

# Manual Técnico de Imissão de Posse

## Elaboração

**CGTIG – Coordenação de Geoprocessamento**  
**DGTM – Coordenação de Gestão de Estudos de Áreas**

## Autores

### **DNPM:**

Angelo dos Santos

Camila Imaculada de Paula

Luiz Paulo Beghelli Junior

Marcelo Bandeira Santos

Paulo Junio Ribeiro Peixoto

Sandra Aparecida Pedrosa

Telmo Fernando Perez de Quadros

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>PRINCIPAIS CONCEITOS E DEFINIÇÕES</b> .....	<b>7</b>
3.1	Locação de Coordenadas .....	7
3.2	Demarcação.....	7
3.3	Precisão Posicional Absoluta (PPA).....	7
3.4	Acurácia Posicional Relativa (APR) .....	8
3.5	Marcos Delimitadores (MD).....	8
3.6	Marcos de Apoio Básico (MAB) .....	8
3.7	Marcos de Apoio Imediato (MAI).....	8
3.8	Marcos Indicativos (MI) .....	9
<b>4</b>	<b>SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA</b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>MÉTODOS DE POSICIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE MARCOS</b> .....	<b>9</b>
5.1	Implantação de Marcos de Apoio Básico (MAB) .....	10
5.2	Implantação dos Marcos de Apoio Imediato (MAI).....	11
5.3	Implantação dos Marcos Delimitadores (MD) .....	11
5.4	Implantação de Marcos Indicativos (MI).....	12
<b>6</b>	<b>CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DOS MARCOS</b> .....	<b>13</b>
6.1	Conferência das Coordenadas dos Marcos Delimitadores .....	15
<b>7</b>	<b>MARCOS E PLAQUETAS DE IDENTIFICAÇÃO</b> .....	<b>16</b>
7.1	Modelos de Marcos.....	16
7.2	Modelos de Plaquetas.....	19

---

<b>8</b>	<b>PEÇAS TÉCNICAS E DOCUMENTAÇÃO .....</b>	<b>21</b>
8.1	Relatório Técnico de Atividades .....	21
8.2	Tabelas de Dados e Relatórios de Processamento e Ajustamento .....	24
8.3	Planta de Detalhe .....	25
8.4	Arquivos Digitais .....	25
8.5	Anotação de Responsabilidade Técnica – ART .....	26
<b>9</b>	<b>CASOS ESPECIAIS .....</b>	<b>26</b>
<b>10</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>26</b>
<b>11</b>	<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>28</b>
<b>12</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>
<b>13</b>	<b>CONTATOS .....</b>	<b>29</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>30</b>
<b>14</b>	<b>ANEXO 01 – OUTROS CONCEITOS E DEFINIÇÕES .....</b>	<b>30</b>
14.1	Coordenadas Geodésicas .....	30
14.2	Coordenadas Geodésicas Cartesianas Geocêntricas .....	30
14.3	Coordenadas Cartesianas Locais .....	31
14.4	Sistema Geodésico Local .....	31
14.5	Desvio da Vertical .....	33
14.6	Projeção Cartográfica Local Transversa de Mercator (LTM) .....	33
14.7	Global Navigation Satellite System (GNSS) .....	34
14.8	Linha de Base .....	35
14.9	Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) .....	35
14.10	Estação GPS e RBMC .....	35

---

---

<b>15 ANEXO 02 – MÉTODOS DE POSICIONAMENTO .....</b>	<b>36</b>
15.1 Posicionamento por GNSS .....	36
15.1.1 Posicionamento Relativo .....	37
a) Posicionamento Relativo Estático .....	37
b) Posicionamento Relativo Estático-Rápido .....	38
15.1.2 RTK .....	38
a) RTK Convencional .....	39
b) RTK em Rede (GSM) .....	40
15.1.3 Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP) .....	41
15.2 Posicionamento por Topografia Clássica .....	42
15.2.1 Poligonação .....	43
15.2.2 Triangulação .....	45
15.2.3 Irradiação .....	46
15.2.4 Alinhamento .....	48
<b>16 ANEXO 03 – CÁLCULOS E FÓRMULAS .....</b>	<b>49</b>
16.1 Cálculo da PPA (Precisão Posicional Absoluta) .....	49
16.2 Ajustamento de Redes .....	49
16.3 Cálculo da APR (Acurácia Posicional Relativa) .....	49
16.4 Conversão de Coordenadas Geodésicas Angulares para Coordenadas Cartesianas Tridimensionais Geocêntricas e o Processo Inverso .....	50
16.4.1 Notação .....	50
16.4.2 Conversão de Coordenadas Geodésicas para Cartesianas Geocêntricas .....	51

---

---

16.4.3	Conversão de Coordenadas Cartesianas Geocêntricas para Geodésicas .....	51
16.5	Conversão de Coordenadas Cartesianas Geocêntricas para Locais .....	52
16.6	Conversão de Coordenadas Cartesianas Locais para Geocêntricas .....	53
16.7	Locação de Marcos Delimitadores Utilizando a Projeção Cartográfica Local Transversa de Mercator (LTM) .....	54
16.8	Cálculos de Distâncias Horizontais .....	56
16.8.1	Distância Horizontal Calculada com Coordenadas Cartesianas Geocêntricas .....	56
16.8.2	Distância Horizontal Calculada com Coordenadas Cartesianas Locais 57	
16.8.3	Distância Horizontal Calculada com Coordenadas Planas LTM .....	57
16.9	Ângulos Horizontais .....	58
16.10	Azimute no Sistema Cartesiano Local .....	58

## 1 INTRODUÇÃO

Este documento visa estabelecer critérios técnicos para a padronização dos procedimentos referentes aos trabalhos de demarcação das áreas de concessão de lavra outorgadas pelo DNPM, visando a imissão de posse da jazida aprovada, em atendimento ao disposto no artigo 45 do *Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967* (Código de Mineração) e no § 3º do art. 66 do *Decreto nº 62.934, de 2 de julho de 1968* (Regulamento do Código de Mineração).

Os títulos minerários outorgados pelo DNPM delimitam as áreas das jazidas, por meio de poligonais cujos vértices são definidos por coordenadas geodésicas. Porém, para que o DNPM possa cumprir o disposto no artigo 45 do Código de Mineração e no § 3º do art. 66 do Regulamento do Código de Mineração, ou seja, emitir o termo de posse da jazida é necessário que a área seja demarcada no campo.

Em uma propriedade rural, por exemplo, seus limites estão materializados por cercas, estradas, feições naturais, etc. Porém, não se tem conhecimento das coordenadas geodésicas destes limites, exceto se estiverem georreferenciados.

Ao contrário do que ocorre na propriedade rural, as áreas outorgadas pelo DNPM são delimitadas por poligonais cujos vértices são georreferenciados com coordenadas geodésicas, porém não estão materializados em campo. Por esta razão é necessário materializar estes vértices com marcos que delimitam a área da jazida autorizada. Este procedimento deve ser realizado pelo emprego das técnicas e métodos conforme descritos neste manual.

## 2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Tendo em vista que no banco de dados do DNPM existem poligonais de processos minerários requeridos desde o ano de 1934 e, que ao longo do tempo as técnicas de medição e posicionamento na superfície da Terra foram aprimoradas assim como as técnicas de requerimento de áreas para mineração, é possível que existam inconsistências

---

na base de dados do DNPM quanto ao posicionamento de algumas poligonais mais antigas, especificamente anterior a publicação da Portaria 263, de 10 de julho de 2008, quando os vértices passaram a ser definidos por coordenadas geodésicas inseridas diretamente na base de dados do DNPM pelo próprio requerente das áreas através do requerimento eletrônico disponível no site do DNPM.

Dessa forma recomenda-se que quando o titular de um processo minerário for realizar a demarcação em campo da poligonal do processo minerário para fins de imissão de posse, deve seguir algumas recomendações visando a correta demarcação, tais como:

- a) Não deve proceder de imediato a demarcação da poligonal autorizada com a finalidade de obter o termo de imissão de posse, pois deve analisar se a poligonal contida no cadastro mineiro está de acordo com a área requerida e se existem poligonais prioritárias confrontantes/vizinhas. Caso a poligonal requerida constante no Cadastro Mineiro não esteja em conformidade com a situação em campo e/ou possua vizinhos prioritários, é necessário que essa situação seja informada ao DNPM para que seja realizada uma análise pormenorizada da posição das poligonais e identificar possíveis distorções de posicionamento. Somente após a manifestação do DNPM deve continuar os procedimentos de imissão de posse.
- b) Poligonais requeridas a partir da vigência da Portaria 263, de 10 de julho de 2008 que estejam isoladas em campo ou que possuam apenas outras poligonais igualmente requeridas a partir desse período, poderão ser demarcadas sem aviso prévio ao DNPM. O fator de isolamento mencionado deve ser de 2 ou mais quilômetros de distância entre os limites das poligonais. Distancias inferiores a 2km devem seguir as orientações do item “a” acima.
- c) Em caso de confrontação da poligonal minerária, objeto da imissão de posse, com uma ou mais poligonais que sejam prioritárias em relação a essa (mais antiga), o requerente da imissão de posse deve apresentar ao DNPM um termo de ciência assinado pelo titular ou responsável legal da(s) poligonal(s) prioritária(s) confrontante(s).

### 3 PRINCIPAIS CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Os conceitos e as definições apresentados a seguir devem ser adotados na aplicação deste manual aos trabalhos relacionados à demarcação da poligonal minerária. (Outros conceitos ver em: **Anexo 01**).

#### 3.1 Locação de Coordenadas

Locação de coordenadas consiste na materialização de um ponto no terreno, em função de suas coordenadas geodésicas previamente conhecidas.

#### 3.2 Demarcação

Entende-se como demarcação de uma área de mineração o ato de implantar no terreno os marcos delimitadores definidos pelas coordenadas geodésicas constantes no Título Minerário outorgado.

#### 3.3 Precisão Posicional Absoluta (PPA)

A Precisão Posicional Absoluta é a dispersão dos valores de coordenadas, de uma série de observações, em torno de um valor médio, estando vinculada apenas aos erros aleatórios. O desvio padrão, representado pelo símbolo  $\sigma$ , é usado para quantificar a precisão das observações. O seu resultado deve ser expresso em metros pela resultante das componentes planimétricas em X e Y ao nível de confiança de 95,45% ( $\pm 2\sigma$  da média, distribuição normal). A fórmula para o cálculo da precisão é apresentada no **Anexo 03, item 16.1**.

Devem ser respeitados, para os marcos, os valores de precisão posicional absoluta seguintes:

- a) Marco de Apoio Básico (MAB): melhor ou igual a 10cm.
- b) Marco de Apoio Imediato (MAI): melhor ou igual a 20cm.
- c) Marco Indicativo (MI): melhor ou igual a 50cm.



### **3.4 Acurácia Posicional Relativa (APR)**

A acurácia posicional relativa, para efeitos deste manual, é a proximidade do valor medido de uma grandeza ao valor considerado “verdadeiro” ou de melhor qualidade. Compreende, não somente, os erros aleatórios (precisão), mas também os erros sistemáticos (tendência). No caso das coordenadas dos vértices das poligonais outorgadas pelo DNPM, considera-se como valor verdadeiro da grandeza as coordenadas constantes no Título Minerário, que deverão corresponder àquelas que constam no banco de dados do DNPM.

O resultado da acurácia posicional relativa deve ser expresso em metros, pela resultante obtida da diferença das coordenadas geodésicas provenientes da implantação dos marcos delimitadores, em relação as constantes no Título Minerário. No **Anexo 03, item 16.3** é apresentado uma sugestão de cálculo da acurácia posicional relativa.

### **3.5 Marcos Delimitadores (MD)**

São os marcos implantados no terreno com base nas coordenadas dos vértices da poligonal definida no Título Minerário, observando a acurácia melhor ou igual a 50cm.

### **3.6 Marcos de Apoio Básico (MAB)**

São marcos utilizados como apoio para a demarcação da área. Estes marcos permitem a amarração do levantamento geodésico local ao Sistema Geodésico Brasileiro.

### **3.7 Marcos de Apoio Imediato (MAI)**

São marcos auxiliares, utilizados como apoio para orientar a locação de vértices via Estação Total, nos casos em que a demarcação dos vértices não pode ser realizada diretamente por meio de rastreadores *GNSS (Global Navigation Satellite System)*.

### 3.8 Marcos Indicativos (MI)

São marcos implantados para indicar os vértices cujas coordenadas coincidem com locais inacessíveis, impossibilitando a materialização dos *Marcos Delimitadores* e/ou para indicar os limites à jusante e a montante de poligonais localizadas em leitos de rio, definindo a seção onerada pelo título minerário.

## 4 SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

Todos os procedimentos citados neste documento (levantamentos, demarcações, locações e pós-processamento) deverão ser executados no novo sistema geodésico de referência oficial do país, o **Datum SIRGAS2000** (*Sistemas de Referência Geocêntrico para as Américas*). Esta determinação visa assegurar a qualidade dos trabalhos geodésicos de precisão e atender a Portaria DNPM nº 76 de 10 de fevereiro de 2015, DOU de 10/02/2015, a qual dispõe sobre a adoção do SIRGAS2000 pelo DNPM.

