical apresentados nas condições de campo.



Fonte: Elaborada pelo autor

Na figura 20 são apresentadas as variações de desvio padrão na horizontal e na vertical para os dados coletados no caminhamento sob as seguintes condições de campo: rede elétrica, copa de árvores, campo aberto e edificações.

Observa-se que a variável que apresenta menor variação do desvio padrão tanto na horizontal com na vertical e a campo aberto mesmo sendo a condição de campo com maior número de dados coletados  $n=208$ .

É possível notar que a variável que obteve maior variação do desvio padrão na horizontal e vertical foi a condição de campo copa de árvore com um número de dados coletados em campo de 72. Com o maior valor de variação na vertical variando de 0,00 a 5,00m e uma menor variação na horizontal variando 0,00 a 3,00m.

As condições rede elétrica e edificações obtiveram valores próximos de variações comparada com a condição campo aberto.

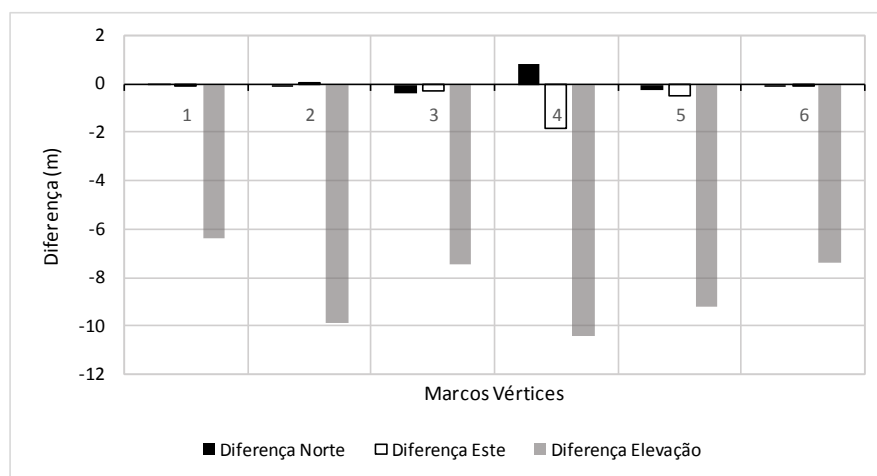
Portanto, a condição de campo que causa maior variação na horizontal e na vertical foi a copa de árvores devido à perda de sinal de rádio enviado pelo receptor base causadas pela copa das árvores mais densas e a obstrução das ondas portadoras enviados pelos satélites.



### 4.3 Interseção a vante

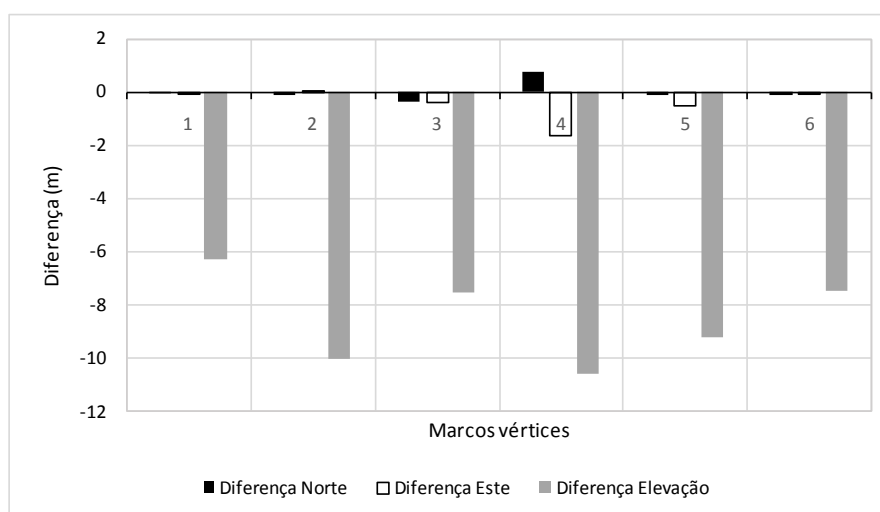
Nas figuras 21 e 22 são observados os resultados das variações entre as coordenadas convertidas em topográficas, obtidas pelo método de posicionamento relativo estático rápido com processamento pela RBMC e rastreado com intervalo de 5 e 30 minutos com as coordenadas obtidas no método de interseção a vante.

