

MANUAL TÉCNICO DE POSICIONAMENTO

Georreferenciamento de Imóveis Rurais

1ª Edição



Brasília

2013



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO
INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA
Diretoria de Ordenamento da Estrutura Fundiária
Coordenação Geral de Cartografia

Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais

1ª Edição

Brasília
2013

DILMA VANA ROUSSEFF
Presidente da República

GILBERTO JOSÉ SPIER VARGAS
Ministro do Desenvolvimento Agrário

CARLOS MÁRIO GUEDES DE GUEDES
Presidente do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

RICHARD MARTINS TORSIANO
Diretor de Ordenamento da Estrutura Fundiária

WILSON SILVA JÚNIOR
Coordenador Geral de Cartografia

EQUIPE RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO:

ACILAYNE FREITAS DE AQUINO
Analista em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Engenheira Agrimensora

AILTON CARDOSO TRINDADE
Técnico em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Técnico em Agrimensura

DÉRISSON LISBÔA NOGUEIRA
Analista em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Engenheiro Agrimensor

HELIOMAR VASCONCELOS
Analista em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Engenheiro Agrimensor

KILDER JOSÉ BARBOSA
Analista em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Engenheiro Agrimensor

MARCELO JOSÉ PEREIRA DA CUNHA
Analista em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Engenheiro Agrimensor

MIGUEL PEDRO DA SILVA NETO
Analista em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Engenheiro Cartógrafo

OSCAR OSÉIAS DE OLIVEIRA
Analista em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Engenheiro Agrimensor

ROBERTO NERES QUIRINO DE OLIVEIRA
Analista em Reforma e Desenvolvimento Agrário – Engenheiro Cartógrafo

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| LISTA DE SIGLAS | iii |
| LISTA DE FIGURAS..... | iv |
| LISTA DE QUADROS | v |
| 1 INTRODUÇÃO | 6 |
| 2 POSICIONAMENTO POR GNSS | 7 |
| 2.1 Posicionamento relativo..... | 7 |
| 2.1.1 Posicionamento relativo estático | 8 |
| 2.1.2 Posicionamento relativo estático-rápido | 9 |
| 2.1.3 Posicionamento relativo semicinemático (<i>stop and go</i>)..... | 9 |
| 2.1.4 Posicionamento relativo cinemático..... | 9 |
| 2.1.5 Posicionamento relativo a partir do código C/A | 10 |
| 2.2 RTK e DGPS | 10 |
| 2.2.1 RTK convencional..... | 10 |
| 2.2.2 RTK em rede | 11 |
| 2.2.3 <i>Differential GPS</i> (DGPS) | 13 |
| 2.3 Posicionamento por ponto preciso (PPP) | 13 |
| 3 POSICIONAMENTO POR TOPOGRAFIA CLÁSSICA..... | 14 |
| 3.1 Poligonação | 14 |
| 3.2 Triangulação | 16 |
| 3.3 Trilateração | 16 |
| 3.4 Triangulateração..... | 16 |
| 3.5 Irradiação..... | 17 |
| 3.6 Interseção linear..... | 18 |
| 3.7 Interseção angular..... | 19 |
| 3.8 Alinhamento | 19 |
| 4 POSICIONAMENTO POR GEOMETRIA ANALÍTICA | 21 |
| 4.1 Paralela..... | 21 |
| 4.2 Interseção de retas..... | 21 |
| 5 POSICIONAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO | 23 |
| 6 BASE CARTOGRÁFICA | 24 |
| 7 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO | 25 |

| | | |
|-----|--|----|
| 7.1 | Vértices de apoio..... | 25 |
| 7.2 | Vértices de limite..... | 25 |
| 8 | MÉTODOS DE POSICIONAMENTO E TIPOS DE VÉRTICES..... | 27 |
| 9 | CÁLCULOS..... | 28 |
| 9.1 | Conversão de coordenadas cartesianas geocêntricas para locais..... | 28 |
| 9.2 | Conversão de coordenadas cartesianas locais para geocêntricas..... | 29 |
| 9.3 | Área..... | 30 |
| 9.4 | Distância horizontal..... | 31 |
| 9.5 | Azimute..... | 31 |
| 10 | GUARDA DE PEÇAS TÉCNICAS E DOCUMENTAÇÃO..... | 32 |
| | REFERÊNCIAS..... | 33 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

C/A – *Course Aquisition*

CNSS – *China's Compass Navigation Satellite System*

DGPS – *Differential GPS*

EGNOS – *European Geostationary Navigation Overlay System*

GBAS – *Ground Based Augmentation System*

GLONASS – *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NAVSTAR-GPS – *NAVigation System with Timing And Ranging - Global Positioning System*

NTGIR – Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais

NTRIP – *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*

PPP – Posicionamento por Ponto Preciso

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS

RIBaC – Rede INCRA de Bases Comunitárias do GNSS

RTCM – *Radio Technical Commission for Maritime Services*

RTK – *Real Time Kinematic*

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

WAAS – *Wide Area Augmentation System*

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Posicionamento relativo | 8 |
| Figura 2 – RTK convencional..... | 11 |
| Figura 3 – RTK em rede | 12 |
| Figura 4 – Poligonal “tipo 1” | 15 |
| Figura 5 – Poligonal “tipo 2” | 15 |
| Figura 6 – Poligonal “tipo 3” | 15 |
| Figura 7 – Triangulação..... | 16 |
| Figura 8 – Trilateração..... | 16 |
| Figura 9 – Triangulateração..... | 17 |
| Figura 10 – Irradiação observando ângulo e distância..... | 17 |
| Figura 11 – Irradiação observando azimute e distância | 18 |
| Figura 12 – Irradiação com observações redundantes..... | 18 |
| Figura 13 – Interseção linear..... | 19 |
| Figura 14 – Interseção angular | 19 |
| Figura 15 – Alinhamento | 20 |
| Figura 16 – Paralela | 21 |
| Figura 17 – Três possibilidades de interseção de retas..... | 22 |
| Figura 18 – Sistema Geodésico Local e Sistema Geocêntrico | 30 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Características técnicas para posicionamento relativo estático | 9 |
| Quadro 2 – Métodos de posicionamento para vértices de apoio..... | 25 |
| Quadro 3 – Métodos de posicionamento para vértices de limite..... | 26 |
| Quadro 4 – Métodos de posicionamento e tipos de vértices | 27 |

1 INTRODUÇÃO

Este documento juntamente com o Manual Técnico de Limites e Confrontações e a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR) 3ª Edição, formam o novo conjunto de normas para execução dos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais.

Em comparação com as edições anteriores da NTGIR, este manual traz mudanças significativas, dentre elas podemos destacar a possibilidade de utilização de novos métodos de posicionamento; menor detalhamento de especificações técnicas (atribuindo esta tarefa ao credenciado); utilização do Sistema Geodésico Local (SGL) para o cálculo de área; apresenta a formulação matemática para cálculos utilizando topografia clássica e amplia a possibilidade de utilização de métodos de posicionamento por sensoriamento remoto.

Nos capítulos de 2 a 5 estão descritos os métodos de posicionamento que podem ser usados nos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais, o capítulo 6 traz a possibilidade de obtenção de coordenadas a partir de bases cartográficas. O capítulo 7 estabelece quais métodos podem ser aplicados no posicionamento de vértices de limite e vértices de apoio e o capítulo 8 estabelece a compatibilidade entre métodos de posicionamento e tipos de vértices. O capítulo 9 detalha formulações matemáticas para conversão de coordenadas geocêntricas para locais, bem como o cálculo das grandezas área, distância e azimute. Por fim, o capítulo 10 salienta que é fundamental a guarda de todo material que subsidiou a obtenção das coordenadas e das precisões dos vértices.

2 POSICIONAMENTO POR GNSS

A sigla GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é uma denominação genérica que contempla sistemas de navegação com cobertura global, além de uma série de infraestruturas espaciais (SBAS – *Satellite Based Augmentation System*) e terrestre (GBAS – *Ground Based Augmentation System*) que associadas aos sistemas proporcionam maior precisão e confiabilidade.

Dentre os sistemas englobados pelo GNSS podemos citar:

- a) NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System*), mais conhecido como GPS. Sistema norte-americano;
- b) GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*). Sistema russo;
- c) Galileu. Sistema europeu;
- d) Compass/Beidou (*China's Compass Navigation Satellite System – CNSS*). Sistema chinês.

Em relação ao SBAS temos os seguintes exemplos:

- a) WAAS (*Wide Area Augmentation System*). Sistema norte americano;
- b) EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*). Sistema europeu.

O posicionamento por GNSS pode ser realizado por diferentes métodos e procedimentos. Neste documento serão abordados apenas aqueles que proporcionam precisão adequada para serviços de georreferenciamento de imóveis rurais, tanto para o estabelecimento de vértices de referência, quanto para o posicionamento de vértices de limites (artificiais e naturais).

Nos próximos tópicos é feita uma breve descrição sobre cada um dos métodos de posicionamento por GNSS, aplicados aos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais.

2.1 POSICIONAMENTO RELATIVO

No posicionamento relativo, as coordenadas do vértice de interesse são determinadas a partir de um ou mais vértices de coordenadas conhecidas. Neste caso é necessário que dois ou mais receptores GNSS colem dados

simultaneamente, onde ao menos um dos receptores ocupe um vértice de referência (Figura 1).