## 5 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE MARCOS

Em função do padrão de precisão posicional absoluta e acurácia posicional relativa exigidos, os diversos métodos de posicionamento (**Tabela 1**) podem ou não ser aplicados a determinado tipo de marco (**Tabela 2**). Neste tópico apresenta-se o resumo dos métodos de posicionamento que devem ser empregados para o levantamento de cada tipo de marco que pode ser utilizado durante a etapa de demarcação das áreas de mineração, assim como a precisão e a acurácia exigida, buscando a melhor precisão possível para não prejudicar a acurácia (**Tabela 3**). Maiores detalhes sobre os métodos de posicionamento, vide **Anexo 02**.

Sigla	Método de Posicionamento
PRE	Posicionamento Relativo Estático
PRER	Posicionamento Relativo Estático Rápido
RTKC	RTK Convencional
RTKR	RTK em Rede
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE)
P	Poligonação
T	Triangulateração
I	Irradiação
A	Alinhamento

**Tabela 1** – Siglas dos métodos de posicionamento

Sigla	Tipo de Marco
MAB	Marco de Apoio Básico
MAI	Marco de Apoio Imediato
MD	Marco Delimitador
MI	Marco Indicativo

**Tabela 2** – Siglas dos tipos de marcos

Tipo de Marco	Método de Posicionamento	Precisão	Acurácia
MAB	PRE, PPP, T	10cm	-
MAI	PRE, PRER, PPP, P, T, I, A	20cm	-
MD	RTKC, RTKR, P, I, A	-	50cm
MI	PRE, PRER, RTKC, RTKR, PPP, P, T, I, A	50cm	-

**Tabela 3** – Métodos de Posicionamento, Precisão Posicional Absoluta e Acurácia Posicional Relativa exigidos para cada tipo de Marco.

## 5.1 Implantação de Marcos de Apoio Básico (MAB)

Para a demarcação da área deverá ser implantado 01 (um) ou mais Marcos de Apoio Básico posicionado(s) em local de fácil acesso, com boas condições de rastreamento dos sinais

GNSS, observando os critérios descritos na **Tabela 3**. Este marco deve ser preservado enquanto o direito minerário estiver em vigor.

Para a implantação do MAB deverão ser utilizados os seguintes métodos: Relativo Estático ou Triangulação (vide **Anexo 02**). No caso do método Relativo Estático, o transporte de coordenadas deve ser feito a partir de duas ou mais Estações Geodésicas do tipo SAT/GPS ou RBMC pertencentes ao SGB, com ajustamento dos dados pelo Método dos Mínimos Quadrados e PPA melhor ou igual a 10 cm. Para os levantamentos com linha de base superiores a 101 km, os quais necessitam de duas ou mais sessões de rastreamento, as coordenadas finais devem ser calculadas por meio da média aritmética simples.

## 5.2 Implantação dos Marcos de Apoio Imediato (MAI)

Os Marcos de Apoio Imediato são utilizados para locações dos Marcos Delimitadores, quando há necessidade do uso integrado das técnicas de posicionamento GNSS e Topografia Clássica (**Anexo 02**). Para a implantação dos marcos de apoio imediato, poderão ser usadas as técnicas de Posicionamento Relativo Estático, Estático Rápido, IBGE-PPP, Triangulação, Poligonação e Irradiação. A precisão exigida é melhor ou igual a 20cm e poderão ser determinados também a partir do(s) marco(s) de apoio básico.

## 5.3 Implantação dos Marcos Delimitadores (MD)

Os Marcos Delimitadores definem em campo os limites da poligonal autorizada, observando a **acurácia** posicional melhor ou igual a 50cm, em relação à respectiva coordenada constante no Título Minerário. As seguintes técnicas podem ser utilizadas:

- a) RTK convencional
- b) RTK em rede
- c) Irradiação
- d) Alinhamento
- e) Poligonação

## 5.4 Implantação de Marcos Indicativos (MI)

Nas situações em que o local para implantação de algum Marco Delimitador esteja inacessível (ex. leito de rio, lago, área de várzea, telhados de edificações, rodovias e acessos, praça de operações etc.), o vértice poderá ser materializado através de um Marco Indicativo em outra posição, o mais próximo possível do local da respectiva coordenada do vértice a ser materializado e que possibilite manter a preservação/conservação do marco, como o exemplo apresentado na **Figura 01**.

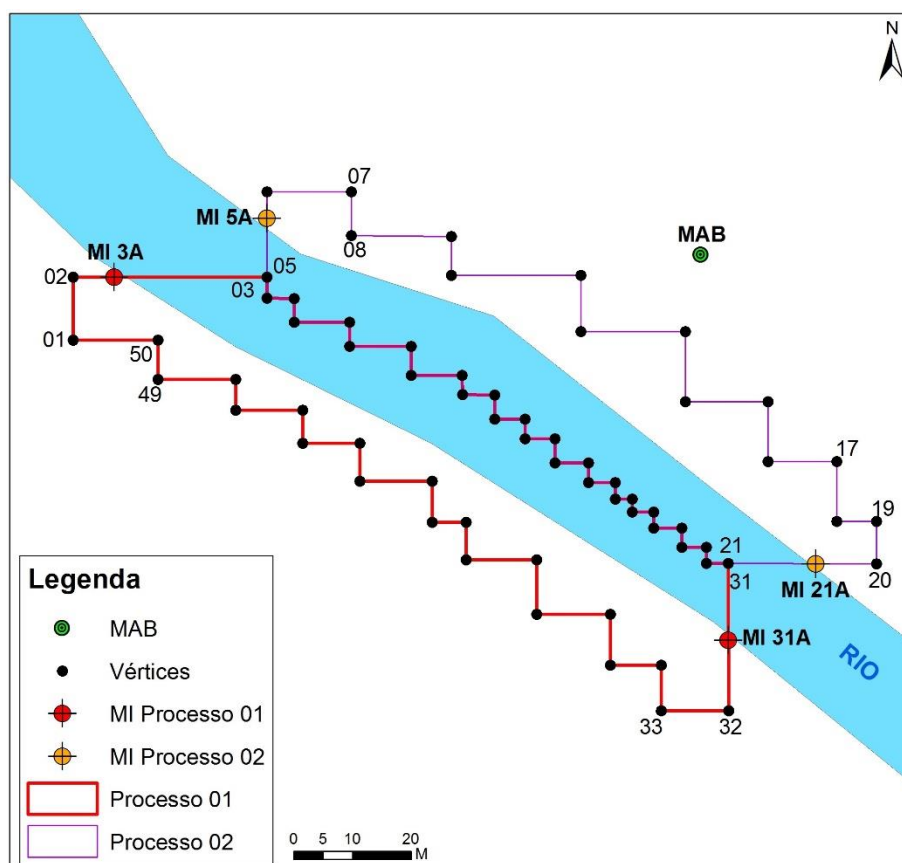


Figura 01 – Poligonais confrontantes, com seus respectivos marcos de apoio básico, marcos delimitadores e marcos indicativos implantados. Os marcos indicativos se referem aos limites a jusante e montante e, também, a vértices inacessíveis.

Nesta condição, o responsável técnico deverá apresentar uma justificativa técnica, circunstanciando os fatos que geraram a inacessibilidade. Deverá constar, também na justificativa técnica, as coordenadas do Marco Indicativo, o azimute geodésico (MI-MD) e a distância entre o MI e seu respectivo MD.

Este marco auxiliar deverá ser identificado por plaqueta metálica, conforme modelo apresentado no **item 7.2**, seguindo a numeração sequencial de marcação do vértice ao qual faz referência, acrescido de uma letra (ex.: *3a*, *5a*, *21a*, etc.). Preferencialmente o marco indicativo deverá ser implantado no alinhamento de dois vértices, ou seja, obedecendo a mesma latitude ou longitude dos vértices anterior e posterior e respeitando a acurácia posicional relativa de 50cm em relação ao alinhamento dos vértices (**Figura 01**).

## 6 CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DOS MARCOS

A materialização dos vértices na área de mineração está condicionada a observação dos seguintes critérios:

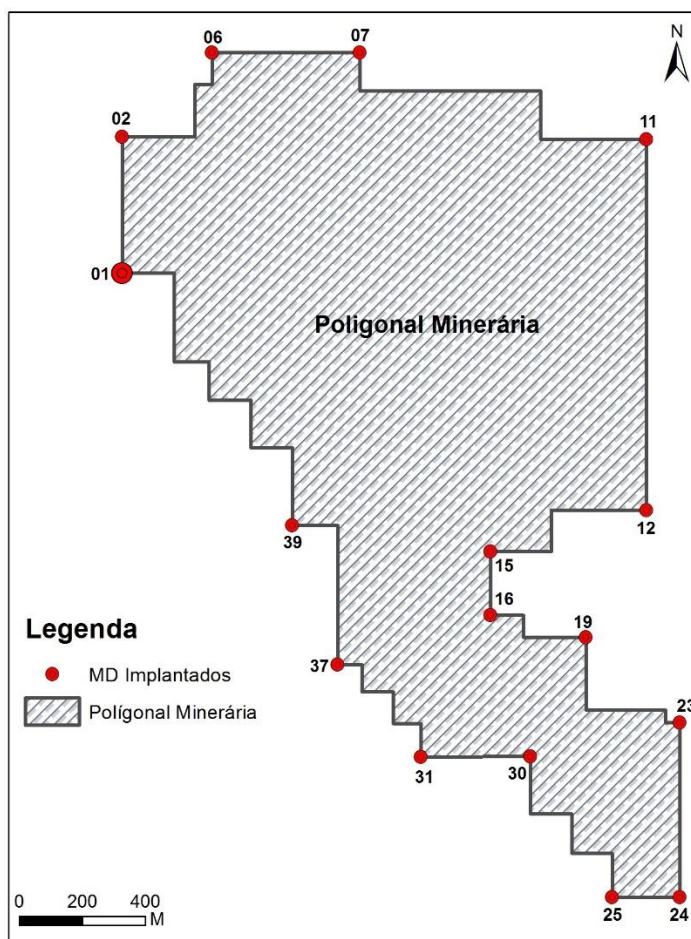
### a) Marco de Apoio Básico

- a. É obrigatória sua implantação (ver **item 5.1 e Item 7**);
- b. Caso haja interesse em usar os marcos de concreto das estações do SGB/IBGE como MAB, deve-se verificar antes de iniciar o levantamento de campo se os mesmos não estão deslocados em relação à monografia do IBGE.
  - i. Se as coordenadas da reocupação coincidirem com as coordenadas da monografia do IBGE (ou seja, acurácia  $\leq 10$  cm), deve-se utilizar as coordenadas da monografia.
  - ii. Se as coordenadas da reocupação não coincidirem com as da monografia, deve-se descartar o uso dessa estação como MAB e confeccionar um novo marco para uso exclusivo como MAB.

### b) Marcos Delimitadores

- a. É obrigatória a implantação do primeiro vértice
- b. Polígonos com  $\leq 10$  vértices:

- i. Todos os deverão ser implantados.
- c. Polígonos com > 10 vértices:
  - i. Não é necessário a implantação de todos os vértices, porém deve-se respeitar o limite mínimo de 10 vértices implantados.
  - ii. Aqueles que serão implantados deverão ser bem distribuídos e devem definir os limites “*extremos*” (eixo *N-S* e *E-W*) da poligonal, observando os critérios apresentados na **Figura 02**.



**Figura 02** – Exemplo de implantação dos Marcos Delimitadores

- iii. Deverão ser implantados todos os marcos que estão próximos aos limites das áreas de lavra do titular do processo ou da lavra existente em processo confrontante (**Figura 03**);



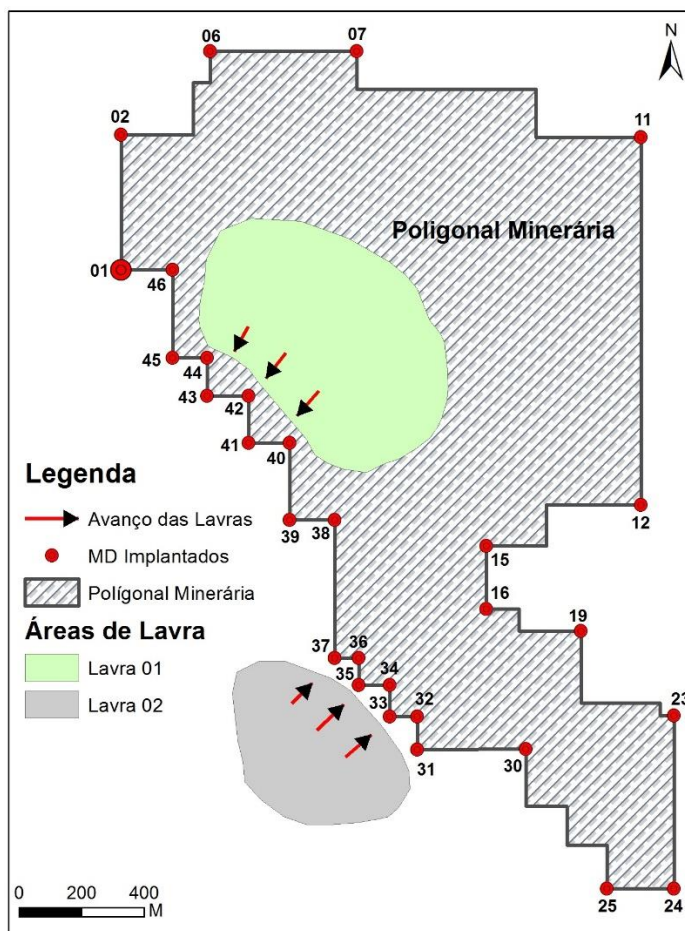


Figura 03 – Implantação de marcos nos vértices localizados próximos aos limites de lavras

- c) O DNPM pode a qualquer momento, mesmo após a imissão de posse efetivada, solicitar a implantação de outros marcos, caso esses sejam necessários para acompanhamento e controle dos limites das lavras em relação à poligonal outorgada.

