

## **RESOLUÇÃO – PR nº 22, de 21-07-83.**

Art. 1º – Ficam aprovadas, na forma do ANEXO, as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro.

Art. 2º – Ficam atribuídos à Diretoria de Geodésia e Cartografia os encargos pertinentes à expedição de instruções para o cumprimento desta Resolução e à adoção das providências para publicação e disseminação das Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos.

Art. 3º – Esta Resolução entra em vigor nesta data, revogadas as disposições em contrário.

ANEXO À RESOLUÇÃO – PR nº 22, de 21-07-83.

### **APRESENTAÇÃO**

As especificações e Normas Gerais destinam-se a regularizar a execução dos Levantamentos Geodésicos em território brasileiro, estabelecendo tolerâncias e critérios segundo os quais deverão ser conduzidos de maneira a serem aceitos como contribuição Sistema Geodésico Brasileiro.

Tais Especificações e Normas Gerais serão colocadas à disposição do público por intermédio do IBGE, atendendo assim, ao disposto no Capítulo VIII do Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, que determina a competência da Instituição quanto aos levantamentos geodésicos.

As tolerâncias e recomendações delinearão-se a partir da revisão de “Ordens de Serviços Técnicos da Superintendência de Geodésia”, da Diretoria de Geodésia e Cartografia - IBGE, acumuladas em mais de quarenta anos de atividades, atendidos os acordos internacionais dos quais o Brasil é signatário.

### **CAPÍTULO I**

#### *Considerações Gerais*

#### **1. INTRODUÇÃO**

Classicamente a Geodésia tem sido definida, a parte de seus objetivos, como a ciência que se ocupa da determinação da forma, das dimensões e do campo gravitacional da Terra.

O problema geodésico, de natureza físico-geométrica, diante da colocação anterior e em primeira análise, pode ser tratado como o da definição de um sistema de coordenadas em que fiquem caracterizados os pontos descritores da superfície física da Terra (ou superfície topográfica).

O sistema de coordenadas associado à família de pontos descritores denomina-se *SISTEMA GEODÉSICO*, sendo necessária, para se atingir os objetivos da Geodésia, a sua extensão à toda superfície da Terra. Operacionalmente a definição de um Sistema Geodésico Mundial esbarra nas fronteiras políticas, obrigando-se ao recurso de subsistemas que poderão, ou não, vincular-se a outros mais abrangentes, embora seja desejável, cientificamente, a vinculação, ao menos, a nível continental.

#### **2. O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO - SGB**

O Sistema Geodésico Brasileiro é definido a partir do conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país - pontos estes que são determinados por procedimentos operacionais e coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam.

O Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, que fixa as “Diretrizes e Bases para a Cartografia Brasileira”, preceitua o estabelecimento de um Sistema Plano-Altimétrico Único de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno, para servir de base ao desenvolvimento de trabalhos de natureza cartográfica, constituindo-se no referencial único para a determinação de coordenadas e altitudes em território brasileiro.

O conceito de Sistema Plano-Altimétrico Único, de pontos Geodésicos de controle, direcionado no dispositivo legal para fins cartográficos, confunde-se com o anteriormente emitido para o Sistema Geodésicos.

## **2.1 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

Para o Sistema Geodésico Brasileiro, a imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembléia Geral da Associação Geodésica Internacional que teve lugar em Lucerne, no ano de 1967. O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de IMBITUBA, no litoral do Estado de Santa Catarina.

O Sistema Geodésico Brasileiro integra o Sul-Americano de 1969 (SAD-69), definido a partir dos parâmetros:

a – figura geométrica para a Terra:

– Elipsóide Internacional de 1967:

a (semi-eixo maior) = 6.378.160,000 m

f (achatamento) = 1/298,25

b – Orientação:

– Geocêntrica:

eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra; plano meridiano origem paralelo ao plano meridiano de GREENWICH, como definido pelo BIH (Bureau International de l’Heure).

– Topocêntrica:

no vértice CHUÁ da cadeia de triangulação do paralelo 20° S:

$\Phi = 19^{\circ} 45' 41,6527''$  S

$\lambda = 48^{\circ} 06' 04,0639''$  W Gr

$\alpha = 271^{\circ} 30' 04,05''$  SWNE para VT-UBERABA

N = 0,0 m

O estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro desenvolve-se tendo como objetivo contribuir para a solução do problema geodésico, sem, contudo, se descuidar dos aspectos aplicados, em que a preocupação maior é a referência para as atividades cartográficas. Os pontos geodésicos, subsidiariamente, suprem a comunidade técnica nacional das informações necessárias à condução dos assuntos públicos, principalmente as que permitem apoiar as grandes obras de engenharia tais como: sistemas de comunicação; transmissão de energia; barramentos para geração de energia ou abastecimento de água e titulação de propriedades, dentre outras não menos importantes.

### **3. LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS**

#### **3.1 - CONCEITOS**

O estabelecimento do sistema geodésico se desenvolve a partir do conjunto de atividades que objetivam a definição das coordenadas (parâmetros) dos pontos integrantes do sistema. Denomina-se “Levantamentos Geodésicos” ao conjunto de atividades voltadas para as medições e observações de grandezas físicas e geométricas que conduzem à obtenção dos parâmetros.

A variabilidade dos resultados decorrentes dos processos de medição é propriedade bem conhecida dos profissionais que militam nas ciências experimentais. A repetição do processo de medição conduzirá a valores diversos para as medidas, sendo perfeitamente justificável a flutuabilidade dos resultados, diante da impossibilidade de se controlar as influências do meio que cerca a realização das medições, influências nem sempre atribuídas a agentes físicos.

O comportamento inconstante das observações define o caráter estatístico dos resultados, podendo ser considerado como sua principal propriedade. Classicamente se atribui as variações dos resultados aos erros de observação.

Para melhor se aquilatar as propriedades estatísticas das observações, torna-se necessárias a repetição do processo de medição, com o registro de todas as condições físicas que o cercam, de modo a possibilitar, posteriormente, um julgamento adequado dos resultados.

A dispersão das observações em torno do valor verdadeiro – desvios no sentido estatístico – representa os efeitos do meio sobre as observações, distinguindo-se:

- efeito acidental (erro acidental);
- efeito sistemático (erro sistemático);
- engano (erro grosseiro).

Quando os desvios se apresentam com comportamento completamente aleatório, diz-se que as observações estiveram sujeitas aos efeitos acidentais – erros acidentais – sem qualquer possibilidade de controle e tradução matemática.

Apresentando-se os desvios com comportamento tendencioso nem sempre conhecido e dependente das circunstâncias que cercam o processo de medição, as observações são ditas eivadas de erros sistemáticos. As

falhas operacionais no decurso do processo de medição dão origem às observações enganosas ou eivadas de erros grosseiros, identificadas a partir dos altos valores dos desvios.

A flutuabilidade dos resultados dos processos de medição decorre da existência dos efeitos anteriormente descritos. Na impossibilidade de se obter o valor verdadeiro para a grandeza em observação, buscam-se *CORREÇÕES* que conduzam ao valor mais provável das medidas. No processo de determinação das correções deverão ser, obrigatoriamente, eliminados os enganos, da mesma forma que é desejável a minimização dos efeitos sistemáticos.

Os analistas, diante da variabilidade dos resultados, sentem-se inseguros na utilização dos mesmos, tornando-se necessária a classificação das observações, para o que recorrem aos estimadores estatísticos a fim de expressarem a precisão e a exatidão. Estes estimadores são representados pelas variâncias das observações e dos parâmetros, denominando-se, classicamente, a raiz quadrada destes estimadores de erro médio ou erro padrão.

Convém observar, também, cuidados no emprego dos termos Precisão e Exatidão. A precisão expressa o grau de aderência das observações umas às outras. A exatidão expressa o grau de aderência do melhor valor para as observações em relação ao valor verdadeiro.

### **3.2 - CLASSIFICAÇÃO**

Os Levantamentos Geodésicos se realizam segundo Especificações e Normas que procuram colimar a unicidade desejável para o Sistema Geodésico. Tradicionalmente, os levantamentos são classificados em ordens que expressam, em função da qualidade das observações, o grau de confiabilidade dos resultados finais. A terminologia clássica de primeira, segunda e terceira ordem foi mantida, em parte, no estabelecimento destas especificações, equivalente à nomenclatura que modernamente começa a se impor, por seu caráter mais representativo à luz da teoria do ajustamento de observações geodésicas. As três classes enumeram-se:

- Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão
- Levantamento Geodésicos de Precisão
- Levantamento Geodésicos para fins Topográficos.

Nesta classificação dos levantamentos geodésicos considera-se o escalonamento dos trabalhos a nível nacional, regional e local. Desta forma, estabelece-se uma ligação bastante rígida entre a exatidão das

coordenadas finais e o âmbito dos levantamentos sem, contudo, abandonar a colimação de objetivos particularizados, como é o caso das aplicações ao nível das regiões metropolitanas.

Os levantamentos de alta precisão, de âmbito nacional, subdividem-se, segundo os fins aos quais se destinam em: científico e fundamental. O primeiro voltado ao atendimento de programas de pesquisas internacionais e o segundo ao estabelecimento de pontos primários no suporte aos trabalhos geodésicos de menor precisão e às aplicações em cartografia.

Os levantamentos de precisão, do âmbito regional, condicionam-se ao grau de desenvolvimento sócio-econômico. Quanto mais valorizado o solo na região, mais precisos deverão ser, e, em consequência, mais exatos os seus resultados.

Os levantamentos geodésicos para fins topográficos, de características locais, dirigem-se ao atendimento dos levantamentos no horizonte topográfico; correspondem aos critérios em que a exatidão prevalece sobre simplificações impostas para a figura da Terra.

O Quadro (I) – CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS – resume as finalidades e características gerais dos levantamentos, segundo as classes anteriormente apresentadas e o âmbito de sua aplicação. O critério de maior relevância para a classificação, fora as finalidades, é a exatidão, que pode ser expressa:

- na planimetria, pelo erro padrão máximo admissível entre duas estações adjacentes;
- na altimetria, pela qualidade do fechamento de um circuito ou linhas, formada por duplo nivelamento, conectando estações de altitudes conhecidas;
- na gravimetria, a semelhança da altimetria, pela conexão de estações em que a aceleração da gravidade é conhecida.

