
**Execução de levantamento topográfico —
Procedimento**

Execution of topographic survey — Procedure



ICS 01.100.30

ISBN 978-85-07-08617-8



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 13133:2021
57 páginas

© ABNT 2021



© ABNT 2021

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio	vi
1 Escopo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	2
4 Instrumentos	10
4.1 Instrumentos básicos	10
4.2 Precisão de instrumentos básicos	10
4.3 Instrumentos auxiliares	12
5 Fases para execução do levantamento topográfico	13
5.1 Generalidades	13
5.2 Planejamento, seleção de métodos e instrumentos	13
5.3 Apoio topográfico e sua acurácia	16
5.4 Levantamento de detalhes	17
5.5 Nivelamento	17
5.5.1 Generalidades	17
5.5.2 Nivelamento geométrico	18
5.5.3 Nivelamento trigonométrico	19
5.5.4 Nivelamento com uso da tecnologia GNSS	20
5.6 Cálculos e ajustamento	21
5.7 Desenho topográfico final	23
5.8 Relatório técnico	24
6 Inspeção	24
7 Aceitação	25
7.1 Generalidades	25
7.2 Aceitação relativa ao levantamento topográfico na sua parte planimétrica de pontos ..	25
7.3 Aceitação relativa à altimetria do levantamento topográfico	25
Anexo A (informativo) Monografia	26
A.2 Exemplo de monografia de referência de nível	27
Anexo B (informativo) Exemplo de coleta de dados para o método das direções	28
B.1 Medição angular horizontal e linear	28
B.2 Medição angular vertical e linear	29
Anexo C (informativo) Precisão de distâncias medidas com MED	30
C.1 Cálculo de precisão de distâncias	30
C.2 Exemplo do cálculo de precisão das distâncias:	30
Anexo D (informativo) Exemplo de cálculo de distâncias e azimutes no plano	31
D.1 Cálculo de distâncias e azimutes no plano	31
Anexo E (informativo) Propagação das variâncias de modo simplificado	32
E.1 Ponto irradiado (método polar)	32
E.2 Exemplo de cálculo	34
Anexo F (informativo) Propagação das variâncias de modo simplificado	37
F.1 Nivelamento geométrico – Irradiação	37

F.2	Exemplo de cálculo de nivelamento geométrico	37
F.3	Nivelamento trigonométrico – Irradiação	38
F.4	Exemplo de cálculo de nivelamento trigonométrico	38
Anexo G	(informativo) Cálculo das altitudes normais em função das altitudes geodésicas....	40
G.1	Exemplo de cálculo para anomalia de altitude absoluta.....	40
G.2	Exemplo de cálculo para anomalia de altitude relativa.....	40
Anexo H	(informativo) Exemplo de coleta de dados para nivelamento trigonométrico com visadas recíprocas	41
Anexo I	(informativo) Exemplo de coleta de dados para nivelamento trigonométrico	43
Anexo J	(informativo) Distância a ser transportada ao nível de referência do sistema topográfico local	44
J.1	Cálculos	44
Anexo K	(normativo) Cálculo dos erros de fechamento longitudinal e transversal.....	45
K.1	Cálculos dos erros	45
K.1.1	Generalidades.....	45
K.1.2	Erro de fechamento.....	45
K.1.3	Erros na medição linear.....	45
K.1.4	Erro na medição angular	45
K.1.5	Equações	45
K.2	Exemplo	46
K.2.1	Informações preliminares.....	46
K.2.2	Cálculos	46
K.2.3	Resultados.....	47
Anexo L	(informativo) Propagação das precisões de modo simplificado.....	48
L.1	Pontos de poligonal ou redes	48
Anexo M	(informativo) Convenções	50
M.1	Convenções topográficas	50
Anexo N	(normativo) Plano topográfico local	52
Anexo O	(normativo) Sistemas de projeção TM.....	54
O.1	Classificação	54
O.2	Especificações	54
Anexo P	(informativo) Sistema geodésico local (SGL).....	55
Bibliografia	57

Figuras

Figura 1	– Exemplo de poligonal apoiada em duas bases	14
Figura 2	– Exemplos de poligonais apoiadas em dois pontos	14
Figura K.1	– Esquema da poligonal no <i>campus</i> da Universidade Federal de São Carlos – SP ...	46
Figura L.1	– Rede com uma base.....	48
Figura L.2	– Rede com duas bases.....	48
Figura M.1	– Convenções topográficas.....	50
Figura N.1	– representação esquemática do STL	53
Figura P.1	– representação esquemática do SGL	56

Tabelas

Tabela 1 – Classificação de medidor de ângulos	10
Tabela 2 – Classificação de estações totais	11
Tabela 3 – Classificação de níveis	11
Tabela 4 – Poligonais planimétricas	14
Tabela 5 – Condições para o nivelamento geométrico	18
Tabela 6 – Condições para o nivelamento trigonométrico	20
Tabela 7 – Amostragem aleatória.....	25
Tabela B.1 – Medição angular horizontal e linear.....	28
Tabela B.2 – Medição angular vertical e linear	29
Tabela D.1 – Exemplo de cálculo de distâncias e azimutes no plano	31
Tabela F.1 – Caderneta de campo contendo as informações de nivelamento geométrico	37
Tabela F.2 – Caderneta de campo contendo as informações de nivelamento trigonométrico ..	39
Tabela H.1 – Coleta de dados para nivelamento trigonométrico com visadas recíprocas	41
Tabela I.1 – Caderneta de campo com exemplo de coleta de dados para nivelamento trigonométrico	43
Tabela O.1 – Características das projeções	54

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 13133 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudos de Serviços Topográficos (CE-002:133.17). O Projeto de Revisão circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 05, de 27.05.2021 a 28.06.2021.

A ABNT NBR 13133:2021 cancela e substitui a ABNT NBR 13133:2015, a qual foi tecnicamente revisada.

A ABNT NBR 13133:2021 não se aplica aos projetos de construção que tenham sido protocolados para aprovação no órgão competente pelo licenciamento anteriormente à data de sua publicação como Norma Brasileira, bem como àqueles que venham a ser protocolados no prazo de 180 dias após esta data, devendo, neste caso, ser utilizada a versão anterior da ABNT NBR 13133:2015.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 13133 é o seguinte:

Scope

This Standard establishes the procedures to be applied in the execution of topographic surveys and the requirements that make angular, linear, unevennesses and respective tolerances compatible according to the admitted precision and errors.

This Standard establishes, the methods, techniques and instruments for obtaining desired results for the purpose of surveying, ensuring that the propagation of precision does not exceed the safety limits inherent to this destination.

This Standard applies to topographic surveys that are intended to obtain geometric information of the terrain to characterize its natural and artificial elements, including relief, boundaries and borders, area, location, mooring and positioning, among others, for the purposes of

- a) preliminary project studies;

- b) *elaboration of pre-projects or basic projects; and*
- c) *elaboration of executive projects.*





Execução de levantamento topográfico — Procedimento

1 Escopo

Esta Norma estabelece os procedimentos a serem aplicados na execução de levantamentos topográficos e os requisitos que compatibilizam medidas angulares, lineares, desníveis e respectivas tolerâncias em função dos erros.

Esta Norma estabelece, em função dos requisitos, os métodos, as técnicas e os instrumentos para a obtenção de resultados compatíveis com a destinação do levantamento, assegurando que a propagação de variâncias não exceda os limites de segurança inerentes a esta destinação.

Esta Norma se aplica aos levantamentos topográficos que se destinam a obter informações geométricas do terreno para caracterizar seus elementos naturais e artificiais, incluindo o relevo, limites e confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento, dentre outros, para fins de:

- a) estudos preliminares de projetos;
- b) elaboração de anteprojetos ou projetos básicos; e
- c) elaboração de projetos executivos.

2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 15777, Convenções topográficas para cartas e plantas cadastrais – Escalas 1:10 000, 1:5 000, 1:2 000 e 1:1 000 – Procedimento

ABNT NBR 16752, Desenho técnico – Requisitos para apresentação em folhas de desenho

ABNT NBR 16861, Desenho técnico — Requisitos para representação de linhas e escrita

ISO 17123-1, *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 1: Theory*

ISO 17123-2, *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 2: Levels*

ISO 17123-3 *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites*

ISO 17123-4 *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 4: Electro-optical distance meters (EDM measurements to reflectors)*

ISO 17123-5 *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 5: Total stations*

ISO 17123-6 *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 6: Rotating lasers*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1

acurácia

grau de aderência das medidas, em relação ao seu valor verdadeiro que, se for desconhecido, a média aritmética destas medidas é considerada o valor mais provável

NOTA Este termo está vinculado aos efeitos aleatórios e sistemáticos.

3.2

alinhamento de via

alinhamento predial

linha divisória que separa o lote de terreno do logradouro público

3.3

altitude geodésica

h

distância entre a superfície física e a elipsoidal, observada sobre a normal do lugar, considerada sobre o plano tangente ao elipsoide

NOTA O termo altitude geodésica substitui os termos altitude geométrica e altitude elipsoidal.

3.4

altitude normal

H^N

distância entre a superfície física e o quase geoide, tomada ao longo da normal

3.5

altitude ortométrica

H

distância entre a superfície física e a geoidal, observada na vertical do lugar

3.6

anomalia de altitude

ζ zêta

distância que separa as superfícies elipsoidal e quase geoidal, ao longo da normal

3.7

apoio geodésico altimétrico

conjunto de pontos materializados de referências de nível (RRNN), que proporciona o controle de posição altimétrica dos levantamentos topográficos e o seu referenciamento ao *datum* (origem) altimétrico do país

3.8

apoio geodésico planialtimétrico

conjunto de pontos materializados no terreno, de referência planimétrica e de nível, que proporciona o controle de posição horizontal e vertical dos levantamentos topográficos em relação à superfície

terrestre determinada pelas fronteiras do país, em coordenadas geodésicas ou planas, referenciando-os aos *data* planimétrico e altimétrico.

NOTA Para mais informações, consultar o exemplo de monografia de vértice de apoio geodésico no Anexo A.

3.9

apoio geodésico planimétrico

conjunto de pontos materializados no terreno, que proporciona o controle de posição dos levantamentos topográficos em relação à superfície terrestre, em coordenadas geodésicas ou planas, referenciando-as ao *datum* planimétrico oficial

3.10

apoio topográfico

conjunto de pontos referenciados planimétricos, altimétricos ou planialtimétricos, que servem de base ao levantamento topográfico

3.11

apoio topográfico altimétrico

conjunto de pontos materializados no terreno, com suas alturas referidas a uma superfície de nível arbitrária (cota) ou ao nível médio do mar (altitude), que serve de base altimétrica para o levantamento topográfico

3.12

apoio topográfico planimétrico

conjunto de pontos materializados no terreno, com coordenadas cartesianas (x e y) determinadas a partir de uma origem no plano topográfico local, que serve de base planimétrica ao levantamento topográfico

3.13

base de referência geodésica

dois ou mais pontos de apoio geodésico que permitem posicionar, orientar e controlar o levantamento, atendendo aos seus objetivos

3.14

base linear para aferição de medidor eletrônico de distância (MED)

conjunto estável de pilares de concreto, alinhados e convenientemente espaçados, nos quais os instrumentos de medição eletrônica e os prismas são estacionados com centragem forçada, realizando-se medições superabundantes das distâncias interpilares, gerando um número redundante de equações de observação que, devidamente ajustadas pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), determinam os elementos básicos de aferição, como o valor da constante aditiva (Z) (erro zero) com seu desvio-padrão e o fator de escala ($K = 10^{-6}$ ppm) com seu desvio-padrão

3.15

campo de provas

conjunto de pontos formando uma base linear para aferição de MED, estação total e nível, bem como uma base estável de multipilares (mínimo de cinco) de concreto e dispositivo de centragem, forçada para classificação angular de teodolito e estação total, conforme a ISO 17123 (Partes 2 a 5)

3.16

carta

representação no plano, em escala média ou grande, dos aspectos artificiais e naturais de uma área tomada de uma superfície planetária, subdividida em folhas delimitadas por linhas convencionais

– paralelos e meridianos – com a finalidade de possibilitar a avaliação de pormenores, com grau de acurácia compatível com a escala

3.17

circuito

polígono fechado determinado por uma sequência de linhas

3.18

cota

distância vertical de um ponto a uma superfície horizontal de referência

NOTA A cota é expressa em metros (m).

3.19

croqui

esboço gráfico sem escala, em breves traços, que facilita a identificação de detalhes

3.20

curva de nível

representação altimétrica, por uma linha contínua, dos pontos com a mesma cota ou altitude ortométrica ou altitude normal

3.21

desenho topográfico final

peça gráfica ou digital, quadriculada previamente, em formato estabelecido na ABNT NBR 16752, com área útil adequada à representação de todos os elementos do levantamento topográfico e identificadores, conforme o modelo determinado pela destinação do levantamento

NOTA Quando o desenho topográfico final é realizado na forma gráfica, convém indicar a sua escala, o sistema de projeção, o sistema de coordenadas e a orientação.

3.22

desvio-padrão

σ
raiz quadrada positiva da variância. Para fins desta Norma a estimativa da precisão de uma variável aleatória associada ao desvio-padrão, pode ser calculada considerando o intervalo dado pela seguinte equação:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

onde

σ é o desvio-padrão;

x é cada uma das observações;

\bar{x} é a média das n observações;

n é o número de observações.

3.23**divisor de águas**

linha que passa pelos pontos mais elevados do terreno e ao longo do perfil mais alto entre eles, dividindo as águas de um e de outro curso d'água

NOTA O divisor de águas é determinado pela linha de cumeeira que separa as bacias.

3.24**erro de graficismo**

erro máximo admissível na elaboração de desenho topográfico para lançamento de pontos e traçados de linhas, com valor de 0,2 mm, que equivale a duas vezes a acuidade visual

3.25**estação**

pontos de apoio de levantamento topográfico, onde são instalados os instrumentos de medição

3.26**estação livre**

método para obtenção da posição da estação ocupada a partir de observações à no mínimo dois pontos, sendo recomendados três ou mais pontos para um melhor ajustamento

3.27**gradiente de zêta**

$\nabla\zeta$

valor da variação das anomalias de altitude por unidade de distância entre dois pontos com alturas quase geoidais conhecidas, ou mesmo entre alturas geoidais, conforme a análise dos aspectos físicos da distribuição de massa e observando o espaçamento máximo de 5 km entre os pontos

3.28**lance de nivelamento**

intervalo entre miras a ré e avante

3.29**legenda**

texto explicativo que acompanha os mapas, as cartas e as plantas, com o objetivo de informar seus dados técnicos, como coordenadas geodésicas, projeções cartográficas ou topográficas e demais informações cadastrais

3.30**leito carroçável**

pista de rolamento de um logradouro, pavimentada ou não, determinada pelos meios-fios construídos ou não

3.31**levantamento cadastral territorial**

emprego de métodos para determinar as coordenadas dos vértices de limites de imóveis ou parcelas

3.32**levantamento topográfico**

emprego de métodos para determinar as coordenadas topográficas de pontos, relacionando-os com os detalhes, visando à sua representação planimétrica em escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ou com pontos cotados

3.33

levantamento topográfico altimétrico

nivelamento

método que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas, relativas a uma superfície de referência, dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada

3.34

levantamento topográfico expedito

método exploratório do terreno, com a finalidade específica de seu reconhecimento, sem prevalecerem os critérios de acurácia

3.35

levantamento topográfico planialtimétrico

método planimétrico acrescido da determinação altimétrica do relevo do terreno e da drenagem natural, incluindo os detalhes que são especificados de acordo com a finalidade

3.36

levantamento topográfico planimétrico

método que projeta no plano horizontal os detalhes topográficos especificados de acordo com a finalidade

3.37

limite

fronteira

linde

divisa

linha que separa dois territórios contíguos

3.38

linha de nivelamento

sequência de seções entre dois nós

3.39

logradouro

espaço livre, inalienável, destinado à circulação pública de veículos e/ou de pedestres, reconhecido pela municipalidade, que lhe confere denominação oficial

3.40

lote

parcela de terra autônoma, cuja testada é voltada para um logradouro público reconhecido ou projetado

3.41

mapa

representação no plano, normalmente em escala pequena, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma figura planetária, delimitada por elementos físicos e político-administrativos, destinada aos usos temáticos, culturais e ilustrativos

3.42

método das direções

medições angulares horizontais com visadas nas direções determinantes nas posições direta e inversa da luneta (leituras conjugadas) de um medidor de ângulos

NOTA Uma série de leituras conjugadas consiste na observação sucessiva de todas as direções a partir da direção de origem, fazendo o giro no sentido horário. Cada série é iniciada com outra leitura do limbo

horizontal. Os valores dos ângulos horizontais medidos são as médias aritméticas dos valores obtidos nas diversas séries (ver exemplo no Anexo B).