## 6.1 Conferência das Coordenadas dos Marcos Delimitadores

Após a materialização dos vértices da poligonal é necessário checar as coordenadas finais dos marcos implantados e gerar os arquivos brutos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) do levantamento GNSS.



A checagem das coordenadas dos marcos implantados deve ser realizada a partir da reocupação dos mesmos com o uso de equipamentos GNSS geodésicos através do método de posicionamento relativo estático rápido, com a devida ocupação do Marco Apoio Básico concomitante ao levantamento dos Marcos Delimitadores. Ao final deste procedimento e de seu respectivo pós-processamento, deverá ser gerada uma tabela comparativa (**Item 8.2**) entre os valores das coordenadas obtidas em campo e as coordenadas dos vértices constantes no Título Minerário, resultando na acurácia de cada Marco Delimitador. Esta tabela é uma das peças técnicas mais importantes dos trabalhos de demarcação, sem a qual a documentação apresentada ao DNPM sobre a demarcação da área **não será analisada**.

Os arquivos brutos gerados durante a conferência descrita no item anterior devem ser apresentados ao DNPM juntamente com as peças técnicas e a documentação exigida. A escolha do formato RINEX se deve pelo fato de ser um formato de intercâmbio de dados entre todas as marcas e modelos de programas e equipamentos que utilizam dados GNSS.

## **7 MARCOS E PLAQUETAS DE IDENTIFICAÇÃO**

Os modelos de marcos e plaquetas que obrigatoriamente deverão ser adotados para a demarcação de áreas são:

### **7.1 Modelos de Marcos**

A fabricação dos marcos deverá obedecer aos ditames estabelecidos no § 3º do art. 66 do *Decreto nº 62.934, de 2 de julho de 1968 (Regulamento do Código de Mineração)*, com as seguintes especificações:

- a) Marco de concreto ou material sintético resistente ao fogo, no formato tronco piramidal com seção quadrada, medindo 14 cm de lado na base, 10 cm de lado no topo e altura de 80 cm (**Figura 04**);

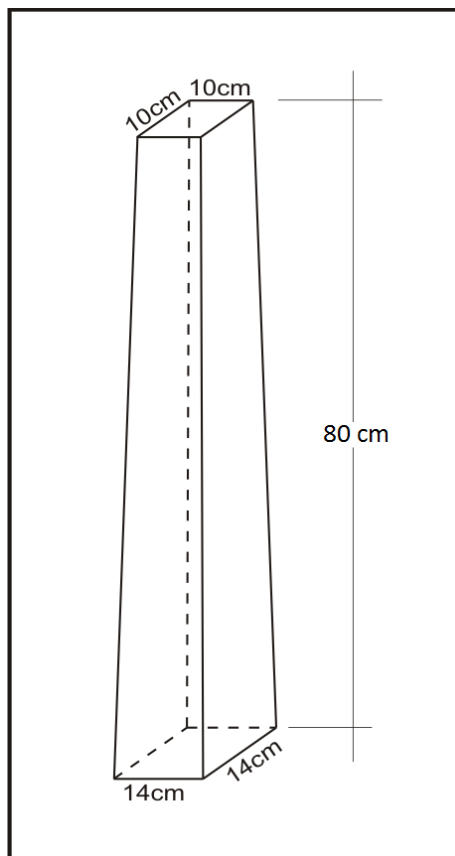


Figura 04 - Modelo de marco de concreto ou sintético com seção quadrada

- b) Com o objetivo de garantir sua estabilidade e durabilidade, no Marco de Apoio Básico deverá ser colocada uma proteção de concreto, com seção quadrada, medindo 35 cm de lado na base e 35 cm de lado no topo. As faces laterais deverão ter a altura de 30 cm. Esta proteção deverá aflorar do solo 10 cm (**Figuras 05 e 06**)

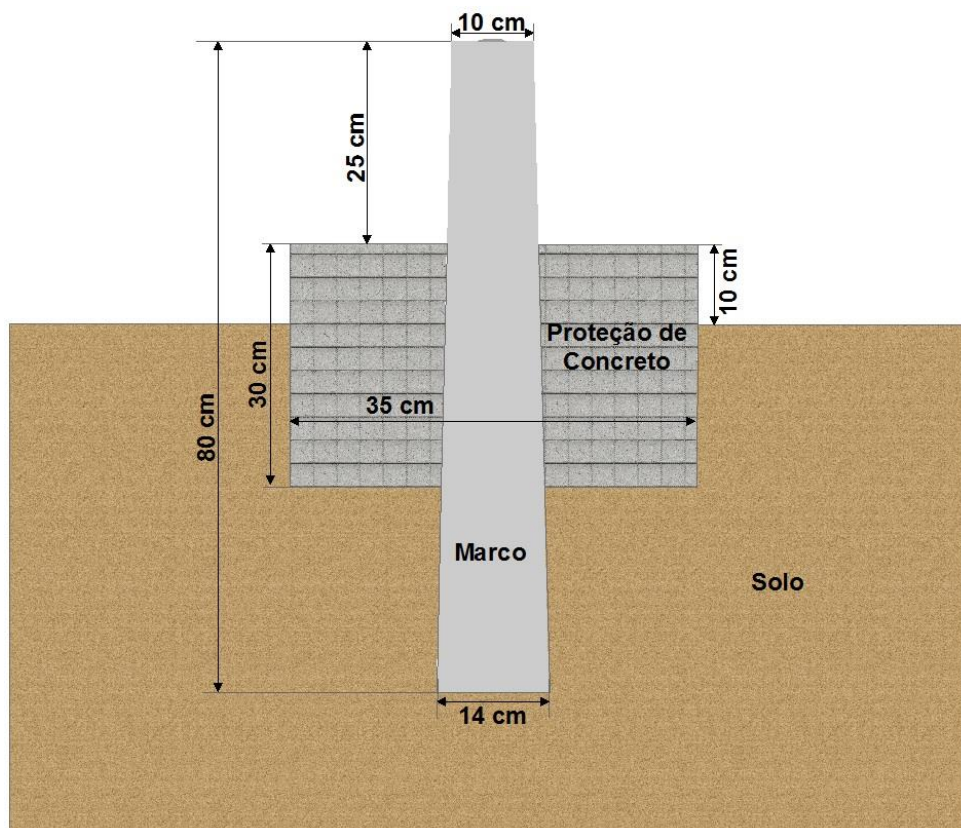


Figura 05 – Detalhe do marco de apoio básico com proteção de concreto (vista lateral)

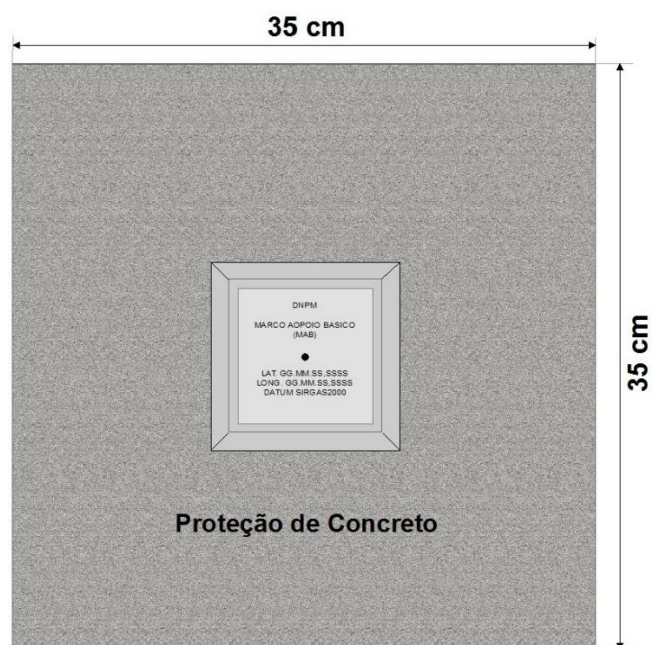


Figura 06 – Vista de cima do marco de apoio básico e proteção de concreto

- c) Os marcos de concreto ou sintéticos deverão ser enterrados 45 cm, ficando obrigatoriamente 35 cm fora do solo. A parte que ficará acima do solo deverá ser pintada na cor amarela para facilitar sua visualização;
- d) As plaquetas metálicas de identificação devem ser fixadas no topo do marco;
- e) A sequência numérica de identificação dos marcos deve ser a mesma que consta no título autorizativo de lavra;
- f) Nos casos em que o vértice for compartilhado com poligonais confrontantes, proceder da seguinte forma: fixar uma chapa metálica na face lateral do marco (lado interno da poligonal) com as seguintes gravações: número do processo, número do título autorizativo de lavra, sigla DNPM e identificação do vértice;
- g) A manutenção e preservação dos marcos, assim como a manutenção dos acessos aos mesmos, são de responsabilidade do titular da área conforme determina o artigo 45, § 2º do *Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967* (Código de Mineração) e o Art. 67, § 2º do *Decreto nº 62.934, de 2 de julho de 1968* (Regulamento do Código de Mineração).
- h) Marcos de imissões de posse homologadas não deverão ter sua posição alterada sem prévio consentimento do DNPM.

## 7.2 Modelos de Plaquetas

O material das plaquetas de identificação dos marcos deverá ser resistente à corrosão, contendo furos para fixação com parafusos ou haste de fixação. Deverá conter também, um orifício de centragem para facilitar a instalação dos equipamentos de medição.

Na plaqueta de identificação do Marco de Apoio Básico (MAB) deverá ser gravado os caracteres com as coordenadas referente a posição do marco, conforme o texto mostrado abaixo:

- a) Sigla “DNPM”;

- b) A inscrição “Marco de Apoio Básico” ou somente a sigla “MAB”
- c) As coordenadas da localização dos marcos: LAT. GG.MM.SS,SSSS e LONG. GG.MM.SS,SSSS
- d) O DATUM de referência das coordenadas: SIRGAS2000

Nas plaquetas de identificação dos marcos delimitadores deverão ser gravados os seguintes caracteres:

- a) Sigla “DNPM”;
- b) Número do processo no formato: 000.000/0000;
- c) Número da Concessão de Lavra (portaria ou decreto ou manifesto) e a data de sua publicação no formato: 000 – 00/00/0000;
- d) Identificação do vértice;
- e) Termo “*Protegido por Lei*”

A gravação dos caracteres deve ser feita em baixo relevo conforme modelos apresentados na **figura 07** e na **figura 08**:

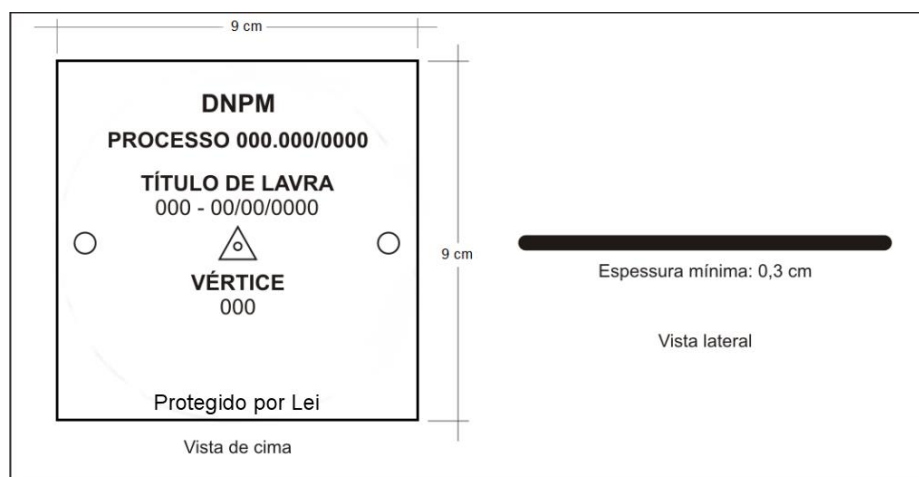


Figura 07 - Modelo de plaqueta de identificação de marcos com furos para fixação.

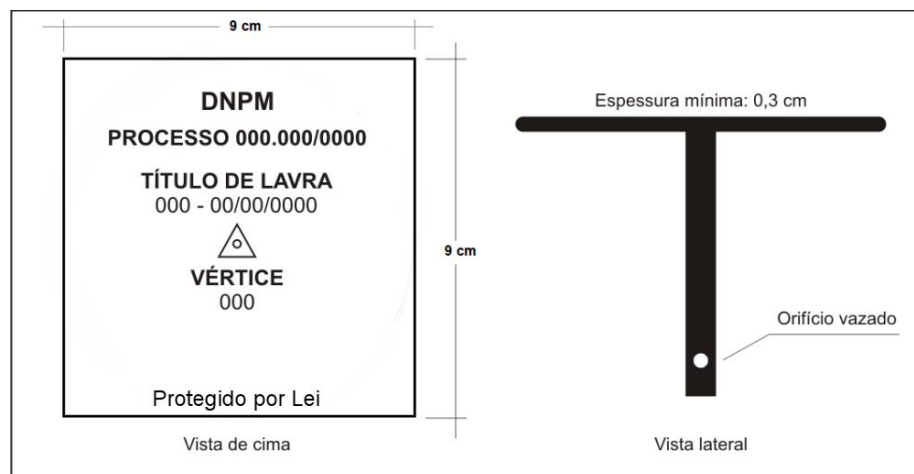


Figura 08 - Modelo de plaqueta de identificação de marcos com haste maciça para fixação.

