

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA**
Departamento Acadêmico da Construção Civil
Curso Técnico em Agrimensura

ALTIMETRIA APLICADA

**SÉRIE: TOPOGRAFIA E AGRIMENSURA PARA
CURSOS TÉCNICOS**

**Prof. Arthur Peixoto Berbert Lima
Prof. Julia Cucco Dalri
Prof. Dalton Luiz Lemos II
Prof. Angelo Martins Fraga**



**Florianópolis-SC
2018**

Curso Técnico em Agrimensura:

Av. Mauro Ramos, 950, Centro, Florianópolis - Santa Catarina
CEP: 88020-300
Telefone: (48) 3321-6061
sites.florianopolis.ifsc.edu.br/agrimensura

Reitoria:

Rua 14 de Julho, 150, Coqueiros, Florianópolis - Santa Catarina
CEP: 88075-010
Telefone: (48) 3877-9000 / Fax: (48) 3877-9060
www.ifsc.edu.br

Reprodução total ou parcial dessa obra autorizada pelos autores e pela
instituição para fins educativos e não comerciais.

Catálogo na fonte pelo Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC
Reitoria

A468

Altimetria aplicada: topografia e agrimensura para
cursos técnicos [recurso eletrônico] / Arthur Peixoto
Berbert Lima... [et al.] – Florianópolis: IFSC, 2018.

1 Livro digital.

44 p.: il.

Vários autores.

Inclui referências.

ISBN 97885XXXXXXXXX

1. Altimetria. 2. Topografia. 3. Nivelamento. I. Lima,
Arthur Peixoto Berbert.

CDD 526.98

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Câmpus Florianópolis
Catalogado por: Edinei Antonio Moreno CRB 14/1065



Sumário

1. Glossário e Definições para Nivelamentos	1
2. Produtos do Nivelamento	3
2.1. Nivelamento de Detalhes	3
2.1.1. Conceitos	3
2.1.2. Exemplo I	4
2.2. Transporte de RN	7
2.2.1. Conceitos e Planejamento	7
2.2.2. Procedimentos	10
2.2.3. Tolerâncias	11
2.2.4. Exercício I	15
2.2.5. Exercício II	15
2.3. Circuito	17
2.3.1. Conceitos e planejamento.	17
2.3.2. Procedimentos	18
2.3.3. Tolerâncias	19
2.3.4. Exercício III	21
2.3.5. Exercício IV	21
3. Estadimetria	23
3.1. Conceito	23
3.1. Exemplo II	27
4. Taqueometria	28
4.1. Conceito e Planejamento	28
4.2. Procedimentos	28
4.3. Exercício V	29
5. Coeficientes de curvatura e refração	31
6. Redes de Referência de Nível (Rede Altimétrica)	32
7. Nivelamentos de precisão muito alta	33
7.1. Conceito	33
7.2. Equipamentos e metodologias	33
7.3. Cálculo do Recalque	33
8. Nivelamentos de alta precisão (Geodésicos)	34
8.1. Equipamentos e metodologias	35
BIBLIOGRAFIA	1



Lista de Figuras

Figura 1: Visadas de um lance de nivelamento.	1
Figura 2: Seção de Nivelamento visto de perfil.....	1
Figura 3: Seção de Nivelamento vista em planta.....	1
Figura 4: Nivelamento Equidistante.	2
Figura 5: Nivelamento visadas extremas.....	2
Figura 6: Nivelamento de pontos de detalhe.	3
Figura 7: Gráfico com todas as observações das altitudes	6
Figura 8: Gráfico com valores após remoção da observação atípica.....	6
Figura 9: Exemplo de Transporte de RN formada por uma linha e duas seções.....	8
Figura 10: Convenções utilizadas na Figura 9.....	8
Figura 11: Detalhe da primeira seção do transporte de RN da Figura 9.....	9
Figura 12: Caderneta de campo padrão IFSC para Nivelamento Geométrico.	10
Figura 13: Circuito de Nivelamento.	17
Figura 14: Visão em uma luneta com fios estadimétricos.....	23
Figura 15: Princípio da estadimetria.....	23
Figura 16: Dedução da fórmula da estadimetria.....	24
Figura 17: Ilustração sobre a visada dos fios superior, médio e inferior. Princípio da Estadimetria.....	26
Figura 18: Caderneta de campo padrão IFSC para Estadimetria.....	27
Figura 19: Caderneta de campo padrão IFSC para Nivelamento Taqueométrico.	28
Figura 20: Caderneta de Cálculo padrão IFSC para Nivelamento Taqueométrico.	29
Figura 21: Interferências do efeito da refração atmosférica e da curvatura da Terra associados.....	31
Figura 22: Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro	32
Figura 23: Exemplo de circuito de nivelamento.....	32
Figura 24: Exemplo detalhado de um circuito de nivelamento.	32
Figura 25: Classes de níveis segundo os desvios padrão.....	33
Figura 26: Exemplo de bolha bipartida	35
Figura 27: Tripé com pernas rígidas.....	36
Figura 28: Mira invar convencional	36
Figura 29: Mira invar código de barras	36