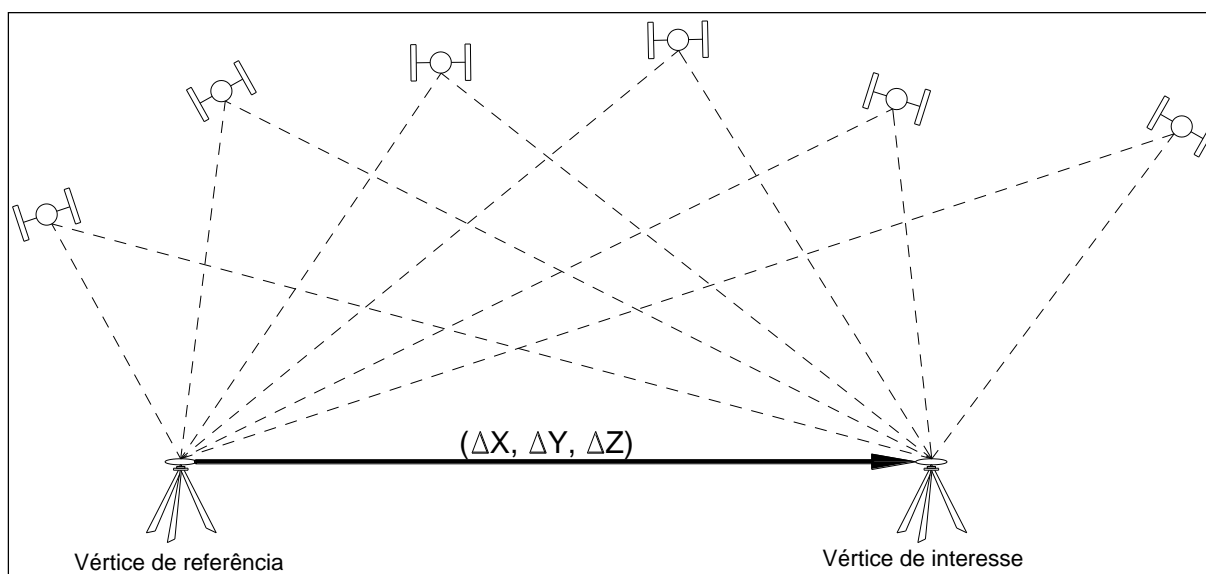


Figura 1 – Posicionamento relativo

No posicionamento relativo podem se usar as observáveis: fase da onda portadora, pseudodistância ou as duas em conjunto. Sendo que a fase da onda portadora proporciona melhor precisão e por isso ela é a única observável aceita na determinação de coordenadas de vértices de apoio e vértices situados em limites artificiais. O posicionamento relativo utilizando a observável pseudodistância só é permitido para a determinação de coordenadas de vértices situados em limites naturais.

Pelo fato de haver várias possibilidades de se executar um posicionamento relativo usando a observável fase da onda portadora, neste documento este tipo de posicionamento foi subdividido em quatro grupos: estático, estático-rápido, semicinemático e cinemático. O posicionamento relativo usando a observável pseudodistância foi tratado como posicionamento relativo a partir do código C/A.

2.1.1 Posicionamento relativo estático

No posicionamento relativo estático, tanto o(s) receptor(es) do(s) vértice(s) de referência quanto o(s) receptor(es) do(s) vértice(s) de interesse devem permanecer estacionados (estáticos) durante todo o levantamento. Neste método, a sessão de rastreamento se estende por um longo período. Recomenda-se observar os valores constantes no Quadro 1.

Quadro 1 – Características técnicas para posicionamento relativo estático

| Linha de Base (km) | Tempo Mínimo (minutos) | Observáveis | Solução da Ambiguidade | Efemérides |
|--------------------|------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|
| 0 – 10 | 20 | L1 ou L1/L2 | Fixa | Transmitidas ou Precisas |
| 10 – 20 | 30 | L1/L2 | Fixa | Transmitidas ou Precisas |
| 10 – 20 | 60 | L1 | Fixa | Transmitidas ou Precisas |
| 20 – 100 | 120 | L1/L2 | Fixa ou Flutuante | Transmitidas ou Precisas |
| 100 – 500 | 240 | L1/L2 | Fixa ou Flutuante | Precisas |
| 500 – 1000 | 480 | L1/L2 | Fixa ou Flutuante | Precisas |

2.1.2 Posicionamento relativo estático-rápido

O posicionamento relativo estático-rápido é similar ao relativo estático, porém, a diferença básica é a duração da sessão de rastreamento, que neste caso, em geral é inferior a 20 minutos.

Por não haver necessidade de manter o receptor coletando dados no deslocamento entre os vértices de interesse, esse método é uma alternativa para os casos onde ocorram obstruções no intervalo entre os vértices de interesse.

2.1.3 Posicionamento relativo semicinemático (*stop and go*)

Este método de posicionamento é uma transição entre o estático-rápido e o cinemático. O receptor que ocupa o vértice de interesse permanece estático, porém num tempo de ocupação bastante curto, necessitando coletar dados no deslocamento entre um vértice de interesse e outro. Quanto maior a duração da sessão de levantamento com a coleta de dados íntegros, sem perdas de ciclos, melhor a precisão na determinação de coordenadas.

Como é necessário coletar dados no deslocamento entre os vértices de interesse, este método não deve ser usado em locais que possuam muitas obstruções. Como os limites de imóveis rurais geralmente estão situados em locais nessas condições, os profissionais devem ficar atentos quanto à utilização deste método, pois os resultados em termos de precisão podem estar fora dos padrões estabelecidos na NTGIR 3ª Edição.

2.1.4 Posicionamento relativo cinemático

No posicionamento relativo cinemático, enquanto um ou mais receptores estão estacionados no(s) vértice(s) de referência, o(s) receptor(es) que coleta(m) dados dos vértices de interesse permanece(m) em movimento. A cada instante de

observação, que coincide com o intervalo de gravação, é determinado um conjunto de coordenadas.

Este método é apropriado para o levantamento de limites de imóveis definidos por feições lineares com muita sinuosidade, porém a sua utilização em locais com muitas obstruções é limitada, conforme descrito para o método semicinemático.

2.1.5 Posicionamento relativo a partir do código C/A

Os diferentes métodos de posicionamento relativo apresentados anteriormente pressupõem a utilização da observável fase da onda portadora. O método contemplado neste tópico refere-se ao posicionamento relativo com a utilização da observável pseudodistância a partir do código C/A e a disponibilidade de coordenadas se dá por meio de pós-processamento.

Neste método também há necessidade de um ou mais receptores ocuparem vértices de coordenadas conhecidas enquanto outro(s) coleta(m) dados dos vértices de interesse. Devido a menor precisão proporcionada pela pseudodistância a partir do código C/A, este método não é adequado para a determinação de coordenadas de vértices situados em limites artificiais, sendo aceito apenas na determinação de limites naturais, desde que se alcance valor de precisão dentro dos padrões estabelecidos na NTGIR 3ª Edição.

2.2 RTK E DGPS

O conceito de posicionamento pelo RTK (*Real Time Kinematic*) e DGPS (*Differential GPS*) baseia-se na transmissão instantânea de dados de correções dos sinais de satélites, do(s) receptor(es) instalado(s) no(s) vértice(s) de referência ao(s) receptor(es) que percorre(m) os vértices de interesse. Desta forma, proporciona o conhecimento instantâneo (tempo real) de coordenadas precisas dos vértices levantados.

2.2.1 RTK convencional

No modo convencional os dados de correção são transmitidos por meio de um link de rádio do receptor instalado no vértice de referência ao(s) receptore(s) que percorre(m) os vértices de interesse. A solução encontrada é uma linha de base única, conforme Figura 2.

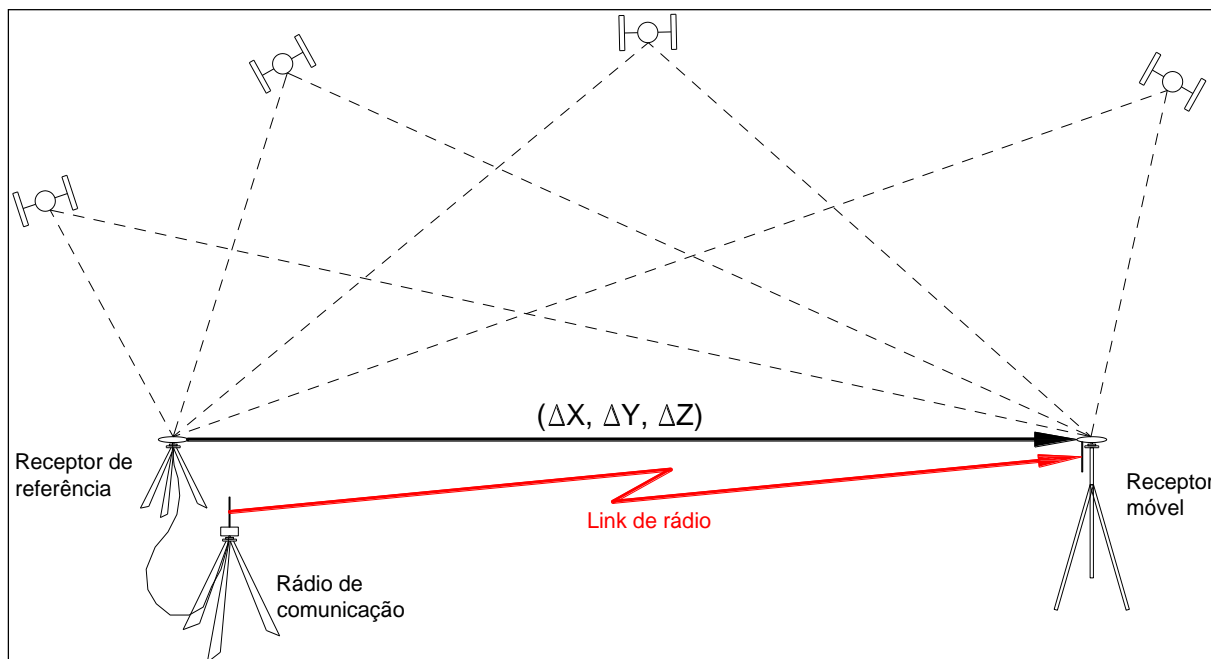


Figura 2 – RTK convencional

Um fator que limita a área de abrangência para a realização de levantamentos por RTK convencional é o alcance de transmissão das ondas de rádio. Basicamente, o alcance máximo é definido em função da potência do rádio e das condições locais em termos de obstáculos físicos.