Figura 21 - Variação entre as coordenadas de interseção a vante e as coordenadas topográficas do método estático rápido com intervalo de tempo de 5 minutos.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 22 - Variação entre as coordenadas de interseção a vante e as coordenadas topográficas do método estático rápido com intervalo de tempo de 30 minutos.



Fonte: Elaborada pelo autor

Nas figuras 21 e 22 observa-se que não há diferença entre as coordenadas norte e este em comparação com as coordenadas rastreadas com 5 e 30 minutos e que a maior variação se encontra nas altitudes geométricas dos vértices nos dois intervalos de tempo variando de: -10,472 m M04 e -6,413m M01 no período de tempo de 5 minutos e -10,599 m M04 e -6,304m M01 no período de tempo 30 minutos. Além disso, o M04 foi o marco vértice que obteve a maior variação no posicionamento norte e este nos dois períodos de tempo isto devido o M04 está com uma maior distância dos marcos coordenadas de referência. Distância M04 – Coordenada referência 01: 171,971m e distância M04 – coordenada referência 02: 78,299m.

Portanto, os valores de altitudes geométricas obtidos pelo método de interseção a vante quando comparadas com as altitudes geométricas provenientes de levantamentos GNSS apresentaram maiores variações em campo. Estas variações ocorreram devido aos métodos que cada equipamento utiliza para calcular as altitudes. A estação total baseia-se na medida de distâncias horizontais e ângulos de inclinação para determinação da cota ou altitude de um ponto através de relações trigonométricas, em contraponto o receptor GNSS calcula a altitude a partir das coordenadas cartesianas convenientemente referidas ao centro do elipsóide de referência.

As distâncias em que se encontram as coordenadas referências em relação a coordenada desejada, influencia na acurácia dos posicionamentos das coordenadas topográficas. Menor distância, maior acurácia e maior distância, menor acurácia.

## 5.CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o posicionamento estático rápido com rastreamento dos marcos com 30 minutos e processamento pela RBMC, apresentou um alcance de precisão na ordem de milímetro dentre os métodos em estudo.

Quanto às comparações envolvendo as condições de campo do cinemático em tempo real (RTK), obtivemos que a condição desfavorável para o método é a copa de árvore por impedir o rastreamento do sinal GNSS e as ondas de rádio que são emitidas pelo receptor base. Que as condições rede elétrica, campo aberto e edificações são favoráveis ao levantamento cinemático em tempo real (RTK).

A condição de campo desfavorável que tem maior influência na acurácia das coordenadas GNSS é a interferência de copa de árvores pelo efeito do multicaminhamento.

As variações discrepantes das altitudes geométricas no levantamento de interseção a vante comparadas com as altitudes geométrica pelo levantamento GNSS, indicam que as altitudes divergem quando utilizamos equipamentos com metodologia de cálculo diferentes para obtenção de altitude.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 13.133 – **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos**. Rio de Janeiro: 1994.

ABNT: NBR 14.166 - **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro: 1998.

ARAÚJO, A. L.; BOSCATTO, F.; OLIVEIRA, F. H. **Precisão e acurácia de coordenadas via suavização da pseudo-distância em linhas de base curta e longa**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC), Anais... Florianópolis-SC, 07-11 de outubro 2012.

BRIONES, A.B., **Análise do posicionamento DGPS baseado nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro**, 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

CAMARGO, O. P.; MONICO, J. F. G.; FERREIRA, L. D. D. **Influência da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 5., 2000. Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: CIASC, 2000. p. 1-12.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Editora Globo. Rio Grande do Sul. 1961.

FONTE, C. M. P.; VICENTE, M.A.F. **Textos de apoio de Topografia**. Departamento de Matemática Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra.2006/2007.

FORTES, L. P. S. Especificações e normas gerais para levantamentos GPS. (versão preliminar). **Revista do geoprocessamento**. Curitiba, n. 05, p. 31 – 34, 1994.

GAMA, L. F. **Experimentos e análises metodológicas do desempenho de estruturas geodésicas planimétricas implantadas com GPS e estação total: aplicações em levantamentos cadastrais urbanos**.2008. 154p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

GARNÉS, S. J. A (2001). **Resolução das ambigüidades GPS para linhas de base curta: análise dos algoritmos de otimização**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) –Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001. 204 P.