Lista de tabelas

Tabela 1: Dados do	4
Tabela 2: Valores com todas as observações.....	6
Tabela 3: Valores após remoção da observação atípica	6
Tabela 4: Dados de campo da seção 1 do Transporte de RN.	11
Tabela 5: Dados de campo da seção 2 do Transporte de RN	13
Tabela 6: União dos dados de campo da seção 1 e 2 do Transporte de RN, formando uma linha....	14



Tabela 7: Dados para o Exercício I.....	16
Tabela 8: Dados para o Exercício II	16
Tabela 9: Dados de campo de um circuito de nivelamento.....	18
Tabela 10: Circuito de Nivelamento.....	20
Tabela 11: Dados para o Exercício III.....	21
Tabela 12: Dados para o Exercício IV.....	22
Tabela 13: Dados do Exercício V	30

1. Glossário e Definições para Nivelamentos

Visada: leitura efetuada sobre a mira.

Lance: é a medida do desnível entre duas miras verticais. (nivelamento simples)

Seção: Segundo a NBR13.133/1994, seção é definida como sendo o “Segmento de linha entre duas referências de nível”. Ela é obtida pela soma algébrica dos desníveis dos lances. (nivelamento composto)

Linha de nivelamento: é o conjunto das seções compreendidas entre duas RN chamadas principais.

Circuito de nivelamento: é a poligonal fechada constituída de várias linhas justapostas. Pontos nodais são as RN principais, às quais concorrem duas ou mais linhas de nivelamento

Rede de nivelamento: é a malha formada por vários circuitos justapostos

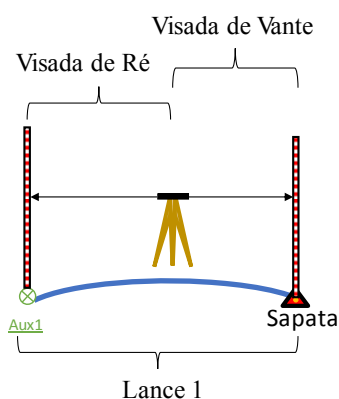


Figura 1: Visadas de um lance de nivelamento.

Fonte: os Autores

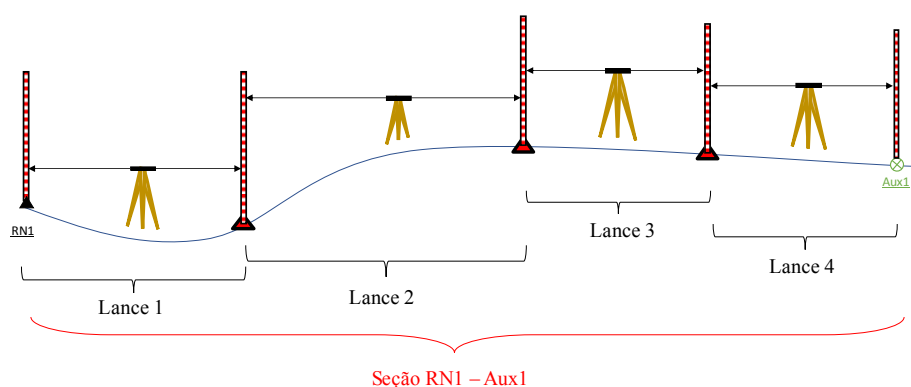


Figura 2: Seção de Nivelamento visto de perfil.