**QUADRO (I) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

**CLASSIFICAÇÕES DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS**

LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS					
DE ALTA PRECISÃO ÂMBITO NACIONAL			DE PRECISÃO ÂMBITO REGIONAL		PARA FINS TOPOGRÁFICOS
FINALIDADE	CIENTÍFICO	FUNDAMENTAL (OU DE 1ª ORDEM)	PARA ÁREAS MAIS DESENVOLVIDAS (OU DE 2ª. ORDEM)	PARA ÁREAS MENOS DESENVOLVIDAS (OU DE 3ª. ORDEM)	LOCAL
		Dirigido ao atendimento de programas internacionais, de cunho científico, segundo normas específicas, acordadas caso a caso. Sua realização deverá se dar sem prejuízo do fundamental, que terá precedência de utilização.	Pontos básicos para amarrações e controle de trabalhos geodésicos e cartográficos, desenvolvido segundo especificações internacionais, constituindo o sistema único de referência.	Dirigido ao atendimento das necessidades de uma região onde se desenvolvem atividades humanas intensas e, em consequência, existe uma valorização elevada do solo.	Dirigido às áreas remotas ou àquelas em que não se justifiquem investimentos imediatos e, sempre, em função da inexistência ou impossibilidade de se desenvolver levantamentos geodésicos de alta precisão.
PLANIMETRIA					
EXATIDÃO	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo ser o erro padrão relativo de quaisquer duas estações melhor que 1:500.000 após o ajustamento.	Melhor que 1:100.000	Melhor que 1:50.000	Melhor que 1:20.000	Melhor que 1:5.000
DESENVOLVIMENTO	A estrutura será desenvolvida caso a caso, de acordo com as finalidades de cada projeto.	Arcos de meridianos e paralelos espaçados de 1ª estações com espaçamento desejável de 15 km e no máximo de 25 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento será função das características do processo de urbanização, com estações afastadas de, no máximo 5 km.	Em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de 10 a 20 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser de até 5 km, tendo a configuração adaptada aos aspectos da urbanização.	Em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de 10 a 20 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser limitado a 5 km.	Em função dos objetivos específicos a serem atingidos, com estações afastadas entre 5 a 10 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser de 0,5 a 2 km.
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO	Pesquisas sobre a deriva continental; conexões de Sistemas Geodésicos; estudos e definição dos parâmetros para Sistemas Geodésicos.	Elaboração de cartas gerais; apoio e controle das obras de engenharia e estudos científicos em geral.	Elaboração de cartas gerais; controle e locação de projetos de engenharia.	Elaboração de cartas gerais; controle e locação de obras de engenharia.	Levantamentos e parcelamentos de áreas de pequeno valor; pequenas obras locais; elaboração de cartas gerais.

**QUADRO (I - CONT.) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

**CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS**

ALTIMETRIA					
<b>EXATIDÃO</b>	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo o erro padrão ser inferior a $2\text{mm} \sqrt{k}$ para cada duas RN após o ajustamento.	Melhor que $2\text{mm} \sqrt{k}$	Melhor que $3\text{mm} \sqrt{k}$	Melhor que $4\text{mm} \sqrt{k}$	Melhor que $6\text{mm} \sqrt{k}$
<b>DESENVOLVIMENTO</b>	A estrutura será desenvolvida caso a caso de acordo com as finalidades de cada projeto. Basicamente em circuitos e acompanhada de medições gravimétricas (nivelamento geopotencial).	Em circuitos com até 400km de perímetro e estações materializadas, afastadas de no máximo 3 km. Nas áreas metropolitanas dar-se-á preferência ao desenvolvimento em circuitos, em função da urbanização, com estações materializadas e espaçadas de, preferencialmente, 1 km.	Em circuitos com até 200km de perímetro e estações materializadas, afastadas de no máximo 3 km. Nas áreas metropolitanas dar-se-á preferência ao desenvolvimento em circuitos, com estações materializadas e afastadas de, preferencialmente, 1 km.	Em circuitos ou linhas, em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de, no máximo, 3 km.	Em circuitos ou linhas, em função dos objetivos a serem atingidos pelos trabalhos.
<b>EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO</b>	Avaliação de movimentos da crosta terrestre; conexões de Sistemas Geodésicos; estudos e definição de parâmetros para os Sistemas Geodésicos; determinação de valores geopotenciais.	Elaboração de cartas gerais; apoio e controle das obras de engenharia e estudos científicos em geral.	Elaboração de cartas gerais; controle de obras de engenharia.	Elaboração de cartas gerais; controle de obras de engenharia.	Levantamentos e parcelamentos de áreas de pequeno valor; pequenas obras; estudos de drenagem e gradientes em áreas de topografia movimentada; elaboração de cartas gerais.

**QUADRO (I - CONT.) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

**CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS**

GRAVIMETRIA				
DE ALTA PRECISÃO ÂMBITO NACIONAL			DE PRECISÃO ÂMBITO REGIONAL	PARA FINS DETALHAMENTO
FINALIDADE	CIENTÍFICO	FUNDAMENTAL (OU DE 1ª ORDEM)	REGIONAL (OU DE 2ª ORDEM)	LOCAL
		Dirigido ao atendimento de programas internacionais, de cunho científico, segundo normas específicas, acordadas caso a caso. Sua realização deverá se dar sem prejuízo do fundamental, que terá procedência de utilização.	Pontos básicos para amarrações e controle de trabalhos geodésicos e geofísicos, implantados segundo especificações internacionais, constituindo o sistema único de referência ao IGSN-71.	Dirigido ao desdobramento do fundamental, visando facilitar os trabalhos de detalhamento do campo gravitacional.
EXATIDÃO	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo ser o erro padrão melhor que 0,05 mgal, para qualquer estação após o ajustamento.	Melhor que 0,05 mgal	Melhor que 0,1 mgal	Melhor que 0,3 mgal
DESENVOLVIMENTO	A estrutura será desenvolvida caso a caso, de acordo com as finalidades de cada projeto.	Em circuitos com estações espaçadas de até 100 km, ou acesso para as medições com tempo inferior a 48 horas. As observações serão ajustadas a IGSN-71 e as estações deverão coincidir com as Referências de Nível decorrentes dos levantamentos altimétricos de alta precisão e de precisão.	Em circuitos com estações espaçadas de até 30 km, com acesso para as medições com tempo inferior a 72 horas. Serão coincidentes preferencialmente, com as estações estabelecidas nos levantamentos altimétricos de alta precisão e de precisão.	Função dos objetivos específicos de cada projeto.
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO	Conexão de estações absolutas da rede mundial e estudos de escala nos levantamentos geométricos.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; estudos de movimentos da crosta.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; estudos de movimentos da crosta.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; pesquisa de geondulações e desvio da vertical; determinação dos parâmetros definidores de um Sistema Geodésico.



## **CAPÍTULO II**

### **Especificações e Normas Gerais para Execução de Levantamentos Geodésicos**

#### **1. INTRODUÇÃO**

As Especificações e Normas Gerais abrangem os levantamentos planimétricos, altimétricos, gravimétricos e astronômicos, destacando-se, em cada um, os procedimentos usuais e consagrados, como por exemplo na planimetria serão especificados: a triangulação; a poligonação; a trilateração e o posicionamento por rastreamento de satélites (segundo o efeito DOPPLER).

As Especificações e Normas Gerais constituem elementos de orientação para se alcançar um determinado grau de exatidão, devendo-se julgá-las e aplicá-las em conjunto, para um dado procedimento. As Especificações representam as diretrizes que pautam a execução dos levantamentos geodésicos, recomendando-se a adoção das mesmas para todo e qualquer levantamento em território nacional, no sentido de garantir a vinculação destes ao Sistema Geodésico Brasileiro.

#### **2. ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS PLANIMÉTRICOS**

Os levantamentos de características fundamental desenvolver-se-ão ao longo dos arcos de paralelos e medianos, na forma de cadeias com amplitude de  $1^\circ$ , sendo as estações integrantes distanciadas entre si de 15 a 25 km, no máximo. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das cadeias será ditado pelo processo de urbanização, mantendo-se as estações afastadas de no máximo 5 km. Os pontos decorrentes destinam-se ao apoio cartográfico, ao suporte e controle das grandes obras de engenharia e aos estudos científicos em geral. Espera-se que o erro relativo máximo entre estações seja de  $1/100.000$ .

Os levantamentos regionais serão desenvolvidos de acordo com a área a ser atendida, sendo usual as estações afastadas de 10 a 20 km. Nas regiões metropolitanas serão efetuados de modo a que o afastamento máximo entre estações seja de 5 km. Para as áreas mais desenvolvidas espera-se que o erro relativo máximo entre estações seja de  $1/50.000$ , contrapondo-se nas áreas menos desenvolvidas  $1/20.000$ . Tais levantamentos serão utilizados na elaboração de cartas gerais, na locação e controle de obras de engenharia, nos levantamentos e parcelamentos de áreas de grande e médio valor, dentre inúmeras outras aplicações.

Os levantamentos locais desenvolvem-se em função dos objetivos específicos a serem atingidos em cada obra, podendo-se dispor as estações com afastamentos que podem variar de 5 a 10 km. Nas regiões metropolitanas adotar-se-á o espaçamento de 0,5 a 2 km. Aplicam-se nos levantamentos e parcelamentos em área de médio e pequeno valor, e na locação e controle de obras de Engenharia.

Nos levantamentos planimétricos serão utilizados os procedimentos de triangulação, trilateração, poligonização e rastreamento de satélites segundo o efeito DOPPLER. Os diversos processos poderão ser aplicados isoladamente ou em conjunto, mantendo-se, contudo, a precisão operacional exigida para cada um. Outros procedimentos para posicionamento planimétrico poderão vir a ser admitidos, desde que atendam às especificações mínimas necessárias e permitam alcançar a exatidão preconizada.

As determinações astronômicas serão utilizadas, subsidiariamente, na caracterização dos pontos de controle azimutal, pontos de LAPLACE, ou nos trabalhos de apoio à pesquisa do geóide; porém, as determinações efetuadas isoladamente não serão aceitas como contribuições ao Sistema Geodésico Brasileiro.

## ***2.1 – ESPECIFICAÇÕES PARA TRIANGULAÇÃO***

Entende-se por triangulação o procedimento em que se obtém figuras geométricas a partir de triângulos, justapostos ou sobrepostos, formados através da medição dos ângulos subtendidos por cada vértice. Ocasionalmente, alguns lados serão observados para controle de escala, sendo todos os demais calculados a partir das medidas angulares.

A triangulação é o mais antigo e utilizado processo de levantamento planimétrico, sendo, ainda hoje, o mais recomendado diante do baixo investimento em instrumental e equipamentos auxiliares.

Quadro (II) apresenta as especificações que permitem a formação de cadeias de triângulos, enquadráveis nas diferentes classes de levantamentos geodésicos.