3.43

modelo quase geoidal

conjunto de valores de anomalias de altitude

3.44

monografia

descrição única de um ponto, marco, vértice ou referência de nível, contendo seus dados, metadados, imagens e croqui.

3.45

nível d'água

altitude ou cota do nível d'água, normalmente medida sobre uma régua limnimétrica em um determinado momento, em relação a uma superfície horizontal de referência

NOTA O nível d'água é expresso em metros.

3.46

nó

referência de nível pertencente a três ou mais seções, excetuando-se o caso de referência de nível de partida de ramal

3.47

número geopotencial

C

diferença entre o potencial de gravidade na superfície de referência (W_0) e no ponto considerado na superfície terrestre

3.48

ondulação geoidal

N

distância aproximada, medida ao longo da normal, entre as superfícies elipsoidal e geoidal

3.49

partes por milhão

ppm

proporção dada entre uma variável e uma grandeza de mesma natureza, sendo equivalente à milímetros por quilômetros (mm/km)

3.50

planta topográfica

representação gráfica de uma parte limitada da superfície terrestre, sobre um plano horizontal local, em escalas maiores que 1:10 000, para fins específicos, na qual não se considera a curvatura da Terra

3.51

poligonal principal

poligonal básica

figura geométrica determinada com os pontos materializados do apoio topográfico

3.52

poligonal secundária

figura geométrica determinada com os pontos materializados do apoio topográfico e apoiada na poligonal principal

3.53

ponto

posição de destaque na superfície a ser levantada topograficamente

3.54

ponto cotado

ponto com valor de cota ou altitude conhecida

3.55

pontos de apoio

pontos convenientemente distribuídos, que vinculam o terreno ao levantamento topográfico e, por isso, são materializados com, por exemplo, estacas, piquetes, marcos de concreto, pinos de metal ou tinta, dependendo da sua importância e permanência

3.56

ponto de detalhe

pontos que determinam os acidentes naturais e/ou artificiais necessários para estabelecer a forma do detalhe e/ou do relevo, indispensáveis à sua representação gráfica

3.57

ponto de segurança

PS

materializados entre duas referências de nível (RRNN) para controle do nivelamento

3.58

precisão

valores que expressam o grau de aderência das medidas entre si

3.59

princípio da vizinhança

regra básica da geodésia que deve ser aplicada à topografia, estabelecendo que cada ponto novo determinado deve ser amarrado ou relacionado a todos os pontos vizinhos mais próximos já determinados, para que haja uma otimização da distribuição dos erros

3.60

superfície quase geoide

superfície estabelecida a partir da anomalia de altitude plotada com referência à superfície elipsoidal ao longo da normal

3.61

rede maregráfica permanente para geodésia

RMPG

conjunto de estações maregráficas, instaladas e operadas pelo provedor de informações geográficas e estatísticas do país, com a finalidade de monitorar a relação entre o Datum Vertical Brasileiro e outros níveis de referência maregráficos, bem como subsidiar os estudos de modernização das altitudes brasileiras e de variação do nível do mar.

NOTA O provedor de informações geográficas e estatísticas do Brasil é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

3.62

rede de referência cadastral

apoio básico de âmbito municipal para todos os levantamentos destinados a projetos, cadastros ou implantação de obras, sendo constituído por pontos materializados no terreno com coordenadas

planialtimétricas, referenciados a uma única origem [Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)] e a um mesmo sistema de representação cartográfica, permitindo a amarração e conseqüente incorporação de todos os trabalhos de topografia em um mapeamento de referência cadastral

3.63

seção de nivelamento

trecho de nivelamento determinado entre dois pontos de referência de nível (RN)

3.64

sistema de projeção topográfica

plano topográfico local

sistema topográfico local

STL

sistema de projeção plano horizontal, conforme Anexo N

3.65

sistemas de projeção transversa de Mercator

TM

conjunto de projeções cilíndricas, transversas, conformes e secantes, de acordo com o Anexo O

3.66

Sistema Geodésico Brasileiro

SGB

infraestrutura de referência ao posicionamento geodésico no território brasileiro

NOTA 1 O SGB e o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) adotam o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua realização do ano de 2000 (SIRGAS 2000), época 2000,4, conforme IBGE RPR 01/15.

NOTA 2 Os *data* anteriores do Sistema Geodésico Brasileiro eram Córrego Alegre e SAD 69.

3.67

sistema hidrográfico

conjunto de drenagem natural constituído por elementos naturais ou construídos

3.68

sistema viário

conjunto de vias interligadas entre si, formando uma rede

3.69

talude

terreno inclinado, cujo limite superior é denominado crista e o inferior é denominado pé

3.70

toponímia

designação dos lugares para a identificação textual das representações físicas

3.71

trilha

caminho estreito que permite andar a pé ou a cavalo

3.72

valo de divisa

espécie de fosso usado como divisa

3.73

vértice geodésico

ponto planimétrico da rede de referência cadastral, implantado e materializado no terreno com a respectiva monografia (ver Anexo A)

3.74

via

local onde trafegam qualquer tipo de veículo e pedestres, cuja largura é determinada pelos alinhamentos

4 Instrumentos

4.1 Instrumentos básicos

Para a execução das operações topográficas previstas nesta Norma, são indicados os seguintes instrumentos:

- a) teodolitos;
- b) níveis;
- c) estações totais (ET) ou taqueômetros eletrônicos e medidores eletrônicos de distâncias (MED);
- d) receptores *Global Navigation Satellite System* (GNSS);
- e) escâneres.

4.2 Precisão de instrumentos básicos

4.2.1 A precisão de um instrumento é determinada inicialmente pelo fabricante, conforme os procedimentos descritos na ISO 17123 (Partes 1 a 6).

4.2.2 Para os efeitos desta Norma, os teodolitos são classificados conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de medidor de ângulos

Classe	Desvio-padrão da direção
1	$\sigma \leq 02''$
2	$02'' < \sigma \leq 05''$
3	$05'' < \sigma \leq 10''$
4	$\sigma > 10''$

4.2.3 Para os efeitos desta Norma, as estações totais (ET) são classificadas conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação de estações totais

Classe	Desvio-padrão da direção	Desvio-padrão linear
1	$\sigma \leq 02''$	$\leq \pm(1\text{mm} + 1 \times 10^{-6})$
2	$02'' < \sigma \leq 05''$	$\leq \pm(2\text{mm} + 2 \times 10^{-6})$
3	$05'' < \sigma \leq 10''$	$\leq \pm(3\text{mm} + 3 \times 10^{-6})$

NOTA Nas fichas técnicas dos instrumentos, o desvio-padrão corresponde a $1 \times 10^{-6} = 1 \text{ ppm} = 1\text{mm/km}$.

4.2.4 Para os efeitos desta Norma, os níveis são classificados considerando o desvio-padrão de 1 km de duplo nivelamento, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação de níveis

Classe	Desvio-padrão
1	$\leq 1 \text{ mm/km}$
2	$\leq 2 \text{ mm/km}$
3	$\leq 6 \text{ mm/km}$
4	$> 6 \text{ mm/km}$

4.2.5 Os MED e os MED das ET devem ser aferidos a cada dois anos, ou maior frequência de acordo com a necessidade, por entidades competentes. No laudo devem constar o valor da constante aditiva Z (erro de zero) com seu desvio-padrão e o fator de escala $k = 10^{-6}$ com seu desvio-padrão.

NOTA Exemplos de entidades competentes são as entidades oficiais, as universidades e os laboratórios da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE).

4.2.5.1 Na aferição dos MED e nos MED das ET, a acurácia é indicada pela seguinte equação, composta por duas componentes, sendo uma constante e a outra variável em função da distância, expressa em ppm. Ver exemplo no Anexo C.

$$e_d = \sqrt{Z^2 + (k \times D)^2}$$

onde

e_d é a acurácia da distância medida, expressa em milímetros (mm);

Z é a acurácia da constante aditiva do instrumento, expressa em milímetros (mm);

k é a acurácia do fator de escala, expresso em ppm;

D é a acurácia medida, expressa em quilômetros (km).

NOTA Esta equação só é considerada correta se for aplicada às correções atmosféricas (temperatura e pressão).

4.2.6 Os medidores de ângulos e os níveis devem ser ensaiados de acordo com as ISO 17123-2 e ISO 17123-3, em entidades competentes.

NOTA Exemplos de entidades competentes são as entidades oficiais, as universidades e os laboratórios da Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE).

4.2.7 Os níveis devem ser aferidos a cada dois anos, ou com maior frequência de acordo com a necessidade.

4.3 Instrumentos auxiliares

4.3.1 Para a execução das operações topográficas, são necessários os seguintes instrumentos auxiliares:

- a) baliza;
- b) nível de cantoneira, de bastão e de mira;
- c) trena;
- d) mira;
- e) refletor (prisma), bastão com bipé, com base nivelante com suporte, alvo refletor e tripé;
- f) termômetro;
- g) barômetro;
- h) psicrômetro;
- i) sapata;
- j) guarda-sol;
- k) bateria, cabo e carregador;
- l) rádio de comunicação;
- m) equipamento de segurança pessoal e de trânsito, como placa de sinalização, cone, colete e fita sinalizadora.

NOTA Alguns dos instrumentos auxiliares sofrem revisões periódicas, principalmente após os serviços de longa duração e viagens.

4.3.2 A trena deve ser aferida no ato de sua aquisição e periodicamente.

4.3.3 A mira do tipo dobrável, de encaixe e de invar, deve ser aferida no ato de sua aquisição e periodicamente.

4.3.4 A utilização de prisma nas medições eletrônicas deve ser precedida da verificação da sua constante para a correção das distâncias medidas.

4.3.5 A sapata deve ser utilizada como suporte às miras, sempre que se executar transporte de altitude ou cota, devendo ter peso adequado à sua finalidade.

4.3.6 Na medição de distâncias eletrônicas, devem ser evitadas possíveis interferências, por exemplo, rádio, emisoras de rádio, redes de transmissão elétrica ou de telecomunicação.

4.3.7 Verificar a verticalidade do instrumento topográfico com o do prumo óptico ou a *laser* incorporado na alidade ou na base do instrumento utilizado, conforme as instruções prescritas nos manuais do fabricante.

5 Fases para execução do levantamento topográfico

5.1 Generalidades

O levantamento topográfico, em qualquer de suas finalidades, deve ter no mínimo as fases descritas em 5.2 a 5.8.

5.2 Planejamento, seleção de métodos e instrumentos

5.2.1 O levantamento topográfico, em qualquer de suas finalidades, deve obedecer ao princípio da vizinhança e às condições específicas descritas nesta Seção.

5.2.2 Antes do início dos trabalhos de campo, recomenda-se estudar sobre a documentação cartográfica disponível, como:

- a) localização dos marcos planimétricos e das referências de nível (RRNN);
- b) conexão desses marcos e das RRNN com o apoio geodésico;
- c) intervisibilidade dos marcos;
- d) desenvolvimento das poligonais e nivelamentos do apoio básico a ser implantado conforme 5.2.5 e 5.5;
- e) análise de propagação de variâncias e tolerâncias em função da finalidade do levantamento.

5.2.3 A vinculação (ou amarração) do levantamento topográfico ao SGB e/ou às redes oficiais a ele vinculadas deve levar em conta a propagação dos variâncias ao longo dos trabalhos a serem realizados, conforme descrito em 5.3.1 e 5.3.7.

5.2.4 No caso de as medições e cálculos dos apoios topográficos resultarem em discrepâncias, quando comparadas com a informação do provedor de informações geográficas e estatísticas do país, isso deve ser comunicado a esse provedor.

NOTA O provedor de informações geográficas e estatísticas do Brasil é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

5.2.5 Considerando as finalidades do levantamento topográfico, a densidade de informações a serem representadas, as dimensões e a acurácia necessária a cada finalidade, tem-se duas classes de poligonais planimétricas:

- a) poligonal principal (PP);
- b) poligonal secundária (PS).

NOTA As classes de poligonais são materializadas utilizando-se instrumento, procedimento, desenvolvimento e monumentalização adequados, apresentados na Tabela 4, ou com tecnologia GNSS,

conforme 5.3.1. A Figura 1 exemplifica uma classe de poligonal apoiada em duas bases formadas por pontos distintos. A Figura 2 exemplifica as classes de poligonais apoiadas em dois pontos distintos.



Figura 1 – Exemplo de poligonal apoiada em duas bases

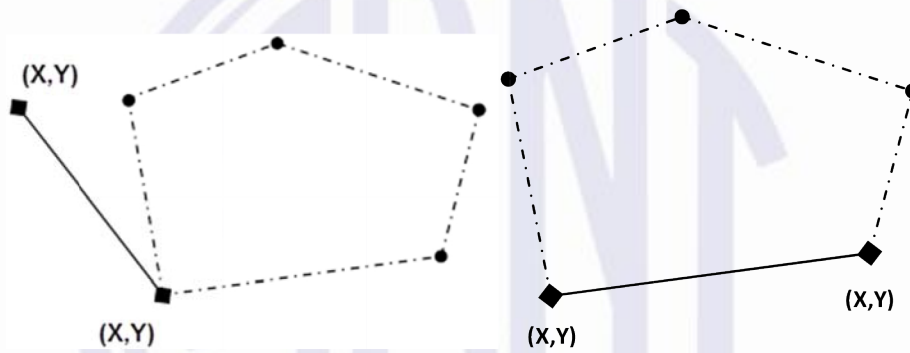


Figura 2 – Exemplos de poligonais apoiadas em dois pontos

Tabela 4 – Poligonais planimétricas

Classe	Medição		Desenvolvimento		Monumentalização
	Angular	Linear	Desenvolvimento máximo recomendado	Lado mínimo recomendado	
PP	Método das direções Duas séries de leituras horizontais conjugadas (PD e PI)	Leituras recíprocas (avante e ré) Correção de temperatura e pressão	5 km	100 m	Marcos de concreto ou pinos de aço
PS	Método das direções Uma série de leituras horizontais conjugadas (PD e PI)	Leituras recíprocas	2 km	50 m	Pinos de aço ou piquetes

Os instrumentos devem ser determinados em função das análises decorrentes de 5.2.2

5.2.6 Para estabelecer a metodologia de um levantamento topográfico, devem-se considerar a sua finalidade básica e as dimensões da área a ser levantada, enquadrando o levantamento topográfico

em uma das seguintes classes: cadastral territorial, topográfico altimétrico, topográfico planimétrico e topográfico planialtimétrico.

5.2.7 Em se tratando de levantamento topográfico altimétrico ou planialtimétrico, devem ser consideradas a equidistância das curvas de nível e a densidade de pontos cotados para a modelagem do terreno (modelo digital de terreno), de acordo com o grau de detalhamento suscitado pela finalidade do levantamento ou pelas condições ambientais.

5.2.8 Cuidados especiais devem ser tomados ao estacionar o instrumento nas medições de campo, para se evitarem os erros de centragem e da posição do sinal a ser visado, pois estes representam a maior fonte de erros na medição angular. Estes erros são tanto maiores quanto mais curtos forem os lados das classes de poligonais. Nos casos que requeiram maior rigor nas medições angulares, é recomendado o emprego de pilares com dispositivos de centragem forçada ou adotar o método dos três tripés.