HÄBLER, J.; WACHSMUTH. **Vermessungs beruf**. 1984.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER H. & COLLINS J. **Global position system: theory and practice**. New York: Springer-Verlag Wien 1994. 355p

HOFMANN-WELLENHOF, B; LEGAT, K.; WIESER, M. **Navigation principles of positioning and guidance**. Wien: Springer-Verlag, 2003, 427 p

IGN – Instituto Geográfico Nacional (Espanña) – Curso GPS en Geodesia y Cartografia

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) **Banco de Dados de Geodésicos** <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sgb.shtm>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) **Recomendações para Levantamentos Relativo Estático – GPS**, 2008, 21p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP**, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia, dezembro 2013

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. 2ª edição, Brasília, 2010, 86p.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin. 1988. Ed. de Gruyter.

LANGLEY, R. B. **RTK GPS**, *GPS World*, p. 70 – 76, September 1998.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004. 435 p.

MONICO, J. F. Galera. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. Editora UNESP – São Paulo. 2000.

MONICO, J.F.G., **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações – 2.ed – São Paulo: Editora UNESP, 2008, 473 p.**

MOREIRA, A. L. L. **Precisão do posicionamento RTK usando correções diferenciais transmitidas pelo sistema NTRIP (RBMC-IP)**. 2011. 92 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS

MUNDOGEO. **Primeiro satélite GPS do bloco modernizado IIF entra em operação**. 2010. In: Portal Mundo Geo. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2010/08/31> Acesso em: 01 junho 2016.

**Normas Técnicas da Cartografia Nacional** DECRETO LEI nº 89.917 de 20 de junho de 1984.

**Normas Técnicas da Cartografia Nacional** (Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984) <http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8>

PENÃ, J. S. **La Intersección Inversa: Método Geométrico, Topográfico Y Cartográfico**. XIV Congreso Internacional de Ingenieria Grafica, Santander, Espana – 5-7 junio de 2002.

PESSOA, L. M. C. GPS Rápido-estático: eficiência em levantamentos topográficos. Fator GIS **Revista de geoprocessamento**. Ed. Sagres, Curitiba - PR, n 16, p30.,1996.

PINTO, J. R. M. **Potencialidades do uso do GPS em obras de engenharia.** 2000. 161 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP

PINTO, L.E.K. **Curso de Topografia.** Centro Editorial e Didático da UFBA. 2º edição. Salvador. 1992.

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

RAMOS, F. F.; RODRIGUES, D. D.; R. J. O Andrade. **Avaliação da Precisão de Posicionamentos por Interseção Angular a Ré.** II Simpósio Brasileiro de Geomática Presidente Prudente - SP, 24-27 de julho de 2007 V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. P. 263-268.

RTCM STANDARD 10402.3, **Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service version 2.3,** Alexandria, U.S.A.2001.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy.** 2.ed. Berlin: Walter de Gruyter.,2003. 589p.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications.** Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993, 192p.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS – Sistema de posicionamento global.** Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 1998. 181p.

SEGANTINE, P.C.L. **Sistema de Posicionamento Global - GPS.** São Carlos. Editora da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2002. 316 p.

SILVA, A.G. O.; AZEVEDO, V.W. B.; SEIXAS, A. **Métodos de Levantamentos Topográficos Planimétricos para o Georreferenciamento de imóveis rurais.** Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande. 939-948 P. 2006.

SOUZA, G.C. **Análise de Metodologia no Levantamento de dados Espaciais para o Cadastro Urbano.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos – USP.122 P. 2001.

SOUZA, G.C.; ERBA, D.A.; SILVA, C.A.U.; VERONEZ, M.R.; LEANDRO, R.V.; MAIA, T.C.B. **TOPOGRAFIA para Estudantes de Arquitetura, Engenharia e Geologia.** Editora Unisinos – São Leopoldo. Rio Grande do Sul. 2005.

STEWART, M. (2001). **Quality control for RTK GPS surveying.** Perth, 2001. 30 f. Academic lecture (GPS/Geodesy) – Department of Spatial Sciences, Curtin University.

TOPCON. **Manual de referência software de compatibilidade de dados topcon tools.** Japão, 2004. 185p.

VEIGA, L.A.K.; ZANETTI,M.A.Z.; FAGGION,P.L. **Fundamentos de Topografia.** 2007.

WERLICH, R. M. C.; NARDEZ, N. N.; VISKI, A. R.; KRUEGER, C. P. **Análise da precisão de equipamentos geodésicos na determinação de distancias curtas.** IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Anais... Recife-PE, 06-09 de Maio de 2012.

WILLGALIS, S.; SEEBER, G.; KRUEGER, C. P.; ROMÃO, V. M. C. (2002). **A real time reference network for Recife, Brazil, enabling precise and reliable cadastral surveys.** In: FIG XXII INTERNATIONAL CONGRESS, 2002, Washington, D.C. USA. **Presented paper**, p. 1-14.