A utilização deste método, para determinação de limites artificiais, está condicionada a solução do vetor das ambiguidades como inteiro (solução fixa).

2.2.2 RTK em rede

No RTK em rede, ao invés de apenas uma estação de referência, existem várias estações de monitoramento contínuo conectadas a um servidor central, a partir do qual são distribuídos, por meio da Internet, os dados de correção aos receptores móveis, conforme ilustrado na Figura 3.

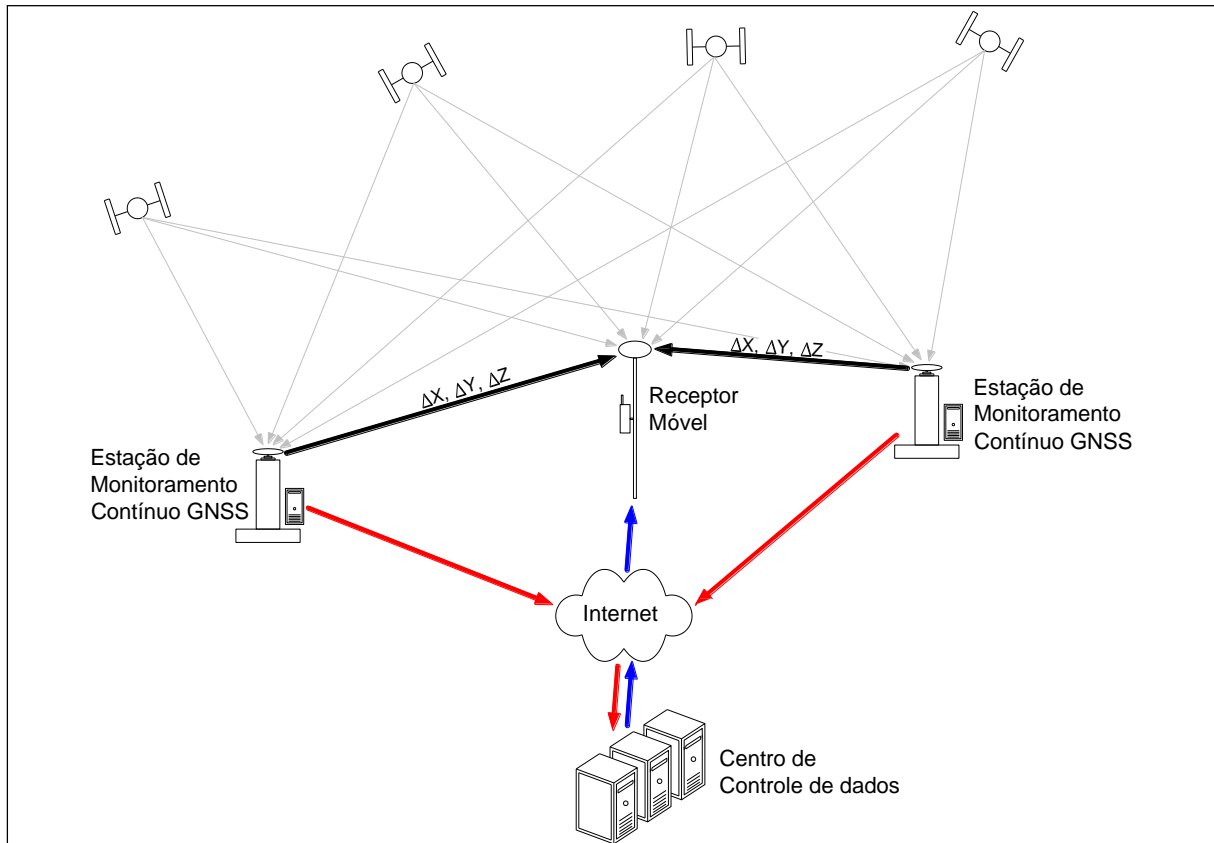


Figura 3 – RTK em rede

Com este método de posicionamento é possível obter mais de um vetor, dependendo do número de estações de referência envolvidas, e com isso efetuar o ajustamento das observações, proporcionando maior precisão e controle.

Essa tecnologia se difundiu pela disponibilidade de telefonia celular, do tipo GSM, GPRS e 3G. A limitação de aplicação dessa tecnologia é a disponibilidade de serviços de telefonia celular na área de trabalho, situação comum nas áreas rurais brasileiras.

Um serviço de RTK em rede é fornecido gratuitamente pelo IBGE, que disponibiliza dados de correção via protocolo Internet conhecido por *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP), em formato definido pelo *Radio Technical Committee for Maritime Service* (RTCM). A possibilidade de se efetuar posicionamento relativo cinemático em tempo real, a partir desse serviço, fica restrita a locais situados próximos às estações de referência da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), que disponibilizam esse serviço. Mais informações em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/>.

2.2.3 Differential GPS (DGPS)

O DGPS tem fundamento análogo ao RTK, porém a observável usada é a pseudodistância a partir do código C/A. Portanto, este método provê precisão inferior ao RTK e sua aplicação nos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais fica restrita ao posicionamento dos vértices situados em limites naturais. O mesmo serviço citado no item 2.2.2 é disponibilizado para o DGPS.

2.3 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO (PPP)

Com o posicionamento por ponto preciso, as coordenadas do vértice de interesse são determinadas de forma absoluta, portanto, dispensa o uso de receptor instalado sobre um vértice de coordenadas conhecidas.

O IBGE disponibiliza um serviço on-line de PPP que processa dados no modo estático e cinemático em <http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>.

3 POSICIONAMENTO POR TOPOGRAFIA CLÁSSICA

A topografia clássica pode ser adotada de forma isolada ou em complemento a trabalhos conduzidos por posicionamento GNSS, principalmente onde este é inviável, em função de obstruções físicas que prejudicam a propagação de sinais de satélites.

Os posicionamentos executados pelos métodos poligonação, triangulação, trilateração e triangulateração, devem permitir o tratamento estatístico das observações pelo método dos mínimos quadrados. Portanto, eles devem contemplar observações redundantes, ou seja, o número de observações deve ser superior ao número de incógnitas.

Para atender ao disposto no parágrafo anterior, os posicionamentos deverão se apoiar em, no mínimo, quatro vértices de referência, sendo dois vértices de “partida” e dois de “chegada”, com exceção da poligonal do “tipo 1”, que se apoia em apenas dois vértices. Pela praticidade, os vértices de referência devem ter suas coordenadas determinadas por meio de posicionamento por GNSS.

A triangulação, trilateração e triangulateração são alternativas para serem usadas no estabelecimento de vértices de referência, a partir dos quais se determina as coordenadas dos vértices de limite, por irradiação, interseção linear ou interseção angular.

Nos próximos tópicos é feita uma breve descrição sobre cada um dos métodos de posicionamento por topografia clássica, aplicados aos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais. Nas figuras de 4 a 17, a cor vermelha representa os valores observados e a cor preta os valores conhecidos.

3.1 POLIGONAÇÃO

A poligonação se baseia na observação de direções e distâncias entre vértices consecutivos de uma poligonal. A coleta de dados é realizada com a instalação de um equipamento de medição sobre um dos vértices da poligonal, deste, é observada a direção em relação ao vértice anterior (vértice “ré”), a direção ao vértice posterior (vértice “vante”) e as distâncias entre os vértices.

Nos trabalhos de georreferenciamento de imóveis rurais poderá ser usado um dos três tipos de poligonais previstos no item 6.5.1 da Norma NBR 13.133/1.994 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). As figuras 4, 5 e 6 ilustram os tipos de poligonais.

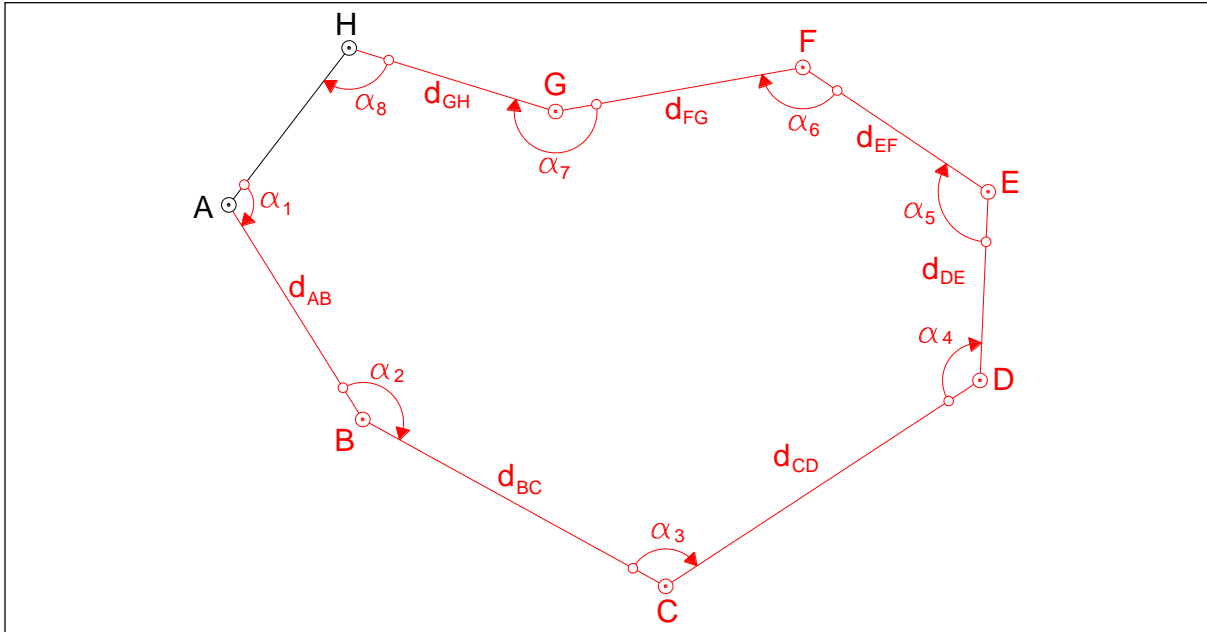


Figura 4 – Poligonal “tipo 1”