As especificações definem os critérios básicos para a formação das figuras, mantendo-se o conceito de rigidez como o mais aceitável para, a priori, se controlar e definir a qualidade do desenvolvimento triangular. Os valores lançados no quadro, modificam substancialmente aqueles adotados anteriormente – bem mais elásticos.

Contudo, a experiência demonstra que estes são facilmente atingíveis, sem custos adicionais para a medição angular, embora seja necessário aumentar o número de bases inseridas no controle da escala. Utilizar-se-á como figura básica o quadrilátero com duas diagonais observadas ou quadrilátero com um ponto central.

Para a medição angular apregoa-se o método das direções. Nos levantamentos de alta precisão e precisão, empregar-se-ão teodolitos com leitura direta menor que 1". Para os levantamentos de precisão em áreas menos desenvolvidas, bem como para fins topográficos, recomenda-se o emprego dos teodolitos com leitura direta de 1".

**QUADRO (II) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

**ESPECIFICAÇÕES PARA TRIANGULAÇÃO**

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO DOS VÉRTICES	15 – 25 km máximo de 5 km	10 – 20 km 2 – 5 km	10 – 20 km 2 – 5 km	5 – 10 km 0,5 – 2 km
1.1 -Geral				
1.2 - Regiões Metropolitanas				
2. FORMAÇÃO DAS FIGURAS (rigidez das figuras)				
2.1 – Conformação angular	60°	60°	60°	60°
. desejável	15°	15°	15°	15°
. mínima				
2.2 – R <sub>1</sub> entre bases (somatório)	30	60	60	120
. limite desejável	40	80	80	160
. valor máximo aceitável				
2.3 – R <sub>1</sub> para uma figura isolada	8	12	18	24
. desejável	16	24	24	48
. valor máximo aceitável				
2.4 – R <sub>2</sub> para uma figura isolada	15	30	60	120
. desejável	30	60	80	160
. valor máximo aceitável				
3. MEDIÇÃO ANGULAR HORIZONTAL	das direções ≤ 0,2"	das direções ≤ 0,2"	das direções ≤ 0,2" ou ≤ 1,0"	das direções ≤ 1,0
3.1 – Método	2	2	1	1
3.2 – Instrumento (leitura direta)	2 horas	2 horas	–	–
3.3– Número de série	16 PD	16 PD	8 PD ou 12 PD	4 PD
3.4 – Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	16 PI	16 PI	8 PI ou 12 PI	4 PI
3.5– Número de posições por série	4,0"	4,0"	5,0"	5,0"
3.6– Limite de rejeição para uma posição em relação à média da série	14 PD 14 PI	14 PD 14 PI	6 PD ou 10 PD 6 PI ou 10 PI	3 PD 3 PI
3.7– Número mínimo de posições, por série, após a rejeição	1,5" 1,0"	1,5" 1,0"	– –	– –
3.8– Divergência máxima aceitável entre a primeira metade da série e a segunda				
3.9– Divergência máxima aceitável entre série	1,0"	1,2"	2,0"	5,0"
4. CONTROLE DOS TRIÂNGULOS	3,0"	3,0"	5,0"	9,0"
4.1– Fechamento dos triângulos				
. A médias dos fechamentos deverá ser inferior a				
. Fechamento máximo aceitável para um triângulo plano isolado	0,3"	0,4"	0,6"	1,2"
4.2– Equação aos lados				
. Nas equações de teste dos lados a correção média de uma direção não excederá a				

**QUADRO (II - CONT.) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO  
ESPECIFICAÇÕES PARA TRIANGULAÇÃO**

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
5. CONTOLE AZIMUTAL				
5.1 – Espaçamento de figuras entre direções de controle	4 – 6	6 – 8	8 – 10	12 – 15
5.2– Pontos de Laplace	2	2	1	1
. Número de séries	16 PD	16 PD	8 PD ou 12 PD	4 PD
. Número de posições por série	16 PI	16 PI	8 PI ou 12 PI	4 PI
. Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	4 horas	4 horas	–	–
. Valor máximo do erro padrão do azimute para a direção de controle	0,3"	0,3"	0,6"	1,0"
6. CONTROLE DE ESCAIA	30	60	60	120
6.1 – Espaçamento das bases, inserção de uma base sempre que o somatório de $R_1$ ultrapassar	1/1 000 000	1/1 000 000	1/750 000	1/250 000
6.2 – Valor máximo para o erro padrão relativo do lado tomado como base	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	2 PD 2 PI
7. MEDIDA ANGULAR VERTICAL	10"	10"	10"	10"
7.1 – Numero de posições recíprocas e simultâneas	6 – 8	6 – 8	8 – 10	15 – 20
7.2 – Valor máximo para a diferença de uma posição em relação à média	0,5 m/estação	0,5 m/estação	1 m/estação	–
7.3 – Número limite de figuras entre pontos de altitude conhecida				
7.4 – Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	1/100 000	1/50 000	1/20 000	1/5 000
8. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO				

Nos levantamentos geodésicos de alta precisão e de precisão, em área mais desenvolvidas, recomenda-se a adoção de observação em duas séries de 32 pontarias (16 PD/16 PI) cada, espaçadas, no tempo, num intervalo mínimo de 2 horas, de modo a garantir o controle da refração lateral. Abandonar-se-ão as observações das séries cujas médias difiram de mais de 1". Para cada visada acionar-se-á o micrômetro duas vezes para coincidência, sendo ambas as leituras de calagem anotadas e aceitas as que apresentarem diferenças menores que 0,5" para os teodolitos de leitura direta igual ou menor que 0,2", ou diferenças menores que 3", para os teodolitos de leitura direta de 1".

O fechamento angular dos triângulos constitui um dos melhores controles para a qualidade da medição angular. Apresenta-se no Quadro (II) os valores de tolerância para a média dos fechamentos angulares. Recomenda-se a adoção do teste da equação aos lados, como elemento informativo e obrigatório no controle da qualidade dos ângulos. A correção média para uma direção observada, conseqüente da equação aos lados e em segundo de arco, será obtida utilizando-se a linearização logarítmica ou desenvolvimento em série, indistintamente. Os limites superiores para esta correção estão, também, caracterizados no Quadro (II).

Garantem-se os controles de orientação e escala através da introdução dos pontos de LAPLACE, ou azimutes de controle, e das bases. Quando o limite estipulado para a classe atingir o valor  $\Sigma R_1$ , será necessária a

introdução de uma base, medida com um erro padrão compatível com a qualidade pretendida para o levantamento geodésico. Conforme as condições do terreno dever-se-á introduzir um azimute de controle, a espaços regulares, preferencialmente coincidente com a base. O Quadro (II) apresenta as condições segundo as quais recorre-se aos controles.

Subsidiariamente, admite-se a determinação das altitudes dos vértices da triangulação, utilizando-se o procedimento do nivelamento trigonométrico ou geodésico, em que as observações de ângulos verticais se realizam de forma recíproca e simultânea.

## **2.2 – ESPECIFICAÇÕES PARA TRILATERAÇÃO**

A trilateração é um processo de levantamento semelhante a triangulação, sendo que em lugar da formação dos triângulos a partir da medição dos ângulos, o levantamento será efetuado através da medição dos lados.

A evolução dos medidores eletrônicos de distâncias (MED), tornou a aplicação do procedimento prático e economicamente variável, podendo, em determinadas circunstâncias, oferecer melhores resultados que a triangulação ou a poligonação.

Anteriormente, a trilateração era considerada um procedimento fadado ao abandono, diante da exigência de figuras complexas para se atingir condições geométricas redundantes, além de utilizar grande número de azimutes de controle. Mais recentemente, demonstrou-se, através de testes conduzidos em diversos países, que a geometria do quadrilátero é suficiente para os levantamentos geodésicos em arcos. Os modernos medidores eletrônicos de distâncias eliminam o excesso de controle azimutal, sendo suficiente a mesma densidade utilizada na triangulação.

O Quadro (III) espelha as especificações para trilateração, enquadrando o procedimento nas diversas classes de levantamentos aqui definidos.

As especificações definem as condições mínimas para a formação de figuras, preferindo-se a configuração em quadrados na manutenção da rigidez das cadeias; na impossibilidade, adotar-se-ão para os levantamentos de precisão, quadriláteros com ângulos superiores a 30° e nunca inferiores a 25°. O quadrilátero com um ponto central é a figura que reúne as melhores condições geométricas, embora sob o ponto de vista econômico, seja de custo mais elevado a utilização do sistema de quadriláteros com duas diagonais observadas. Independente da classe, para figuras com mais de quatro lados observados o ângulo mínimo deverá ser de 35°. Não serão implantadas cadeias com triângulos justapostos; quando de todo não for possível evitá-las nos levantamentos locais, deve-se observar, ao mesmo, um ângulo em cada triângulo.

A medição de distâncias com equipamentos eletrônicos sujeita-se a uma série de incertezas, principalmente as decorrentes de eventuais falhas no funcionamento dos componentes eletrônicos, imprecisa calibração dos instrumentos, imprecisão na determinação dos parâmetros meteorológicos, imprecisão na determinação das altitudes e centragem dos instrumentos e/ou dos refletores. Tais fatores, bem como os procedimentos operacionais dos MED, devem ser apropriadamente considerados quando se comparar as observações com as especificações. Normalmente, os erros instrumentais, definidos pelos fabricantes, encontram-se expressos pela resultante de uma componente constante e outra variável, sendo esta traduzida em termos de um número inteiro de milionésimas partes da unidade de medida da distância observada, ou seja:

$$e_d = \alpha \pm b \rho\rho m.D$$

Cabe destacar que esta colocação dos fabricantes, embora se mostre válida em diversos testes, não se aplica irrestritamente. Na medição das distâncias longas a imprecisão na tomada das leituras meteorológicas e a conseqüente indefinição do índice de refração, acarreta erros no valor da distância observada que não estão considerados na formulação do fabricante. Nas distâncias curtas a centragem de instrumentos e refletores, da mesma forma que a definição das altitudes dos pontos extremos, são essenciais para se alcançar maior exatidão no valor da distância observada, não sendo, todavia, considerados na expressão dos erros instrumentais.

Os MED mais modernos são classificados em eletro-ópticos e eletromagnéticos, em função da fonte radiante, luminosa ou emissora de radiofrequência, respectivamente. Com os eletro-ópticos cuja fonte radiante é um emissor laser, podem-se medir distâncias maiores que 100 km, enquanto para aqueles, cujo elemento radiante é infra-vermelho, o alcance máximo é limitado a 10 km. Nos eletromagnéticos em que o elemento radiante é transmissor na faixa das microondas, o alcance se estende a mais de 100 km.