5.2.9 As medições angulares horizontais para fins de poligonização devem ser feitas pelo método das direções, em séries de leituras conjugadas (luneta nas posições direta e inversa).

5.2.10 Para o nivelamento trigonométrico, as medições angulares verticais devem ser feitas em séries de leituras conjugadas (luneta nas posições direta e inversa).

5.2.11 Para efeito de validação de uma série qualquer, deve ser feito, no campo, o cálculo do desvio dos ângulos em relação ao valor médio de todas as séries. Rejeitam-se, uma por vez, as séries que se afastarem mais de três vezes da precisão nominal do instrumento.

5.2.12 O escâner a *laser* terrestre (LST) pode ser utilizado para levantamentos de detalhes, desde que o registro das cenas seja apoiado em pontos implantados com GNSS ou com poligonais com estação total, permitindo a análise da acurácia do ajustamento. A acurácia deve atender à finalidade do levantamento topográfico.

Para a extração de dados, o *software* deve prever a análise de ruído na nuvem, evitando o uso de pontos discrepantes em relação ao elemento escaneado.

5.2.13 A determinação de coordenadas de pontos com o uso de receptores *Global Navigation Satellite System* (GNSS) pode ser realizada por diferentes métodos e conforme a acurácia que atenda à finalidade do levantamento. Sua classificação depende do movimento do receptor em relação aos pontos de interesse durante a medição, do número de receptores empregados, dos sinais utilizados e do intervalo entre o rastreamento e o cálculo das coordenadas. Da combinação destes diferentes critérios derivam as técnicas de posicionamento que determinam as coordenadas de pontos de interesse com diferentes precisões.

5.2.13.1 A escolha do método empregado deve considerar: a acurácia da posição a determinar; a precisão nominal dos receptores conforme fabricante; a influência de fatores como a refração atmosférica, o multicaminhamento, a obstrução de sinais, o número de satélites visíveis e a geometria entre satélites e receptor(es), entre outros.

5.2.13.2 Conforme o movimento do receptor em relação aos pontos de interesse durante a medição, a determinação de coordenadas pode ser estática (antena estacionada sobre o ponto) ou cinemática (antena em movimento em relação ao ponto).

5.2.13.3 Conforme o número de antenas receptoras utilizadas, a determinação de coordenadas de pontos de interesse pode ser absoluta (apenas uma antena) ou relativa/diferencial (mais de uma antena).

5.2.13.4 Conforme os sinais utilizados no processamento, a determinação de coordenadas de pontos de interesse pode ser realizada pelo código ou pela fase de onda da portadora.

5.2.13.5 Conforme o intervalo entre o rastreo e o cálculo das coordenadas dos pontos de interesse, a determinação pode ser em tempo real ou pós-processada.

5.2.13.6 A utilização de código para a determinação de coordenadas de pontos por GNSS fica condicionada ao uso da técnica relativa/diferencial, desde que atenda à finalidade da obra.

5.2.13.7 Na determinação de coordenadas de pontos por GNSS na locação de obras, devem-se utilizar as técnicas com solução do cálculo em tempo real.

5.2.13.8 Na determinação de coordenadas de pontos por GNSS com a finalidade de implantação de apoio geodésico ou topográfico em redes, utilizar, preferencialmente, os métodos que permitam o ajustamento por mínimos quadrados ou o relativo/diferencial.

5.3 Apoio topográfico e sua acurácia

5.3.1 O apoio topográfico planimétrico pode ser implantado com a utilização da tecnologia GNSS ou de método convencional. Nessa implantação é requerida a vinculação a dois ou mais pontos intervisíveis transportados da rede geodésica (SGB) ou de redes oficiais a ela vinculadas. O Anexo D apresenta um exemplo de cálculo de distâncias e azimutes no plano, para o método convencional.

5.3.2 Independentemente do método e da tecnologia adotados, a propagação das precisões deve ser feita desde os vértices definidores das bases de referência até os pontos de apoio implantados, podendo ser de forma simplificada. Os Anexos E e F apresentam o cálculo simplificado da propagação das precisões para os métodos convencionais.

5.3.3 A rede de poligonais apoiada na rede geodésica deve ser constituída por poligonais principais, que ligam entre si os vértices geodésicos, seguindo, de acordo com o terreno ou com a sua ocupação, uma linha próxima da reta. As poligonais secundárias são materializadas preferencialmente entre as estações das poligonais principais.

5.3.4 O uso da tecnologia GNSS nas aplicações topográficas utiliza o método relativo ou o diferencial, isto é, uma ou mais estações de coordenadas conhecidas servem de apoio aos pontos a serem determinados (ver 5.2.13.3).

5.3.5 No caso de levantamento planimétrico com existência de rede de referência cadastral, as áreas levantadas devem ser amarradas aos vértices monumentalizados das poligonais determinantes dos seus pontos topográficos.

5.3.6 A finalidade do levantamento determina a quantidade de pontos dos detalhes a serem observados.

5.3.7 A acurácia planimétrica estabelecida para o levantamento topográfico está relacionada com a sua finalidade. Os métodos, processos e instrumentos utilizados nos trabalhos topográficos não podem conduzir a erros que comprometam a acurácia inerente à finalidade do levantamento. Os pontos notáveis e de maior interesse podem ter acurácia superior à adotada. Neste caso, estes pontos devem ser determinados por suas coordenadas calculadas e não pelas obtidas graficamente.

5.3.8 Convém que os pontos planimétricos do apoio topográfico sejam utilizados também como referências de nível. Nesse caso, as altitudes (preferencialmente) ou cotas são determinadas por nivelamento geométrico duplo (nivelamento e contranivelamento) ou por nivelamento trigonométrico ou por técnica de nivelamento GNSS relativo.

5.3.9 Os pontos planimétricos e as referências de nível do apoio topográfico devem ser materializados em locais estáveis, de preferência de concreto, na forma tronco-piramidal, enterrados com o topo ao nível do solo, local onde se deve encavar uma placa de identificação contendo a materialização dos pontos. Dependendo da situação, estes marcos podem ser substituídos por pinos metálicos ou de material sintético adequado.

5.3.10 Os pontos planimétricos do apoio básico e as referências de nível, ambos materializados, devem ter monografias, conforme o exemplo no Anexo A, contendo itinerários de acesso, croqui com orientação, amarrações, pontos de referência ou outras informações que conduzam a uma fácil localização e identificação.

5.3.11 As referências de nível do apoio topográfico altimétrico devem estar vinculadas às referências de nível do apoio geodésico de “alta precisão”, de “precisão” ou de “fins topográficos”. A vinculação é realizada por nivelamento geométrico (nivelamento e contranivelamento) ou por nivelamento trigonométrico ou nivelamento GNSS, neste caso fazendo a devida transformação de altitude geodésica para altitude normal, considerando o modelo oficial. De qualquer forma, deve-se atingir a acurácia definida para o levantamento topográfico. O Anexo G apresenta um exemplo de transformação com uso de GNSS.

5.3.12 Convém que, nas poligonais, sejam evitados lados longos e curtos, o que não é favorável sob o ponto de vista da acurácia dos resultados.

5.3.13 Na determinação de uma rede básica, para qualquer projeto, recomenda-se que as poligonais tenham o seu desenvolvimento o mais próximo possível da área de projeto.

5.4 Levantamento de detalhes

Os métodos clássicos (poligonais, irradiações, interseções ou ordenadas sobre uma linha-base), com tecnologia GNSS ou com escâner, são destinados à determinação das posições planimétrica e/ou altimétrica dos pontos, para permitir a representação do terreno a ser levantado a partir do apoio topográfico. Estes métodos podem conduzir, simultaneamente, à obtenção da planimetria e da altimetria, ou então separadamente, se condições especiais do terreno ou exigências do levantamento assim permitirem. Independentemente do método e da tecnologia adotados, a propagação das precisões deve ser feita desde os vértices do apoio até os pontos de detalhes medidos, podendo ser de forma simplificada. O Anexo E apresenta um exemplo de cálculo da propagação das precisões para os métodos clássicos.

5.5 Nivelamento

5.5.1 Generalidades

5.5.1.1 Havendo um modelo quase geoidal oficial ou realizado especialmente, podem-se adotar as anomalias de altitude (ζ) para obtenção das altitudes normais, a partir de altitudes geodésicas (h).

5.5.1.2 Em qualquer dos casos, devem ser observados previamente o objetivo do nivelamento e a respectiva propagação de variâncias das operações.

5.5.1.3 Quando não houver a disponibilidade de um modelo quase geoidal, deve-se executar a operação de nivelamento. Esta deve ser vinculada às RRNN oficiais (SGB) ou mesmo ao número geopotencial (C). Este é obtido a partir de observações gravimétricas nas RRNN oficiais.

5.5.1.4 Havendo disponibilidade de RRNN oficiais na região de interesse, no âmbito do plano topográfico, podem-se realizar o nivelamento e o contranivelamento, a partir de uma RN, transportando H^N .

5.5.1.5 Para regiões que não atendam ao plano topográfico, devem-se consultar os aspectos físicos da distribuição de massa, por meio de estudos gravimétricos da região ou da análise do modelo quase geoidal.

5.5.1.6 Em obras que envolvam o armazenamento (por exemplo, barramentos) ou transporte de líquidos (por exemplo, dutos e canais), mesmo havendo um modelo quase geoidal, o nivelamento deve ser associado ao número geopotencial (C), sendo este determinado a partir da associação de observações gravimétricas nas RRNN oficiais e naquelas estabelecidas pela operação pertinente.

5.5.2 Nivelamento geométrico

5.5.2.1 O nivelamento geométrico é o método em que as diferenças de nível (altitudes ou cotas) dos pontos visados são determinadas diretamente com uso de mira vertical, com visadas a ré e avante. Na Tabela 5 são apresentadas as condições do nivelamento I N de linhas, circuitos, seções e pontos.

Tabela 5 – Condições para o nivelamento geométrico

Classe Método	Instrumento	Visada máxima recomendada m	Tolerância de fechamento K expresso em km	Finalidade
I N Geométrico	Nível classe 1	80	6 mm \sqrt{K}	Transporte de altitude ou cota
	Nível classe 2		8 mm \sqrt{K}	Rede urbana
	Nível classe 3		12 mm \sqrt{K}	Poligonal principal

5.5.2.2 As referências de nível, espaçadas de acordo com o terreno, a área a ser levantada e as condições peculiares em função da finalidade do levantamento, devem ser materializadas por meio de nivelamento geométrico duplo (nivelamento e contranivelamento) e a partir de referências oficiais, conforme tolerâncias e procedimentos previstos na Tabela 5.

5.5.2.3 As miras devem ser posicionadas aos pares e equidistantes, com alternância avante e a ré, de modo que a mira posicionada no ponto de partida (ré) seja posicionada, em seguida, no ponto de chegada (lida avante), sendo conveniente que o número de lances seja par.

5.5.2.4 As miras, devidamente verticalizadas, devem ser apoiadas sobre chapas ou pinos e, no caminhamento, sobre sapatas, mas nunca diretamente sobre o solo.

5.5.2.5 Quando o instrumento utilizado for o nível automático óptico, em todas as leituras devem ser lidos os três fios estadimétricos.

5.5.2.6 A qualidade do nivelamento geométrico é controlada com o contranivelamento, seção a seção, observando-se os valores-limites contidos na Tabela 5.

5.5.2.7 Quando o nivelamento iniciar em uma RN conhecida e desenvolver-se para um ponto de altitude ou cota não conhecida (linha aberta), é necessário fazer o contranivelamento.

5.5.2.8 Para o transporte de altitudes, é necessário utilizar seção de duplo nivelamento (ida e volta) ou circuitos fechados, desde que as origens (partidas e chegadas) sejam em RRNN distintas e pertencentes e/ou vinculadas à rede do provedor de informações geográficas e estatísticas do país. Distribuir ao longo do caminhamento do transporte os chamados pontos de segurança (PS), com

média de 1,0 km entre eles. As visadas máximas de medidas nas miras não podem ultrapassar os 80 m e não podem ser feitas leituras onde as visadas passem a menos de 30 cm de uma superfície, para se evitar o efeito da refração.

NOTA O provedor de informações geográficas e estatísticas do Brasil é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

5.5.2.9 As tolerâncias de fechamento apresentadas na tabela 5 decorrem dos erros acidentais dos instrumentos e dos métodos empregados no nivelamento, e servem de controle da acurácia das operações de campo.

5.5.2.10 A acurácia do apoio topográfico altimétrico é expressa pela qualidade do fechamento de circuitos ou linhas, formados por duplo nivelamento, conectando estações de altitudes conhecidas.

5.5.2.11 A qualidade das operações de campo na determinação do apoio topográfico altimétrico é constatada com o controle das diferenças de nível entre o nivelamento e o contranivelamento geométricos, seção a seção, acumuladas na linha ou circuito, observando-se os valores-limites apresentados na Tabela 5.

5.5.2.12 O ajustamento de uma seção, linha ou circuito nivelado e contranivelado geometricamente é feito distribuindo-se o erro de fechamento proporcionalmente às distâncias ou pelo método dos mínimos quadrados.

5.5.3 Nivelamento trigonométrico

O nivelamento trigonométrico é o método que realiza a medição da diferença de altura entre os pontos do terreno, a partir da leitura do ângulo vertical gerado pela linha de visada ao alvo. Essa medição considera a altura do instrumento e do alvo sobre o terreno (mira vertical ou prisma), conforme as condições apresentadas na Tabela 6. As distâncias entre os dois pontos podem ser medidas ou calculadas a partir das coordenadas. No caso do método taqueométrico com teodolito, devem ser feitas as leituras correspondentes aos três retículos da luneta (superior, inferior e médio), conforme os exemplos de cálculos nos Anexos H e I. Pode-se usar o método da estação livre, pois ele dispensa a medição da altura do instrumento e do prisma, quando esta altura for constante.

NOTA Recomenda-se que na aplicação do método da estação livre os pontos de referência estejam em quadrantes distintos em relação à estação ocupada.

Tabela 6 – Condições para o nivelamento trigonométrico

Classe Método	Instrumento	Visada máxima recomendada m	Tolerância de fechamento K expresso em km	Finalidade
II N Trigonométrico	Teodolito ou estação total classe 1, duas séries de ângulos verticais (visada ré e avante)	300	120 mm \sqrt{K}	Poligonal principal
	Teodolito ou estação total classe 2, uma série de ângulos verticais (visada ré e avante)	200	200 mm \sqrt{K}	Rede em área rural
				Poligonal secundária
III N Taqueométrico	Taqueômetro ou teodolito classe 4	80	-	Irradiação

5.5.3.1 Este método pode ser usado para visadas acima de 300 m sobre a água e em terrenos íngremes, com inclinação acima de 30 %. Para visadas maiores do que 125 m, devem ser considerados os efeitos da curvatura da Terra e a refração normal. Nesses casos, o procedimento exige visadas recíprocas e simultâneas.

5.5.4 Nivelamento com uso da tecnologia GNSS

5.5.4.1 O nivelamento pode ser executado com o uso da tecnologia GNSS, desde que as altitudes geodésicas sejam convertidas em altitudes normais, considerando os modelos oficiais. Devem-se propagar as precisões variâncias para as altitudes convertidas, considerando a consistência dos modelos, a fim de verificar se a acurácia obtida atende à finalidade do nivelamento.

5.5.4.2 A conversão das altitudes obtidas a partir da anomalia de altitude ou da ondulação geoidal deve ser realizada usando modelos matemáticos que especifiquem a precisão destas variáveis. O órgão gestor do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) publica modelos matemáticos de onde se obtém estas variáveis para todo o território nacional a partir das coordenadas de um ponto. Os modelos matemáticos para os cálculos estão indicados nas equações seguintes. O Anexo G possui um exemplo de cálculo.

$$H^N \cong h - \zeta \quad \sigma_H = \pm \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_N^2}$$

onde

H^N é a altitude normal, expressa em metros (m);

h é a altitude geodésica, expressa em metros (m);

ζ é a anomalia de altitude do ponto, obtida no modelo matemático, expressa em metros (m);

σ_H é o desvio-padrão da altitude, expresso em metros (m);

σ_h é o desvio-padrão da altitude geodésica, expresso em metros (m);

σ_N é o desvio-padrão da ondulação do ponto obtida no modelo matemático utilizado, expresso em metros (m).