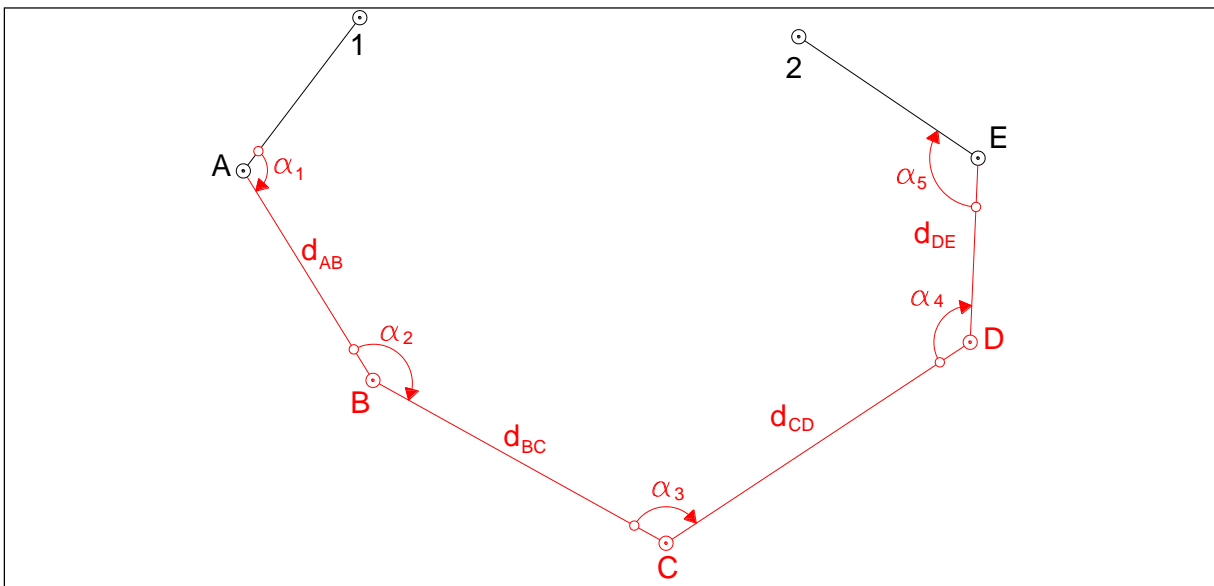


Figura 5 – Poligonal “tipo 2”

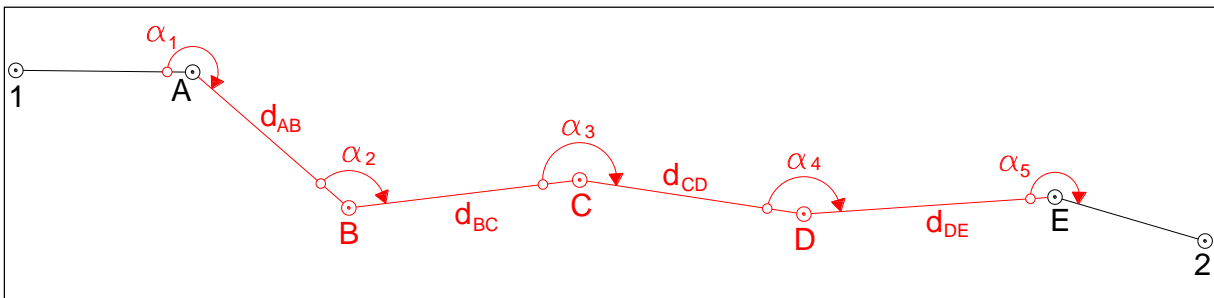


Figura 6 – Poligonal “tipo 3”

3.2 TRIANGULAÇÃO

A determinação de coordenadas, a partir do método da triangulação, é obtida por meio da observação de ângulos formados entre os alinhamentos de vértices intervisíveis de uma rede de triângulos (Figura 7).

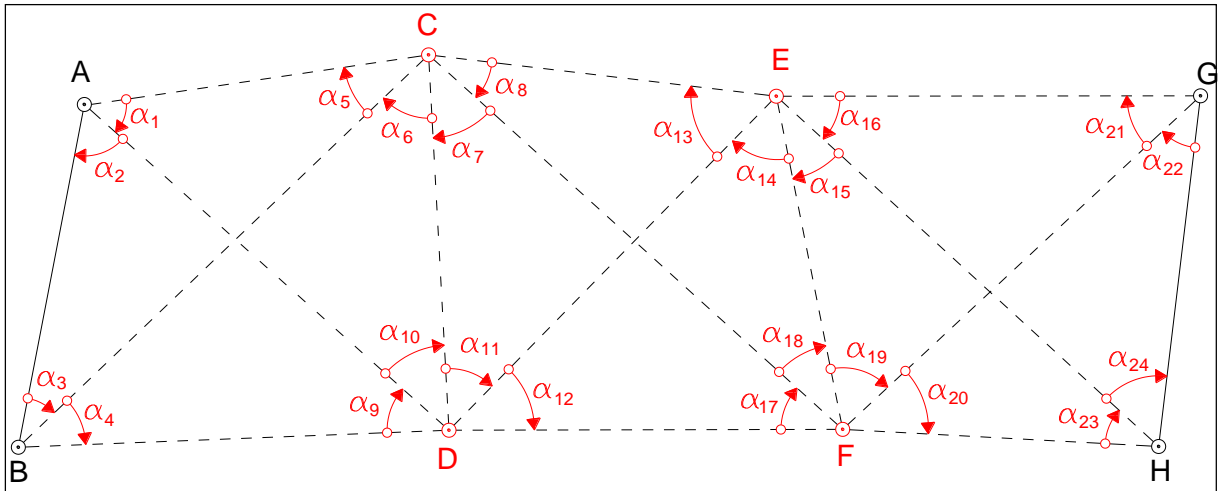


Figura 7 – Triangulação

3.3 TRILATERAÇÃO

O posicionamento por meio da trilateração é baseado na observação de distâncias entre os vértices intervisíveis de uma rede de triângulos (Figura 8).

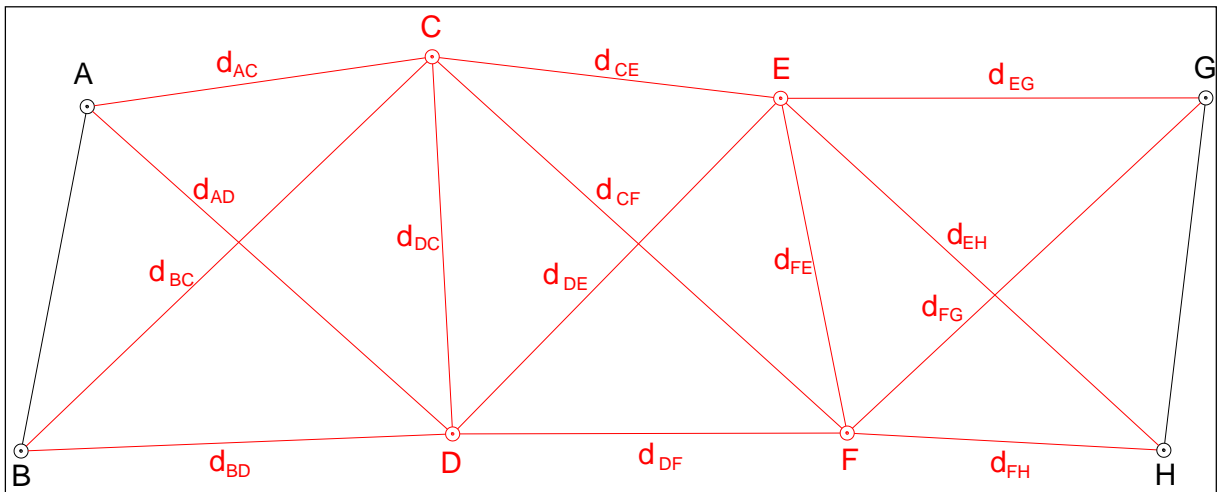


Figura 8 – Trilateração

3.4 TRIANGULATERAÇÃO

Na triangulateração são observados ângulos e distâncias entre os vértices intervisíveis de uma rede de triângulos (Figura 9).

Em função da praticidade em se medir distâncias e ângulos com estações totais, aliada à possibilidade de processamento automatizado de um grande volume de dados, a triangulateração, quando comparada com a trilateração e triangulação, se destaca por possibilitar uma melhor precisão e melhor análise estatística das observações e das coordenadas, tendo em vista o elevado número de observações redundantes.