**QUADRO (III) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

**ESPECIFICAÇÕES PARA TRILATERAÇÃO**

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO DOS VÉRTICES				
1.1 – Geral	15 – 25 km	10 – 20 km	10 – 20 km	5 – 10 km
1.2 – Regiões Metropolitanas	máximo de 5 km	2 – 5 km	2 – 5 km	0,5 – 2 km
2. FORMAÇÃO DAS FIGURAS				
2.1 – O ângulo mínimo aceitável será de	25°	25°	25°	20°
3. MEDIÇÃO DOS LADOS				
3.1 – O valor máximo para o erro padrão relativo da distância, após a compensação será de	1/1 000 000	1/750 000	1/500 000	1/150 000
3.2 – Número mínimo de série de leituras recíprocas	2	2	2	2
3.3 – Intervalo mínimo de tempo entre leituras recíprocas	20 minutos	20 minutos	20 minutos	20 minutos
3.4 – Intervalo mínimo de tempo entre séries de leituras recíprocas	2 horas 15 mm + 1 ppm.D	2 horas 15 mm + 1 ppm.D	– 15 mm + 1 ppm.D	– 10 mm
3.5 – Diferença máxima aceitável entre resultados de série	–	–	–	20 mm
3.6 – Diferença máxima aceitável entre leituras recíprocas quando se observa uma única série	1 mm	1mm	20 mm + 1 ppm.D 1 mm	1mm
3.7 – Instrumento com leitura direta de/ou equivalente a	0,2° C 0,2 mm Hg	0,2° C 0,2 mm Hg	0,2° C 0,2 mm Hg	0,2° C 0,2 mm Hg
4. CONTROLE DA REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA				
4.1 – Leitura estimada da temperatura	Sim	Sim	Sim	–
4.2 – Leitura estimada da pressão atmosférica	Sim	Sim	Sim	–
4.3 – Leituras recíprocas e simultâneas dos ângulos verticais envolvendo a medição de distância	4 – 6	6 – 8	–	12 – 15
5. CONTROLE AZIMUTAL				
5.1 – Espaçamento de figuras entre direções de controle	2	2	8 – 10	1
5.2 – Pontos de Laplace	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	1	4 PD 4 PI
. Número de série	4 horas	4 horas	8 PD ou 12 PD	–
. Número de posições por série	4 horas	4 horas	8 PD ou 12 PD	–
. Intervalo de tempo entre série (mínimo)	0,3”	0,3”	8 PI ou 12 PI	3,0”
. Valor máximo do erro padrão ao azimute para o lado de controle	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	– 0,6”	2 PD 2 PI
6. MEDIÇÃO ANGULAR VERTICAL				
6.1 – Número de posições recíprocas e simultâneas	10”	10”	–	10”
6.2 – Valor máximo para a diferença de uma posição em relação à média	6 – 8	6 – 8	4 PD 4 PI	15 – 20
6.3 – Número de figuras entre pontos de altitude conhecida	0,5 m/estação	0,5 m/estação	10” 8 – 10	–
6.4 – Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	–	–	–	–
7. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO	1/100 000	1/50 000	1 m/estação 1/20 000	1/5 000

Para os levantamentos de alta precisão, e de precisão, recomenda-se a medição da distância em duas ou mais séries de observações recíprocas, sob diferentes condições ambientais. As diferenças entre séries de observações não poderão exceder a 10 mm, para distâncias até 10 km, e a 15 mm mais uma parte por milhão da distância, quando esta exceder a 10 km. Quando do recurso a observações recíprocas em levantamentos de menor precisão, a diferença deverá ser inferior a 20 mm, para distâncias até 10 km.

Para linhas a partir de 20 km recomenda-se que as observações de ângulo vertical, recíprocas e simultâneas, se realizem antes e depois das medições de distâncias. Tal procedimento faculta o cálculo do índice de refração como forma de controle das leituras meteorológicas.

### **2.3 – ESPECIFICAÇÕES PARA POLIGONAÇÃO**

Na poligonação medem-se ângulos e distâncias entre pontos adjacentes que formam linhas poligonais ou polígonos.

No quadro (IV) encontram-se as especificações para poligonação, destacando-se que a medição de ângulos é semelhante à adotada na triangulação e, a dos lados, na trilateração.

O desenvolvimento poligonal ideal é o linear, adaptado a um meridiano ou paralelo, sem mudanças bruscas no sentido de progressão, escolhendo-se o intervalo  $120^\circ - 180^\circ$  como básico para o ângulo poligonal ou de flexão. Sendo impossível a manutenção da direção, no ponto em que ocorrer a mudança observar-se-á um azimute de controle, da mesma forma que em todos os pontos de interseção dos diferentes caminhamentos poligonais.

Sugere-se, na medição angular, a observação do ângulo interno e externo da poligonal que, para tanto, deverá ter utilizada metade das pontarias recomendadas nas séries para o interno e a remanescente para o externo, devendo a soma dos ângulos atender às tolerâncias:

- para os levantamentos de alta precisão:  $360^\circ \pm 3''$ ;
- para os levantamentos de precisão. em áreas mais desenvolvidas:  $360^\circ \pm 4''$ ;
- para os levantamentos de precisão em áreas menos desenvolvidas e nos levantamentos locais:  $360^\circ \pm 5''$ .



**QUADRO (IV) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO  
ESPECIFICAÇÕES PARA POLIGONAÇÃO**

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO ENTRE ESTAÇÕES 1.1 – Geral 1.2 – Regiões Metropolitanas	15 – 25 km máximo de 5 km	10 – 20 km 2 – 5 km	10 – 20 km 2 – 5 km	5 – 10 km 0,5 – 2 km
2. MEDIÇÃO ANGULAR HORIZONTAL 2.1 – Método 2.2 – Instrumento (leitura direta) 2.3 – Número de séries 2.4 – Intervalo de tempo entre séries (mínimo) 2.5 – Número de posições por série  2.6 – Limite de rejeição para uma posição em relação à média da série 2.7 – Número mínimo de posições por série, após a rejeição  2.8 – Divergência máxima aceitável entre a primeira metade da série e a segunda 2.9 – Divergência máxima aceitável entre séries	das direções $\leq 0,2''$ 2 2 horas 16 PD 16 PI  4,0'' 14 PD 14 PI  1,5'' 1,0'' 2	das direções $\leq 0,2''$ 2 2 horas 16 PD 16 PI  4,0'' 14 PD 14 PI  1,5'' 1,0'' 2	das direções $\leq 0,2''$ ou $\leq 1,0''$ 1 – 8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI  5,0'' 6 PD ou 10 PD 6 PI ou 10 PI  – – 1	das direções $\leq 1,0''$ 1 – 4 PD 4 PI  5,0'' 3 PD 3 PI  – – 1
3. MEDIÇÃO DOS LADOS 3.1 – Número mínimo de séries de leituras recíprocas 3.2 – Intervalo mínimo de tempo entre leituras recíprocas 3.3 – Intervalo mínimo de tempo entre séries de leituras recíprocas 3.4 – Diferença máxima aceitável entre resultados de séries 3.5 – Diferença máxima aceitável entre leituras recíprocas quando se observa uma única série	20 minutos 2 horas 15 mm + 1 ppm.D – 0,2° C 0,2 mm Hg	20 minutos 2 horas 15 mm + 1 ppm.D – 0,2° C 0,2 mm Hg	20 minutos – 15 mm + 1 ppm.D 20 mm + 1 ppm.D 0,2° C 0,2 mm Hg	20 minutos – 10 mm 20 mm 0,2° C 0,2 mm Hg
4. CONTROLE DA REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA 4.1 – Leitura estimada da temperatura 4.2 – Leitura estimada da pressão atmosférica 4.3 – Leitura recíprocas e simultâneas dos ângulos verticais, envolvendo a medição de distâncias	Sim 4 – 6 2 16 PD 16 PI 4 horas	Sim 6 – 8 2 16 PD 16 PI 4 horas	Sim 8 – 10 1 8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI –	– 12 – 15 1 4 PD 4 PI –
5. CONTROLE AZIMUTAL 5.1 – Espaçamento entre lados de controle 5.2 – Pontos de Laplace . Número de séries . Número de posições por séries . Intervalo de tempo entre séries (mínimo) . Valor máximo do erro padrão do azimute para a direção de controle 5.3 – Erro de fechamento em azimute, máximo permitido, entre direções de controle (N = número de estações)	0,3''  0,8''/estação ou 1'' $\sqrt{N}$	0,3''  2''/estação ou 3'' $\sqrt{N}$	0,6''  3''/estação ou 6'' $\sqrt{N}$	3,0''  8''/estação ou 20'' $\sqrt{N}$

**QUADRO (IV -CONT.) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

**ESPECIFICAÇÕES PARA POLIGONAÇÃO**

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
6. MEDIÇÃO ANGULAR VERTICAL				
6.1– Número de posições recíprocas e simultâneas	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	2 PD 2 PI
6.2– Valor máximo para a diferença de uma posição em relação a média	10"	10"	10"	10"
6.3– Número de lados entre pontos de altitude conhecida	6 – 8	6 – 8	8 – 10	15 – 20
6.4– Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	0,5 m/estação	0,5 m/estação	1 m/estação	–
7. FECHAMENTO EM COORDENADAS				
Valor máximo para o erro padrão em coordenadas após a compensação em azimute (L = comprimento da poligonal em km)	0,04 m $\sqrt{L}$ 1/100 000	0,1 m $\sqrt{L}$ 1/50 000	0,2 m $\sqrt{L}$ 1/20 000	0,8 m $\sqrt{L}$ 1/5 000
8. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO				

O controle azimutal deverá ser rigorosamente observado, considerando que os desenvolvimentos poligonais tendem a se apresentar com grandes erros de orientação, o que recomenda a estreita observância dos limites fixados para os erros de fechamento em azimute, mantendo-se as tolerâncias preconizadas entre as direções de controle. No Quadro (IV) as tolerâncias apresentam-se com dupla notação, sendo expressas em termos da raiz quadrada do número de estações (N) para os desenvolvimentos longos, ou aqueles em que se exige grande exatidão no posicionamento relativo das estações.