Fonte: os Autores

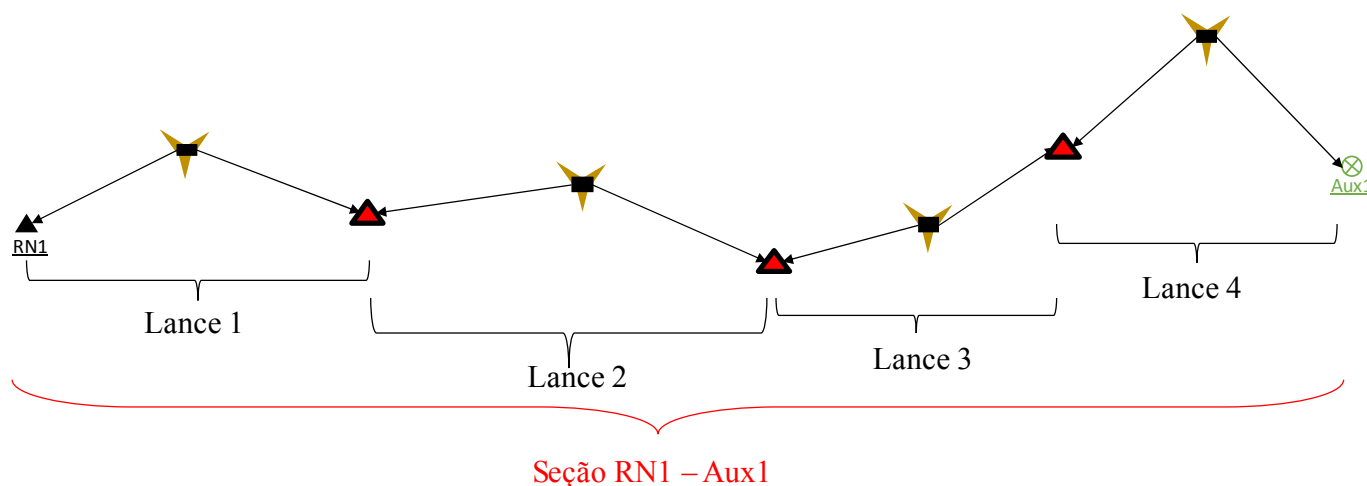


Figura 3: Seção de Nivelamento vista em planta.

Fonte: os Autores.

Nivelamento de visadas iguais (Equidistante): as duas miras são colocadas a distâncias iguais do nível. O desnível será determinado entre o ponto de ré e o de vante e é o método mais preciso. Neste método são minimizados os erros causados pela colimação do nível, curvatura terrestre e refração atmosférica (Geodésia). A Figura 4 ilustra este método.

Nivelamento de visadas extremas: realiza-se uma visada de ré sobre um ponto de coordenada conhecida e assim determina-se a altura do nível e posteriormente determina-se o desnível entre a altura do

nível e ponto ocupado pela mira. A produtividade é o ponto forte deste método, entretanto não são minimizados os erros de curvatura, refração e colimação. A Figura 5 ilustra este método.

Média: o valor mais provável de uma grandeza. No Excel podemos calcular esse valor utilizando a expressão “MÉDIA (núm1; núm2; ...)”.

Desvio Padrão (m): É o grau de aderência das observações. No Excel podemos calcular esse valor utilizando a expressão DESVPAD.A(núm1; núm2; ...).

Desvio Padrão da média (M): É o desvio padrão associado ao valor médio das observações. Para calcularmos esse valor no Excel podemos usar as expressões “CONT.NÚM(valor1, [valor2], ...)” e “RAIZ(núm)”.

Outlier: Valor aberrante ou valor atípico, é uma observação que apresenta um grande afastamento das demais da série (que está "fora" dela), ou que é inconsistente.

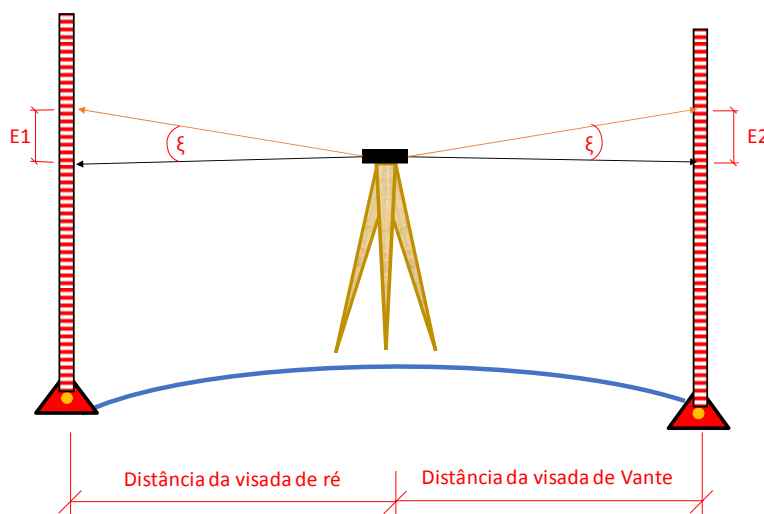


Figura 4: Nivelamento Equidistante.