WOLF, P. R. **Surveying and mapping: history, current status and future projections.** Páginas 163 a 191 do livro Perspectives in Civil Engineering: Commemorating the 150th Anniversary of the American Society of Civil Engineers. Editado por American Society of Civil Engineers, 2003.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D.: **Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics.** 3th. New York: John Wiley & Sons Inc., 2006. 564p.

## ANEXO A – RELATÓRIO ESTAÇÃO GEODÉSICA SAT-CE-01 (90098)



### Relatório de Estação Geodésica

Estação :	90098	Nome da Estação :	CE-01	Tipo :	Estação GPS
Município :	FORTALEZA				UF : CE
Última Visita:	08/04/2011	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	RN : 9523U				

DADOS PLANIALTIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS	
Latitude	03 ° 44 ' 44,6431 " S	Altitude Ortométrica(m)	22,1212	Gravidade(mGal)	
Longitude	38 ° 34 ' 55,6420 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Datum	
Altitude Geométrica(m)	12,980	Sigma Altitude(m)	(#)	Data Medição	
Fonte	GPS Geodésico	Datum	Imbituba	Data Cálculo	
Origem	Ajustada	Data Medição	18/02/1991		
Datum	SIRGAS2000	Data Cálculo	15/06/2011		
Data Medição	26/08/1997				
Data Cálculo	23/11/2004				
Sigma Latitude(m)	0,005				
Sigma Longitude(m)	0,024				
Sigma Altitude Geométrica(m)	0,016				
UTM(N)	9.585.966,855				
UTM(E)	546.401,014				
MC	-39				

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em [ftp://geoflp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf](http://geoflp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/relatorioajustamento.pdf)
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [ftp://geoflp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel\\_sirgas2000.pdf](http://geoflp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/rel_sirgas2000.pdf)
- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo\\_geoidal.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtml)
- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015.

#### Localização

No Campus da Universidade Federal do Ceará, em terreno da antiga Escola de Agronomia, 33 m a Leste do prédio da Estação Meteorológica, dentro de um pequeno cercado de arame liso.

#### Descrição

Tronco de pirâmide de concreto, salientando-se uns 0,20 m acima do nível do solo e estampada SAT-CE-01 (1976). Possui marco de profundidade.

#### (#) Nota :

A Referência de Nível (RN) 9523U pertence a um ramal, isto é, uma linha de nivelamento geométrico que não forma circuito, cujos desníveis, portanto, não podem ser ajustados. Conseqüentemente, as respectivas altitudes são calculadas mediante simples transporte, sem as estimativas de desvio-padrão.

#### Foto(s) :



Fonte: IBGE - Banco de Dados de Geodésicos



**ANEXO B – DADOS BRUTOS E RINEX COLETADOS COM RECEPTOR GNSS  
COM PERÍODOS DE 5 E 30 MINUTOS.**

<b>Dados com 5 minutos</b>				
<b>Pontos</b>	<b>Dados Bruto</b>		<b>Dados Rinex</b>	
<b>M01</b>	160291154M.HCN	160291154M.16N	160291154M.16O	160291154M.16G
<b>M02</b>	160291154c.HCN	160291154c.16N	160291154c.16O	160291154c.16G
<b>M03</b>	160309154M.HCN	160309154M.16N	160309154M.16O	160309154M.16G
<b>M04</b>	160309154B.HCN	160309154B.16N	160309154B.16O	160309154B.16G
<b>M05</b>	160291154O.HCN	160291154O.16N	160291154O.16O	160291154O.16G
<b>M06</b>	160291154b.HCN	160291154b.16N	160291154b.16O	160291154b.16G
<b>Dados com 30 minutos</b>				
<b>Pontos</b>	<b>Dados Bruto</b>		<b>Dados Rinex</b>	
<b>M01</b>	916019154N.HCN	916019154N.16N	916019154N.16O	916019154N.16G
<b>M02</b>	916019154M.HCN	916019154M.16N	916019154M.16O	916019154M.16G
<b>M03</b>	160309154A.HCN	160309154A.16N	160309154A.16O	160309154A.16G
<b>M04</b>	160309154N.HCN	160309154N.16N	160309154N.16O	160309154N.16G
<b>M05</b>	160291154a.HCN	160291154a.16N	160291154a.16O	160291154a.16G
<b>M06</b>	160291154N.HCN	160291154N.16N	160291154N.16O	160291154N.16G

Fonte: Elaborada pelo autor