**2.4 – ESPECIFICAÇÕES PARA O POSICIONAMENTO COM O RASTREAMENTO DE SATÉLITES SEGUNDO O EFEITO DOPPLER.**

O posicionamento geodésico com o emprego de georeceptores no rastreamento de satélites artificiais, recorrendo ao efeito DOPPLER, despontou ao início da década de setenta como um dos mais promissores procedimentos para realização de levantamentos geodésicos em áreas de difícil acesso. No momento utiliza-se o sistema do U.S. NAVY NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (NNSS), algumas vezes referenciados na literatura como TRANSIT, composto de seis satélites, do tipo “OSCAR” e “NOVA”, em órbita de forma

circular e desenvolvimento polar, posicionados a uma altitude de aproximadamente 1.000 km , com um período de revolução na faixa de 107–109 minutos.

Os satélites operam com frequências portadoras de 150 e 400 MHz, moduladas em fase, e transmitem as seguintes informações:

- sinais horários;
- identificação do satélite;
- parâmetros de posicionamento orbital (efemérides).

**TABELA (1)**  
**SATÉLITES EM ÓRBITA**

NOME	DENOMINAÇÃO SEGUNDO DIFERENTES ORGANISMOS		
	COSPAR	APL	DMA
OSCAR 11	77-106-A	30.110	93
OSCAR 13	67-048-A	30.130	59
OSCAR 14	70-092-A	30.140	60
OSCAR 19	70-067-A	30.190	68
OSCAR 20	73-081-A	30.200	77
NOVA	81-044-A	30.480	–

A definição de posições se dá segundo diferentes procedimentos, sendo usuais: o de posicionamento isolado; o de translocação e o dos arcos curtos ou multi-posicionamento.

Todos os procedimentos calcam-se em observações reduzidas a partir de um conjunto de efemérides definidoras e descritoras da órbita ou posições do gravitante. Distingue-se dois grupos de efemérides: as precisas e as operacionais.

Obtém-se as efemérides operacionais, transmitidas pelos satélites, a partir de extrapolações realizadas com base em dados coligidos por uma malha de quatro estações, denominada OPNET-OPERACIONAL NET – situadas em território norte-americano (Havaí, Califórnia, Minnesota e Maine). O cálculo dos parâmetros orbitais é realizado uma vez por dia, recorrendo-se a informações acumuladas em 36 horas de rastreamento, memorizadas a bordo dos satélites duas vezes por dia.

As efemérides operacionais vêm sendo calculadas, a partir de dezembro de 1975, na consideração de modelo geopotencial WGS-72 e com o referencial geométrico definido pelas quatro estações fixas. O sistema assim formado é denominado NWL-10D.

Ocorre, com frequência, confusões em torno do referencial definidor das efemérides operacionais.

A combinação do modelo geopotencial WGS-72 e o NWL-10D é erroneamente denominado Sistema WGS-72, no sentido corrente da sigla. A confusão tem origem no fato de ser a superfície geométrica do WGS-72 ( $a = 6.378.135,000$  e  $f = 1/298,26$ ) utilizada, algumas vezes associada às efemérides operacionais. Não existe nenhum elipsóide formalmente associado com as efemérides operacionais.

Todos os satélites que integram o sistema são acompanhados pela rede TRANET, composta de 20 estações distribuídas ao longo do globo terrestre. As efemérides precisas são calculadas, para um ou dois satélites, utilizando-se informações coligidas em 48 horas de rastreamento, por todas as estações integrantes da malha.

A distribuição das efemérides precisas é controlada pelo DEFENSE MAPPING AGENCY – DMA – e repassadas somente a órgãos governamentais, sem qualquer conotação comercial. No Brasil as efemérides precisas são recebidas, na forma de fitas magnéticas compatíveis com o uso em computadores, pela FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.

O referencial para as efemérides precisas tem variado ao longo dos anos, em função do aprimoramento do modelo geopotencial e das coordenadas do conjunto de estações TRANET. No período de outubro de 1971 a junho de 1977 utilizou-se o referencial denominado NWL-9D, definido a partir do modelo geopotencial NWL-10E e o referencial geométrico definido pelas estações TRANET, conhecido como NWL-9D. A partir de junho de 1977 e até hoje, utiliza-se o referencial denominado NSWC-9Z-2, com modelo geopotencial NSWC-10F e referencial geométrico definido pelas estações TRANET. Na tabela (2), encontram-se, resumidas, as principais características dos referenciais.

**TABELA (2)**  
**COMPARAÇÃO ENTRE OS REFERENCIAIS**  
**PARA EFEMÉRIDES**

SISTEMA	MODELO GEOPO-TENCIAL	CONJUNTO DE ESTAÇÕES	ELIPSÓIDE		PERÍODO DE
			a (m)	f	USO
<b>EFEMÉRIDES PRECISAS</b>					
NWL-9D	NWL-10E	NWL-9D (TRANET)	6.378.145,000	1/298,25	OUT/71 A JUN/77 JUN/77
NSWC-9Z-2	NSWC-10E-1	NSWC-9Z-2 (TRANET)	6.378.145,000	1/298,25	
<b>EFEMÉRIDES OPERACIONAIS</b>					
APL-4.5	APL-4.5	APL-4.5 (OPNET)	6.378.135,000*	1/298,26	JUN/68 A DEZ/75 DEZ/75
NWL-10D	WGS-72	NWL-10D (OPNET)	6.378.135,000*	1/298,26	

\*Nenhuma superfície geométrica está formalmente associada.

Os diferentes procedimentos para posicionamento tem seu emprego condicionado às aplicações particulares de cada usuário, destacando-se que nenhum deles é capaz de satisfazer a todo espectro de utilização, seja do ponto de vista operacional ou de precisão dos resultados.

No procedimento denominado POSICIONAMENTO ISOLADO, utiliza-se um único receptor DOPPLER. As observações são reduzidas a partir de um conjunto de efemérides, definidoras da posição do gravitante, possibilitando o cálculo da posição do centro elétrico da antena do receptor, no sistema de coordenadas terrestres do satélite. A posição calculada deverá ser reduzida ao Sistema Geodésico Brasileiro, utilizando-se o Mapa Geoidal e os parâmetros de transformação recomendados pelo IBGE. Como se distingue dois conjuntos de efemérides, os cálculos poderão ser conduzidos por um ou por outro, em função da confiabilidade e precisão dos resultados pretendidos pelo usuário.

A precisão resultante do emprego deste procedimento depende, basicamente:

- do tipo de efeméride;
- do modelo matemático empregado na redução das observações e cálculo final;
- da coleta de dados meteorológicos na estação;
- do número de passagens efetivamente aproveitadas no cálculo;
- da duração das passagens;

– da qualidade da recepção dos sinais transmitidos pelos satélites.

No procedimento denominado TRANSLOCAÇÃO, ocupam-se duas estações simultaneamente, sendo uma de coordenadas conhecidas e outra a ser determinada. Quando da utilização de efemérides operacionais, a aplicação das técnicas de correlação estatística, durante o processo de redução das observações, implementa a precisão do posicionamento relativo das estações, sendo, contudo, os resultados com efemérides precisas, mais confiáveis. O procedimento tem como principais fontes de erro as efemérides e a refração, tanto ionosférica quanto troposférica. O afastamento máximo das estações deverá ser de 500 km, preferencialmente menor, para se manter a possibilidade do rastreamento simultâneo de um mesmo satélite.

A principal vantagem da translocação sobre o posicionamento isolado e, conseqüentemente, sua maior precisão, decorre do fato de que, com as observações a partir de dois pontos, atenuam-se os efeitos dos erros inerentes aos parâmetros orbitais e a refração. Esta vantagem é melhor sentida quando as observações são simultâneas no tempo.

A precisão do emprego do procedimento depende:

- do tipo de efeméride;
- do modelo matemático empregado na redução das observações e cálculo final;
- do número de passagens efetivamente aproveitadas;
- da simultaneidade das observações;
- da qualidade da recepção dos sinais transmitidos pelos satélites.

No procedimento dos ARCOS CURTOS utiliza-se três ou mais rastreadores em diferentes estações, operando simultaneamente. Neste procedimento o conhecimento das efemérides é irrelevante, uma vez que no processo de cálculo determinam-se os parâmetros orbitais ao mesmo tempo em que se procede ao cálculo das coordenadas das estações. No mínimo, duas estações deverão ter coordenadas referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro, para que ao término dos cálculos todas as estações fiquem determinadas neste Sistema. O modelo matemático utilizado na obtenção dos parâmetros orbitais condiciona a precisão alcançada com o procedimento.

O Posicionamento Isolado é o procedimento menos preciso, principalmente quando se recorre às efemérides transmitidas no processo de cálculo. A Translocação e o Multi-posicionamento são os procedimentos recomendados quando não se dispõe de efemérides precisas, embora as operações de campo e de cálculo sejam mais complexas.

Quando for necessária grande exatidão, as coordenadas determinadas através do procedimento de rastreamento de satélites deverão sofrer correção de escala. A correção é dependente do modelo de redução das

observações e do tipo de efemérides utilizadas, sendo seu principal objetivo a compatibilização dos referenciais geométricos – sistemas geodésicos.

Para tornar qualquer procedimento mais preciso é necessária a tomada de observações meteorológicas imediatamente antes e depois de uma passagem do satélite. A temperatura deverá ser obtida com uma aproximação de 0,2°C e a pressão atmosférica de 0,2 mm Hg.

Comprovou-se, em pesquisa realizada nos últimos anos em diversas partes do globo, que durante o período de atividades solares intensas, ocorrem, nas regiões equatoriais, fortes perturbações que se traduzem em erros de posição de 2 a 3 metros, em altitudes e de 1 a 2 metros em latitude. Nas latitudes médias e altas nenhum efeito significativo foi observado. Nas latitudes equatoriais dever-se-á evitar a tomada de observações quando da ocorrência de fortes perturbações solares, a menos que a precisão almejada seja atingível independentemente desta interferência.

Todas as assertivas anteriores pressupõem que o georeceptor possui uma frequência de referência com estabilidade melhor que  $5 \times 10^{11}$  partes por cem segundos. A deriva de frequência deve ser controlada periodicamente no decorrer da ocupação das estações, no intuito de ser assegurada a sua estabilidade.

As especificações gerais, quanto à precisão do procedimento de posicionamento isolado, podem ser expressas em termos do erro padrão das componentes geocêntricas do vetor de posição da estação, denotado por  $\sigma$ . Na translocação ou no multi-posicionamento, a precisão é simbolizada pelo erro padrão das diferenciais das componentes geocêntricas do vetor de posição relativa das estações, este denotado por  $\Delta\sigma$ .

Ressalte-se serem os critérios anteriores os mais adequados para tratar a precisão com que se obtém a posição das estações terrestres. Os erros padrão das coordenadas geodésicas, obtidas através dos parâmetros para transformação de sistemas geodésicos e uso de mapas geoidais, não representam a qualidade do posicionamento utilizando-se o efeito DOPPLER. As coordenadas geodésicas, resultantes do processo, apresentam-se com os erros combinados.