## 8 PEÇAS TÉCNICAS E DOCUMENTAÇÃO

As peças técnicas e a documentação necessária para que o DNPM analise os trabalhos de demarcação estão listadas a seguir e deverão ser apresentadas no *DATUM* oficial brasileiro, *SIRGAS2000*. Esta análise faz parte dos procedimentos para expedição do termo de imissão de posse da jazida e é efetuada previamente à vistoria de campo da demarcação.

### 8.1 Relatório Técnico de Atividades

Deve descrever detalhes inerentes à realização dos trabalhos de demarcação, com explanação geral do método adotado, das atividades desenvolvidas e dos resultados obtidos, devendo constar obrigatoriamente:

- a) O período de execução dos trabalhos relativos à implantação dos Marcos de Apoio Básico, dos Marcos Delimitadores e, se for o caso, dos Marcos de Apoio Imediato;
- b) A descrição detalhada de todos os serviços executados, bem como os métodos empregados;

- c) A equipe técnica e auxiliares envolvidos nos trabalhos, identificando-os com nome completo e formação profissional;
- d) Os relatórios das Estações GPS utilizadas como referência no pós-processamento dos dados GNSS. Caso alguma Estação GPS faça parte da RBMC, apresentar também o relatório de informação do tipo de equipamento GNSS (receptor e antena) utilizado na referida estação;
- e) A monografia de todos os marcos de apoio básico, conforme modelo apresentado na **Tabela 04**;
- f) Informação dos programas utilizados em escritório com a descrição da respectiva versão;
- g) Marca, modelo e precisão dos equipamentos empregados nas atividades de campo;
- h) Documentação fotográfica de todos os Marcos de Apoio Básico e do Marco Delimitador número 001 (um) implantado no terreno, possibilitando a visualização e identificação do marco;

<b>MONOGRAFIA DE MARCO DE APOIO BÁSICO– SIRGAS2000 (Época 2000.4)</b>		
<b>INFORMAÇÕES DO MARCO</b>		
Número do Marco		Data da Medição
Tipo do Marco		Tempo de rastreio
Inscrição da plaqueta		
<b>INFORMAÇÕES SOBRE A LOCALIZAÇÃO</b>		
Município		Estado
Localidade		
Observação (vias de acesso, pontos de referência etc.)		
<b>COORDENADAS GEODÉSICAS</b>		
Latitude		Sigma Lat. (m)
Longitude		Sigma Long. (m)
Alt. Elipsoid.		Sigma Alt. Elips. (m)
<b>INFORMAÇÕES DO RECEPTOR GNSS</b>		
Fabricante		S/N do receptor
Modelo		Modelo da Antena
Portadoras		Altura da Antena [m]
<b>CROQUI DE LOCALIZAÇÃO</b>		<b>FOTO</b>
<b>OPERADOR</b>	<b>DATA PROCESSAMENTO</b>	<b>DATA MONOGRAFIA</b>

**Tabela 04** – Formulário modelo para monografias dos marcos de apoio básico.



## 8.2 Tabelas de Dados e Relatórios de Processamento e Ajustamento

- a) Apresentar tabela de coordenadas geodésicas resultantes da implantação dos Marcos Delimitadores, no formato GG:MM:SS.SSSS, contendo a identificação do marco, latitude e longitude, altitude elipsoidal, desvios padrão de cada componente e o método de posicionamento empregado (exemplo Tabela 05);

Marco Delimitador	Latitude	$\sigma_{lat.}$	Longitude	$\sigma_{long.}$	Alt. Elip.	$\sigma_{alt.}$	Método Posicionamento

**Tabela 05** – Exemplo de tabela de coordenadas geodésicas dos marcos delimitadores

- b) Apresentar tabela comparativa entre os valores das coordenadas obtidas em campo sobre os marcos implantados e aquelas dos vértices constantes no Título Minerário, resultando no cálculo da acurácia posicional relativa ( $\leq 50\text{cm}$ ) de cada Marco Delimitador. O formato das coordenadas deve ser GG:MM:SS.SSSS.

TÍTULO MINERÁRIO				MARCO DELIMITADOR				Acurácia (m)
Vértice	Lat.	Long.	Alt.	Marco	Lat.	Long.	Alt.	

**Tabela 06** – Exemplo de tabela de acurácias posicionais relativas dos Marcos Delimitadores

- c) Relatório completo de processamento e ajustamento dos dados observados sejam pelo método de posicionamento GNSS ou, se for o caso, por topografia clássica.

### 8.3 Planta de Detalhe

A planta de detalhe deve ser georreferenciada e elaborada em escala adequada, onde seja possível representar e visualizar as informações descritas a seguir e demais informações que o responsável técnico pelo georreferenciamento julgar relevante:

- a) A poligonal que une os Marcos Delimitadores;
- b) Todos os Marcos de Apoio e Marcos Delimitadores implantados;
- c) O(s) perímetro(s) da(s) cava(s) de lavra com as direções de avanço das frentes de lavra.

### 8.4 Arquivos Digitais

A mídia contendo os arquivos digitais deverá anexada aos documentos e peças técnicas que serão apresentados para análise. Pode ser usado CD-ROM ou DVD, como mídia para gravação e armazenamento dos dados digitais.

São necessários os seguintes arquivos:

- a) Relatório técnico de atividades, tabelas de dados e relatórios de processamento e ajustamento, no formato *docx* ou *pdf*;
- b) Planta de detalhe georreferenciada, preferencialmente em formato *shp* (shapefile), *gtm* (GPS TrackMaker) ou *dxf* (o formato “*dxf*” deverá estar devidamente georreferenciado);
- c) Dados brutos no formato RINEX (sem correção diferencial) de todas as observações efetuadas por aparelho GNSS, identificados segundo o respectivo marco levantado;
- d) Apresentar em arquivo os trajetos aos marcos implantados em campo nos formatos *kml*, *shp*, *gpx*, ou *gtm*. Para levantar os respectivos acessos, pode ser utilizado GPS de navegação;

- e) Documentação fotográfica de todos os marcos implantados em campo.

### **8.5 Anotação de Responsabilidade Técnica – ART**

Deve ser apresentada a ART do responsável técnico pelo trabalho, com respectivo comprovante de pagamento da taxa junto à instituição bancária.

## **9 CASOS ESPECIAIS**

- a) Em situações de englobamentos de duas ou mais poligonais minerárias em uma única deverá ser feita a atualização das imissões de posse dos processos de concessões de lavra que já possuam o termo de posse da jazida, com base na poligonal resultante do englobamento;
- b) Nos casos de Grupamento Mineiro, a imissão de posse deverá ser feita para cada um dos processos de Concessão de Lavra do Grupamento;
- c) Em se tratando de cessão parcial em Título Minerário com Imissão de Posse já realizada, a Imissão deverá ser solicitada para a poligonal cedida e atualizada para a poligonal cedente.

## **10 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

- a) A demarcação da poligonal do Título Minerário pode ser provocada pelo próprio titular ou por exigência do DNPM. Neste caso, o titular terá no máximo 60 dias para execução e apresentação dos trabalhos realizados ao DNPM. O prazo para o cumprimento desta exigência, sob pena das sanções previstas na legislação minerária, é contado a partir da data de publicação no Diário Oficial da União do extrato do ofício enviado pelo DNPM.
- b) Para o cumprimento da referida exigência, o titular deverá encaminhar um requerimento de juntada, identificado pelo número do processo da área minerária, ao Superintendente da unidade regional do DNPM, acompanhado de todas as

peças técnicas e documentos solicitados (**item 8**) Os dados que serão apresentados ao DNPM, devem ser protocolizados para serem juntados ao processo, analisados e conferidos com vistoria de campo por técnicos do DNPM, antes do ato de Imissão de Posse.

- c) As especificações técnicas aqui apresentadas, para a demarcação de áreas, referentes à precisão, à acurácia e ao sistema de referência adotado, também poderão ser utilizados para casos de áreas de conflitos e/ou litígios e áreas deslocadas.
- d) Antes da execução dos trabalhos de demarcação da área é de fundamental relevância que o titular do direito minerário providencie a realização do levantamento do perímetro da(s) cava(s) de lavra existente(s), para confrontar com os dados da poligonal autorizada, verificando se as atividades de lavra estão se desenvolvendo dentro dos limites autorizados pelo DNPM.
  - i. A demarcação da área somente será aprovada se constatado, que as atividades de lavra estão se desenvolvendo dentro da poligonal autorizada. Caso o DNPM não tenha verificado, previamente, a posição espacial da lavra, em relação à poligonal autorizada, este procedimento será realizado durante a vistoria para periciar a demarcação da área.
- e) Após vistoria de campo e aprovação dos trabalhos pelos técnicos do DNPM, será publicado o edital de imissão de posse segundo os termos estabelecidos na legislação minerária.
  - i. A data da solenidade do ato de Imissão de Posse, somente poderá ser marcada, após a verificação, no campo, dos trabalhos de demarcação da área e da sua aprovação pela equipe do DNPM.
- f) Importante: No caso de trilhas e picadas em mata fechada, as mesmas devem ser mantidas abertas para acesso dos técnicos do DNPM, aos marcos implantados.

## 11 AGRADECIMENTOS

O DNPM agradece aos professores da Universidade Federal de Santa Maria, Dr. Gelson Lauro Dal 'Forno e Me. Argentino José Aguirre, pelas importantes contribuições e apoio técnico na elaboração deste manual.

## 12 REFERÊNCIAS

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.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Padronização de Marcos Geodésicos**. IBGE, agosto de 2008.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, 3ª Edição**. Brasília: INCRA, 2013.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Brasília: INCRA, 2013.

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.

PIMENTEL, D. C. C. **A Modelagem Tridimensional no Tratamento do Problema Direto da Geodésia**. Dissertação de Mestrado: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

OLIVEIRA, R. N. Q.; SILVA, C. S. **Sistema de Projeção Transversa de Mercator no Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2012.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Unesp, 2008.

### 13 CONTATOS

1 – Coordenação de Geoprocessamento: [cgtiq.geo@dnpm.gov.br](mailto:cgtiq.geo@dnpm.gov.br)

Telefone: (61) 3312-6877;

2 – Coordenação de Estudos de Áreas: [dqtm.areas@dnpm.gov.br](mailto:dqtm.areas@dnpm.gov.br)

Telefones: (61) 3312-6949, (61) 3312-6945 ou (61) 3312-6689.

## ANEXOS

### 14 ANEXO 01 – OUTROS CONCEITOS E DEFINIÇÕES

#### 14.1 Coordenadas Geodésicas

O sistema de coordenadas angulares representa a posição dos pontos no espaço por meio da latitude geodésica ( $\varphi$ ), longitude geodésica ( $\lambda$ ) e altitude elipsoidal ( $h$ ), quando adotado o elipsóide de revolução como superfície de referência.

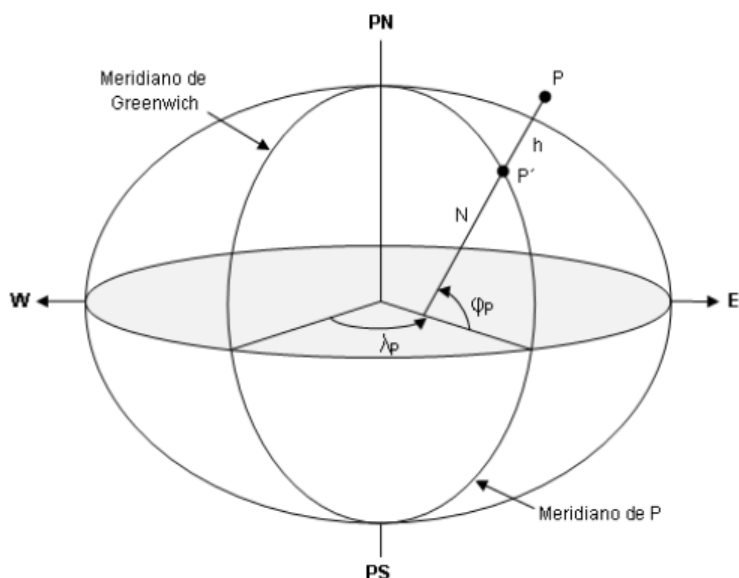


Figura 1 – Representação do sistema de coordenadas geodésicas

#### 14.2 Coordenadas Geodésicas Cartesianas Geocêntricas

O sistema de coordenadas cartesiano tridimensional geocêntrico ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) é constituído de três eixos perpendiculares, com sua origem posicionada na intersecção dos eixos da elipse e localizado no centro de massa da terra. O eixo “Z” é orientado na direção do *Conventional Terrestrial Pole* (Polo Terrestre Convencional), o eixo “X” é orientado na

direção do meridiano médio de Greenwich e o eixo “Y” é orientado no plano equatorial, ortogonal a “X”, de modo a tornar o sistema dextrogiro.