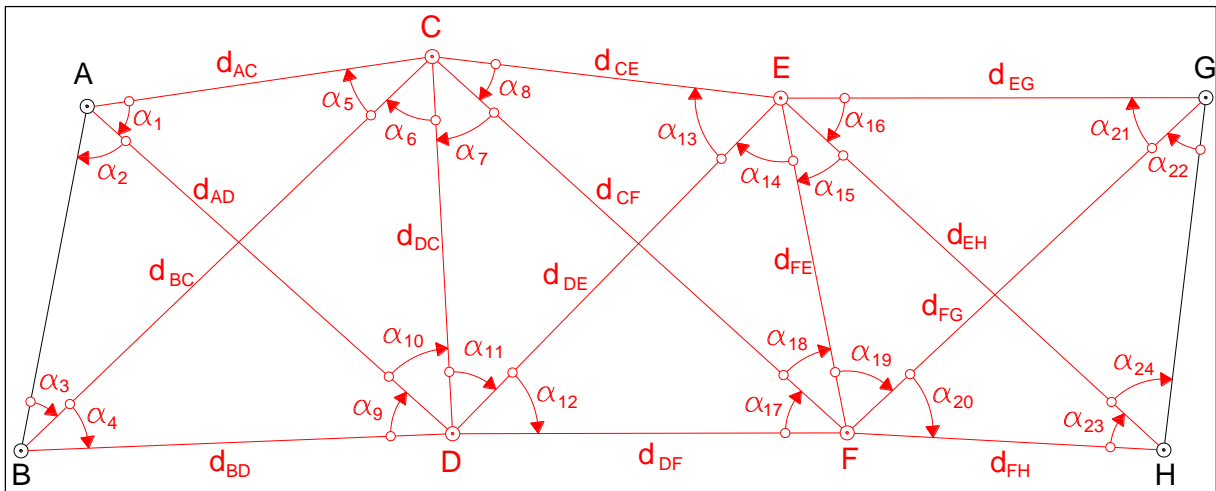


Figura 9 – Triangulateração

3.5 IRRADIAÇÃO

O método da irradiação se baseia na determinação de coordenadas a partir da observação de ângulos e distâncias ou azimutes e distâncias.

A determinação de coordenadas do ponto de interesse é realizada a partir da observação da distância entre um dos vértices conhecidos até o vértice de interesse, bem como do ângulo formado entre o alinhamento do vértice de interesse e o alinhamento dos vértices conhecidos (Figura 10).

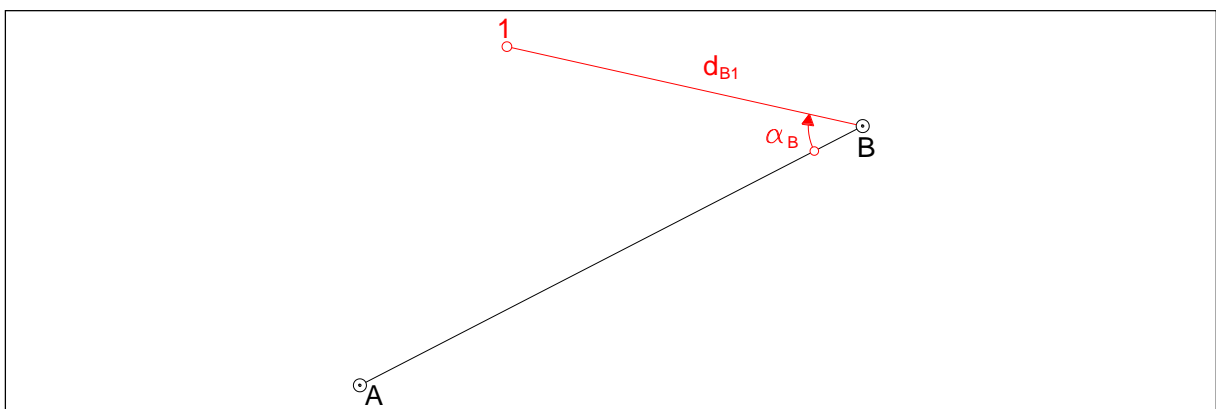


Figura 10 – Irradiação observando ângulo e distância

Também pode ser realizada a determinação por irradiação nos casos em que se observa diretamente o azimuth da direção estabelecida entre o vértice conhecido e o vértice de interesse (Figura 11).

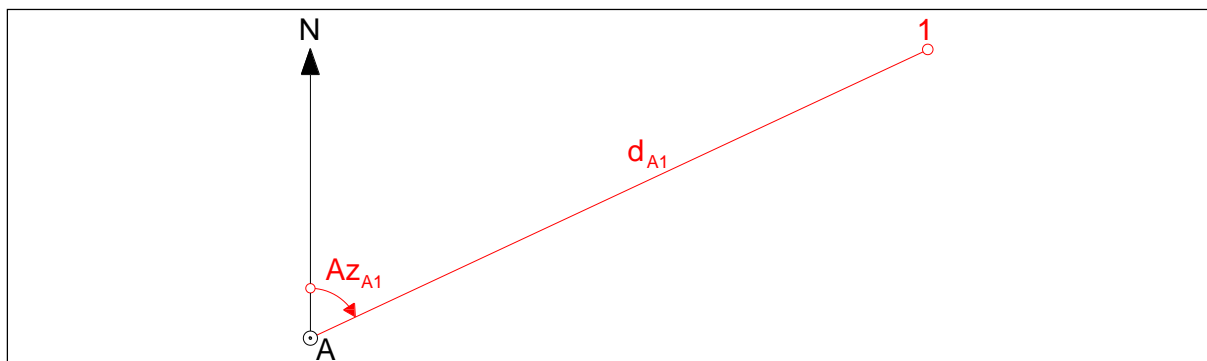


Figura 11 – Irradiação observando azimuth e distância

Os vértices de coordenadas conhecidas podem ser os vértices de apoio à topografia clássica ou vértices de desenvolvimento de poligonais, triangulações, trilaterações e triangulaterações. Quando for possível é aconselhável que o vértice de interesse seja "irradiado" de mais de um vértice de referência, permitindo assim o ajustamento de observações (Figura 12).

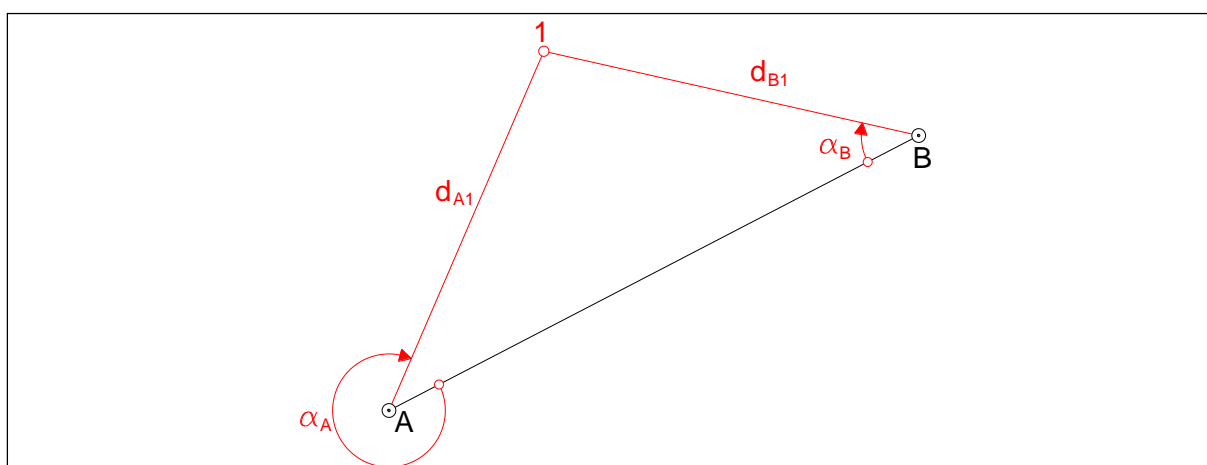


Figura 12 – Irradiação com observações redundantes

3.6 INTERSEÇÃO LINEAR

A determinação de coordenadas, por meio do método de interseção linear, é realizada a partir da observação das distâncias do ponto de interesse a dois vértices de coordenadas conhecidas (Figura 13).

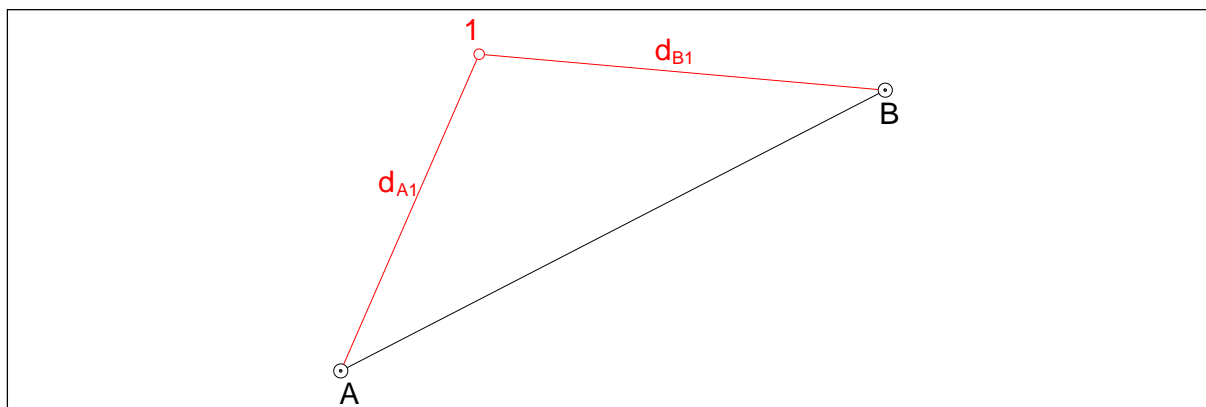


Figura 13 – Interseção linear

3.7 INTERSEÇÃO ANGULAR

A interseção angular é realizada quando se observa somente os ângulos entre os alinhamentos formados por dois vértices de coordenadas conhecidas e o vértice de interesse (Figura 14).