O conhecimento atual do campo gravitacional, em território brasileiro, não permite a definição do grau de confiabilidade das coordenadas geodésicas, obtidas através do rastreamento de satélites artificiais.

O Quadro (V) sumariza as especificações para levantamentos geodésicos, empregando-se procedimentos de rastreamento de satélites segundo o efeito DOPPLER.

**Quadro (V) – Sistema Geodésico Brasileiro – Especificações para Posicionamento com o Rastreamento de Satélites segundo Efeito DOPPLER**

PROCEDIMENTO	EFEMÉRIDES	Nº DE PASSAGENS APROVEITADAS	$\sigma$ ou $\Delta\sigma$ (m)
Posição isolada	Operacionais Precisas	60 – 30 40 – 20	2 – 5 m 0,5 – 1 m
Translocação (estações $\leq$ 200 km)	Operacionais ou Precisas	40	0,5 m
Arcos-Curtos (estações $\leq$ 200 km)	Operacionais ou Precisas	30	0,3 – 1 m

**3- ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS**

Os Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão desenvolver-se-ão na forma de circuitos, acompanhando a malha viária do país, preferencialmente ao longo das vias asfaltadas e servindo por ramais às cidades, vilas e povoados à margem das mesmas e distantes até 20 km. Os circuitos apresentar-se-ão com perímetro menor que 400 km, com estações – Referências de Nível – espaçadas de no máximo 3 km, no interior das linhas formadoras dos circuitos. Nas áreas metropolitanas desenvolver-se-ão em circuitos, condicionados em forma e dimensões ao processo de urbanização, mantendo-se as estações preferencialmente espaçadas de 1 km e de, no máximo, 3 km. Os resultados são utilizados no apoio cartográfico, no suporte e controle das grandes obras de engenharia e nos estudos científicos em geral. Espera-se que o fechamento dos circuitos antes do emprego dos métodos de ajustamento, seja inferior a 0,5 mm/km, considerando-se aplicadas as correções inerentes ao processo de medição.

Os Levantamentos Geodésicos de Precisão, nas áreas mais desenvolvidas, obedecerão o critério de circuitos de no máximo 200 km de perímetro, referenciados àqueles classificados como de Alta-Precisão. As estações serão espaçadas no interior das linhas de, no máximo, 3 km. Para as áreas menos desenvolvidas o desdobramento dar-se-á em circuitos ou linhas, em função das características regionais, mantendo-se o afastamento máximo de 3 km entre estações. Os resultados atendem de forma geral ao apoio cartográfico e a locação e controle de obras de engenharia.

Os levantamentos locais, vinculados aos de Alta-Precisão ou de Precisão, configurar-se-ão em circuitos ou linhas, em função do atendimento a que se destinem, sendo utilizados, principalmente, nos levantamentos e parcelamentos de propriedades, atendimento de pequenas obras e estudos de drenagem e gradientes.

No Quadro (VI) são apresentadas as especificações segundo as quais deverão se desenvolver o nivelamento geométrico, seguindo-se as classes anteriormente estabelecidas. O nivelamento duplo, nivelamento



e contranivelamento, com o emprego de níveis automáticos ou de bolha providos de micrômetro ótico de placas plano-paralelas, é o procedimento recomendado para os levantamentos geodésicos de alta precisão e de precisão. Alternativamente aceitar-se-á o procedimento dos três fios com o micrômetro, de placas plano-paralelas, fixo.

São recomendados os cuidados usuais para se evitar a ocorrência e propagação dos erros sistemáticos, tão comuns nas operações de nivelamento geométrico. Os comprimentos das visadas de ré e vante deverão ser aproximadamente iguais, de modo a se compensar o efeito da curvatura terrestre e da refração atmosférica. Pela mesma razão, não se recomenda a utilização de visadas com mais de 100 m de comprimento, sendo ideal o comprimento de 60 m. Para evitar turbulências causadas pela reverberação, as visadas e, por tanto, as leituras deverão situar-se acima de 20 cm do solo. As miras deverão ser utilizadas aos pares, tomando-se o cuidado de alterná-las a ré e a vante, de modo que a mira posicionada no ponto de partida (lida a ré) seja posicionada no ponto de chegada (lida a vante), eliminando-se, assim, o erro de índice. Convém observar, a obrigatoriedade da colocação das miras sobre chapas ou pinos e, no caminhamento, sobre sapatas, nunca diretamente sobre o solo.

A qualidade dos trabalhos deverá ser controlada através das diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, seção a seção e acumuladas na linha, observando-se os valores limites de  $3 \text{ mm } \sqrt{K}$ , para os levantamentos de alta precisão, de  $6 \sqrt{K} \text{ mm}$  para os de precisão em áreas mais desenvolvidas, e de  $8 \text{ mm } \sqrt{K}$  para as áreas menos desenvolvidas e o de  $12 \text{ mm } \sqrt{K}$  para os levantamentos locais, ( $k =$  distância nivelada em quilômetros). A manutenção deste controle permitirá se alcançar, após o ajustamento, os valores estipulados para a exatidão de cada classe.

**QUADRO (VI) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO  
ESPECIFICAÇÕES PARA NIVELAMENTO GEOMÉTRICO**

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS E LINHAS				
1.1 – Geral				
. perímetro máximo dos circuitos	400 km	200 km	200 km	De acordo com as finalidades
. comprimento máximo das linhas	100 km	50 km	50 km	De acordo com as finalidades
. intervalo máximo entre as estações monumentadas ou comprimento máximo da seção	3 km	3 km	3 km	–
1.2 – Regiões metropolitanas	8 – 10 km	2 – 8 km	De acordo com as finalidades	De acordo com as finalidades
. perímetro dos circuitos	2 km	2 km	De acordo com as finalidades	De acordo com as finalidades
. comprimento desejável das linhas	1 – 3 km	1 – 3 km	< 3 km	< 3 km
. comprimento da seção				
2. MEDIÇÃO DE DESNÍVEIS	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN) ou simples
2.1 – Procedimento				Nível automático ou de bolha e miras.
2.2 – Instrumental	Nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de invar com dupla graduação.	Nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de invar com dupla graduação.	Nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de invar.	–
2.3 – Colimação do nível (C)	ICI ≤ 0,01 mm/m	Idem	Idem	–
a) Não precisa ser retificado	0,01 < ICI ≤ 0,03 mm/m	Idem	Idem	–
b) Poderá ser retificado	ICI > 0,03 mm/m	Idem	Idem	100 metros
c) Deverá ser retificado	100 metros	Idem	Idem	Idem
2.4 – Comprimento máximo da visada	0,0002 m	100 metros	Idem	Idem
2.5 – Divergência de leituras entre duas graduações em unidades da mira	0,002 m	Idem	0,005 m	0,005 m
2.6 – Uso dos três fios – divergência entre o 1º e 2º, 2º e 3º	3 m	0,002 m		10 m
2.7 – Diferença máxima tolerável entre os comprimentos das visadas de ré e vante, acumulada para a seção		5 m	10 m	
3. CONTROLES PARA A QUALIDADE	3 mm $\sqrt{k}$		8 mm $\sqrt{k}$	12 mm $\sqrt{k}$
3.1 – Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma seção (k = comprimento da seção em km)	4 mm $\sqrt{k}$	6 mm $\sqrt{k}$		12 mm $\sqrt{k}$
3.2 – Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma linha (k = comprimento da linha em km)	0,5 mm/km	6 mm $\sqrt{k}$	8 mm $\sqrt{k}$	10 mm/km
3.3 – Valor máximo para a razão entre a discrepância acumulada e o perímetro do circuito	2 mm $\sqrt{k}$	5 mm/km	5 mm/km	6 mm $\sqrt{k}$
4. ERRO-PADRÃO MÁXIMO ACEITÁVEL PARA UMA LINHA APÓS O AJUSTAMENTO (k = comprimento da linha em km).		3 mm $\sqrt{k}$	4 mm $\sqrt{k}$	

Os levantamentos **PARA FINS DE DETALHAMENTO**, desenvolvidos em circuitos ou linhas, visam a descrição do campo gravitacional de forma exaustiva, em áreas limitadas. Os resultados destes levantamentos se expressam, normalmente, na forma de sua representação em iso-anômalas.

#### **4. ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS**

A Gravimetria tem por finalidade o estudo do campo gravitacional terrestre, possibilitando, a partir dos seus resultados, aplicações na área da Geociência como, por exemplo, a determinação da figura e dimensões da Terra, a investigação da crosta terrestre e a prospecção de recursos minerais.

As Especificações e Normas Gerais abordam as técnicas de medições gravimétricas vinculadas às determinações relativas com uso de gravímetros estáticos.

A Associação Geodésica Internacional objetivando homogeneizar os levantamentos gravimétricos instituiu como referencial a IGSN71, INTERNATIONAL GRAVITY STANDARDIZATION NET-1971. Sua composição é de 25.510 estações ajustadas simultaneamente, determinadas segundo as mais diferentes técnicas e distribuídas mundialmente. Destas estações, 64 estão em território brasileiro.

À semelhança dos levantamentos planimétricos e altimétricos, os gravimétricos são desdobrados em: ALTA PRECISÃO, PRECISÃO e PARA FINS DE DETALHAMENTO.

Os levantamentos de ALTA PRECISÃO, Fundamental ou 1ª Ordem, têm por finalidade prover valores de controle para a aceleração da gravidade nos trabalhos regionais e locais. Vinculados à IGSN 71, desenvolvem-se em circuitos, com estações espaçadas, preferencialmente de, no máximo, 100 km ou a uma distância que permita um tempo de retorno às adjacentes, inferior a 48 horas. Os valores finais para a aceleração da gravidade serão determinados através de ajustamento, tomando-se as estações da IGSN 71 como fixas e com fechamento máximo, por circuitos, de 0,05 mgal.

Os levantamentos de precisão ou regional são apoiados nas estruturas decorrentes dos levantamentos de Alta Precisão, destinando-se ao atendimento das necessidades regionais.

Quadro (VII) sintetiza as especificações gerais para os levantamentos retro-mencionados. Os levantamentos especiais, em sua maioria para fins científicos, exigirão normalização específica. Destaque-se a necessidade da inserção de estações absolutas na rede fundamental, através das quais se poderá desenvolver o controle de escala.