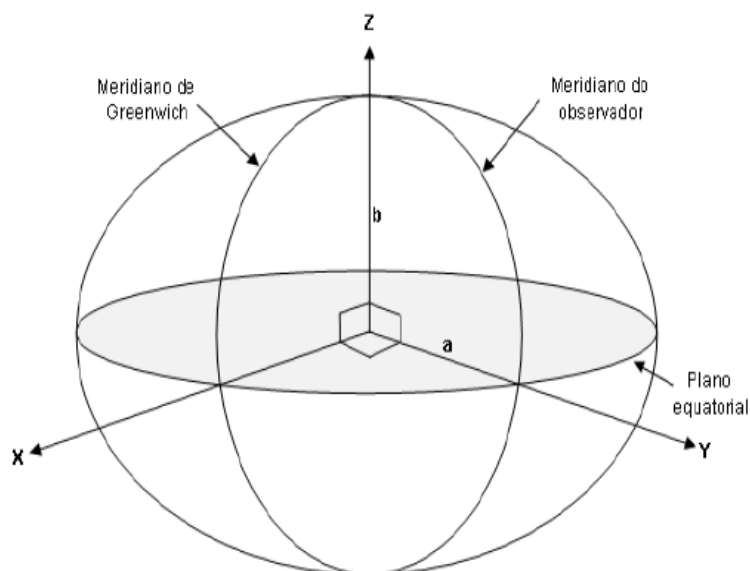


Figura 2 – Representação do sistema de coordenadas cartesianas geocêntricas

### 14.3 Coordenadas Cartesianas Locais

São coordenadas cartesianas definidas num plano topográfico local, perpendicular à normal ao elipsoide, ou perpendicular à vertical do lugar e tangente à superfície terrestre no ponto adotado como origem do Sistema Geodésico Local (SGL), ou origem do Sistema Astronômico Local (SAL).

### 14.4 Sistema Geodésico Local

Na Topografia Clássica, os pontos da superfície da Terra são projetados ortogonalmente sobre um plano horizontal tangente a um ponto qualquer da superfície terrestre, o qual pode ter sua tangência (ao plano) estabelecida no ponto inicial do levantamento. Quando este plano é perpendicular à vertical do lugar, constitui um Sistema Astronômico Local e, quando perpendicular à normal ao elipsoide, é denominado de Sistema Geodésico Local (SGL).



Estes dois sistemas locais (astronômico e geodésico), de mesma origem, possuem um giro entre si, cujo valor é igual ao desvio da vertical no ponto origem. Desta forma, em função do baixo valor angular do desvio da vertical, praticamente, não existem diferenças entre as medidas tomadas no plano horizontal entre os dois sistemas e, como regra geral, se a deflexão vertical não é contabilizada, há um erro vertical de 0,0485 metros para cada 10" de desvio da vertical, ao longo de uma linha de base medida e a cada quilômetro de distância.

Para a acurácia estabelecida neste manual, estas diferenças são perfeitamente aceitáveis, podendo empregar os dois sistemas conjuntamente ou isoladamente.

O Sistema Geodésico Local (SGL) é um sistema cartesiano composto de três eixos mutuamente ortogonais ( $t$ ,  $u$ ,  $v$ ), onde o eixo "u" aponta em direção ao norte geodésico, o eixo "t" aponta para a direção leste e é perpendicular ao eixo "u", ambos contidos no plano topográfico, e o eixo "v" coincide com a normal ao elipsoide que passa pelo ponto escolhido como a origem do sistema.

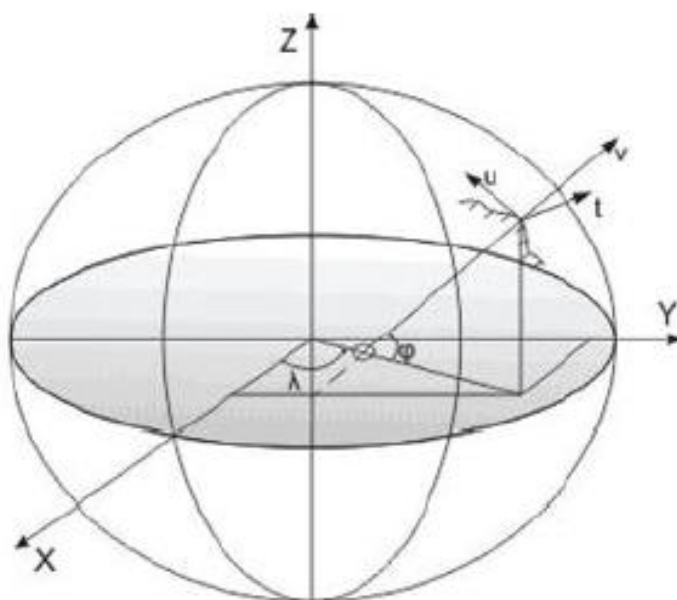


Figura 3 – Representação do sistema de coordenadas cartesianas locais em conjunto com o sistema de coordenadas cartesianas geocêntricas.

## 14.5 Desvio da Vertical

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 elipsóide).

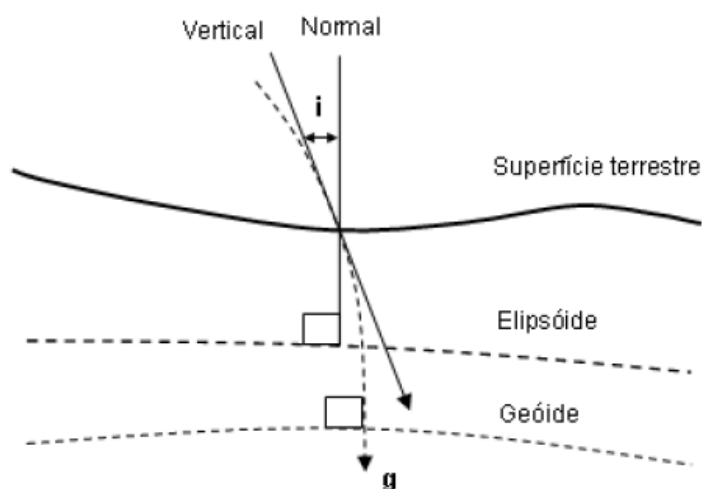


Figura 4 – Representação do desvio da vertical (i) em um ponto na superfície terrestre.

## 14.6 Projeção Cartográfica Local Transversa de Mercator (LTM)

É um sistema de projeção cartográfico, derivado da UTM (Universal Transversa de Mercator). A finalidade de sua utilização visa diminuir as distorções nas representações em escalas grandes. Suas características principais são:

- Projeção Conforme
- $k_0 = 0,999995$ : fator de escala básico (coeficiente de deformação) no meridiano central;
- longitude origem no meridiano central (MC);
- latitude origem no equador;

- e) origem da coordenada plana  $N$  na linha do equador:  $N=0\text{ m}$  para o hemisfério norte e  $N=5.000.000\text{ m}$  para o hemisfério sul;
- g) origem da coordenada plana  $E$  no meridiano central:  $E=200.000\text{ m}$ ;
- h) 360 fusos de um grau de amplitude. Longitude do meridiano central com valor inteiro mais 30 minutos.

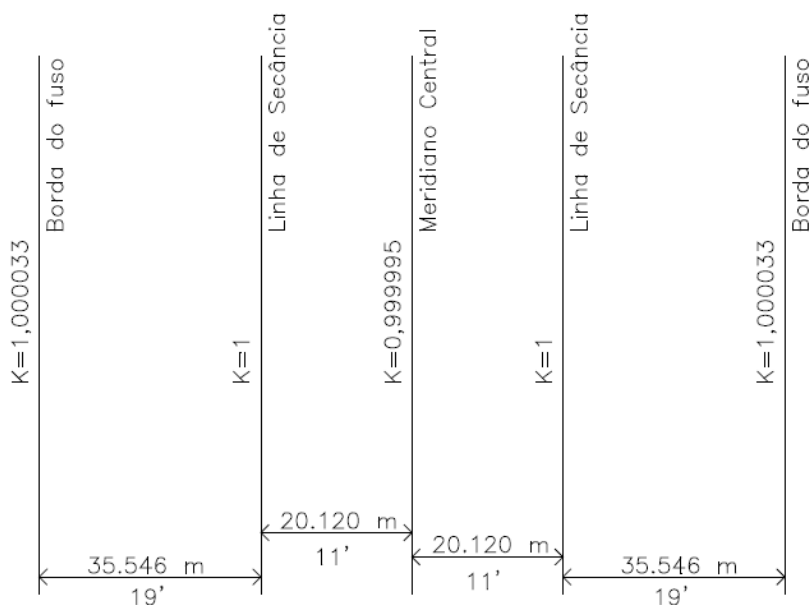


Figura 5 – Variação do fator de escala, no fuso, do sistema LTM

## 14.7 Global Navigation Satellite System (GNSS)

GNSS (Global Navigation Satellite System) é a sigla genérica padrão para definir um conjunto de sistemas de rádio navegação, constituído por satélites e que permite determinar o posicionamento e localização de um receptor em qualquer lugar da superfície terrestre, ou na sua proximidade.

## **14.8 Linha de Base**

É o vetor que representa a distância entre dois pontos ocupados por rastreadores GNSS geodésicos ou estação total ou, ainda, por estação total e prisma.

## **14.9 Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)**

Segundo o *Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967* e a *Resolução do Presidente do IBGE nº 22, de 21 de julho de 1983*, é o conjunto de pontos geodésicos de controle materializados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país por meio de marcos, pilares e sinais, onde se apoiam obrigatoriamente os levantamentos cartográficos sistemáticos. Estes pontos são determinados por procedimentos operacionais e com coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam.

### **14.10 Estação GPS e RBMC**

São marcos geodésicos de referência, que constituem o SGB, com os seus respectivos valores de coordenadas e dados auxiliares. A materialização desses marcos é efetivada através do conjunto de estações, que constituem a rede planimétrica de alta precisão, determinada por geodésica espacial.

---

## 15 ANEXO 02 – MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

### 15.1 Posicionamento por GNSS

A sigla GNSS 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, proporcionam maior precisão e confiabilidade aos dados levantados.

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 os trabalhos relacionados à demarcação da área de mineração.

Neste sentido, para que seja garantida a acurácia e a precisão requerida neste manual, recomenda-se o uso de efemérides pós-processadas, denominadas efemérides precisas, produzidas por diversos centros de análises que compõem o IGS. Aconselha-se também, que todas as antenas utilizadas no posicionamento por GNSS tenham os respectivos centros de fase calibrados segundo os parâmetros disponibilizados pelo NGS

(*National Geodetic Survey*; <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>). Este é o órgão oficial de calibração de antenas do governo norte americano. A calibração de antenas visa suprimir erros sistemáticos, no pós-processamento das observações GNSS, melhorando a qualidade e a confiabilidade dos dados.

### 15.1.1 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.

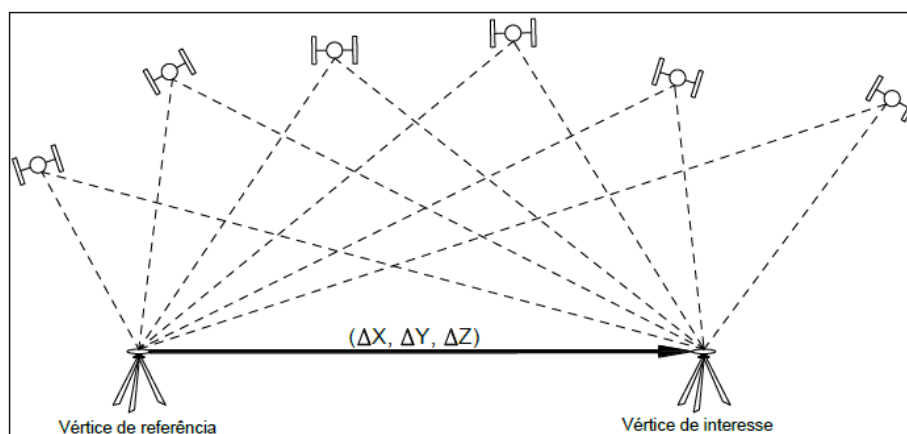


Figura 6 – Técnica de posicionamento relativo

#### a) 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 período determinado. Recomenda-se observar os valores constantes na Tabela 1.

<b>Linha de base (km)</b>	<b>Ocupação mínima (minutos)</b>	<b>Observáveis</b>	<b>Solução das Ambiguidades</b>	<b>Nº de sessões</b>	<b>Tipo de Efemérides</b>
0 a 10	20	L1 ou L1/L2	Fixa	1	Transmitidas ou Precisas
10 a 20	30	L1/L2	Fixa	1	Transmitidas ou Precisas
10 a 20	60	L1	Fixa	1	Transmitidas ou Precisas
20 a 100	120	L1/L2	Fixa ou Flutuante	1	Transmitidas ou Precisas
100 a 500	240	L1/L2	Fixa ou Flutuante	2	Precisas
500 a 1000	480	L1/L2	Fixa ou Flutuante	3	Precisas

Tabela 1 – Critérios para as sessões de rastreamento no método de posicionamento relativo estático.

### **b) 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 de deslocamento entre os vértices de interesse.

#### **15.1.2 RTK**

O método de posicionamento RTK (Real Time Kinematic – Posicionamento em Tempo Real), consiste em conhecer as coordenadas do receptor colocado no marco de referência, a partir do qual são transmitidos os vetores de posicionamento, com as correções, ao

receptor móvel, de forma quase instantânea. Portanto, determinando as coordenadas do vértice de interesse em tempo real. Desta forma, proporciona o conhecimento instantâneo (tempo real) de coordenadas precisas, tornando ágil o processo de determinação (ou localização) das coordenadas dos vértices da poligonal delimitadora da área de mineração.