5.5.4.3 A altitude também pode ser obtida por diferenças de anomalias de altitudes entre dois pontos (anomalia de altitude relativa), considerando a variação das anomalias de modelos matemáticos a partir de uma RN rastreada por GNSS. Os modelos matemáticos para os cálculos estão indicados nas equações seguintes. O Anexo G possui um exemplo de cálculo.

$$\Delta\zeta = \zeta - \zeta_{RN} \quad H^N \cong h + H_{RN}^N - h_{RN} - \Delta\zeta \quad \sigma_H = \pm \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_{H_{RN}}^2 + \sigma_{h_{RN}}^2 + (\sigma_{\Delta\zeta} \times D \times 10^{-6})^2}$$

onde

H^N é a altitude normal, expressa em metros (m);

h é a altitude geodésica do ponto, expressa em metros (m);

H_{RN}^N é a altitude normal da RN, expressa em metros (m);

h_{RN} é a altitude geodésica da RN, expressa em metros (m);

ζ é a anomalia de altitude do ponto, obtida no modelo matemático, expressa em metros (m);

ζ_{RN} é a anomalia de altitude da RN, obtida no modelo matemático, expressa em metros (m);

$D \zeta$ é a anomalia de altitude relativa

σ_H é o desvio-padrão da altitude, expresso em metros (m);

σ_h é o desvio-padrão da altitude geodésica do ponto, expresso em metros (m);

$\sigma_{H_{RN}}$ é o desvio-padrão da altitude da RN, expresso em metros (m);

$\sigma_{h_{RN}}$ é o desvio-padrão da altitude geodésica da RN, expresso em metros (m);

$\sigma_{D \zeta}$ é o desvio-padrão da anomalia de altitude relativa do modelo matemático utilizado, expresso em ppm ou em milímetros por quilômetro (mm/km);

D é a distância entre a RN e o ponto, expressa em metros (m).

5.5.4.3.1 No cálculo da anomalia de altitude relativa os pontos com as anomalias conhecidas devem estar distantes entre si de no máximo 35 km.

5.6 Cálculos e ajustamento

5.6.1 Para a redução ao horizonte das medições de distâncias inclinadas dos lados da poligonal e para as irradiações, são feitas as leituras dos ângulos verticais por leitura direta. Na estação total, a redução da distância inclinada ao horizonte é feita automaticamente. O cálculo é feito com as equações a seguir:

$$d_h = d_j \cdot \cos \alpha \quad \text{ou} \quad d_h = d_j \cdot \sin z$$

onde

d_h é a distância horizontal;

- d_i é a distância inclinada;
- α é o ângulo vertical de inclinação;
- z é o ângulo zenital.

5.6.2 As distâncias horizontais (d_h) das poligonais do apoio topográfico devem ser transportadas ao nível de referência altimétrica do sistema de projeção adotado, pela equação a seguir:

$$\Delta D = \frac{H_m - H}{R_m + H} \times d_h$$

onde

- ΔD é a correção a ser aplicada à distância horizontal, d_h ;
- H_m é a altitude normal média da distância horizontal, d_h , em relação ao nível de referência altimétrico do sistema;
- R_m é o raio médio terrestre, aproximadamente igual a 6 371 000 m;
- H é a altitude normal do nível de referência altimétrico do sistema;
- d_h é a distância horizontal.

NOTA O Anexo J possui um exemplo de cálculo.

5.6.3 As medições de distâncias com trena estão sujeitas às incertezas decorrentes de erros de leitura, alinhamento, horizontalização, tensão, dilatação, contração, aferição e catenária. Efetuar todas as correções ou algumas delas depende da finalidade do levantamento e a que se destinam as distâncias medidas, em face da acurácia a ser alcançada.

5.6.4 Para fins de ajustamento das poligonais, desde que atendidas as tolerâncias especificadas, podem ser aplicados quaisquer métodos com base no modo em que se propagam os erros, inclusive pelo método dos mínimos quadrados. Entre esses métodos são também aceitos os que consistem em efetuar, primeiramente, uma distribuição dos erros angulares igualmente em suas estações e, em seguida, fazer uma distribuição dos erros lineares ou projeções dos lados (Δx e Δy), quer fazendo a distribuição proporcionalmente ao comprimento dos lados, quer ainda efetuando uma repartição proporcionalmente aos valores absolutos das coordenadas relativas. O Anexo K contém um exemplo de cálculo do erro de fechamento longitudinal e do transversal de uma poligonal apoiada em duas bases.

5.6.5 O ajustamento em coordenadas das poligonais é precedido pelo cálculo e pela comparação com as respectivas tolerâncias dos seguintes elementos:

- a) fechamento angular;
- b) erro relativo de fechamento linear após a compensação angular.

NOTA O erro de fechamento linear, após a compensação angular, não determina a acurácia da poligonal, mas serve para o julgamento das operações de campo, indicando a precisão da poligonal e a divergência linear no sistema de coordenadas cartesianas (x) e (y).

5.6.6 Os valores referenciais de tolerâncias são:

- a) tolerância angular ($T\alpha$): considera a teoria dos erros, onde o erro máximo tolerável é aproximadamente três vezes o erro médio temível, conforme a seguinte equação:

$$T\alpha = (3 \times p \times \sqrt{n}) + 10''$$

onde

n é o número de estações;

p é a precisão nominal para a finalidade do trabalho, sendo adotada para $PP \leq 5''$ e para $PS \leq 10''$;

$10''$ é uma constante adotada por medida de segurança;

- b) tolerância linear: para atender a todas as finalidades de levantamentos topográficos, a tolerância mínima é de 1:12 000, entretanto, em casos especiais, deve ser adotada tolerância adequada e estabelecida em comum acordo entre o contratante e o contratado.

5.6.7 As coordenadas dos pontos levantados devem apresentar os respectivos desvios-padrão, uma vez que o valor numérico da grandeza por si só não apresenta informação alguma sobre a qualidade (precisão) da grandeza. A propagação das variâncias pode ser realizada de forma rigorosa, empregando a lei de propagação de variâncias e covariâncias em sua forma matricial, utilizando, por exemplo, um *software* de processamento de dados, ou de forma simplificada. Os Anexos E e F mostram exemplos de cálculos da propagação das precisões variâncias para levantamentos executados por método convencional.

5.6.8 Atenção especial deve ser empregada para o caso de propagação de variâncias em redes topográficas ou geodésicas onde há múltiplas mensurações e vértices, o que aumenta a complexidade do problema. Um roteiro para o cálculo de propagação das variâncias em rede de forma simplificada, que assegura resultados mais conservadores em relação à propagação de covariâncias na forma matricial, é apresentado no Anexo L.

5.7 Desenho topográfico final

5.7.1 A representação topográfica do relevo, dependendo da finalidade do levantamento e do relevo, pode ser por curvas de nível, complementadas com pontos cotados ou modelo digital de terreno.

5.7.2 As representações gráficas devem ser apresentadas em formatos estabelecidos conforme a ABNT NBR 16752 ou conforme o contratante, adequadas à finalidade do levantamento topográfico, considerando as suas dimensões. A representação gráfica contempla quadriculas de 10 cm de lado, trazendo nas bordas da folha as coordenadas plano-retangulares de identificação da linha que representam, comportando, ainda, a moldura, as convenções e os identificadores conforme o modelo estabelecido pela destinação do levantamento (ver Anexo M).

5.7.3 A toponímia, os números e outras referências devem ser desenhados de acordo com a ABNT NBR 16861.

5.7.4 Os vértices do apoio topográfico e as referências de nível devem estar lançados nas plantas, sendo estas com as suas altitudes normais.

5.7.5 No desenho final devem ser registradas as origens planimétrica e altimétrica, bem como a finalidade do levantamento.

5.8 Relatório técnico

O relatório técnico, no término do levantamento topográfico, deve conter no mínimo o seguinte:

- a) objeto;
- b) finalidade;
- c) período de execução;
- d) localização;
- e) Sistema Geodésico de Referência do sistema de coordenadas plano-retangulares, com seu nível de referência altimétrico, conforme 5.3.1 e 5.3.11;
- f) memorial descritivo dos serviços executados, contendo, no mínimo, precisões obtidas, quantidades executadas, relação dos instrumentos utilizados, equipe técnica, identificação do responsável técnico e documentos produzidos, incluindo as monografias; e
- g) memórias de cálculo, destacando-se as planilhas de cálculo das poligonais e das linhas de nivelamento.

6 Inspeção

6.1 Deve ser realizada durante e após a execução do levantamento topográfico uma inspeção com o objetivo de assegurar o desenvolvimento conforme esta Norma.

6.2 Especificamente, durante o processo, deve ser inspecionado o seguinte:

- a) conexão ao apoio geodésico e/ou à rede de referência cadastral;
- b) monografias dos vértices materializados da base de referência;
- c) instrumental básico e auxiliar;
- d) qualidade da materialização e intervisibilidade;
- e) poligonais;
- f) levantamento de detalhes;
- g) nivelamentos;
- h) cálculos e respectivos memoriais;
- i) precisão das observações;
- j) arquivos digitais;
- k) peças gráficas;
- l) convenções topográficas.

6.3 Deve ser estabelecido o número mínimo de pontos, de acordo com a Tabela 7, ou outra amostragem determinada conforme acordo entre as partes interessadas. A amostragem deve ser aleatória e distribuída uniformemente na área do levantamento. A inspeção é realizada pelo contratante, exceto quando expressa em acordo entre as partes interessadas.

Tabela 7 – Amostragem aleatória

Quantidade de pontos do levantamento topográfico	Tamanho da amostra da inspeção
Até 500 pontos	3 % (mínimo de 10)
De 501 a 1 000 pontos	2 % (mínimo de 15)
Acima de 1 000 pontos	1 % (mínimo de 30)

7 Aceitação

7.1 Generalidades

As condições de aceitação dos serviços e produtos elaborados, nas diversas fases do levantamento topográfico, conforme a Seção 5, devem ser estabelecidas em decorrência do resultado da inspeção, levando-se em conta, quando pertinente, as tolerâncias estabelecidas nesta Norma e/ou conforme acordo entre as partes interessadas.

7.2 Aceitação relativa ao levantamento topográfico na sua parte planimétrica de pontos

O critério de aceitação deve ser estabelecido a partir das discrepâncias entre as coordenadas calculadas dos pontos e suas homólogas, medidas no terreno, por um método de precisão igual ou superior ao utilizado na execução do apoio topográfico. O ensaio deve assegurar que a discrepância calculada atenda à tolerância (até três vezes a precisão) estabelecida nesta Norma ou conforme acordo entre as partes interessadas. Os pontos definidores, que são objeto de ensaio, devem ser estabelecidos conforme 6.2.

7.2.1 Um levantamento topográfico planimétrico deve ser considerado aceito se 90% dos pontos objeto da inspeção atenderem à tolerância considerada.

7.3 Aceitação relativa à altimetria do levantamento topográfico


O critério de aceitação deve ser estabelecido a partir das discrepâncias altimétricas, com relação aos deslocamentos entre as altitudes ou cotas obtidas nas representações, de pontos perfeitamente identificáveis nestas e no terreno, obtidos por nivelamento geométrico, trigonométrico ou GNSS, apoiados nas referências de nível existentes na área do levantamento, por um método de precisão igual ou superior ao utilizado na execução do apoio topográfico. O ensaio deve assegurar que a discrepância calculada atenda à tolerância (até três vezes a precisão) estabelecida nesta Norma ou conforme acordo entre as partes interessadas. Os pontos definidores, que são objeto de ensaio, devem ser estabelecidos conforme 6.2.

7.3.1 Um levantamento topográfico altimétrico deve ser considerado aceito se 90 % dos pontos objeto da inspeção atenderem à tolerância considerada.

Anexo A (informativo)

Monografia

A.1 Exemplo de monografia de vértice

[CONTRATANTE] Monografia de Vértices			
Vértice: V xxxx / M xxxx	Vértice visado:	Projeto/Ano:	
Estado:	Município:	Local:	
Origem planimétrica:		Origem altimétrica:	
Coordenadas			
SIRGAS2000 (Época 2000,4)			
Latitude (S):	Longitude (W):	UTM (N):	UTM (E):
Alt. Elip.(h):	Alt. Normal (H ^N):	MC:	Fuso:
Coordenadas do Plano Topográfico Local			
Origem do plano:	$\phi =$	$\lambda =$	$X_0 =$ $Y_0 =$ $H_t =$
Referencial:	X:	Y:	Altitude Normal (H ^N):
Desvio-Padrão após Ajustamento			
σ Lat. =	σ Long. =	σ Alt. =	
Descrição: Chapa de alumínio com as seguintes inscrições: [CONTRATANTE]; [NOME OU NÚMERO DO PONTO]; PROTEGIDO POR LEI; NÃO DESTRUIR.			
Itinerário: (EXEMPLO) A chapa está cravada na calçada, em frente à Escola Municipal de Ensino Fundamental Mururés, a aproximadamente 5 metros do portão e defronte à residência nº465.			
Imagem Panorâmica:		Foto do Local:	
			

A.2 Exemplo de monografia de referência de nível

[CONTRATANTE] MONOGRAFIA DE REFERÊNCIA DE NÍVEL			
RN: RN xxxx	Altitude normal:	Desvio padrão:	Projeto/Ano:
Estado:	Município:	Local:	
Origem:	Datum vertical:		
Coordenadas aproximadas			
Norte:	Este:	Datum:	
Descrição: Marco ou chapa com as inscrições: [CONTRATANTE]; [NOME OU NÚMERO DO PONTO]; PROTEGIDO POR LEI; NÃO DESTRUIR.			
Itinerário: (EXEMPLO) O marco está cravado no canto do trevo de entrada e saída para a cidade de Cruzeiro, ao lado da boca de lobo da água pluvial, no km 033 + 930 m, pista sul, sentido SP.			
Imagem Panorâmica:		Foto do Local:	
			

Anexo B (informativo)

Exemplo de coleta de dados para o método das direções

B.1 Medição angular horizontal e linear

Tabela B.1 – Medição angular horizontal e linear

Data: 27/01/06			Início: 14h22 min.			Término: 14h56 min.			Condições meteorológicas: nublado.							
Estação: Comte. Ferraz			i = 1,310 m			Instrumento: TC 805			Nº: 753804		Operador: Herbert Erwes					
Legenda:																
i altura do instrumento; s altura do sinal; n número de séries; v número de pontos visados;																
$D = \frac{(PD + PI \pm 180^\circ)}{2}$ $\bar{a} = \frac{1}{n} \sum d_i$																
d média das posições (PD e PI) d_i direção reduzida do alvo da i-énésima série \bar{a} ângulo horizontal médio ao alvo																
Ponto visado	Leituras						Medidas horizontais						Média de todas as séries	Distância-alvo		
	Posição direta D			Posição inversa I			Média das posições			Direções reduzidas						
	o	′	″	o	′	″	o	′	″	o	′	″			o	′
Medidas horizontais 1ª Série																
Alice	00	00	00	179	59	45	359	59	52	00	00	00	00	00	00	394,429
FERR	18	58	22	198	58	15	18	58	18	18	58	26	18	58	30	Antena
Silvana	57	52	48	237	52	23	57	52	36	57	52	44	57	52	42	191,049
Cruz	100	24	31	280	24	10	100	24	20	100	24	28	100	24	30	Topo
EACF	106	36	31	286	36	10	106	36	20	100	36	28	106	36	32	Antena
Ullmann	243	59	18	63	58	41	243	59	00	243	59	08	243	59	00	Topo do morro
Maria Luzia	359	00	21	178	59	56	359	00	08	359	00	16	359	00	16	242,647
Medidas horizontais 2ª Série																
Alice	00	01	01	180	00	45	00	00	53	00	00	00				394,429
FERR	18	59	33	198	59	24	18	59	28	18	58	35			
Silvana	57	53	50	237	53	16	57	53	33	57	52	40				191,050
Cruz	100	25	38	280	25	15	100	25	26	100	24	33			
EACF	106	37	46	286	37	10	106	37	28	106	36	35			
Ullmann	243	59	56	63	59	36	243	59	46	243	58	53			
Maria Luiza	359	01	15	179	01	01	359	01	08	359	00	15				242,647
Observação: Às 12 h; Temperatura: 4° C; Pressão: 738,2 mmHg; Correção Atmosférica: +2,4 ppm.																
NOTA Procedimento de medição angular conforme a ISO 17123-3.																