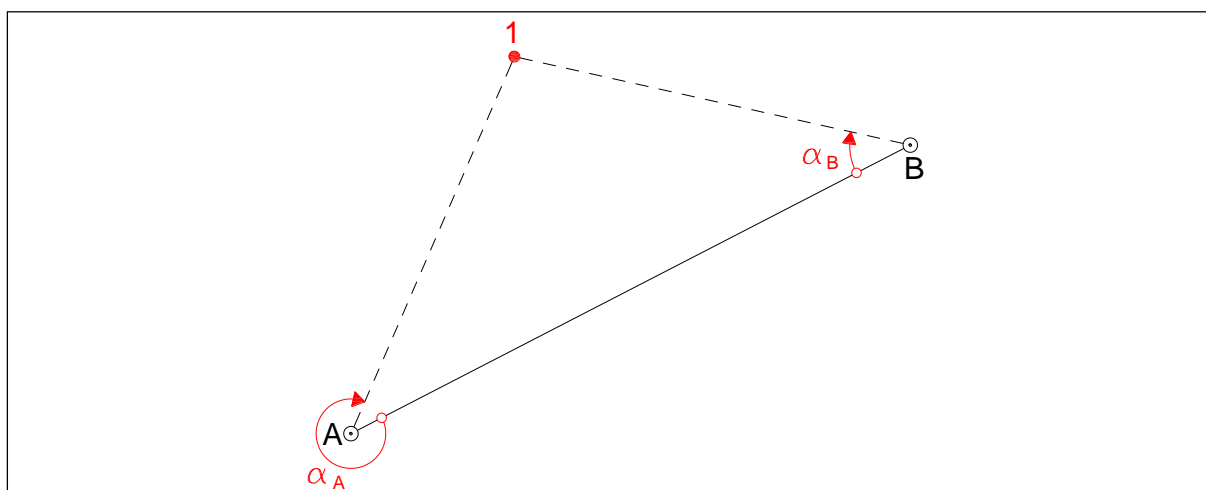


Figura 14 – Interseção angular

É interessante utilizar esse método para posicionar vértices situados em locais inacessíveis, onde é possível a observação precisa dos ângulos entre os alinhamentos.

3.8 ALINHAMENTO

O método do alinhamento consiste na determinação de coordenadas de um vértice que se encontra na direção definida por outros dois de coordenadas conhecidas (Figura 15). A única observação necessária é à distância de um dos vértices conhecidos até o vértice de interesse.

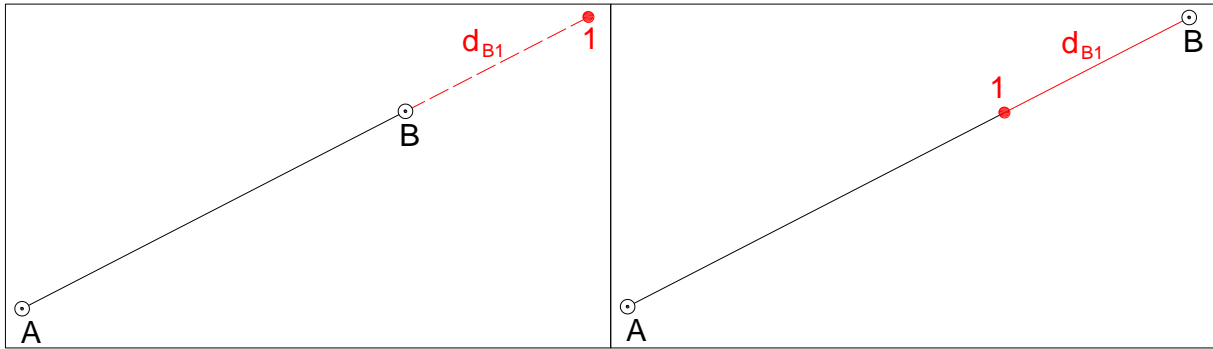


Figura 15 – Alinhamento

Recomenda-se a utilização desse método para determinação de vértices em locais onde existem obstruções físicas que impeçam o levantamento por métodos GNSS. É uma alternativa à utilização de outros métodos por topografia clássica, pois dispensa o uso de estação total, sendo necessária apenas uma trena.

4 POSICIONAMENTO POR GEOMETRIA ANALÍTICA

O posicionamento por geometria analítica se dá de forma indireta, onde as coordenadas são determinadas por cálculos analíticos a partir de vértices posicionados de forma direta.

Para minimizar a distorção nos valores de área, distância e azimute, é fundamental que o valor de altitude seja atribuído a cada um dos vértices obtidos a partir de posicionamento por geometria analítica. Na impossibilidade de obter esses valores, deverá ser atribuído a cada um o valor da altitude média dos vértices utilizados como referência para essa determinação.

Nos próximos tópicos é feita uma breve descrição sobre cada um dos métodos de posicionamento por geometria analítica, aplicados aos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais.

4.1 PARALELA

O método da paralela consiste na determinação de coordenadas de vértices a partir de uma linha paralela a outra que teve seus vértices determinados por algum outro método de posicionamento. É necessário definir a distância de afastamento entre as linhas (Figura 16).

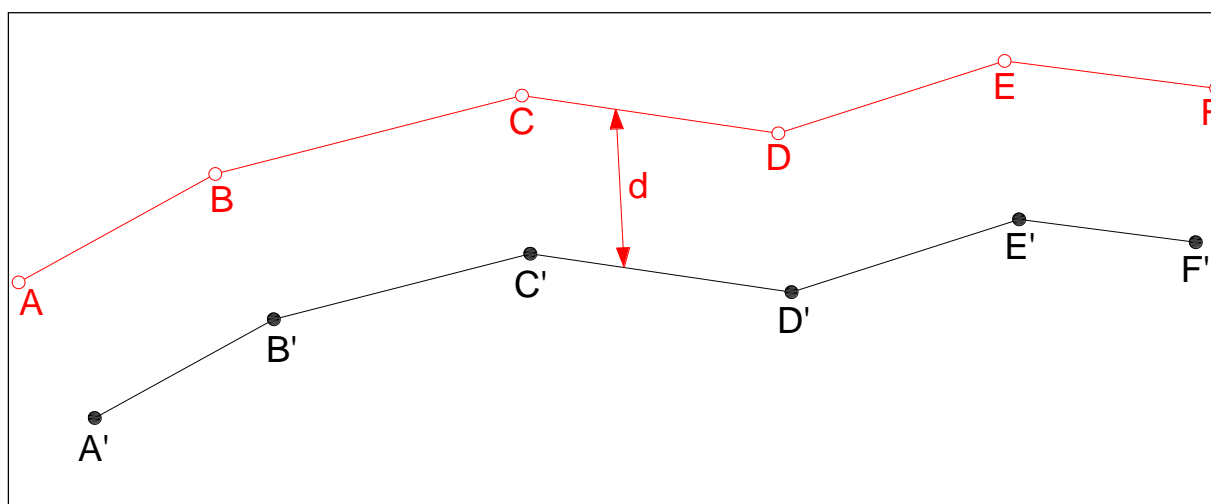


Figura 16 – Paralela

4.2 INTERSEÇÃO DE RETAS

As coordenadas do vértice de interesse são determinadas pela interseção de dois segmentos de retas cujos vértices são determinados de forma direta. A Figura 17 ilustra três possibilidades de interseção entre retas.

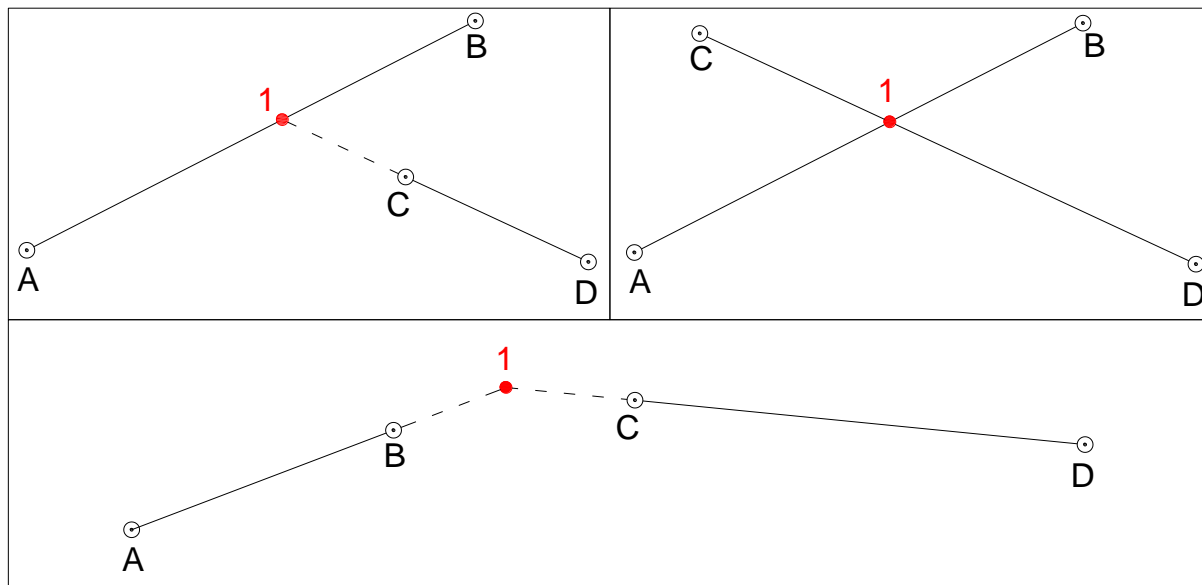


Figura 17 – Três possibilidades de interseção de retas

5 POSICIONAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO

No posicionamento por sensoriamento remoto, obtêm-se informações geométricas de elementos físicos, de forma indireta, com precisão e confiabilidade devidamente avaliadas, a partir de sensores em nível orbital ou aerotransportados.

Dentre as possibilidades de posicionamento por sensoriamento remoto, são aplicados aos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais os seguintes métodos:

- a) Aerofotogrametria;
- b) Radar aerotransportado;
- c) Laser scanner aerotransportado; e
- d) Sensores orbitais (satélites).

Os valores de coordenadas dos vértices obtidos por sensoriamento remoto poderão ser adquiridos de órgão público, empresa pública ou privada ou produzidos pelo próprio credenciado. Todos estes com especialização na área de conhecimento e devidamente habilitados para este fim no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA).