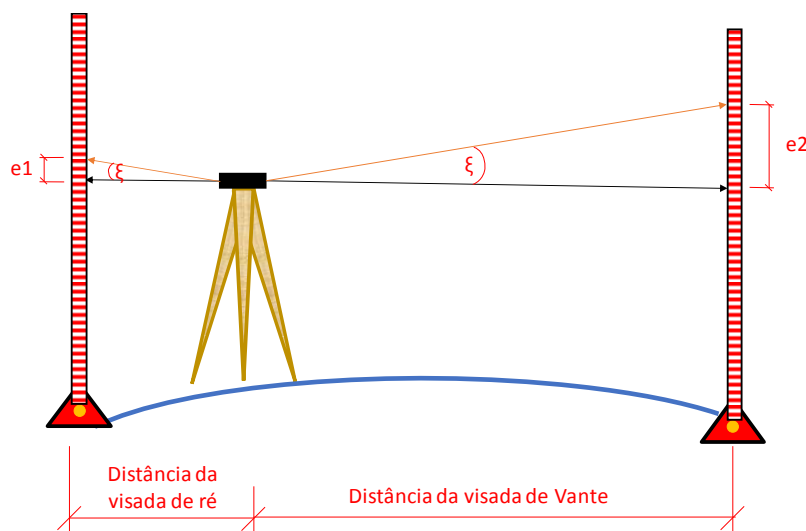


Figura 5: Nivelamento visadas extremas

2. Produtos do Nivelamento

2.1. Nivelamento de Detalhes

2.1.1. Conceitos

Nivelamento é a operação que determina as diferenças de nível ou distâncias verticais entre pontos do terreno. O nivelamento destes pontos, porém, não termina com a determinação do desnível entre eles, pois inclui também o transporte (cálculo) dos valores de cota ou altitude de um ponto conhecido denominado Referência de Nível (RN) para os pontos nivelados (pontos de detalhe).

Para tanto, é necessário conhecer a cota ou altitude do ponto de partida (RN) para então determinar a cota ou altitude dos demais pontos de detalhes a partir do desnível medido em campo. A NBR13.133/1994 define o nivelamento de pontos de detalhe como sendo:

5.21.1 O levantamento altimétrico dos pontos de detalhe pode ser realizado por nivelamento trigonométrico e/ou taqueométrico, a partir dos vértices das poligonais (principais, secundárias e auxiliares), cujas altitudes ou cotas devem ser determinadas a partir das referências de nível do apoio topográfico, por meio de nivelamento geométrico ou por nivelamento trigonométrico. Se feito por nivelamento geométrico, os vértices são obrigatoriamente medidos em mudanças do instrumento; se por trigonométrico, com controle de leituras ré e vante.

É importante lembrar que cota é a distância medida ao longo da vertical de um ponto até um plano de referência qualquer e que altitude ortométrica é a distância medida na vertical entre um ponto da superfície física da Terra e o nível médio dos mares (Geóide). Nos trabalhos de agrimensura, sempre que possível deve-se priorizar a apresentação de informações altimétricas referenciadas ao geóide, ou seja, altitudes ortométricas. Para tanto, se faz necessário dispor de uma RN com a altitude ortométrica definida próximo ao local de interesse. Caso não haja, realiza-se o transporte de uma RN conhecida.

O exemplo ilustrado na Figura 6 apresenta o nivelamento de pontos de detalhe.