### a) 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) receptor(es) que ocupa(m) os pontos de interesse. A solução encontrada é uma linha de base única, conforme Figura 7.

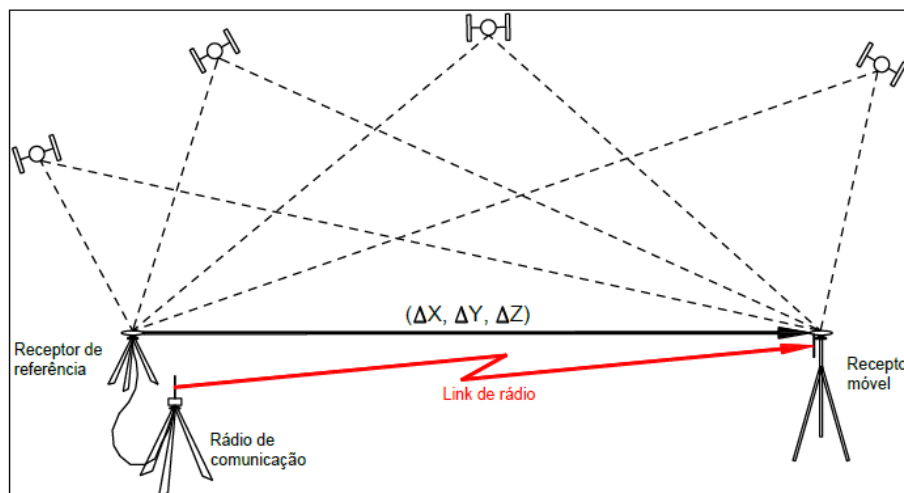


Figura 7 – RTK convencional

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 está condicionada a solução do vetor das ambiguidades como inteiro (solução fixa).



## b) RTK em Rede (GSM)

No RTK em rede, ao contrário do RTK convencional que utiliza 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 8.

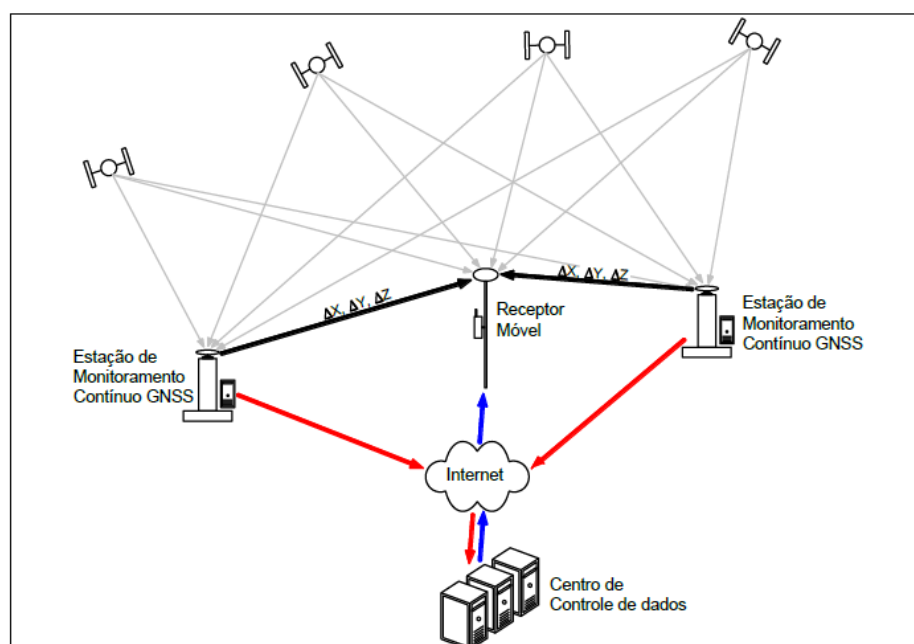


Figura 8 – RTK em rede

Para ter acesso aos serviços RTK em rede, o receptor GNSS deve possuir um modem GSM, com chip (Sim Card) instalado, para que possibilite a configuração da rede GPRS que será utilizada, por exemplo, Oi, Claro, Tim ou Vivo. O próximo passo é ter acesso a uma das redes disponíveis. No Brasil existem redes públicas e privadas. A rede pública mais usada é a RBMC-IP do IBGE. Para ter acesso ao servidor do IBGE é preciso preencher um cadastro e fazer um registro como usuário do serviço. Para mais informações acessar: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/>

A aplicação do RTK em rede está sujeita à disponibilidade de serviços de telefonia celular na área de trabalho. A distância das bases de referência, também, pode criar limitações na aplicação deste método, tendo em vista a precisão requerida no levantamento, pois quanto maior as linhas de base, maior será o erro associado ao levantamento.

Com o objetivo de proporcionar maior precisão e controle, a aplicação deste método de posicionamento, fica condicionada ao mínimo de duas estações de referência, sendo obrigatório o ajustamento das observações pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

### **15.1.3 Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP)**

O IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso ou Posicionamento Absoluto Preciso) é um serviço online gratuito para o pós-processamento de dados GNSS (Global Navigation Satellite System), que faz uso do programa CSRS-PPP (GPS Precise Point Positioning) desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCan). Ele permite aos usuários com receptores GPS e/ou GLONASS, obterem coordenadas de boa precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e no International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

No posicionamento com GNSS, o termo Posicionamento por Ponto Preciso normalmente refere-se à obtenção da posição de um ponto utilizando as observáveis da fase da onda portadora, coletadas por receptores de duas frequências e em conjunto com os produtos precisos (órbitas e erro dos relógios dos satélites), como por exemplo, aqueles disponíveis no IGS (International GNSS Service) ou NRCan.

O uso dessa técnica está condicionado aos seguintes critérios:

- a) Utilização de equipamentos exclusivamente L1/L2 ou superior;
- b) Tempo de rastreamento mínimo de 04 horas;
- c) Pós-processamento dos dados após 36 horas do término do rastreamento devido à disponibilidade dos arquivos de órbitas precisas pelo NRCAN conforme tabela 2.

Produtos NRCAN				
Órbitas/ Intervalo	Relógios/ Intervalo	Constelação	Quando o IBGE-PPP irá utilizar?	Precisão da órbita
Ultra Rápidas (EMU) 15 minutos	EMU 30 segundos	GPS	A partir 1h30min a 2h30min após o fim do rastreamento até a disponibilidade das órbitas EMR	$\pm 15$ cm
Rápida (EMR) 15 minutos	EMR 30 segundos	GPS e GLONASS	A partir de 12 a 36 horas após o fim do rastreamento até a disponibilidade das órbitas EMF	$\pm 5$ cm
Final (EMF) 15 minutos	EMF 30 segundos	GPS e GLONASS	A partir de 11 a 17 dias após o fim do rastreamento	$\pm 2$ cm

Tabela 2 – Critérios para pós-processamento dos dados GNSS usando o PPP

Para mais informações sobre este serviço acessar:

<http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>

## 15.2 Posicionamento por Topografia Clássica

A Topografia Clássica pode ser adotada de forma isolada ou integrada aos levantamentos realizados com GNSS, principalmente, quando o emprego de GNSS é inviável pela presença de obstruções físicas que prejudicam a propagação de sinais de satélites.

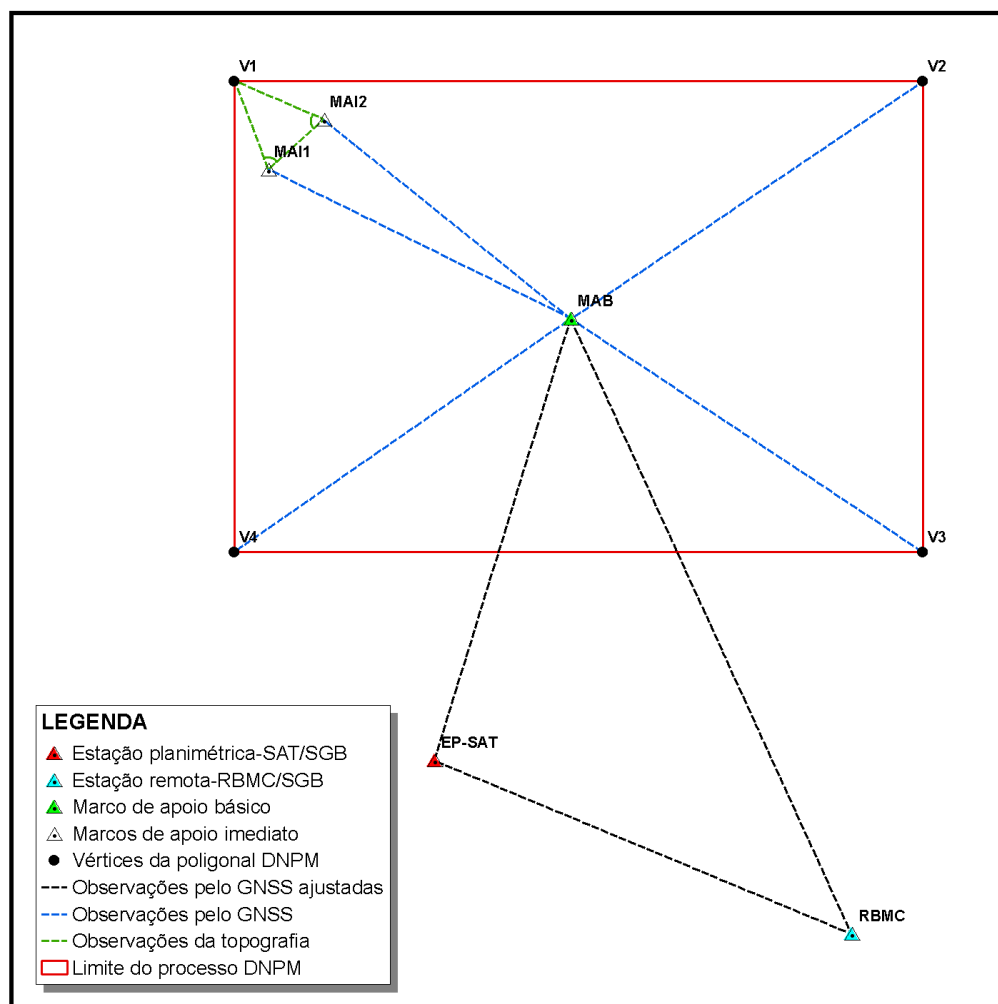


Figura 9 – Exemplo prático de integração de dados GNSS e topografia

Nos próximos tópicos é feita uma breve descrição sobre cada um dos métodos de posicionamento por topografia clássica, aplicados aos serviços de imissão de posse. Nas figuras de 10 a 16, a cor vermelha representa os valores observados por topografia clássica e a cor preta os valores conhecidos, levantados por métodos GNSS.

### 15.2.1 Poligonização

A poligonização 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.

Este método é uma alternativa para a locação das coordenadas de um Marco Delimitador da área de mineração, a partir de no mínimo dois Marcos de Apoio. Neste caso, tem-se uma poligonal, com controle, o que possibilita a aplicação das técnicas de ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados.

Nestas poligonais o controle é obtido a partir do conhecimento das coordenadas X,Y,Z dos Marcos de Apoio envolvidos no processo (ver **Anexo 3: itens 16.5 e 16.6**). As figuras 9, 10 e 11 ilustram os tipos de poligonais que poderão ser empregadas.