B.2 Medição angular vertical e linear

Tabela B.2 – Medição angular vertical e linear

Data: 27/01/06			Início: 14h22 min.			Término: 14h56 min.			Condições meteorológicas: nublado.							
Estação: Comte. Ferraz			i = 1,310 m			Instrumento: TC 805			Nº: 753804			Operador: Herbert Erwes				
Legenda:																
i altura do instrumento; s altura do sinal; n número de séries; v número de pontos visados;																
Ângulo zenital corrigido: $z = D + Vz$ ou $l - Vz$; Sendo a correção: $Vz = \frac{360 - (D + l)}{2}$																
Ponto visado	Leituras						Medidas Verticais						Média de todas as séries	Altura do sinal		
	Posição direta D			Posição inversa I			Soma das posições			Ângulo zenital corrigido						
	o	í	“	o	í	“	o	í	“	o	í	“			o	í
Medidas verticais 1ª Série																
Alice	90	51	08	269	08	51	359	59	59	90	51	09	90	51	09	1,370
Maria Luiza	90	51	25	269	08	33		59	58	90	51	26	90	51	28	1,626
FERR	88	01	17	271	58	35		59	52	88	01	21	88	01	20	Antena 0
Silvana	86	06	47	273	53	01		59	48	86	06	53	86	06	54	1,485
Cruz	70	30	21	289	29	32		59	53	70	30	28	70	30	28	Topo 0
EACF	81	00	55	278	58	54		59	49	81	01	01	81	01	01	Antena 0
Ullmann	84	03	35	275	56	25	360	00	00	84	03	35	84	03	26	Topo 0
Medidas verticais 2ª Série																
Alice	90	51	06	269	08	50	359	59	56	90	51	08				
Maria Luiza	90	51	24	269	08	25		59	49	90	51	30				
FERR	88	01	15	271	58	34		59	49	88	01	20				
Silvana	86	06	53	273	53	04		59	57	86	06	54				
Cruz	70	30	28	289	29	24		59	52	70	30	32				
EACF	81	00	55	278	58	51		59	46	81	01	02				
Ullmann	84	03	19	275	56	43	360	00	02	84	03	18				
NOTA Procedimento de medição angular conforme a ISO 17123-3.																

Exemplar para uso exclusivo - COBRA BRASIL SERVICOS, COMUNICACOES E ENERGIA S.A. - 08.928.273/0001-02

Anexo C (informativo)

Precisão de distâncias medidas com MED

C.1 Cálculo de precisão de distâncias

O cálculo da precisão de distâncias é realizado pela seguinte equação:

$$e_d = \sqrt{Z^2 + (k \times D)^2}$$

onde

e_d é a precisão da distância medida, expressa em milímetros (mm);

Z é a precisão da constante aditiva do instrumento, expressa em milímetros (mm);

k é a precisão proporcional expressa em ppm ;

D é distância medida, expressa em quilômetros (km).

NOTA Esta equação é considerada correta se aplicadas as correções atmosféricas (temperatura e pressão).

C.2 Exemplo do cálculo de precisão das distâncias:

Medidor de distância/estação total com $e_d = (3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm} \times D)$ - valor indicado pelo fabricante.

Distância medida $D = 750 \text{ m}$

$$e_d = \sqrt{Z^2 + (k \times D)^2} = \sqrt{3^2 + (3.0,750)^2} = \pm 3,75 \text{ mm}$$

Anexo D (informativo)

Exemplo de cálculo de distâncias e azimutes no plano

D.1 Cálculo de distâncias e azimutes no plano

A Tabela D.1 apresenta um exemplo de cálculo de distâncias e azimutes no plano.

Tabela D.1 – Exemplo de cálculo de distâncias e azimutes no plano

Projeto: OPERAÇÃO XXIV – PROANTAR 2006				Calculado por: Herbert Erwes				Data: 31/01/2006								
Equações:																
<ul style="list-style-type: none"> • No sistema UTM: $tg \alpha = \frac{\Delta E}{\Delta N}$ sendo $\Delta E = E_2 - E_1$ e $\Delta N = N_2 - N_1$; • Distância no sistema plano: $d = \Delta E \times \text{sen } \alpha + \Delta N \times \text{cos } \alpha$ ou $d^2 = (\Delta E)^2 + (\Delta N)^2$; Prova: $\alpha + \phi = 90^\circ$ ou 450° sendo $tg \phi = \frac{\Delta N}{\Delta E}$ 																
ΔE	+	+	-	-	E = LESTE			N = NORTE			$tg \alpha = \frac{\Delta E}{\Delta N}$	Azimute				
ΔN	+	-	-	+	E ₂ E ₁			N ₂ N ₁			$tg \phi = \frac{\Delta N}{\Delta E}$	ϕ				
Quadr.	I	II	III	IV	$\Delta E = E_2 - E_1$			$\Delta N = N_2 - N_1$			Distância $d^2 = \Delta N^2 + \Delta E^2$	Prova $\alpha + \phi = 90^\circ$ ou 450°				
P ₂				sen α			cos α			°		‘	”			
P ₁				m			m									
FERR					427	338	711	3 115	751	382	0,416 109		I	22	35	33,4
Cmte.Ferraz 2006					427	226	169	3 115	480	919	2,403 218		I	67	24	26,6
N°1				+		112	542	+		270	463	292	944	90	00	00
				+	0,384 176			+	0,923 260			292	944			
EACF					427	175	152	3 115	811	640	-0,305 611		IV	343	00	22,6
Alice 2006					427	313	829	3 115	357	870	-3,272 136		II	103	59	37,4
N°2				-		138	677	+		453	770	474	488	450	00	00
				-	0,292 267			+	0,956 337			474	488			
EACF					427	175	152	3 115	811	640	-0,503 908		IV	333	15	21,9
Maria Luiza					427	327	621	3 115	509	067	-1,984489		II	116	44	38,1
N°3				-		152	469	+		302	573	338	817	450	00	00
				-	0,450 004			+	0,893 027			338	817			
EACF					427	175	152	3 115	811	640	-2,714 312		IV	290	13	28,8
Cmte.Ferraz 2006					427	338	711	3 115	751	382	-0,368 418		II	159	46	31,2
N°4				-		163	559	+		60	258	174	306	450	00	00
				-	0,938 344			+	0,345 702			174	306			

Anexo E (informativo)

Propagação das variâncias de modo simplificado

E.1 Ponto irradiado (método polar)

Nesta Norma, as equações para a propagação de precisões (variâncias e covariâncias) no método polar são apresentadas sem deduções matemáticas, visando a sua aplicação prática. As equações estão indicadas a seguir:

$$X = X_0 + DH \times \text{sen } Az, \quad Y = Y_0 + DH \times \text{cos } Az$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + (\text{sen } Az)^2 \times \sigma_{DH}^2 + (DH \text{ cos } Az)^2 \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{648000}\right)^2}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{Y_0}^2 + (\text{cos } Az)^2 \times \sigma_{DH}^2 + (DH \text{ sen } Az)^2 \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{648000}\right)^2}$$

$$DH = DI \times \text{sen } Z \quad \sigma_{DH} = \pm \sqrt{(\text{sen } Z)^2 \times \sigma_{DI}^2 + (DI \times \text{cos } Z)^2 \times \left(\sigma_Z \times \frac{\pi}{648000}\right)^2}$$

$$\sigma_{DI} = \pm \sqrt{\varepsilon_i^2 + \varepsilon_r^2 + \frac{PN_{\text{lin}}^2}{n}}, \quad \sigma_Z = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \times (2 \times PN_{\text{ang}}^2 + \sigma_{\text{comp}}^2)}$$

$$Az = Az_{\text{RÉ}} + I, \quad I = Hz^V - Hz^R, \quad \sigma_{Az} = \pm \sqrt{(\sigma_{Az_{\text{RÉ}}})^2 + (\sigma_I)^2}$$

$$\sigma_{Az_{\text{RÉ}}} = \pm \left[\sqrt{\left(\frac{Y_{\text{RÉ}} - Y_0}{DH_{\text{RÉ}}^2}\right)^2 \times (\sigma_{X_{\text{RÉ}}}^2 + \sigma_{X_0}^2) + \left(\frac{X_{\text{RÉ}} - X_0}{DH_{\text{RÉ}}^2}\right)^2 \times (\sigma_{Y_{\text{RÉ}}}^2 + \sigma_{Y_0}^2)} \right] \times \left(\frac{648000}{\pi}\right), \quad \sigma_I = \pm \sqrt{\left(\frac{4}{n}\right) \times PN_{\text{ang}}^2 + \frac{\sigma_n^2}{n} + \sigma_c^2}$$

$$\sigma_n = \pm \sqrt{\sigma_{\text{comp}}^2 \times (\cot^2 Z_{\text{RÉ}} + \cot^2 Z)},$$

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\left[\left(\frac{\varepsilon_r}{DH_{\text{RÉ}} \times DH}\right)^2 \times (DH_{\text{RÉ}}^2 + DH^2) + \left(\frac{\varepsilon_i}{DH_{\text{RÉ}} \times DH}\right)^2 \times \left(\frac{DH_{\text{PV_RÉ}}^2}{2}\right)\right]} \times \left(\frac{648.000}{\pi}\right)$$

$$DH_{\text{PV_RÉ}} = \sqrt{DH_{\text{RÉ}}^2 + DH^2 - 2 \times DH_{\text{RÉ}} \times DH \times \text{cos}(I)}$$

$$\sigma_{2D} = \pm \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} = \pm \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + \sigma_{Y_0}^2 + \sigma_{DH}^2 + DH^2 \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{648000}\right)^2}$$

$$\sigma_{X,Y} = \text{sen } Az \times \text{cos } Az \times \sigma_{DH}^2 - (DH \times 1000)^2 \times \text{sen } Az \times \text{cos } Az \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{648000}\right)^2$$

onde

X é a coordenada leste do ponto visado/vante, expresso em metros (m);

Y é a coordenada norte do ponto visado/vante, expresso em metros (m);

X_0 é a coordenada leste do ponto de estação, expresso em metros (m);

Y_0	é a coordenada norte do ponto de estação, expresso em metros (m);
$X_{RÉ}$	é a coordenada leste do vértice de ré, expresso em metros (m);
$Y_{RÉ}$	é a coordenada norte do vértice de ré, expresso em metros (m);
DH	é a distância horizontal do ponto de estação ao ponto visado/vante, expresso em metros (m);
Az	é o azimute do ponto de estação ao ponto visado/vante, expresso em graus sexagesimais ($^{\circ} \prime \prime$);
DI	é a distância inclinada do ponto de estação ao ponto visado/vante, expresso em metros (m);
Z	é o ângulo zenital de visada a vante, expresso em em graus sexagesimais ($^{\circ} \prime \prime$);
$Z_{RÉ}$	é o ângulo zenital de visada a ré, expresso em graus sexagesimais ($^{\circ} \prime \prime$);
$AZ_{RÉ}$	é o azimute do ponto de estação à ré, expresso em graus sexagesimais ($^{\circ} \prime \prime$);
I	é o ângulo horizontal irradiado da direção da ré à direção da vante no sentido horário, expresso em graus sexagesimais ($^{\circ} \prime \prime$);
H_z^V	é a direção horizontal lida no ponto visado/vante, expresso em graus sexagesimais ($^{\circ} \prime \prime$);
H_z^R	é a direção horizontal lida na ré, expresso em graus sexagesimais ($^{\circ} \prime \prime$);
σ_c	é o erro de centragem do instrumento, expresso em segundos de arco sexagesimal ($''$);
ε_i	é o erro de centragem do instrumento, expresso em milímetros (mm);
ε_r	é o erro de centragem do refletor, expresso em milímetros (mm);
$DH_{RÉ}$	é a distância do ponto de estação ao vértice de ré, expresso em metros (m);
$DH_{PV_RÉ}$	é a distância entre o ponto visado/vante e o vértice de ré, expresso em metros (m);
PN_{lin}	é a precisão nominal linear do instrumento, , expresso em milímetros (mm);
PN_{ang}	é a precisão nominal angular do instrumento, expresso em segundos de arco sexagesimal ($''$),
σ_{comp}	é a precisão nominal do compensador vertical do instrumento, expresso em segundos de arco sexagesimal ($''$);
σ_n	é o efeito do erro de nivelamento do instrumento sobre o ângulo irradiado, expresso em segundos de arco sexagesimal ($''$);
n	é o número de medições realizadas (por exemplo, para uma série de leituras conjugadas na posição direta e inversa do instrumento e para uma leitura única na posição direta do instrumento):

σ_X	é o desvio-padrão da coordenada “X” do ponto visado/vante, expresso em milímetros (mm);
σ_Y	é o desvio-padrão da coordenada “Y” do ponto visado/vante, expresso em milímetros (mm);
σ_{X_0}	é o desvio-padrão da coordenada “X” do ponto de estação, expresso em milímetros (mm);
σ_{Y_0}	é o desvio-padrão da coordenada “Y” do ponto de estação, expresso em milímetros (mm);
$\sigma_{X_{RÉ}}$	desvio-padrão da coordenada “X” do vértice de ré, expresso em milímetros (mm);
$\sigma_{Y_{RÉ}}$	é o desvio-padrão da coordenada “Y” do vértice de ré, expresso em milímetros (mm);
σ_{2D}	é o desvio-padrão da resultante horizontal (planimétrica) do ponto visado/vante, expresso em milímetros (mm);
$\sigma_{X,Y}$	é a covariância entre as coordenadas “X” e “Y” do ponto visado/vante, expresso em milímetros quadrados (mm ²)

NOTA As equações para a propagação de precisões (variâncias e covariâncias) no método polar é apresentado em detalhes conforme indicado na Bibliografia [12].

E.2 Exemplo de cálculo

Considerando um levantamento realizado com uma estação total com precisão nominal linear de $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$, precisão nominal angular (PN_{ang}) de $\pm 5''$ e precisão nominal do compensador (PN_{com}) de $\pm 1''$. A estação total foi instalada em tripé com base nivelante a uma altura aproximada de 1,5 m em relação ao ponto topográfico de referência. O vértice de ré e o ponto visado foram ocupados com prisma em bastão a uma altura aproximada de 1,6 m em relação ao ponto topográfico de referência. O ponto visado foi medido em uma série de leituras conjugadas na posição direta e inversa do instrumento. Os desvios-padrões das coordenadas do ponto de estação e do vértice de ré são dados respectivamente por: $\sigma_{X_0} = 21 \text{ mm}$, $\sigma_{Y_0} = 24 \text{ mm}$; $\sigma_{X_{RÉ}} = 22 \text{ mm}$ $\sigma_{Y_{RÉ}} = 19 \text{ mm}$. A distância inclinada média ao ponto visado é $DI = 50,324 \text{ m}$. Os ângulos zenitais médios a ré e ao ponto visado são respectivamente $Z_{RÉ} = 88^\circ 12' 09''$ e $Z_{RÉ} = 89^\circ 01' 23''$. A distância horizontal ao vértice de ré é $DH_{RÉ} = 104,675 \text{ m}$. A distância horizontal média ao ponto visado é $DH = 50,317 \text{ m}$. O ângulo irradiado médio do vértice de ré ao ponto visado é $I = 98^\circ 57' 32''$. O azimute médio do ponto de estação ao ponto visado é $Az = 139^\circ 04' 52''$. As diferenças de coordenadas entre o vértice de ré e o ponto de estação são dadas respectivamente por: $X_{RÉ} - X_0 = 67,455 \text{ m}$ e $Y_{RÉ} - Y_0 = 80,042 \text{ m}$. Determinar o desvio-padrão horizontal do ponto visado.