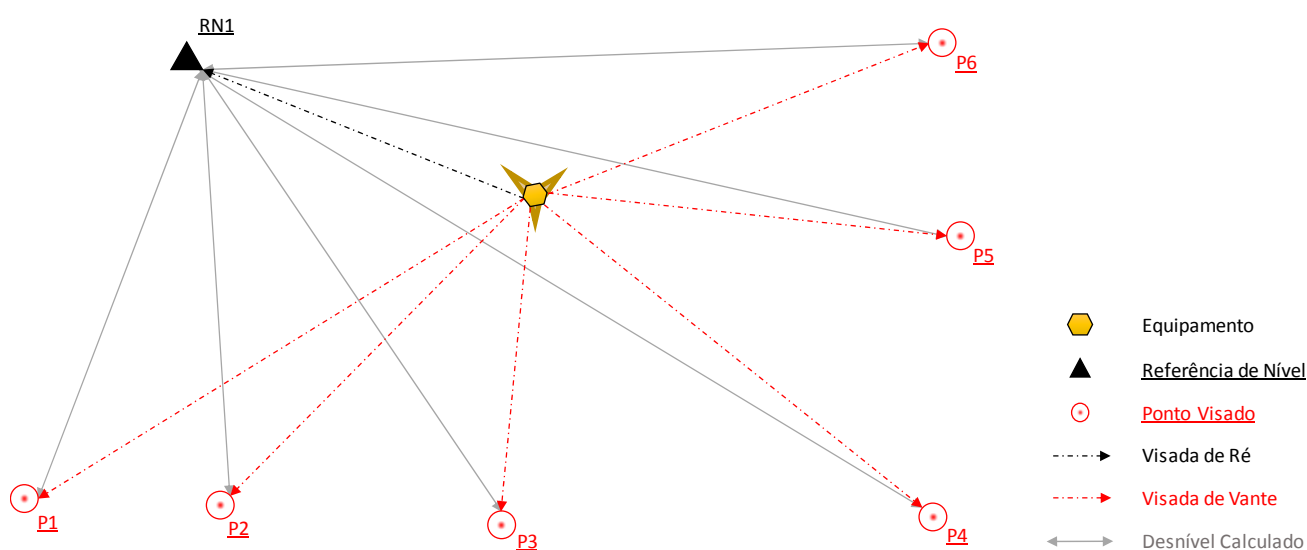


Figura 6: Nivelamento de pontos de detalhe.

Fonte: os Autores.

**2.1.2. Exemplo I**

Deseja-se ter o valor de uma altitude com a média e desvio padrão da média. Através de um nivelamento geométrico foram realizadas 10 leituras deste mesmo ponto em diferentes momentos e por diferentes operadores, sempre utilizando o mesmo equipamento e ponto de partida. Os dados deste levantamento estão agrupados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados do

*Exemplo I*

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota
		RÉ	VANTE		
1	A	1,345			12,433
	B		0,986	13,778	12,792
2	A	1,395			
	B		1,043	13,828	12,785
3	A	1,276			
	B		0,926	13,709	12,783
4	A	1,327			
	B		0,972	13,760	12,788
5	A	1,220			
	B		0,859	13,653	12,794
6	A	1,545			
	B		1,187	13,978	12,791
7	A	1,251			
	B		0,966	13,684	12,718
8	A	1,383			
	B		1,018	13,816	12,798
9	A	1,421			
	B		1,054	13,854	12,800
10	A	1,198			
	B		0,841	13,631	12,790

Fonte: Os autores

De posse desses dados, eles foram organizados e efetuado o cálculo da média, desvio padrão amostral e resíduos conforme apresentado na Tabela 2: Valores Tabela 2. Como podemos observar, existe um valor atípico nos resíduos (observação 7), que pode ter sido causado por algum erro grosseiro ou sistemático não tratado nesta observação. A Figura 7 nos auxilia a ilustrarmos essa discrepância entre esta observação e as outras da série.

Tabela 2: Valores com todas as observações

Observação	Valor	Resíduo
1	12,792	-0,008
2	12,785	-0,001
3	12,783	0,001
4	12,788	-0,004
5	12,794	-0,010
6	12,791	-0,007
7	12,718	0,066
8	12,798	-0,014
9	12,800	-0,016
10	12,790	-0,006
Média	12,784	
Desv.Padrão	0,024	