Além das características técnicas especificadas no Quadro, os gravímetros pelos seus princípios de construção, essencialmente mecânicos, exigem cuidados especiais, tais como:

– calibração instrumental, efetuada em base vinculada à IGSN 71 e abrangendo toda a amplitude de leitura da área em que será empregado e

– eliminação da deriva fictícia, causada por trepidações e interferências externas, no transporte entre estações.

Além das precauções relativas ao controle instrumental, convém observar-se:

– a caracterização cartográfica da estação, principalmente nos levantamentos de ALTA PRECISÃO e PRECISÃO, que deverá ter uma exatidão mínima de:

. em planimetria –  $\pm 6''$  em latitude e longitude,

. em altimetria – coincidente com as estações estabelecidas nos levantamentos altimétricos fundamentais,

– a distribuição das estações em função dos acidentes topográficos marcantes (falhas e fraturas geológicas: grandes elevações e abaciamentos).

**QUADRO (VII) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**

**ESPECIFICAÇÕES PARA GRAVIMETRIA**

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS		
	De Alta Precisão	De Precisão	Para Fins de Detalhamento
	Fundamental	Regional	Local
1. CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS E LINHAS			
1.1 – Espaçamento máximo das estações	100 km	30 km	De acordo com os objetivos.
1.2 – Localização das estações	Em Referência de Nível	Em Referência de Nível	De acordo com as finalidades.
1.3 – Tempo máximo de retorno à base	48 horas	72 horas	De acordo com os objetivos.
2. INSTRUMENTAL			
2.1 – Leitura direta ou equivalente		0,01 graduação	0,01 graduação
2.2 – Alcance de leitura sem “reset”	0,01 graduação	7000 mgal	5000 mgal
2.3 – Controle termostático	7000 mgal Sim	Sim	Sim
3. MEDIÇÃO POR ESTAÇÃO			
3.1 – Número desejável de gravímetros em operação simultânea		3	–
3.2 – Condições operacionais por gravímetro	3		2
3.2.1 – Número de leituras		4	
3.2.2 – Discrepância entre leituras	4	0,003 graduação	0,03 graduação
3.2.3 – Intervalo de tempo para as leituras (máximo)	0,003 graduação		
3.2.4 – Intervalo de tempo mínimo para estabilização	2 minutos	2 minutos	5 minutos
3.3 – Discrepância das médias de leituras entre gravímetros	10 minutos	10 minutos	10 minutos
	0,003 graduação	0,003 graduação	0,03 graduação
4. CORREÇÕES			
4.1 – Atração luni-solar		Sim	Sim
4.2 – Deriva estática e dinâmica	Sim	Sim	Sim
4.3 – Pressão atmosférica	Sim	Sim	–
5. ERRO-PADRÃO MÁXIMO ACEITÁVEL DE FECHAMENTO DOS CIRCUITOS APÓS O AJUSTAMENTO			
	0,05 mgal	0,1 mgal	0,3 mgal

#### 4. **DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS**

As observações astronômicas são admitidas, acessoriamente, no desenvolvimento do Sistema Geodésico Brasileiro, sendo imprescindíveis no estabelecimento do controle de orientação nos levantamentos planimétricos. As observações astronômicas são empregadas, também, no nivelamento astrogeodésico e na obtenção dos valores para as geondulações e componentes do desvio da vertical.

Destaque-se que as modernas técnicas de posicionamento geodésico, com o emprego dos rastreadores portáteis de satélites artificiais, vieram exigir a retomada dos procedimentos astronômicos na determinação do azimute, elemento essencial ao desdobramento dos levantamentos geodésicos em áreas remotas.

As determinações astronômicas são classificadas em:

- determinações de alta precisão;
- determinações de precisão;
- determinações locais.

As determinações de alta precisão destinam-se ao controle das estruturas geodésicas classificadas em “científica” e de “fundamental”, além subsidiar os estudos e pesquisas relativas ao geóide e orientação do elipsóide. As estações astronômicas de alta precisão, quando coincidentes com os vértices de triangulação, de trilateração e das poligonais, são comumente denominadas de PONTOS DE LAPLACE, por serem utilizadas, primariamente, no controle azimutal das redes geodésicas.

As determinações astronômicas de precisão destinam-se ao controle dos levantamentos planimétricos de precisão e à densificação dos perfis astrogeodésicos, nas áreas em que se faz necessário o levantamento de incertezas e ambigüidades.

As determinações astronômicas locais destinam-se ao controle dos correspondentes levantamentos planimétricos.

**QUADRO (VIII) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO**  
**CLASSIFICAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS QUANTO À PRECISÃO**

CLASSE	ERRO-PADRÃO DA LATITUDE OU DA LONGITUDE		ERRO-PADRÃO DO AZIMUTE	
	Desejável	Máximo	Desejável	Máximo
ALTA PRECISÃO	0,1"	0,3"	0,2"	0,4"
PRECISÃO	0,4"	1,0"	0,5"	1,5"
LOCAL	1,5"	2,0"	3,0"	3,0"

A precisão da posição final ou do azimute depende de diversos fatores, como a qualidade do instrumental empregado, o método de observação, a observância das condições propícias ao desenvolvimento da medição, o número de repetições, o reconhecimento e eliminação dos erros sistemáticos, a experiência do observador e, finalmente, a posição em latitude do observador. Estas considerações orientam a escolha do programa, o método de determinação e o instrumento a ser usado para se obter os vários graus de precisão.

Ressalte-se que as posições estelares deverão estar referidas ao sistema do FOURTH FUNDAMENTAL CATALOGUE (FK 4) publicado em 1963 pelo Astromisches Rechen Institut – Heidelberg. Anualmente edita-se o APPARENT PLACE OF FUNDAMENTAL STARS, com a posição aparente, a intervalos de dez dias.

A posição final e o azimute deverão ser reduzidos ao Polo Médio 1900,0 – 1905,0 como definido pelo Internacional Polar Motion Service (IPMS) e Bureau International l'Heure (BIH).

## **APÊNDICE I**

### *Constantes Geodésicas*

Este apêndice contém os principais Parâmetros e Constantes diretamente envolvidos na solução dos Problemas Geodésicos.

Ressalta-se que os valores aqui apresentados estarão sujeitos a mudanças, em consequência dos aprimoramentos instrumentais e modelos matemáticos com que foram determinados e calculados.

As unidades físicas são as do Sistema Internacional, a exceção da utilizada para a gravidade— o Galileu, símbolo Gal.

– velocidade da luz no vácuo ©:

$$c = 299.792,458 \text{ m.s}^{-1} \pm 0,6 \text{ m.s}^{-1}$$

– velocidade angular do movimento de rotação da Terra ( $\omega$ )

$$\omega = 7,292115 146 \times 10^{-5} \text{ rad. s}^{-1}$$

– constante gravitacional geocêntrica, incluindo a atmosfera (GM):

$$GM = 398,603 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

– constante gravitacional Newtoniana (G):

$$G = 6,672 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ s}^{-3} \text{ Kg}^{-1}$$

– coeficientes das funções harmônicas zonais:

$$J_2 = 10827 \times 10^{-7}$$

$$J_4 = 0,243 \times 10^{-5}$$

– gravidade equatorial ( $\gamma_e$ )

$$\gamma_e = 978031,846 \text{ m Gal}$$

– potencial do geóide ( $\omega\omega$ )

$$\omega\omega = 6.263.703,0523 \times 10^6 \text{ k Gal. m}$$

– semi-eixo maior do elipsóide (Referência 1967)

$$a = 6.378.160,000 \text{ m}$$

– achatamento do elipsóide:

$$1/f = 1/298,25$$

– fórmula para o cálculo da gravidade normal:

$$\gamma = 978,031846 (1 + 0,005 278 895 \text{ sen}^2\Phi - 0,000 023 462 \text{ sen}^4\Phi) \text{ Gal}$$



## APÊNDICE II

### Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos

#### 1. MODELO MATEMÁTICO

(Equações diferenciais simplificadas de MOLODENSKII).

$$\Delta\Phi^0 = \frac{1}{M_1} \{ (a_1 \Delta f + f_1 \Delta a) \operatorname{sen} 2\Phi_1 - \Delta x \operatorname{sen}\Phi_1 \cos\lambda_1 - \Delta y \operatorname{sen}\Phi_1 \operatorname{sen}\lambda_1 + \Delta z \cos\Phi_1 \} \times \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta\lambda^0 = \frac{1}{N_1 \cos\Phi_1} \{ -\Delta x \operatorname{sen}\lambda_1 + \Delta y \cos\lambda_1 \} \times \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta N = (a_1 \Delta f + f_1 \Delta a) \operatorname{sen}^2\Phi_1 - \Delta a + \Delta x \cos\Phi_1 \cos\lambda_1 + \Delta y \cos\Phi_1 \operatorname{sen}\lambda_1 + \Delta z \operatorname{sen}\Phi_1$$

$$\Phi_2^0 = \Phi_1^0 + \Delta\Phi^0$$

$$\lambda_2^0 = \lambda_1^0 + \Delta\lambda^0$$

onde:

$a_1$  = semi-eixo maior do elipsóide no sistema  $S_1$

$f_1$  = achatamento do elipsóide no sistema  $S_1$

$\Phi_1$  = latitude geodésica no sistema  $S_1$

$\lambda_1$  = longitude geodésica no sistema  $S_1$

$a_2$  = semi-eixo maior do elipsóide no sistema  $S_2$

$f_2$  = achatamento do elipsóide no sistema  $S_2$

$\Phi_2$  = latitude geodésica no sistema  $S_2$

$\lambda_2$  = longitude geodésica no sistema  $S_2$

$\Delta N$  = diferença de geondulação ( $S_2 - S_1$ )

$\Delta x$ ;  $\Delta y$ ;  $\Delta z$  = parâmetros de translação do  $S_1$  em referência ao  $S_2$

$$\text{Raio de curvatura } 1^\circ \text{ vertical no } S_1 = N_1 = \frac{a}{(1 - e_1^2 \operatorname{sen}^2\Phi_1)^{1/2}}$$

$$\text{Raio de curvatura meridiana no } S_1 = M_1 = \frac{N_1}{1 + e_1'^2 \cdot \cos^2\Phi_1}$$

$$\Delta a = a_2 - a_1$$

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

$$e_1^2 = f_1(2 - f_1)$$

$$e_1'^2 = \frac{e_1^2}{1 - e_1^2}$$

## 2 -PARÂMETROS PARA TRANSFORMAÇÃO

### 2.1 – CÓRREGO ALEGRE PARA SAD-69:

$$\begin{aligned}a_1 &= 6.378.388,00 \text{ m} \\f_1 &= 1/297,00 \\a_2 &= 6.378.160,00 \text{ m} \\f_2 &= 1/298,25 \\\Delta x &= -138,70 \text{ m} \\\Delta y &= +164,40 \text{ m} \\\Delta z &= +34,40 \text{ m}\end{aligned}$$