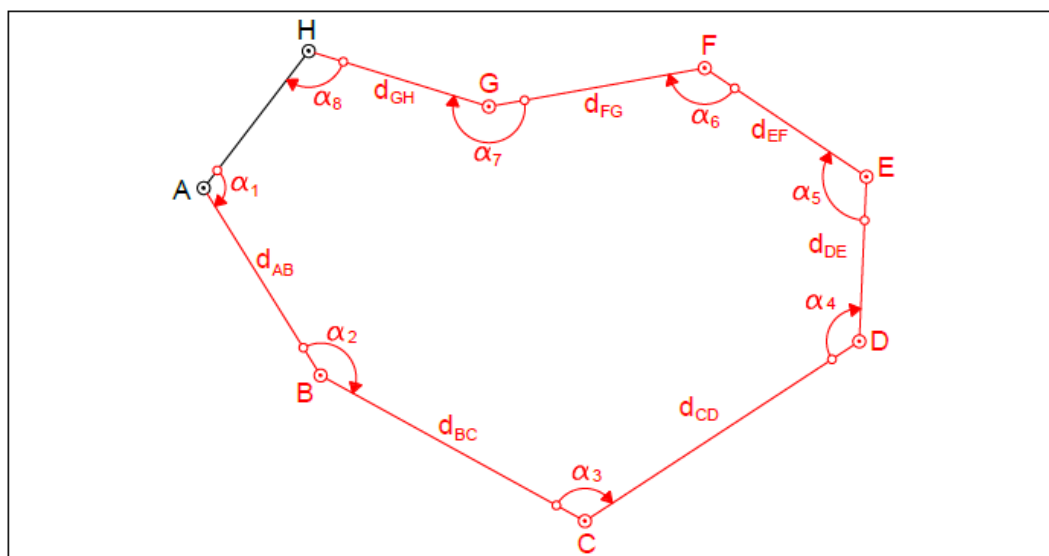


Figura 10 – Poligonal 1

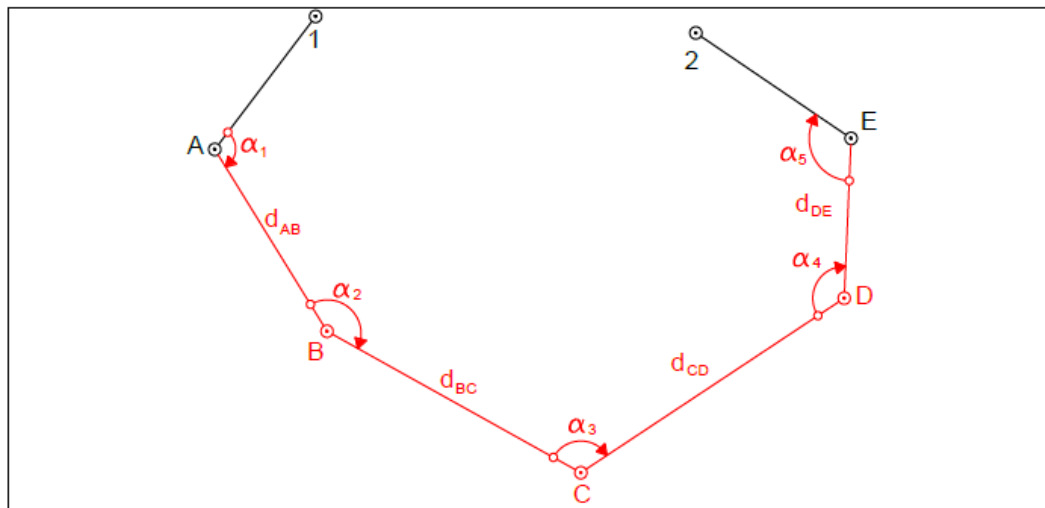


Figura 11 – Poligonal 2

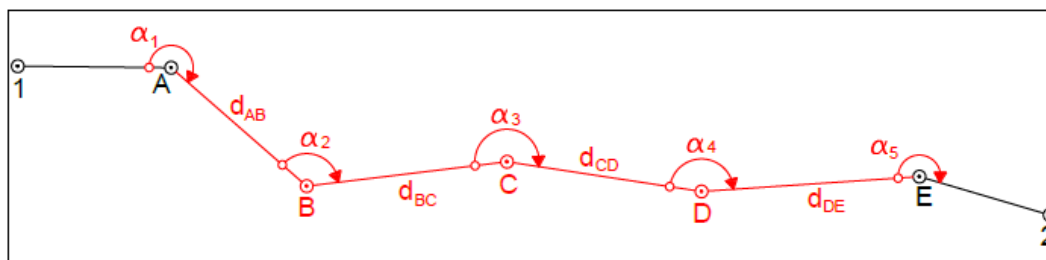


Figura 12 – Poligonal 3

### 15.2.2 Triangulação

No método de triangulação são observados ângulos e distâncias entre os vértices intervisíveis de uma rede de triângulos (Figura 13).

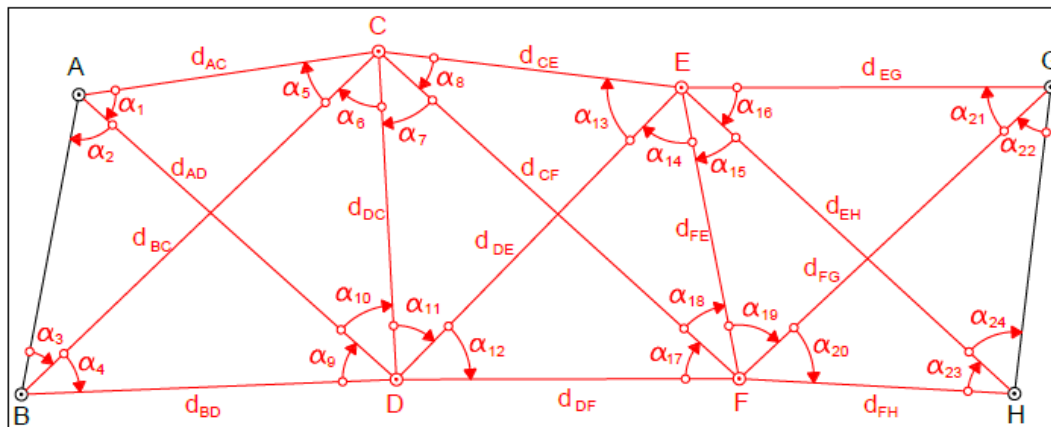


Figura 13 – Esquema de triangulação.

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 triangulação, quando comparada com a trileração e triangulação, se destaca por possibilitar uma melhor precisão e melhor análise estatística das observações e das coordenadas, devido ao elevado número de observações redundantes.

Tendo em vista que o número de observações é superior ao número de incógnitas, para permitir o ajustamento dessas observações pelo Método dos Mínimos Quadrados, os posicionamentos executados por triangulação deverão se apoiar em, no mínimo, quatro vértices de referência, sendo dois vértices de “partida” e dois de “chegada”. Pela praticidade, os vértices de referência devem ter suas coordenadas determinadas por meio de posicionamento por GNSS.

A triangulação pode ser uma alternativa para ser usada no estabelecimento de Marcos de Apoio, a partir dos quais se loca as coordenadas dos Vértices Delimitadores da área de mineração.

### 15.2.3 Irradiação

O método da irradiação, em planimetria, se baseia na determinação ou locação de vértices a partir do emprego de ângulos e distâncias.

A locação de um ponto de interesse pode ser realizada a partir de uma base (em que se conhecem as coordenadas planas de seus extremos), um ângulo e a distância ao ponto de interesse, como ilustra a Figura 14.

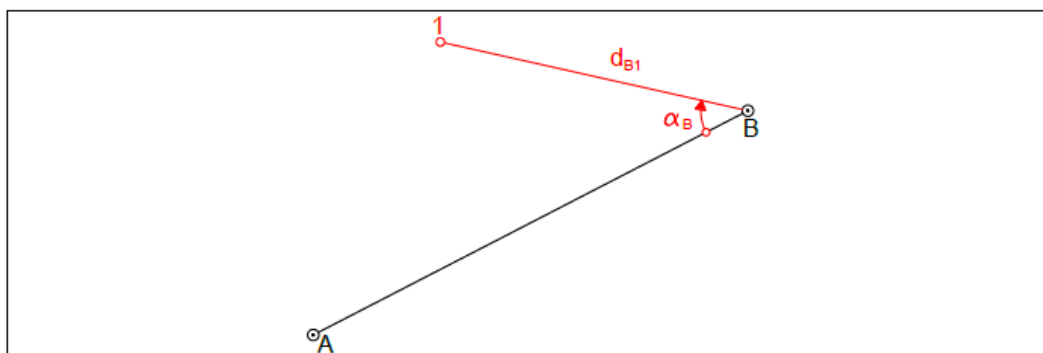


Figura 14 – Locação planimétrica, por irradiação, de um vértice a partir de uma base conhecida.

Os marcos, de coordenadas conhecidas, podem ser os Marcos de Apoio Básico ou os Marcos de Apoio imediato. Quando for possível, é aconselhável, que a locação do vértice de interesse seja “irradiada” de mais de um Marco de Apoio, permitindo assim, conferir a locação e possibilitando uma pequena compensação, no terreno, dentro da acurácia estabelecida por este manual (Figura 15).

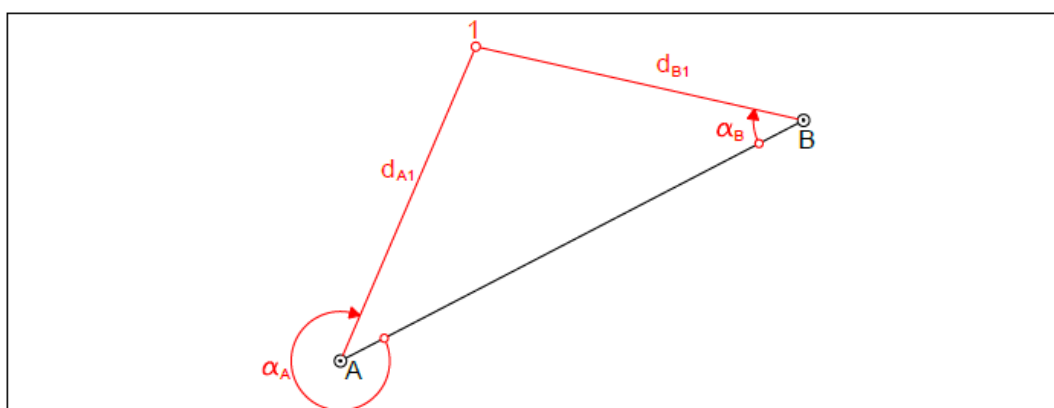


Figura 15 – Locação de vértice com dados redundantes



### 15.2.4 Alinhamento

O método do alinhamento consiste na locação de um vértice que se encontra na direção definida por outros dois pontos de coordenadas conhecidas. A única observação necessária é à distância de um dos vértices conhecidos até o vértice de interesse (Figura 16).

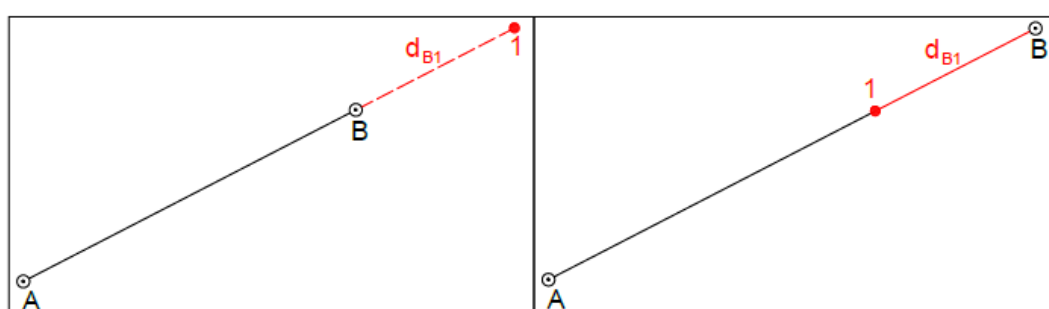


Figura 16 – Locação de vértice pelo método de alinhamento

Recomenda-se a utilização do método de alinhamento, em locais onde existem obstruções físicas que impeçam o levantamento por métodos GNSS. É uma alternativa à utilização de outros métodos da topografia clássica. A locação do ponto deverá ser executada com o alinhamento definido com estação total.

Os métodos de posicionamento apresentados e características técnicas utilizadas para sua execução visam garantir a acurácia posicional melhor ou igual a 50 cm para os marcos delimitadores.

## 16 ANEXO 03 – CÁLCULOS E FÓRMULAS

Neste anexo são informadas algumas das formulações matemáticas necessárias para aplicação deste manual.

### 16.1 Cálculo da PPA (Precisão Posicional Absoluta)

O seu resultado deve ser expresso em metros pela resultante das componentes planimétricas em X e Y ao nível de confiança de 95,45% ( $\pm 2\sigma$  da média, distribuição normal), devendo ser calculada segundo a fórmula a seguir:

$$P = \sqrt{(\sigma x^2 + \sigma y^2)}$$

Onde:

$P$  = Precisão Posicional Absoluta em metros;

$\sigma x$  = Desvio padrão da componente “x”, em metros;

$\sigma y$  = Desvio padrão da componente “y”, em metros.

### 16.2 Ajustamento de Redes

O ajustamento de redes deve ser realizado pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) ao nível de confiança mínimo de 95,45% que corresponde a  $\pm 2\sigma$ .

### 16.3 Cálculo da APR (Acurácia Posicional Relativa)

Opcionalmente, para o cálculo da APR, as coordenadas geodésicas angulares ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) e altura elipsoidal ( $h$ ), provenientes da locação e da concessão de lavra, poderão ser transformadas para coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z). Nesta transformação, a altitude elipsoidal ( $h$ ) do vértice de coordenada, oriundo do título autorizativo de lavra, deverá ser arbitrada com o mesmo valor da altitude elipsoidal obtida na locação do respectivo marco delimitador. Este procedimento irá minimizar a distorção no valor da distância horizontal calculada para obtenção da acurácia posicional relativa, tendo em vista que não existe informação altimétrica nas coordenadas dos vértices das poligonais

autorizadas pelo DNPM. No entanto esse procedimento é recomendado quando o valor da distância horizontal a ser calculado for significativo, já que a para distancias de até poucos metros a falta da componente altimétrica na medida não gera distorções relevantes. O cálculo deve ser expresso em metros, realizado com a seguinte fórmula:

$$A = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$$

Onde:

$A$  = Acurácia Posicional Relativa em metros;

$X_1, Y_1, Z_1$  = Coordenadas cartesianas geocêntricas constantes no título autorizativo de lavra;

$X_2, Y_2, Z_2$  = Coordenadas cartesianas geocêntricas provenientes dos marcos delimitadores.