Erro de centragem da estação (considerando o erro de centragem da base nivelante com bolha tubular e prumo ótico da ordem $\approx 1 \text{ mm}$ por metro):

$$\varepsilon_i = 1,0 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \times 1,5 \text{ m} = 1,5 \text{ mm}$$

Erro de centragem do prisma refletor (considerando o erro de centragem do bastão dotado de bolha circular da ordem de $\approx 2,3 \text{ mm}$ por metro):

$$\varepsilon_r = 2,3 \frac{\text{mm}}{\text{m}} \times 1,6 \text{ m} = 3,7 \text{ mm}$$

Precisão nominal linear de cada distância medida ao ponto visado:

$$PN_{lin} = 2\text{mm} + 2 \frac{(50,324 \times 1.000)\text{mm}}{1.000.000} = 2,1\text{mm}$$

Desvio-padrão da distância inclinada média (considerando $n = 2$ medições):

$$\sigma_{DI} = \sqrt{\varepsilon_i^2 + \varepsilon_r^2 + \frac{PN_{lin}^2}{2}} = \sqrt{1,5^2 + 3,7^2 + \frac{2,1^2}{2}} = 4,3\text{mm}$$

Desvio-padrão do ângulo zenital médio (considerando $n = 2$ medições):

$$\sigma_Z = \sqrt{\frac{1}{2} \times (2 \times PN_{ang}^2 + PN_{com}^2)} = \sqrt{\frac{1}{2} \times (2 \times 5^2 + 1^2)} = 5''$$

Desvio-padrão da distância horizontal média:

$$\sigma_{DH} = \sqrt{(\sin Z)^2 \times \sigma_{DI}^2 + (DI \times \cos Z)^2 \times \left(\sigma_Z \times \frac{\pi}{648000}\right)^2}$$

$$\sigma_{DH} = \sqrt{(\sin 89^\circ 01' 23'')^2 \times 4,3^2 + (50,324 \times \cos 89^\circ 01' 23'')^2 \times \left(5 \times \frac{\pi}{648000}\right)^2} = 4,3\text{mm}$$

Efeito do erro de nivelamento do instrumento sobre o ângulo horizontal irradiado:

$$\sigma_n = \sqrt{PN_{com}^2 \times (\cot^2 Z_{RÉ} + \cot^2 Z)} = \sqrt{1^2 \times (\cot^2 88^\circ 12' 09'' + \cot^2 89^\circ 01' 23'')} = 0''$$

Distância horizontal entre o vértice de ré e o ponto visado:

$$DH_{PV_RÉ} = \sqrt{DH_{RÉ}^2 + DH^2 - 2 \times DH_{RÉ} \times DH \times \cos I}$$

$$DH_{PV_RÉ} = \sqrt{104,675^2 + 50,317^2 - 2 \times 104,675 \times 50,317 \times \cos 98^\circ 57' 32''} = 123\text{m}$$

Efeito dos erros de centragem sobre o ângulo horizontal irradiado:

$$\sigma_c = \sqrt{\left[\left(\frac{\varepsilon_r}{DH_{RÉ} \times DH}\right)^2 \times (DH_{RÉ}^2 + DH^2) + \left(\frac{\varepsilon_i}{DH_{RÉ} \times DH}\right)^2 \times \left(\frac{DH_{PV_RÉ}}{2}\right)^2\right] \times \left(\frac{648.000}{\pi}\right)}$$

$$\sigma_c = \sqrt{\left[\left(\frac{3,7}{104,675 \times 50,317}\right)^2 \times (104,675^2 + 50,317^2) + \left(\frac{1,5}{104,675 \times 50,317}\right)^2 \times \left(\frac{123}{2}\right)^2\right] \times \left(\frac{648.000}{\pi}\right)} = 17,5''$$

Desvio-padrão do ângulo horizontal irradiado médio (considerando $n = 2$ medições):

$$\sigma_I = \sqrt{\left(\frac{4}{n}\right) \times PN_{ang}^2 + \frac{\sigma_n^2}{2} + \sigma_c^2} = \sqrt{\left(\frac{4}{2}\right) \times 5^2 + \frac{0^2}{2} + 17,5^2} = 18,9''$$

Desvio-padrão do azimute da ré:

$$\sigma_{AZRÉ} = \sqrt{\left[\left(\frac{Y_{RÉ} - Y_0}{DH_{RÉ}^2}\right)^2 \times \left[\left(\frac{\sigma_{X_{RÉ}}}{1000}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{X_0}}{1000}\right)^2\right] + \left(\frac{X_{RÉ} - X_0}{DH_{RÉ}^2}\right)^2 \times \left[\left(\frac{\sigma_{Y_{RÉ}}}{1000}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{Y_0}}{1000}\right)^2\right]\right] \times \left(\frac{648000}{\pi}\right)}$$

$$\sigma_{AZRÉ} = \sqrt{\left[\left(\frac{80,042}{104,675^2}\right)^2 \times \left[\left(\frac{22}{1000}\right)^2 + \left(\frac{21}{1000}\right)^2\right] + \left(\frac{67,455}{104,675^2}\right)^2 \times \left[\left(\frac{19}{1000}\right)^2 + \left(\frac{24}{1000}\right)^2\right]\right] \times \left(\frac{648000}{\pi}\right)} = 60,1''$$

Desvio-padrão do azimute ao ponto visado:

$$\sigma_{AZ} = \sqrt{\sigma_{AZRÉ}^2 + \sigma_I^2} = \sqrt{60,1^2 + 18,9^2} = 63''$$

Desvio-padrão da coordenada horizontal “este” do ponto visado (vértice de divisa):

$$\sigma_X = \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + (\text{sen } Az)^2 \times \sigma_{DH}^2 + (DH1000 \times \cos Az)^2 \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{648000}\right)^2}$$

$$\sigma_X = \sqrt{21^2 + (\text{sen } 139^\circ 04' 52'')^2 \times 4,3^2 + (50,317 \times 1000 \times \cos 139^\circ 04' 52'')^2 \times \left(63 \times \frac{\pi}{648000}\right)^2} = 21,2 \text{ mm}$$

Desvio-padrão da coordenada horizontal “norte” do ponto visado (vértice de divisa):

$$\sigma_Y = \sqrt{\sigma_{Y_0}^2 + (\cos Az)^2 \times \sigma_{DH}^2 + (DH \times 1000 \times \text{sen } Az)^2 \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{648000}\right)^2}$$

$$\sigma_Y = \sqrt{24^2 + (\cos 139^\circ 04' 52'')^2 \times 4,3^2 + (50,317 \times 1000 \times \text{sen } 139^\circ 04' 52'')^2 \times \left(63 \times \frac{\pi}{648000}\right)^2} = 24,2 \text{ mm}$$

Desvio-padrão horizontal resultante do ponto visado (vértice de divisa):

$$\sigma_{2D} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} = \sqrt{21,2^2 + 24,2^2} = 32,2 \text{ mm}$$

Covariância entre as coordenadas horizontais do ponto visado (vértice de divisa):

$$\sigma_{X,Y} = \text{sen } Az \times \cos Az \times \sigma_{DH}^2 - (DH \times 1000)^2 \times \text{Az} \times \cos Az \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{648000}\right)^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{X,Y} &= \text{sen } 139^\circ 04' 52'' \times \cos 139^\circ 04' 52'' \times 4,3^2 - (50,317 \times 1000)^2 \times \text{sen } 139^\circ 04' 52'' \times \cos 139^\circ 04' 52'' \times \left(63 \times \frac{\pi}{648000}\right)^2 \\ &= -142,591 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

NOTA Em função destes elementos é possível determinar ainda a elipse de erros do ponto visado. Mais detalhes podem ser obtidos, por exemplo, na Bibliografia [11] ou [9].

Anexo F (informativo)

Propagação das variâncias de modo simplificado

F.1 Nivelamento geométrico – Irradiação

O desvio-padrão dos pontos no nivelamento geométrico é calculado conforme a seguir:

$$\sigma_{HV} = \pm \sqrt{\sigma_{HR}^2 + 2 \times (\sigma_L \times DHm)^2}$$

onde

- σ_{HV} é o desvio-padrão da cota/altitude do vértice visado avante, expresso em metros (m);
- σ_{HR} é o desvio-padrão da cota/altitude do vértice visado a ré, expresso em metros (m);
- σ_L é o desvio-padrão nominal de uma leitura por metro de visada, expresso em metros por metros (m/m);
- DHm é a distância média entre o instrumento e os pontos visados a ré e avante, expresso em metros (m).

F.2 Exemplo de cálculo de nivelamento geométrico

Calcular a cota do ponto A1 e sua precisão com os dados e caderneta de campo a seguir. A Estação foi denominada de 01 e o ponto de ré é a RN80. O objetivo é obter a cota do A1 por meio do nivelamento geométrico. Cota H do RN80 = 9,315 m ± 3,4 mm

Tabela F.1 – Caderneta de campo contendo as informações de nivelamento geométrico¹

Nivelamento Geométrico					
Serviço: Construção Ginásio 2			Data: 20/06/2015		
Equipamento: Leica Sprinter 150 ¹					
Operador: Alunos Turma 1480231			Folha 1/1		
Estação	Ponto Visado	Leitura		Dh	Observação
		Ré	Vante		
01	RN80	1,335		60,325	
	A1		1,511	55,078	

A cota H é calculada conforme a seguinte equação.

$$H = H_{RE} + L_{RE} - L_V$$

¹ Leica Sprinter 150 é um exemplo de produto adequado comercialmente disponível. Esta informação é dada para facilitar aos usuários deste Documento e não constitui um endosso por parte da ABNT ao produto citado.

Substituindo os valores, a cota do ponto A1 é:

$$H_{A1} = H_{RN80} + L_{RE_{RN80}} - L_{V_{A1}} \quad H_{A1} = 9,315 + 1,335 - 1,511 = 9,139\text{m}$$

Considerando o desvio-padrão da leitura, a distância média DHm é:

$$\sigma_L = \frac{0,0006}{30} = 0,00002\text{m} / \text{m} \quad DHm = \frac{60,325 + 55,078}{2} = 57,7015\text{m}$$

Substituindo os valores, o desvio-padrão da cota do ponto A1 é:

$$\sigma_{H_{A1}} = \pm \sqrt{\sigma_{RN80}^2 + 2(\sigma_L \times DHm)^2} = \pm \sqrt{(0,0034)^2 + 2 \times (0,00002 \times 57,7015)^2}$$

$$\sigma_{H_{A1}} = \pm 0,0038 = \pm 3,8\text{mm}$$

Portanto a cota do ponto A1 é:

$$H_{A1} = 9,139 \pm 3,8\text{mm}$$

F.3 Nivelamento trigonométrico – Irradiação

O desvio-padrão no nivelamento trigonométrico é calculado conforme a seguir:

$$\sigma_{H_V} = \pm \sqrt{\sigma_{H_I}^2 + 0,000008 + (\cos Z)^2 \cdot \sigma_{D_I}^2 + (D_I \sen Z)^2 \times \left(\sigma_Z \times \frac{\pi}{648000} \right)^2}$$

onde

- σ_{H_V} é o desvio-padrão da cota/altitude do ponto visado (avante), expresso em metros (m);
- σ_{H_I} é o desvio-padrão da cota/altitude do ponto de estação onde o instrumento está instalado, expresso em metros (m);
- 0,000 008 é a constante, considerando o desvio-padrão da altura do prisma (sinal) e da altura do instrumento iguais a +/- 2 mm, resultando em $(0,002 \text{ m})^2 + (0,002 \text{ m})^2 = 0,000 008 \text{ m}^2$;
- Z é o ângulo zenital do ponto de estação ao ponto visado (graus sexagesimais ° ' ") ;
- σ_{D_I} é o desvio-padrão da distância inclinada do ponto de estação ao ponto visado, expresso em metros (m);
- D_I é a distância inclinada do ponto de estação ao ponto visado, expresso em metros (m);
- σ_Z é o desvio-padrão do ângulo zenital (segundos de arco ").

F.4 Exemplo de cálculo de nivelamento trigonométrico

Calcular o desvio-padrão da altitude do ponto levantado P20, considerando que o desvio-padrão da altitude do ponto E01 é $\sigma_{H_I} = 2,3 \text{ cm}$ (0,023 m) e que foi utilizada uma estação total *Topcon* GTS 235², com precisão nominal angular de $\pm 5''$ e linear de $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$.

² Topcon GTS 235 é um exemplo de produto adequado comercialmente disponível. Esta informação é dada para facilitar aos usuários deste Documento e não constitui um endosso por parte da ABNT ao produto citado.

A Tabela F.2 apresenta as informações de nivelamento trigonométrico.

Tabela F.2 – Caderneta de campo contendo as informações de nivelamento trigonométrico

Nivelamento Trigonométrico						
SERVIÇO: Levantamento planialtimétrico do <i>campus</i>				DATA: 15/09/2003		
Proprietário: Ifsc				Cidade: Florianópolis		
Local: <i>Campus</i> Florianópolis						
Operador: Turma 1480111				Folha 1/5		
EST	i	PTO	h	Z	Di	OBSERVAÇÃO
E01	1,498m	P20	1,55m	90°03'11"	26,479m	Meio-fio

Aplicando os valores da Tabela F.2 na equação simplificada de propagação de variância, é possível obter o valor de $\sigma_{HP_{20}}$.

$$\sigma_{HP_{20}} = \pm \sqrt{\sigma_{HE_{01}}^2 + 0,000008 + (\cos Z)^2 \cdot \sigma_{D_i}^2 + (D_i \cdot \sin Z)^2 \cdot \left(\sigma_Z \cdot \frac{\pi}{648000} \right)^2}$$

Substituindo os valores, temos:

$$\sigma_{HP_{20}} = \pm \sqrt{(0,023)^2 + 0,000008 + (\cos 90^\circ 03' 11'')^2 \cdot (0,002)^2 + (\sin 90^\circ 03' 11'')^2 \cdot \left(5 \cdot \frac{\pi}{648000} \right)^2}$$

Resultando para o desvio-padrão do ponto P20

$$\sigma_{HP_{20}} = \pm \sqrt{0,0005370} \quad \sigma_{HP_{20}} = \pm 0,0232 \text{ m}$$

NOTA As informações das Tabelas F.1 e F.2 são exemplos fornecidos pelo Instituto Federal de Santa Catarina.

Anexo G (informativo)

Cálculo das altitudes normais em função das altitudes geodésicas

G.1 Exemplo de cálculo para anomalia de altitude absoluta

Calcular a altitude do ponto B e a sua precisão com os dados a seguir:

$$h_B = 145,036 \pm 18,4 \text{ mm (medido com GNSS)}$$

$$\zeta_B = -8,26 \pm 170 \text{ mm (extraído do modelo adotado)}$$

$$H_B = h_B - \zeta_B = 145,036 - (-8,26) = 153,296 \text{ m}$$

$$\sigma_{H_B} = \pm \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_\zeta^2} = \pm \sqrt{0,0184^2 + 0,17^2} = \pm 0,171 \text{ m}$$

$$H_B = 153,296 \pm 171 \text{ mm}$$

G.2 Exemplo de cálculo para anomalia de altitude relativa

Calcular a altitude do ponto B e a sua precisão com os dados a seguir.

$$h_B = 145,036 \pm 18,4 \text{ mm (medido com GNSS)}$$

$$H_A = 87,211 \pm 12,7 \text{ mm (medido com nivelamento geométrico)}$$

$$h_A = 78,901 \pm 6,1 \text{ mm (medido com GNSS)}$$

$$z_A = -8,21 \text{ (extraído do modelo adotado)}$$

$$z_B = -8,26 \text{ (extraído do modelo adotado)}$$

$$\sigma_{\Delta\zeta} = \text{desvio padrão relativo do modelo adotado; para este exemplo adotado } \sigma_{\Delta\zeta} = 10 \text{ mm/km}$$

$$D_{A-B} = 14\,723,098 \text{ m (calculada pelas coordenadas)}$$

$$\Delta\zeta = \zeta_B - \zeta_A = -8,26 - (-8,21) = -0,05 \text{ m}$$

$$H_B = h_B + H_A - h_A - \Delta\zeta = 145,036 + 87,211 - 78,907 - (-0,05) = 153,390 \text{ m}$$

$$\sigma_{HB} = \pm \sqrt{0,0184^2 + 0,0127^2 + 0,0061^2 + \left(\frac{0,01 \cdot 14\,723,098}{1000}\right)^2} = \pm 0,149 \text{ m}$$

$$H_B = 153,390 \pm 149 \text{ mm}$$

Anexo H (informativo)

Exemplo de coleta de dados para nivelamento trigonométrico com visadas recíprocas

A Tabela H.1 indica o exemplo de coleta de dados para nivelamento trigonométrico com visadas recíprocas.