### 2.2–SAD-69PARA CÓRREGO ALEGRE:

$$\begin{aligned}a_1 &= 6.378.160,000 \text{ m} \\f_1 &= 1/298,25 \\a_2 &= 6.378.388,000 \text{ m} \\f_2 &= 1/297,00 \\\Delta x &= +138,70 \text{ m} \\\Delta y &= -164,40 \text{ m} \\\Delta z &= -34,40 \text{ m}\end{aligned}$$

### 2.3 – NSWC-9Z-2 PARA SAD-69:

$$\begin{aligned}a_1 &= 6.378.145,000 \text{ m} \\f_1 &= 1/298,25 \\a_2 &= 6.378.160,000 \text{ m} \\f_2 &= 1/298,25 \\\Delta x &= +80,80 \text{ m} \\\Delta y &= +14,81 \text{ m} \\\Delta z &= +44,01 \text{ m}\end{aligned}$$

### 2.4 – SAD-69 PARA NSWC-9Z-2:

$$\begin{aligned}a_1 &= 6.378.160,000 \text{ m} \\f_1 &= 1/298,25 \\a_2 &= 6.378.145,000 \text{ m} \\f_2 &= 1/298,25 \\\Delta x &= -80,80 \text{ m} \\\Delta y &= -14,81 \text{ m} \\\Delta z &= -44,01 \text{ m}\end{aligned}$$

### 2.5 – NWL-10-D PARA SAD-69:

$$\begin{aligned}a_1 &= 6.378.135,000 \text{ m} \\f_1 &= 1/298,26 \\a_2 &= 6.378.160,000 \text{ m} \\f_2 &= 1/298,25 \\\Delta x &= +75,92 \text{ m} \\\Delta y &= +18,85 \text{ m} \\\Delta z &= +39,05 \text{ m}\end{aligned}$$

### 2.6– SAD-69 PARA NWL-10-D:

$$\begin{aligned}a_1 &= 6.378.160,000 \text{ m} \\f_1 &= 1/298,25 \\a_2 &= 6.378.135,000 \text{ m} \\f_2 &= 1/298,26 \\\Delta x &= -75,92 \text{ m} \\\Delta y &= -18,85 \text{ m} \\\Delta z &= -39,05 \text{ m}\end{aligned}$$

### 2.7 – PSAD-56 OU LA CANOA PARA SAD-69: CANOA:

$$\begin{aligned}a_1 &= 6.378.388,000 \text{ m} \\f_1 &= 1/297,00 \\a_2 &= 6.378.160,000 \text{ m} \\f_2 &= 1/298,25 \\\Delta x &= -225 \text{ m} \\\Delta y &= +102 \text{ m} \\\Delta z &= -326 \text{ m}\end{aligned}$$

### 2.8 – SAD-69 PARA PSAD-56 OU LA

$$\begin{aligned}a_1 &= 6.378.160,000 \text{ m} \\f_1 &= 1/298,25 \\a_2 &= 6.378.388,000 \text{ m} \\f_2 &= 1/297,00 \\\Delta x &= +225 \text{ m} \\\Delta y &= -102 \text{ m} \\\Delta z &= +326 \text{ m}\end{aligned}$$

## ***Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos***

Em 27 de fevereiro de 1989 o D . O . U. publicou a alteração referente ao Apêndice II da Resolução da Presidência do IBGE nº 22 de 21/07/83, relacionada a Parâmetros para Transformação.

### ***RESOLUÇÃO Nº 23, DE 21 DE FEVEREIRO DE 1989***

Altera o Apêndice II da R.PR-22/83

O PRESIDENTE da FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, usando de suas atribuições, RESOLVE :

- Art. 1º Fica alterado, na forma do Anexo, o Apêndice II da R.PR-22, de 21.07.83, itens 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6, relativo aos Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos.
- Art. 2º Ficam atribuídos à Diretoria de Geociências os encargos pertinentes à expedição de instruções para o cumprimento desta Resolução e a adoção das providências para publicação e disseminação das alterações introduzidas por esta Resolução nas Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos.
- Art. 3º Esta Resolução entra em vigor nesta data, revogadas a R.PR-32/88, de 05.04.88, e demais disposições em contrário.

**CHARLES CURT MUELLER**

#### **Anexo APÊNDICE II**

### ***PARÂMETROS PARA TRANSFORMAÇÃO DE SISTEMAS GEODÉSICOS***

#### **1. INTRODUÇÃO**

A determinação dos parâmetros de transformação entre os sistemas geodésicos adotados como referência de rastreamento de satélites dos Sistemas TRANSIT e GPS, e o SAD-69, juntamente com o permanente aprimoramento do Mapa Geoidal do Brasil, constituem demandas da comunidade cartográfica nacional usuária da técnica de posicionamento geodésico por satélites artificiais.

Os parâmetros para transformação apresentados neste documento resultam da conclusão de um projeto conduzido na Diretoria de Geociências, que objetivou a determinação dos parâmetros de transformação relativos aos Sistemas NSWC-9Z2, associado às efemérides precisas fornecidas no referencial adotado até 31 de dezembro de 1986; NWL-10D, associado às efemérides operacionais; e WGS-84, associado às efemérides precisas a partir de 1º de janeiro de 1987 e adotado no Sistema GPS.

No âmbito deste projeto, a primeira versão refinada do Mapa Geoidal foi publicada nos TRABALHOS TÉCNICOS DA DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS - 1986. Em todos os cálculos de posição no Sistema Geodésico Brasileiro, a partir do rastreamento dos Sistemas TRANSIT e GPS, este Mapa Geoidal deverá ser utilizado associado aos procedimentos aqui descritos para as transformações de sistemas.

Nos procedimentos de transformação envolvendo coordenadas cartesianas referidas aos Sistemas NSWC-9Z2 e NWL-10D, está implícita uma fase preliminar de correção das coordenadas, a fim de compatibilizá-las com o Sistema Terrestre Convencional (STC), segundo os parâmetros :

TRANSLAÇÃO TERCIÁRIA :	$\Delta Z = + 4,50 \text{ m}$
ROTAÇÃO TERCIÁRIA :	$w = - 0,814''$
FATOR DE ESCALA :	$k = - 0,6 \text{ ppm}$

Acrescenta-se que no caso do WGS-84 esta correção não é necessária, uma vez ser este sistema coincidente com o STC.

## 2. PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

Para determinação de posição no Sistema Geodésico Brasileiro (SAD-69), é necessário aplicar três translações, abaixo relacionadas, às coordenadas inicialmente referidas aos Sistemas NSWC-9Z2 e NWL-10D e corrigidas conforme o exposto no item 1 acima, ou diretamente às coordenadas referidas

ao WGS-84 :

$$\Delta X = + 66,87 \text{ m} \pm 0,43 \text{ m}$$

$$\Delta Y = - 4,37 \text{ m} \pm 0,44 \text{ m}$$

$$\Delta Z = + 38,52 \text{ m} \pm 0,40 \text{ m}$$

## 3. SEQÜÊNCIA DE CÁLCULO

### 3.1 - Notação

$\varphi$  - Latitude geodésica

$\lambda$  - Longitude geodésica

$h$  - Altitude elipsoidal

$X, Y, Z$  - Coordenadas cartesianas

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

$a, b$  - semi-eixos maior e menor do elipsóide

$f$  - achatamento do elipsóide

$e, e'$  - primeira e segunda excentricidades do elipsóide :

$$e^2 = f(2 - f) \quad e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$$

Subscrito 1 : grandezas associadas ao sistema de satélite :

Para o NSWC-9Z2 :  $a_1 = 6378145 \text{ m}$

$$f_1 = 1 / 298,25$$

Para o NWL-10D :  $a_1 = 6378135$  m

$$f_1 = 1 / 298,26$$

Para o WGS-84 :  $a_1 = 6378137$  m

$$f_1 = 1 / 298,257223563$$

Subscrito 2 : grandezas associadas ao SAD-69 :

$$a_2 = 6378160$$
 m

$$b_2 = 6356774,719$$
 m

$$f_2 = 1 / 298,25$$

### ***3.2 - Cálculo das coordenadas cartesianas referidas ao sistema de satélite***

$$X_1 = (N_1 + h_1) \cos \varphi_1 \cos \lambda_1$$

$$Y_1 = (N_1 + h_1) \cos \varphi_1 \sin \lambda_1$$

$$Z_1 = [N_1 (1 - e_1^2) + h_1] \sin \varphi_1$$

### ***3.3 - Cálculo das coordenadas cartesianas referidas ao SAD-69***

#### ***3.3.1 - Transformação de coordenadas referidas ao NSWC-9Z2 ou NWL-10D***

$$X_2 = X_1 - 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot X_1 - 0,814 \cdot Y_1 / \rho'' + 66,87$$

$$Y_2 = Y_1 - 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot Y_1 + 0,814 \cdot X_1 / \rho'' - 4,37$$

$$Z_2 = Z_1 - 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot Z_1 + 43,02$$

$$\rho'' = 206264,8062470963$$

Ressalta-se que os Sistemas Geodésicos associados tanto às Efemérides Operacionais (NWL-10D) quanto às Efemérides Precisas (NSWC-9Z2) possuem parâmetros de transformação idênticos em relação ao SAD-69, alterando-se apenas os parâmetros de forma e dimensões do elipsóide correspondente a cada um destes.

#### ***3.3.2 - Transformação de coordenadas referidas ao WGS-84***

$$X_2 = X_1 + 66,87$$

$$Y_2 = Y_1 - 4,37$$

$$Z_2 = Z_1 + 38,52$$

### 3.4 - Cálculo das coordenadas geodésicas referidas ao SAD-69

$$\varphi_2 = \arctan \left( \frac{Z_2 + e_2'^2 b_2 \operatorname{sen}^3 u}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2} - e_2^2 a_2 \operatorname{cos}^3 u} \right)$$

$$\lambda_2 = \arctan \left( \frac{Y_2}{X_2} \right) \quad (\text{para o quadrante em que se situa o Brasil})$$

$$h_2 = \frac{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}}{\operatorname{cos} \varphi_2} - N_2$$

$$\text{onde : } \operatorname{sen} u = \frac{\tan u}{\sqrt{1 + \tan^2 u}} ; \operatorname{cos} u = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 u}} ; \tan u = \frac{Z_2}{\sqrt{X_2^2 + Y_2^2}} \cdot \frac{a_2}{b_2}$$