## 16.4 Conversão de Coordenadas Geodésicas Angulares para Coordenadas Cartesianas Tridimensionais Geocêntricas e o Processo Inverso

A conversão de coordenadas geodésicas  $\varphi, \lambda$  e  $h$  para coordenadas cartesianas tridimensionais geocêntricas  $X, Y, Z$  e o processo inverso é realizado por meio das formulações matemáticas apresentadas a seguir. Essas fórmulas correspondem as descritas nos itens 3.2 e 3.4 da Resolução do presidente do IBGE nº 23, de 21 de fevereiro de 1989. Preferencialmente, estes tipos de conversão de sistemas de coordenadas deverão ser executados utilizando o ProGrid: [ftp://geofp.ibge.gov.br/aplicativos/transformacao\\_coordenadas/](ftp://geofp.ibge.gov.br/aplicativos/transformacao_coordenadas/)

### 16.4.1 Notação

$\varphi$  = Latitude geodésica

$\lambda$  = Longitude geodésica

$h$  = Altura elipsoidal

$X, Y, Z$  = Coordenadas cartesianas

$N$  = Raio de curvatura do primeiro vertical:  $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$

$a$  = Semieixo maior do elipsoide

$b$  = Semieixo menor do elipsoide

$f$  = Achatamento do elipsoide:  $f = \frac{a - b}{a}$

$e^2$  = Primeira excentricidade do elipsoide ao quadrado:  $e^2 = f(2 - f)$

$e'^2$  = Segunda excentricidade do elipsoide ao quadrado:  $e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$

#### 16.4.2 Conversão de Coordenadas Geodésicas para Cartesianas Geocêntricas

$$X = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda$$

$$Y = (N + h) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda$$

$$Z = (N \cdot (1 - e^2) + h) \cdot \sin \varphi$$

#### 16.4.3 Conversão de Coordenadas Cartesianas Geocêntricas para Geodésicas

$$\varphi = \arctan \left( \frac{Z + e'^2 b \sin^3 u}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 a \cos^3 u} \right)$$

$$\lambda = \arctan \left( \frac{X}{Y} \right) \text{ (para o quadrante em que se situa o Brasil)}$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos \varphi} - N$$

Onde:

$$\operatorname{sen} u = \frac{\tan u}{\sqrt{1 + \tan^2 u}}; \operatorname{cos} u = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 u}}; \tan u = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \cdot \frac{a}{b}$$

## 16.5 Conversão de Coordenadas Cartesianas Geocêntricas para Locais

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

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

Onde:

$t, u, v$  = são as coordenadas cartesianas locais do vértice de interesse;

$X, Y, Z$  = são as coordenadas cartesianas geocêntricas do vértice de interesse;

$\varphi_0, \lambda_0$  = são a latitude e a longitude do ponto adotado como origem do sistema;

$X_0, Y_0, Z_0$  = são as coordenadas cartesianas geocêntricas do ponto adotado como origem do sistema.

Uma das principais aplicações deste tipo de conversão são as situações onde é necessário densificar Marcos de Apoio na área de mineração, por meio da integração das técnicas de posicionamento por GNSS e Topografia clássica. O método de posicionamento topográfico a empregar, nesta situação, será, dos aqui apresentados, o que melhor se adequar.

Neste tipo de conversão escolher um dos pontos, entre os vários ocupados com GNSS ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) para origem do sistema geodésico local ( $t, u, v$ ). Como o plano topográfico, neste caso, muda de posição em função da latitude, da longitude e da altura elipsoidal,

sugere-se que, dentro do possível, o ponto escolhido situe-se em uma posição central do levantamento.

Outra solução possível é empregar para origem do sistema geodésico local, um ponto virtual, cujas coordenadas geodésicas serão a latitude e a longitude média e a altura elipsoidal média dos pontos levantados. Esta escolha resulta em uma menor diferença entre os valores das distâncias horizontais obtidas pela transformação e o seu verdadeiro valor obtido a partir das coordenadas geodésicas.

As coordenadas cartesianas geocêntricas ou geodésicas angulares e a altura elipsoidal do ponto origem devem ser informadas no Relatório Técnico de Atividades ou na Planta de Situação. Tal procedimento evita que em trabalhos futuros, se cometa erros pelo emprego de plano diferente do inicialmente utilizado.

O mesmo ponto de origem deverá ser usado, também, para o processo inverso, ou seja, converter as coordenadas cartesianas locais para geocêntricas (**item 16.6**).

## 16.6 Conversão de Coordenadas Cartesianas Locais para Geocêntricas

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

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

Duas situações são possíveis:

- a) Transformar coordenadas cartesianas locais originárias de um levantamento topográfico para coordenadas cartesianas geocêntricas;

- b) Retornar as coordenadas cartesianas locais oriundas de um levantamento geodésico (cujos valores não foram fornecidos) para as coordenadas geodésicas geocêntricas originais. Usar o mesmo ponto origem, para efetuar as transformações.

### **16.7 Locação de Marcos Delimitadores Utilizando a Projeção Cartográfica Local Transversa de Mercator (LTM)**

No caso da necessidade de locação de um Marco Delimitador, onde a instalação de equipamento GNSS é impossível ou de baixa acurácia, fica impossibilitada a utilização do Sistema Geodésico local para locação do marco delimitador. Esta impossibilidade de aplicação do SGL se deve a inexistência de informação altimétrica (h) das coordenadas dos vértices constantes na concessão de lavra. Uma solução possível de ser aplicada é o cálculo das distâncias entre os pontos com o auxílio da projeção cartográfica LTM.

O conhecimento da latitude e da longitude do Marco Delimitador, associadas às coordenadas geodésicas angulares de outros dois pontos (Marcos de Apoio Imediato) possibilita o emprego do sistema de projeção cartográfico LTM para a determinação das distâncias e o cálculo dos ângulos necessários para a locação do Marco Delimitador por meio de estação total.

A projeção LTM possui baixo coeficiente de deformação linear (coeficiente de deformação) o que resulta em distâncias praticamente idênticas às topográficas para grandezas inferiores a 1000 metros. Portanto, nesta situação, é possível tomar os valores obtidos em LTM como se fossem medidas no plano topográfico.

Sequência de solução:

- a) Escolher dois pontos visíveis entre si e que não distem mais de 30 minutos em latitude e longitude do ponto a ser locado. Observar também esta separação para os pontos escolhidos;
- b) Materializar e ocupar estes dois pontos com GNSS e determinar suas latitudes geodésicas, longitudes geodésicas e a altura elipsoidal;

- c) Transformar as latitudes e longitudes dos dois pontos de apoio e do vértice a locar em coordenadas planas, ou seja, coordenadas planas (E e N) LTM;
- d) Calcular as distâncias entre os três pontos e posteriormente os ângulos do triângulo formado (ver **item 16.10**). Na realidade, para a locação do Marco Delimitador não há necessidade destes cálculos, pois é possível, com a estação total, marcá-lo por coordenadas;
- e) A partir de um dos Marcos de Apoio Imediato, usando uma estação total e as coordenadas dos pontos obtidas em LTM, localizar e materializar o vértice que deseja locar (Marco Delimitador). A coordenada obtida da conferência da locação deverá ser usada para gerar a tabela de confrontações (**item 8.2, b**);
- f) Feito isso determinar o valor da diferença de nível entre o ponto de apoio e o vértice locado;
- g) Somar algebricamente a diferença de nível ao valor da altura elipsoidal do Marco de Apoio Imediato, usado como estação, e terá a altura elipsoidal do vértice locado.

**Observações:**

- a) O vértice, também, poderá ser locado por irradiação usando as distâncias calculadas segundo o **item 15.2.3** do anexo 02 e os ângulos calculados conforme **item 16.9**.
- b) Para distâncias, entre pontos, próximas a 400,00 m a resultante do erro de locação ficará no entorno de 5 mm;
- c) No que se refere à altura elipsoidal, pode-se afirmar, que nesta situação, a discrepância não será superior a 2,5 cm. (Para um valor de 10" de desvio da vertical a discrepância para 1000 m é aproximadamente igual a 5 cm);



d) Pode haver necessidade, em função do terreno e/ou obstruções, do emprego de uma poligonal para a locação do vértice. Neste caso deve-se utilizar o método de poligonação.

**Importante:** Quando possível, a checagem das coordenadas dos marcos implantados deve ser realizada com equipamentos GNSS, por meio do método de posicionamento relativo. Neste caso, seguir as orientações do **item 15.1.1** do anexo 02 para apresentação dos dados da conferência.

## 16.8 Cálculos de Distâncias Horizontais

A seguir são apresentadas as formulações matemáticas para o cálculo da distância horizontal utilizando coordenadas cartesianas geocêntricas, coordenadas cartesianas locais e coordenadas cartográficas LTM.

### 16.8.1 Distância Horizontal Calculada com Coordenadas Cartesianas Geocêntricas

Para o cálculo da distância horizontal (DH), as coordenadas geodésicas angulares  $\varphi$  e  $\lambda$  e a altura elipsoidal  $h$  deverão ser transformadas para coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z).

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

$$DH = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2 - (h_1 - h_2)^2}$$

Onde:

$DH$  = Distância Horizontal em metros;

$X, Y, Z$  = Coordenadas cartesianas geocêntricas;

$h$  = Altura elipsoidal.

### 16.8.2 Distância Horizontal Calculada com Coordenadas Cartesianas Locais

O valor da distância horizontal, obtida com as coordenadas cartesianas locais possui o mesmo valor que as determinadas pela equação apresentada no **item 16.8.1** acima, ou seja, as grandezas lineares são invariantes em ambos os sistemas (geocêntrico e local). Para o cálculo da distância horizontal no sistema geodésico local, é utilizada a seguinte fórmula:

$$dh = \sqrt{(t_1 - t_2)^2 + (u_1 - u_2)^2}$$

Onde:

$dh$  = Distância Horizontal em metros;

$t, u$ , = Coordenadas cartesianas locais planimétricas;

### 16.8.3 Distância Horizontal Calculada com Coordenadas Planas LTM

O sistema de coordenadas planas LTM, apesar de apresentar distorções menores do que as observadas no sistema cartográfico UTM, na circunstância indicada no **item 16.7** deve ser aplicada com cautela, pois as distorções, mesmo que diminutas, são proporcionais ao comprimento das linhas de base observadas (exceção para linhas ao longo da linha de secância). A seguir é apresentada a fórmula para o cálculo da distância horizontal:

$$D = \sqrt{(E_1 - E_2)^2 + (N_1 - N_2)^2}$$

Onde:

$D$  = Distância Horizontal em metros;

$E, N$  = Coordenadas cartográficas LTM.

### 16.9 Ângulos Horizontais

Para calcular, os ângulos horizontais internos de um triângulo qualquer em que somente são conhecidas as medidas de seus lados, neste caso calculados com as coordenadas (E, N) da projeção LTM, aplica-se o Teorema dos Cossenos, descrita a seguir ou a fórmula de Briggs:

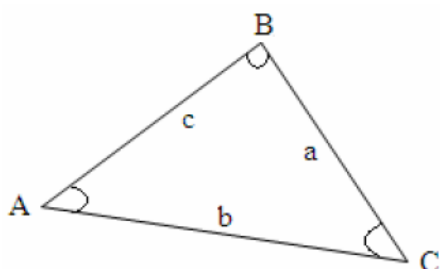


Figura 27 – Representação dos componentes do Teorema dos Cossenos.

$$\hat{A} = \text{ArcCos}\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right)$$

$$\hat{B} = \text{ArcCos}\left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}\right)$$

$$\hat{C} = \text{ArcCos}\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}\right)$$

$$\sum Ai = A + B + C = 180^\circ$$

Onde:

A, B, C = são os ângulos do triângulo;

a, b, c = distâncias horizontais entre os vértices do triângulo calculadas com E e N da LTM;

$\sum Ai$  = é o somatório dos ângulos internos do triângulo.

### 16.10 Azimute no Sistema Cartesiano Local

No sistema cartesiano local, o azimute obtido é designado como azimute topográfico-geodésico. O azimute topográfico-geodésico da direção que contém o ponto de origem e o ponto de visada pode ser calculado pela fórmula de Grafarend:

$$Az = 180^\circ \left[ 1 - \frac{1}{2} \operatorname{sign} \left( \frac{\Delta x}{|\Delta x|} \right) - \frac{1}{2} \operatorname{sign} \left( \frac{\Delta x}{|\Delta x|} \right) \operatorname{sign} \left( \frac{\Delta y}{|\Delta y|} \right) \right] + \operatorname{arctg} \left( \frac{\Delta x}{\Delta y} \right)$$

desde que:

$$\left( \frac{\Delta x}{|\Delta x|} \right) \neq 0 \text{ e } \left( \frac{\Delta y}{|\Delta y|} \right) \neq 0$$

No caso desses quocientes serem iguais a zero, ter-se-á:

- a) se  $\frac{\Delta x}{|\Delta x|} = 0$  e  $\Delta y > 0$ , então:  $Az = 0^\circ$ ;
- b) se  $\frac{\Delta x}{|\Delta x|} = 0$  e  $\Delta y < 0$ , então:  $Az = 180^\circ$ ;
- c) se  $\frac{\Delta y}{|\Delta y|} = 0$  e  $\Delta x > 0$ , então:  $Az = 90^\circ$ ;
- d) se  $\frac{\Delta y}{|\Delta y|} = 0$  e  $\Delta x < 0$ , então:  $Az = 270^\circ$ .

*sign* significa sinal da projeção.

No presente caso:

$$\Delta x = t_2 - t_1 \text{ e } \Delta y = u_2 - u_1$$

A denominação azimute topográfico-geodésico baseia-se, no fato de que o azimute plano, assim obtido, está contido no plano definido pelo Sistema Geodésico local, ou seja, a sua origem é geodésica e não astronômica, como é o caso, do tradicional azimute topográfico.