Tabela H.1 – Coleta de dados para nivelamento trigonométrico com visadas recíprocas (continua)

Projeto: OPERAÇÃO XXIV – PROANTAR 2006			Calculado por: Herbert Erwes			Data: 29/01/2006														
Legenda e equações: <i>i</i> altura do instrumento; <i>D'</i> distância inclinada; <i>D</i> distância horizontal entre a estação e o ponto visado. <i>z</i> ângulo zenital observado; Esfericidade + refração = $\frac{1-k}{2r} = 68.398 \times 10^{-12} \times D^2$ (m) para refração normal e latitude 62° S; <i>z^x</i> ângulo zenital centrado = <i>z</i> + Δ <i>z</i> , sendo Δ <i>z</i> a redução (centragem) da visada ao solo; <i>s</i> é a altura do sinal. Equação aproximada: $\Delta z = \frac{\Sigma \times 206265 \times \text{sen}^2 z}{D}$ para visadas inclinadas ≤ 30°, suficiente na maioria dos casos Equação rígida: $\Delta z = \pm \left(z - \text{arctg} \frac{D}{\Delta h - \Sigma} \right)$, sendo $\Delta h = D \times \text{ctg} z$ e $\Sigma = (\text{esfericidade} + \text{refração}) + (i-s)$ Sinal de redução: Δ <i>z</i> = (+) em caso Σ = (-) em caso Σ = (+); <i>Z^x Média</i> = <i>Z^x vante</i> + δ <i>z</i> , sendo $\delta z = -\frac{1}{2} \times (Z^x \text{ avante} + Z^x \text{ ré} - 180)$																				
Nº da poligonal	Ré			Vante			Altitudes			Nome ou número da estação										
	Esf.+Refr.			Esf.+Refr.			<i>Z^x Média</i>				<i>H_n</i>									
	+ <i>i</i>			+ <i>i</i>			cotg <i>Z^x</i>				Correção									
	- <i>s</i>			- <i>s</i>			D				Δ <i>h_n</i>									
	Soma Σ			Soma Σ							H _n + 1									
<i>Z^xré + Z^x vante</i>			Correção δ <i>z^x</i>																	
±	m		±	°	'	''	±	m		±	m									
2	-			-			-			-	435		Maria Luiza							
	+	0	002	94	40	38	+	0	002	85	19	42	85	11	36,8	-		001	Maria Antonieta	
	+	1	219	+	7	48,9	-	1	630	-	8	01,6	+	0,084 086		+	14	882		
	-	1	626	94	48	26,9	-	1	216	85	11	40,4								
	-	0	405	180	00	07,3	-	0	416	-		03,6		176	983		19	316		
	+		-	88	27	12	+	-	-	91	32	56	91	33	49,4	-		-	Josefina	
	+	1	239	-	1	04,1	+	1	219	+		50,7	-	0,027 299		-	1	665		
	-	1	220	88	26	07,9	-	1	234	91	33	46,7								
	+	0	019	179	59	54,6	-	0	015	+		02,7		60	992		17	651		
	+		-	92	46	00	+	-	-	87	14	14	87	20	39,2	-		001	Silvana	
	+	1	382	-	6	40,3	+	1	239	+		6	24,0	+	0,046 386		+	3		530
	-	1	234	92	39	19,7	-	1	381	87	20	39,1								
	+	0	148	179	59	57,8	-	0	142	+		01,1		76	092		21	180		

Tabela H.1 (conclusão)

N° da poligonal	Ré									Vante						Altitudes			Nome ou número da estação
	Esf.+Refr.			Z			Esf.+Refr.			Z			Z ^x Média			H _n			
	+ i			ΔZ			+ i			ΔZ			cotg Z ^x			Correção			
	- s			Z ^x = Z + ΔZ			- s			Z ^x = Z + ΔZ			D			Δh _n			
	Soma Σ			Z ^x ré + Z ^x vante			Soma Σ			Correção δz ^x						H _n + 1			
	+	0	002	86	06	54	+	0	002	93	51	22	93	50	00,2	-		001	
	+	1	310	+	3	05,9	+	1	382	-	01	21,7	-	0,067 005		-	12	801	
	-	1	485	86	09	59,9	-	1	308	93	50	00,3							
	-	0	173	180	00	00,2	+	0	076	-		00,1	191	050			8	378	
Observações:												[D] = 505,1 m ΔH = 3,943 [Δh] = 3,946 m							
K é a tolerância = 12√K em mm = ± 8,5 mm, sendo K em km												f _h = ΔH - [Δh] = 3,943 - 3,946 = 0,003 m ou 3 mm							



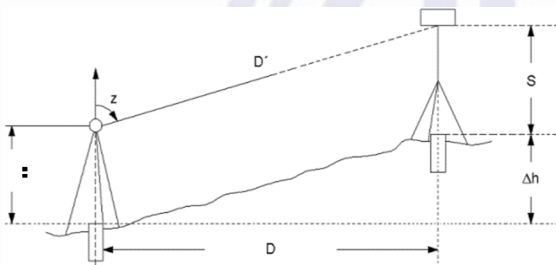
Exemplar para uso exclusivo - COBRA BRASIL SERVICOS, COMUNICACOES E ENERGIA S.A. - 08.928.273/0001-02

Anexo I (informativo)

Exemplo de coleta de dados para nivelamento trigonométrico

A Tabela I.1 indica o exemplo de caderneta de campo com coleta de dados para nivelamento trigonométrico.

Tabela I.1 – Caderneta de campo com exemplo de coleta de dados para nivelamento trigonométrico

Projeto: OPERAÇÃO XXIV – PROANTAR 2006			Calculado por: Herbert Erwes			Data: 22/01/2006								
Legenda <i>i</i> Altura do instrumento; k = 0,13 é o coeficiente de refração média; s Altura do sinal; visada a vante (+) visada ré (-);			D distância horizontal entre a estação e o ponto visado. D' distância inclinada; z ângulo zenital observado;											
			$\Delta h = \pm \left(D \times \text{Ctg} z + \frac{1-k}{2R} \times D^2 + i - s \right) [m]$ onde $\frac{1-k}{2R} = 68.398 \times 10^{-12}$ é a correção devido à esfericidade e refração; R = 6.360.000 m é o raio médio da terra na latitude 62° S											
Estação	Ponto visado	Va Ré	Z			Esfer + Refr. (m)			Δh (m)			Hpartida		
			Cotg Z			+ i			Correção			Δh média		
			D × Cotg Z			- s			Δh corr.			H determinada m		
			D			Soma								
Cmte.Ferraz 2006			81°	01'	01"	+	0	002	-	-	-	8	378	
N°3			+	0,158 081		+	1	310	-	-	-	+	20	498
				174	364	-	-	-	-	-	-	-	28	876
	EACF	Va	+	27	564	+	1	312	-	-	-	37	254	
Maria Luiza			84°	44'	42"	+	0	008	-	-	-	+	4	435
N°4			+	0,091 975		+	1	630	-	-	-	32	812	
				338	937	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EACF	Va	+	31	174	+	1	638	-	-	-	37	247	
Alice 2006			85°	59'	03"	+	0	015	-	-	-	2	467	
N°5			+	0,070 205		+	1	432	-	-	-	+	34	769
				474	647	-	-	-	-	-	-	-	-	
	EACF	Va	+	33	322	+	1	477	-	-	-	37	236	
											Média	37	246	
NOTA Distâncias calculadas a partir das projeções UTM.														

Anexo J (informativo)

Distância a ser transportada ao nível de referência do sistema topográfico local

J.1 Cálculos

O cálculo da correção é realizado pela equação a seguir:

$$\Delta D = \frac{H_m - H}{R_m + H} \times d_h$$

onde

ΔD é a correção a ser aplicada à distância horizontal d_h ;

H_m é a altitude média da distância horizontal d_h , em relação ao nível de referência altimétrica do sistema;

R_m é o raio médio terrestre, aproximadamente igual a 6 360 000 m;

H é a altitude do nível de referência altimétrico do sistema;

d_h é a distância horizontal medida.

Caso 1: nível de referência $H = 0$ m (altitude dos mares, como no caso do sistema UTM)

$$h_m = 950 \text{ m}$$

$$d_h = 750 \text{ m}$$

$$\Delta D = \frac{950}{6360000} \times 750 = 0,112 \text{ m ou } 112 \text{ mm}$$

Caso 2: nível de referência $H = 800$ m (STL)

$$h_m = 950 \text{ m}$$

$$d_h = 750 \text{ m}$$

$$\Delta D = \frac{950 - 800}{6360000} \times 750 = 0,0176 \text{ m ou } 17,7 \text{ mm}$$

Anexo K (normativo)

Cálculo dos erros de fechamento longitudinal e transversal

K.1 Cálculos dos erros

K.1.1 Generalidades

Os erros de fechamento longitudinal e transversal indicam a qualidade das medições de uma poligonal. A poligonal fica apoiada nos seus extremos em bases de pontos, incorporada ao SGB, como mostra a Figura K.1. Suas coordenadas são determinadas normalmente com tecnologia GNSS.

K.1.2 Erro de fechamento

As poligonais permitem a avaliação de erros de fechamento longitudinal (em função da medição linear) e de fechamento transversal (em função de medição angular).

K.1.3 Erros na medição linear

O erros na medição linear são, na sua maioria, sistemáticos, como erro de temperatura, pressão, umidade, escala de MED, constante aditiva de MED e de refletor, enquanto alguns erros têm caráter acidental, como os erros de centragem e de pontaria.

K.1.4 Erro na medição angular

O erros na medição angular são, na sua maioria, acidentais, como erros de centragem, de pontaria e influência da reverberação.

K.1.5 Equações

As seguintes equações são utilizadas para o cálculo dos erros de fechamento longitudinal e transversal:

$$f_l = \frac{f_x \times [\Delta x] + f_y \times [\Delta y]}{S} \quad f_t = \frac{f_x \times [\Delta y] + f_y \times [\Delta x]}{S}$$

onde

Δx e Δy são as projeções dos lados para os eixos de coordenadas;

f_x e f_y são os erros de fechamento em coordenadas;

$S = \sqrt{[\Delta x]^2 + [\Delta y]^2}$ é a distância entre o ponto de partida e o de chegada;

f_l é o erro de fechamento longitudinal;

f_t é o erro de fechamento transversal;

K.2 Exemplo

K.2.1 Informações preliminares

Poligonal esquematizada na Figura K.1, classe PP, localizada no *campus* da Universidade Federal de São Carlos (UFSC), com as seguintes características:

Local: Campo de prova da EESC, no *campus* da UFSC, São Carlos - SP

Época: Maio de 1996

Equipe: Alunos de um curso da EESC/Leica

Equipamento: TC da Leica³ com acessórios

Emprego de centragem forçada nas medições

Sistema de coordenadas: plano topográfico local

Bases: FED 1 e FED 2 - FED 3 e FED 4

Número de estações: 8

Comprimento: 1 164 m

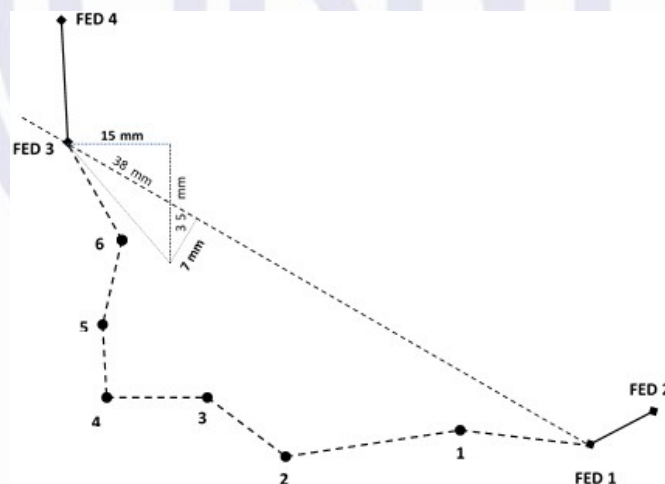


Figura K.1 – Esquema da poligonal no *campus* da Universidade Federal de São Carlos – SP

K.2.2 Cálculos

As informações levantadas são:

$$[\Delta x] = -654,248 \text{ m} \quad [\Delta y] = 983,379 \text{ m} \quad S = 1\,181,133 \text{ m} \quad f_x = -0,015 \text{ m} \quad f_y = 0,035 \text{ m}$$

Erro de fechamento longitudinal:

$$f_l = \frac{-0,015 \times (-654,248) + 0,035 \times 983,379}{1\,181,133} = 0,038 \text{ m}$$

³ Leica é um exemplo de produto adequado comercialmente disponível. Esta informação é dada para facilitar aos usuários deste documento e não constitui endosso por parte da ABNT ao produto citado.

Erro de fechamento transversal

$$f_t = \frac{-0,015 \times 983,379 - 0,035 \times (-654,248)}{1181,133} = 0,007\text{m}$$

K.2.3 Resultados

Erro de fechamento angular: $\alpha = 15''$

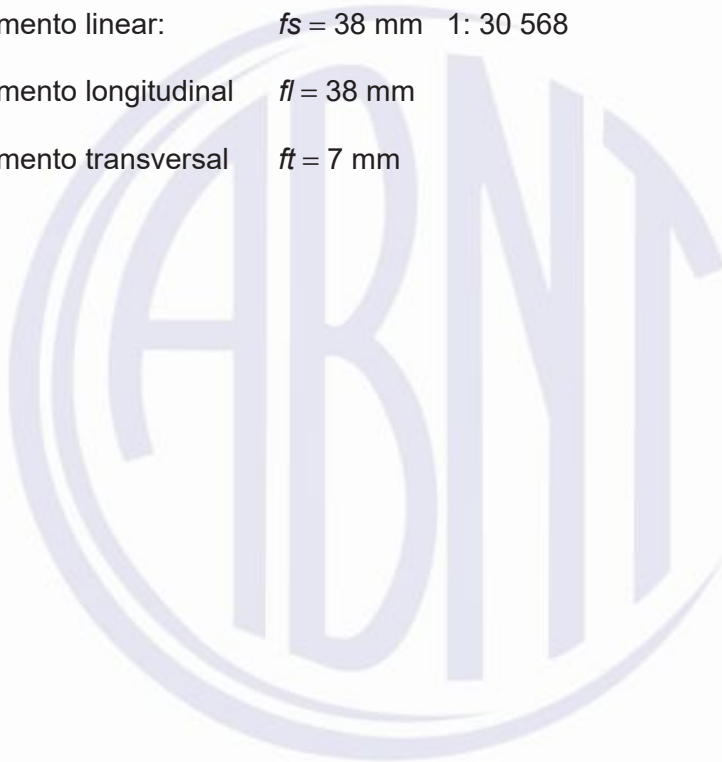
Erro de fechamento em x: $f_x = -15 \text{ mm}$

Erro de fechamento em y: $f_y = 35 \text{ mm}$

Erro de fechamento linear: $f_s = 38 \text{ mm} \quad 1: 30 \ 568$

Erro de fechamento longitudinal $f_l = 38 \text{ mm}$

Erro de fechamento transversal $f_t = 7 \text{ mm}$



Anexo L (informativo)

Propagação das precisões de modo simplificado

L.1 Pontos de poligonal ou redes

L.1.1 Uma metodologia de propagação de erros de modo simplificado para redes topográficas e geodésicas que apresente resultados mais conservadores em relação à propagação de erros completa na forma matricial consiste nas indicações de L.1.2 a L.1.7

L.1.2 Realizar a propagação de variâncias simplificada partindo da primeira (ou única) base conhecida da rede, efetuando a propagação das variâncias das medições e da determinação do vértice anterior para cada novo vértice da rede. Por exemplo, nas redes A e B indicadas nas Figuras L.1 e L.2, propagar o desvio-padrão do vértice conhecido M0 e das medições ao vértice 1 pelo método simplificado do Anexo E, obtendo o desvio-padrão das coordenadas do vértice 1. Posteriormente, propagar o desvio-padrão do vértice 1 e das medições ao vértice 2, obtendo o desvio-padrão das coordenadas do vértice 2, e assim sucessivamente até o vértice 5.