Quando da utilização de produtos obtidos através de aerofotogrametria, radar ou laser scanner aerotransportados, além da especialização e habilitação supramencionadas, deve-se estar devidamente habilitado pelo Ministério da Defesa e possuir homologação da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

Não se aplica o posicionamento por sensoriamento remoto na determinação de vértices tipo "M", vértices em limites por cerca e vértices referentes a mudanças de confrontação. Nos demais tipos de limite o credenciado deverá cercar-se das precauções necessárias em relação ao produto utilizado, de forma que garanta a precisão posicional definida pela NTGIR 3ª Edição.

IMPORTANTE: *"Não se aplica o posicionamento por sensoriamento remoto na determinação de vértices tipo "M", vértices em limites por cerca e vértices referentes a mudanças de confrontação".*

6 BASE CARTOGRÁFICA

Base cartográfica é uma fonte de informações espaciais, destinada a um fim específico.

Somente poderão ser utilizadas bases cartográficas originalmente nos formatos raster ou vetorial, ou seja, fica vedada a utilização de bases cartográficas em meio analógico ou digitalizadas.

Ao obter informações posicionais a partir de base cartográfica, o credenciado deverá verificar qual método de posicionamento foi usado para a representação do elemento de interesse e assim associá-lo ao vértice em questão.

O método e a precisão posicional¹ definirão a sua aplicação de acordo com o tipo de limite, conforme resumido no Quadro 3, não sendo permitida a utilização de base cartográfica para o posicionamento de vértices tipo “M” (marco).

¹ Na impossibilidade de identificação do método de posicionamento usado na feição de interesse, considera-se o valor de precisão aquele correspondente à escala de representação do produto cartográfico.

7 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

Os vários métodos de posicionamento apresentados, juntamente com as características técnicas utilizadas para sua execução, devem garantir a precisão posicional de acordo com a aplicação do vértice. Os itens a seguir contêm os métodos de posicionamento que podem ser utilizados em diferentes situações.

7.1 VÉRTICES DE APOIO

Dependendo do método de posicionamento a ser usado para determinação de coordenadas dos vértices de limite, há necessidade de se apoiar em vértices de coordenadas conhecidas, tais vértices são denominados como: apoio, controle, referência ou base.

Os vértices de apoio para determinação das coordenadas dos vértices de limite podem ser aqueles que compõem o Sistema Geodésico Brasileiro² (SGB) ou vértices cujas coordenadas foram determinadas a partir de vértices do SGB. Neste último caso, os métodos de posicionamento que poderão ser usados na determinação de coordenadas de vértices de apoio, estão definidos no Quadro 2.

Quadro 2 – Métodos de posicionamento para vértices de apoio

| Código | Método de Posicionamento |
|--------|----------------------------------|
| PG1 | Relativo estático |
| PG2 | Relativo estático-rápido |
| PG6 | RTK convencional |
| PG7 | RTK em rede |
| PG9 | Posicionamento por Ponto Preciso |
| PT1 | Poligonação |
| PT2 | Triangulação |
| PT3 | Trilateração |
| PT4 | Triangulateração |

7.2 VÉRTICES DE LIMITE

A NTGIR 3ª Edição, define diferentes padrões de precisão de acordo com os tipos de limites: artificiais (melhor ou igual a 0,50 m), naturais (melhor ou igual a 3,00 m) e inacessíveis (melhor ou igual a 7,50 m).

² Somente poderão ser usados vértices do SGB referentes às estações SAT GPS (ativas ou passivas). Informações destas estações podem ser obtidas em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sgb.shtm>.

Em função do padrão de precisão, os métodos de posicionamento podem ou não ser aplicados a determinado tipo de limite. No Quadro 3 temos o resumo dos métodos de posicionamento, contendo os códigos atribuídos a cada método, e em quais tipos de limites eles podem ser usados.

Quadro 3 – Métodos de posicionamento para vértices de limite

| Código | Método de Posicionamento | Aplicação |
|--------|----------------------------------|---|
| PG1 | Relativo estático | Limite Artificial ou Natural |
| PG2 | Relativo estático-rápido | Limite Artificial ou Natural |
| PG3 | Relativo semicinemático | Limite Artificial ou Natural |
| PG4 | Relativo cinemático | Limite Artificial ou Natural |
| PG5 | Relativo a partir do código C/A | Limite Natural |
| PG6 | RTK convencional | Limite Artificial ou Natural |
| PG7 | RTK em rede | Limite Artificial ou Natural |
| PG8 | <i>Differential GPS</i> (DGPS) | Limite Natural |
| PG9 | Posicionamento por Ponto Preciso | Limite Artificial ou Natural |
| PT1 | Poligonação | Limite Artificial ou Natural |
| PT2 | Triangulação | Limite Artificial ou Natural |
| PT3 | Trilateração | Limite Artificial ou Natural |
| PT4 | Triangulateração | Limite Artificial ou Natural |
| PT5 | Irradiação | Limite Artificial ou Natural |
| PT6 | Interseção linear | Limite Artificial ou Natural |
| PT7 | Interseção angular | Limite Artificial ou Natural |
| PT8 | Alinhamento | Limite Artificial ou Natural |
| PA1 | Paralela | Limite Artificial ou Natural |
| PA2 | Interseção de Retas | Limite Artificial ou Natural |
| PS1 | Aerofotogrametria | Limite Artificial ³ , Natural ou Inacessível |
| PS2 | Radار aerotransportado | Limite Artificial ³ , Natural ou Inacessível |
| PS3 | Laser scanner aerotransportado | Limite Artificial ³ , Natural ou Inacessível |
| PS4 | Sensores orbitais | Limite Artificial ³ , Natural ou Inacessível |

³ Com exceção de vértices tipo M e limites por cerca.

8 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO E TIPOS DE VÉRTICES

Os tipos de vértices são definidos em função da sua caracterização em campo e da forma de posicionamento (direto ou indireto), conforme definições constantes do Manual Técnico de Limites e Confrontações.

Entende-se como posicionamento direto aquele em que se ocupa diretamente o vértice de interesse com um instrumento de medição e o posicionamento indireto aquele em que não há ocupação direta do vértice por um instrumento de medição.

No Quadro 4 tem-se a relação entre método de posicionamento e os tipos de vértices compatíveis.

Quadro 4 – Métodos de posicionamento e tipos de vértices

| Código | Método de Posicionamento | Tipo de Vértice |
|--------|----------------------------------|-----------------|
| PG1 | Relativo estático | M,P |
| PG2 | Relativo estático-rápido | M,P |
| PG3 | Relativo semicinemático | M,P |
| PG4 | Relativo cinemático | P |
| PG5 | Relativo a partir do código C/A | P |
| PG6 | RTK convencional | M,P |
| PG7 | RTK em rede | M,P |
| PG8 | Differential GPS (DGPS) | P |
| PG9 | Posicionamento por Ponto Preciso | M,P |
| PT1 | Poligonação | M,P |
| PT2 | Triangulação | M,P |
| PT3 | Trilateração | M,P |
| PT4 | Triangulateração | M,P |
| PT5 | Irradiação | M,P |
| PT6 | Interseção linear | M,P,V |
| PT7 | Interseção angular | M,P,V |
| PT8 | Alinhamento | M,P |
| PA1 | Paralela | V |
| PA2 | Interseção de Retas | V |
| PS1 | Aerofotogrametria | V |
| PS2 | Radar aerotransportado | V |
| PS3 | Laser scanner aerotransportado | V |
| PS4 | Sensores orbitais | V |

9 CÁLCULOS

Este capítulo traz as formulações matemáticas para conversão de coordenadas geocêntricas para locais e para os valores das grandezas área, distância e azimute.

9.1 CONVERSÃO DE COORDENADAS CARTESIANAS GEOCÊNTRICAS PARA LOCAIS

A conversão de coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) para coordenadas cartesianas locais (e, n, u) é feita por meio do método das rotações e translações, conforme modelo funcional a seguir:

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \text{sen}\varphi_0 & \text{cos}\varphi_0 \\ 0 & -\text{cos}\varphi_0 & \text{sen}\varphi_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\text{sen}\lambda_0 & \text{cos}\lambda_0 & 0 \\ -\text{cos}\lambda_0 & -\text{sen}\lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Onde:

- e, n, u = são as coordenadas cartesianas locais do vértice de interesse;
- X, Y, Z = são as coordenadas cartesianas geocêntricas do vértice de interesse;
- φ_0, λ_0 = são a latitude e a longitude adotadas como origem do sistema;
- X_0, Y_0, Z_0 = são as coordenadas cartesianas geocêntricas adotadas como origem do sistema.

As principais aplicações são:

a) Para o cálculo de área

O cálculo de área é feito com as coordenadas cartesianas locais referenciadas ao SGL. Deste modo, as coordenadas cartesianas geocêntricas determinadas para os vértices do limite devem ser convertidas para o SGL, usando-se a média das coordenadas da parcela em questão como origem do sistema.

b) No uso do método de posicionamento por geometria analítica

Na determinação de coordenadas por geometria analítica, as coordenadas utilizadas como referência para os cálculos devem estar referenciadas ao SGL desta forma, caso tenham sido obtidas por posicionamento por GNSS as mesmas devem ser convertidas para coordenadas cartesianas locais, usando como origem a média das coordenadas dos vértices de referência (vértices ilustrados na cor preta – Figura 15 e Figura 16).

c) Nos casos de projetos de parcelamento/desmembremento

Em projetos de parcelamento/desmembremento, as coordenadas cartesianas geocêntricas deverão ser convertidas para cartesianas locais (as coordenadas de origem do SGL deverão ser a média das coordenadas geocêntricas), permitindo a elaboração do projeto com referência nessas coordenadas, definindo áreas de parcelas bem como a geração de vértices.

Concluído o projeto, todas as coordenadas cartesianas locais deverão ser convertidas para cartesianas geocêntricas, devendo utilizar como coordenada de origem a mesma usada no parágrafo anterior (conforme formulação matemática contida no item 9.2).