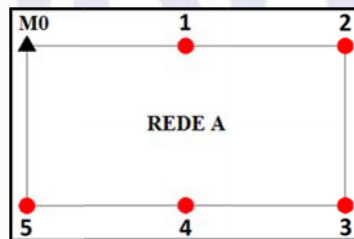


Figura L.1 – Rede com uma base



Figura L.2 – Rede com duas bases

L.1.3 Para redes com uma única base conhecida, realizar a propagação de variâncias simplificada partindo da base conhecida, mas no sentido contrário ao realizado em L.1.2, ou seja, iniciando no último vértice desconhecido da rede. Por exemplo, na rede A, propagar o desvio-padrão do vértice conhecido M0 e das medições ao vértice 5, obtendo o desvio-padrão das coordenadas do vértice 5. Posteriormente, propagar o desvio-padrão do vértice 5 e das medições ao vértice 4, obtendo o desvio-padrão das coordenadas do vértice 4, e assim sucessivamente até o vértice 1.

L.1.4 Para redes com duas bases conhecidas, realizar a propagação de variâncias simplificada partindo da última base conhecida da rede, efetuando a propagação dos variâncias das medições e da determinação do vértice anterior para cada novo vértice da rede como em L.1.2. Por exemplo, na rede B, propagar o desvio-padrão do vértice conhecido M6 e das medições ao vértice 5, obtendo o desvio-padrão das coordenadas do vértice 5. Posteriormente, propagar o desvio-padrão do vértice 5 e das medições ao vértice 4, obtendo o desvio-padrão das coordenadas do vértice 4, e assim sucessivamente até o vértice 1.

L.1.5 Para cada vértice, adotar como desvio-padrão para as sua(s) coordenada(s) a solução que apresentar a maior precisão.

L.1.6 Por exemplo, para a rede A, considerar que os resultados mais precisos (desvios-padrão) para os vértices 1, 2 e 3 são obtidos por meio da propagação de variâncias, conforme L.1.2, enquanto os resultados mais precisos (desvios-padrão) para os vértices 4 e 5 são obtidos por meio da propagação de variâncias, conforme L.1.3. Neste caso, adotam-se como desvio-padrão das coordenadas dos vértices 1, 2 e 3 os resultados obtidos em L.1.2 e para os vértices 4 e 5 os resultados obtidos em L.1.3.

L.1.7 Para a rede B, considerar que os resultados mais precisos(desvios-padrão) para os vértices 1 e 2 são obtidos por meio da propagação de variâncias , conforme L.1.2, enquanto os resultados mais precisos (desvios-padrão) para os vértices 3, 4 e 5 são obtidos por meio da propagação de variâncias , conforme L.1.3. Neste caso, adotam-se como desvio-padrão das coordenadas dos vértices 1 e 2 os resultados obtidos em L.1.2 e para os vértices 3, 4 e 5 os resultados obtidos em L.1.3.



Anexo M (informativo)

Convenções

M.1 Convenções topográficas

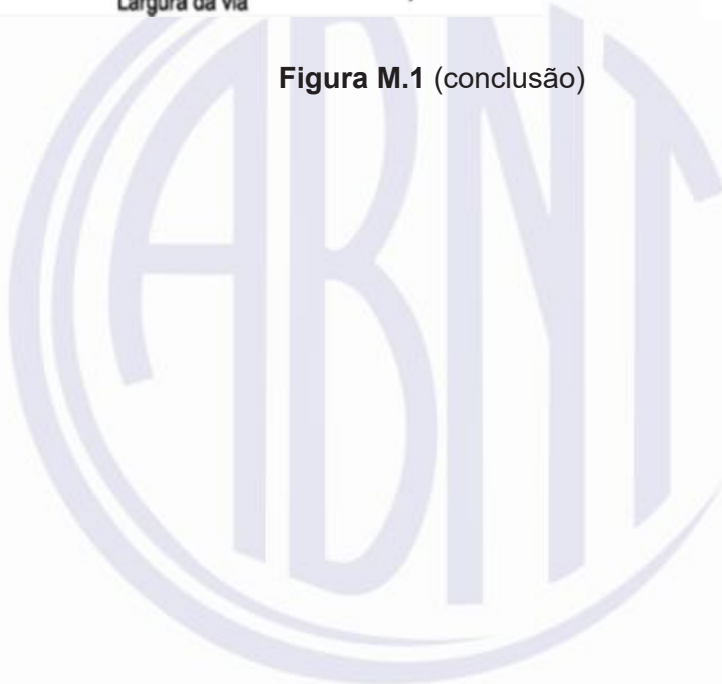
As convenções topográficas são apresentadas na Figura M.1. As demais convenções topográficas devem ser conforme a ABNT NBR 15777.

<p>Vértices geodésicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ 1ª Ordem △ 2ª Ordem △ 3ª Ordem 	<p>RN oficial</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 1ª Ordem □ 2ª Ordem □ 3ª Ordem 	<p>Vértices topográficos</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 1ª Ordem ○ 2ª Ordem ○ 3ª Ordem ou topográfico
<p>Estação de levantamento</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Piquete ○ Pino ● Marco 	<p>Ponto de divisa</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Materializado ① Não materializado 	<p>Ponto de sondagem</p> <ul style="list-style-type: none"> ●
<p>Sinalização vertical</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Placa ● Semáforo ○ Radar fixo 	<p>Poste de energia</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Rede elétrica ● Rede com luminária ⊗ Rede subterrânea (luminária) 	<p>Telefone e correio</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Telefone ✉ Correio
<p>Poço de visita</p> <ul style="list-style-type: none"> Ⓟ PV (Não identificado) Ⓞ ES (Esgoto) Ⓞ AP (Águas pluviais) Ⓞ TL (Telefone) Ⓞ EL (Eletricidade) 	<p>Hidrante e registro</p> <ul style="list-style-type: none"> Ⓞ HD (Hidrante) Ⓞ G (Registro gás) Ⓞ RA (Registro de água) 	<p>Caixa inspeção e passagem</p> <ul style="list-style-type: none"> Ⓞ CG (Gás) Ⓞ CT (Telefonia) Ⓞ CE (Eletricidade) Ⓞ CX (Não identificável)

Figura M.1 – Convenções topográficas (continuação)



Figura M.1 (conclusão)



Anexo N (normativo)

Plano topográfico local

O Plano Topográfico Local deve ser utilizado somente como sistema de projeção planimétrico, devendo ser utilizado para a altimetria o referencial altimétrico definido pelo Sistema Geodésico Brasileiro.

A Figura N.1, apresenta uma ilustração do Plano Topográfico Local/Sistema Topográfico Local (STL), com as seguintes características:

- a) origem (O) coincidente com a posição geodésica central da região de abrangência;
- b) eixo Z orientado segundo a direção vertical na origem O, em sentido oposto ao centro do elipsoide;
- c) eixo Y orientado a 90° do eixo Z e alinhado ao meridiano da origem, sentido positivo para Norte;
- d) eixo X orientado a 90° dos eixos Y e Z em sentido dextrogiro;
- e) coordenadas topográficas plano-retangulares convencionais da origem: $Y = 250\ 000\ \text{m}$ e $X = 150\ 000\ \text{m}$;
- f) dimensão máxima do plano (diagonal) conforme critério de projeto até o máximo de 35 km;
- g) A variação máxima entre os pontos de maior e menor altitude da região abrangida pelo plano, em relação à altitude normal definida para o plano, deve ser inferior a 150 m.

Anexo O (normativo)

Sistemas de projeção TM

O.1 Classificação

Os sistemas de projeção TM padronizados são os indicados a seguir.

- a) UTM (universal transversa de Mercator);
- b) RTM (regional transversa de Mercator) e
- c) LTM (local transversa de Mercator).

O.2 Especificações

Os sistemas de projeção TM possuem as seguintes especificações.

- a) os fusos são numerados de oeste para leste, a partir do antimeridiano de Greenwich (longitude -180°).
- b) a origem das coordenadas plano-retangulares em cada fuso ocorre no cruzamento da linha do Equador com o meridiano central (MC);
- c) os fusos podem sofrer extrapolação conforme a Tabela O.1, se houver necessidade, para que o mapeamento da área de interesse não fique separado em dois fusos;
- d) as características principais de cada projeção são apresentadas na Tabela O.1.

Tabela O.1 – Características das projeções

Sistema	Amplitude	K_0	Origem no MC	Origem no Equador	Rótulo das coordenadas	Extrapolação-limite
UTM	6°	0,999 6	500 000	Norte 0 Sul 10 000 000	NE	30'
RTM	2°	0,999 995	400 000	Norte 0 Sul 5 000 000	XY	10'
LTM	1°	0,999 995	200 000	Norte 0 Sul 5 000 000	XY	5'

NOTA O sistema UTM é a representação cartográfica adotada pelo Sistema Cartográfico Brasileiro, recomendada em convenções internacionais das quais o Brasil foi representado como entidade participante.

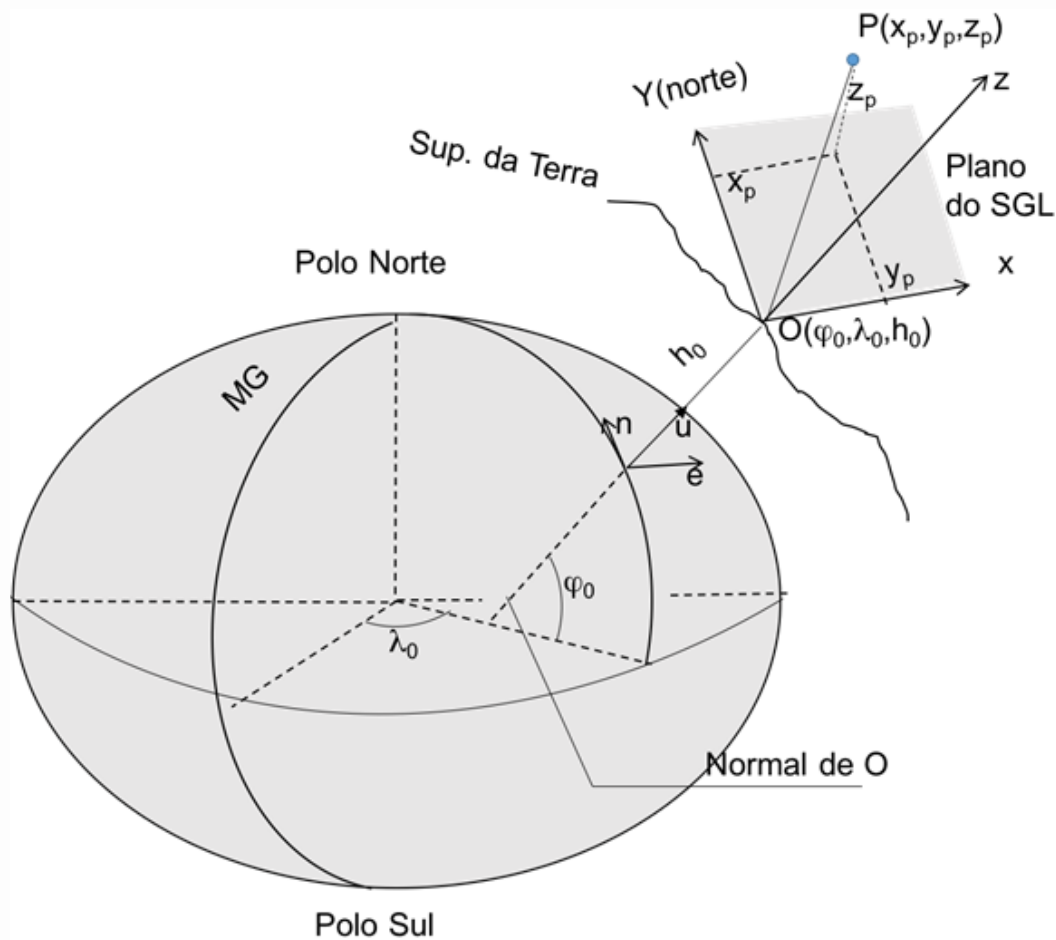
Anexo P (informativo)

Sistema geodésico local (SGL)

O Sistema Geodésico Local deve ser utilizado somente como sistema de projeção planimétrico, devendo ser utilizado para a altimetria o referencial altimétrico definido pelo Sistema Geodésico Brasileiro.

A Figura P.1, apresenta uma ilustração do Sistema Geodésico Local, com as seguintes características:

- a) origem (O) coincidente com a posição geodésica central da região de abrangência;
- b) eixo Z orientado segundo a direção normal ao elipsoide na origem O, em sentido oposto ao centro do elipsoide;
- c) eixo Y orientado a 90° do eixo Z e alinhado ao meridiano da origem, sentido positivo para Norte;
- d) eixo X orientado a 90° dos eixos Y e Z em sentido dextrogiro;
- e) coordenadas topográficas plano-retangulares convencionais da origem: $Y = 250\ 000\text{ m}$ e $X = 150\ 000\text{ m}$;
- f) dimensão máxima do plano (diagonal) conforme critério de projeto até o máximo de 35 km;
- g) A variação máxima entre os pontos de maior e menor altitude da região abrangida pelo plano, deve ser inferior a 150 m.



Legenda

- $O(\varphi_0, \lambda_0, H_0)$ origem do SGL
- $\varphi_0, \lambda_0, H_0$ latitude geodésica, longitude geodésica e altitude geodésica do ponto origem O
- $P(x_p, y_p, z_p)$ ponto nos limites do plano do SGL
- Eixo x forma ângulos retos com os demais eixos, sentido positivo para leste, formando um sistema dextrogiro
- Eixo y forma um ângulo reto com eixo z, coincide com a direção do meridiano geodésico que passa pela origem do sistema, sentido positivo para o norte
- Eixo z coincide com normal geodésica em $O(\varphi_0, \lambda_0, H_0)$, sendo positivo para cima

Figura P.1 – representação esquemática do SGL

Bibliografia

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 14.166: Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1998
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 14645-1, *Elaboração do “como construído” (as built) para edificações – Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25.000 m², para fins de estudos, projetos e edificação – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2001
- [3] BRASIL. Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934, que institui o Código de Águas.
- [4] BRASIL. Decreto Federal nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, que institui o Código de Minas.
- [5] BRASIL. Lei Federal nº 5.869, de 11 de janeiro de 1973, que institui o Código de Processo Civil.
- [6] BRASIL. Decreto Federal nº.89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.
- [7] BRASIL. Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Institui o Estatuto da Cidade.
- [8] BRASIL. Lei Federal nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002, que institui o Código Civil.
- [9] DE OLIVEIRA, REGINALDO; DALMOLIN, QUINTINO. *Critérios para a análise da geometria de redes geodésicas por componentes principais*. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 9, n. 1, 2003.
- [10] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências.
- [11] GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. *Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas*. 2. ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2015, 430 p.
- [12] GHILANI, C. D. *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. 6. ed. New York: John Wiley & Sons, 2017. 720 p
- [13] JORDAN. W. *Tratado de Topografia*. México: Editora Gil, 1981. 504-505 p.
- [14] WELLENHOF, B. H. MORITZ, H. *Physical Geodesy*. Austria: Editora Springer Wien New York, 2005,171-172p.