9.2 CONVERSÃO DE COORDENADAS CARTESIANAS LOCAIS PARA GEOCÊNTRICAS

A conversão de coordenadas cartesianas locais para coordenadas geocêntricas é realizada conforme o seguinte modelo funcional:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\operatorname{sen}\lambda_0 & -\operatorname{cos}\lambda_0 & 0 \\ \operatorname{cos}\lambda_0 & -\operatorname{sen}\lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \operatorname{sen}\varphi_0 & -\operatorname{cos}\varphi_0 \\ 0 & \operatorname{cos}\varphi_0 & \operatorname{sen}\varphi_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

A principal aplicação dessa conversão se dá quando se utiliza métodos de posicionamento por topografia clássica⁴. A seguir será apresentada a sequência de cálculos:

- a) Determinar as coordenadas cartesianas geocêntricas dos vértices de apoio;
- b) Converter as coordenadas cartesianas geocêntricas dos vértices de apoio para cartesianas locais, conforme equação expressa no item 9.1 e, usando como origem do sistema, a média das coordenadas geocêntricas destes vértices;
- c) De posse das observações topográficas (ângulos e distância), efetuar o cálculo (processamento e ajustamento) para determinação das coordenadas cartesianas locais dos vértices;

⁴ Para fins desse manual, desconsideram-se as possíveis distorções acarretadas pela não coincidência entre o plano topográfico obtido no posicionamento por topografia clássica (perpendicular à vertical) e aquele usado no SGL (perpendicular à normal ao elipsoide).

- d) Converter as coordenadas cartesianas locais para geocêntricas conforme equação expressa neste item e usar como origem do sistema o mesmo valor de coordenadas do item b.

A Figura 18 ilustra um ponto sobre a superfície terrestre associado ao Sistema Geodésico Local (SGL) e ao Sistema Geocêntrico.

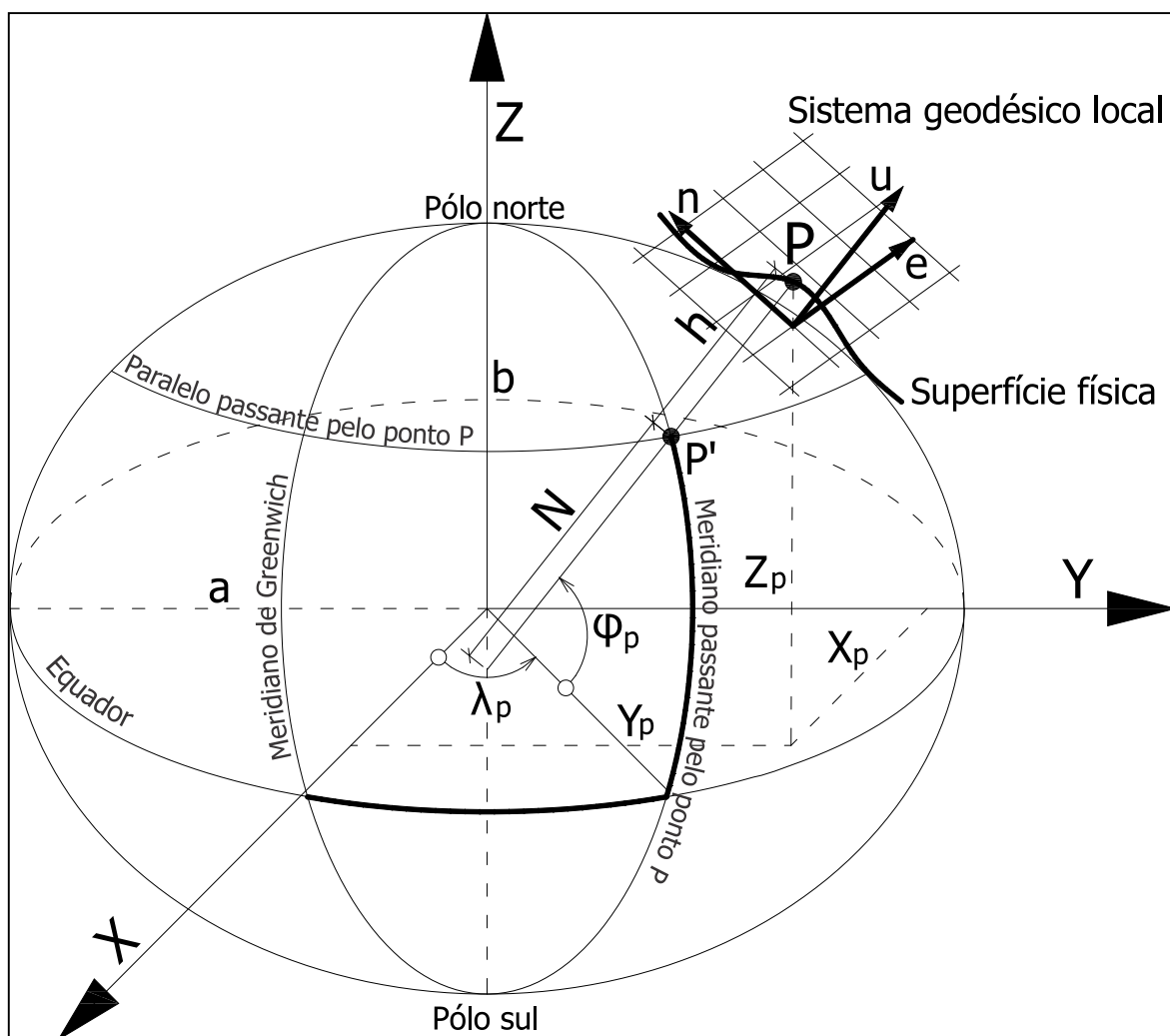


Figura 18 – Sistema Geodésico Local e Sistema Geocêntrico

9.3 ÁREA

O cálculo de área deve ser realizado com base nas coordenadas cartesianas locais referenciadas ao SGL. Desta forma, os resultados obtidos expressam melhor a realidade física⁵, quando comparados aos valores referenciados ao Sistema UTM, que era adotado anteriormente.

⁵ As distorções nos valores de área se tornam maiores na medida em que as parcelas aumentam sua superfície.

O cálculo de área deve ser realizado pela fórmula de Gauss, com base nas coordenadas cartesianas locais (e, n, u) e expresso em hectares.

9.4 DISTÂNCIA HORIZONTAL

O valor da distância horizontal deve ser expresso em metros. O cálculo deve ser realizado conforme a seguinte equação:

$$d_h = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2 - (h_A - h_B)^2}$$

Onde:

- d_h = distância horizontal;
- X, Y, Z = coordenadas cartesianas geocêntricas;
- h = altitude elipsoidal.

9.5 AZIMUTE

O cálculo de azimute deve ser realizado conforme formulário do Problema Geodésico Inverso segundo Puissant e o valor deve ser expresso no sistema sexagesimal.

10 GUARDA DE PEÇAS TÉCNICAS E DOCUMENTAÇÃO

Todo o material utilizado para determinação das informações posicionais deve ser arquivado e mantido sob a guarda do credenciado. Faz-se necessária a manutenção desse material para sanar possíveis dúvidas ou divergências quanto aos valores de coordenadas e precisões apresentados pelo credenciado. Tais informações poderão ser requeridas pelo INCRA, quando julgar necessário.

Dentre os materiais utilizados, devem ser considerados:

- a) Arquivos brutos GNSS (em formato RINEX e nativo);
- b) Relatórios de processamento e ajustamento de posicionamento por GNSS;
- c) Cadernetas de campo (digitais ou analógicas);
- d) Relatórios de processamento e ajustamento de dados de posicionamento por topografia clássica;
- e) Imagens orbitais e/ou aéreas;
- f) Relatório de processamento e ajustamento de imagens. Contendo modelo digital do terreno, pontos de controle, dentre outros;
- g) Anotação de responsabilidade técnica da empresa executora do trabalho de sensoriamento remoto, caso não tenha sido o credenciado o responsável técnico;
- h) Base cartográfica.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. B. M.; MÔNICO, J. F. G. e FORTES, L. P. S. **Modelagem da Ionosfera no RTK em Rede**. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé, 2005.
- CUNHA, R. S. e RODRIGUES, D. D. **Proposta de um Novo Modelo de Memorial Descritivo (INCRA) para Atender a Lei 10.267**. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia de Agrimensura) – Curso de Engenharia de Agrimensura, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L. e GREGÓRIO, F. V. **Transformação de Coordenadas Geodésicas em Coordenadas no Plano Topográfico Local pelo Métodos da Norma NBR 14166:1998 e o de Rotações e Translações**. Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2010.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual do Usuário Posicionamento por Ponto Preciso**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.
- GEMAEL, C. **Geodésia Celeste**. Editora UFPR, 2004.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H. e WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems, GPS, GLONASS, Galileo and more**. Springer-Verlag Wien, 2008. 501p.
- JEKELI, C. **Geometric Reference Systems in Geodesy**. Division of Geodesy and Geospatial Science, School of Earth Sciences, Ohio State University, 202p. 2006.
- LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3. ed., New York: John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. 1ª ed. São Paulo: Unesp, 2000a. 287p.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Unesp, 2008. 473p.
- MORAES, C. V.; SAATKAMP e E. D. E FREIBERGER J. **Geodésia e Topografia**. Notas de Aula. Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 107p.
- POLEZEL W. G. C.; SOUZA E. M. e MONICO J. F. G. **Método de Posicionamento Relativo por Satélite GPS com Correção do Efeito do Multicaminho em Estações de**

Referência: *Formulação Matemática, Resultados e Análises.* Tendências em Matemática Aplicada e Computacional. V.9, p. 133-142, 2008.

RODRIGUES, D. D. ***Topografia: planimetria para Engenheiros Agrimensores e Cartógrafos.*** Notas de Aula. Universidade Federal de Viçosa, 2008. 160p.