Fonte: Os autores

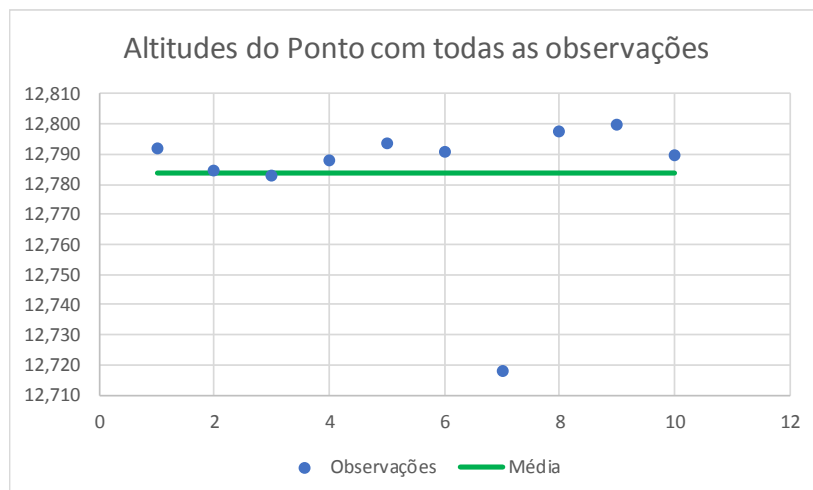


Figura 7: Gráfico com todas as observações das altitudes

Fonte: Os autores

Como visto acima, podemos concluir então que realmente o valor da observação 7 da série está destoante dos demais e que este deve ser eliminado e refeita todas as contas para nova análise. Os novos valores foram tabulados na Tabela 3, e a Figura 8 ilustra os dados de forma gráfica.

Tabela 3: Valores após remoção da observação atípica

Observação	Valor	Resíduo
1	12,792	-0,001
2	12,785	0,006
3	12,783	0,008
4	12,788	0,003
5	12,794	-0,003
6	12,791	0,000
7	12,798	-0,007
8	12,800	-0,009
9	12,790	0,001
Média	12,791	
Desv.Padrão	0,006	

Fonte: Os autores

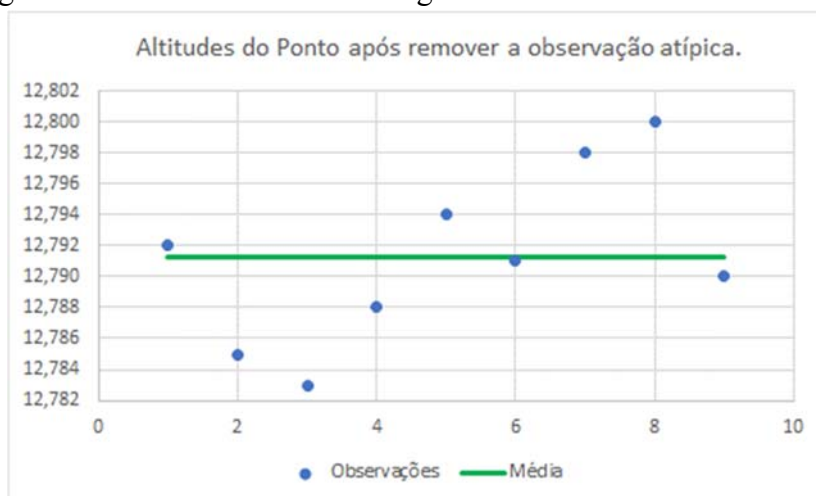


Figura 8: Gráfico com valores após remoção da observação atípica

Fonte: Os autores

Como resultado do levantamento temos o valor da média das observações e o respectivo desvio padrão da média, que para o exemplo acima é: $12,797 \pm 0,002$ metros.



2.2. Transporte de RN

2.2.1. Conceitos e Planejamento

Transportar RN significa levar a informação altimétrica (altitude ortométrica) previamente conhecida de um ponto até outro que não a conheça. Basicamente se transporta a informação da RN e a partir do desnível até ponto de interesse, chega-se na altitude para este ponto.

A NBR13.133/1994 traz orientações muito bem definidas para determinação destas altitudes (transporte de RN), bem como define a tolerância de fechamento do nivelamento. Desta norma inicialmente iremos destacar os seguintes itens:

5.17 As referências de nível, espaçadas de acordo com o terreno, área a ser levantada e condições peculiares da finalidade do levantamento, devem ser implantadas por meio de nivelamento geométrico duplo - nivelamento e contranivelamento - em horários distintos, em princípio, a partir de referências de nível do SGB. São recomendados cuidados usuais, a fim de serem evitadas a ocorrência e a propagação de erros sistemáticos, muito comuns nas operações de nivelamento geométrico, devendo para tanto ser consultados os manuais dos fabricantes dos níveis.

5.17.1 Os comprimentos das visadas de ré e de vante devem ser aproximadamente iguais e de, no máximo, 80 m, sendo ideal o comprimento de 60 m, de modo a compensar os efeitos da curvatura terrestre e da refração atmosférica, além de melhorar a exatidão do levantamento por facilitar a leitura da mira.

5.17.2 Para evitar os efeitos do fenômeno de reverberação, as visadas devem situar-se acima de 50 cm do solo.

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

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

5.17.5 A qualidade dos trabalhos deve ser controlada através das diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, seção a seção, e acumulada na linha, observando-se os valores limites prescritos em 6.4.

O item 5.17.5 nos conduz a informação de que a NBR13.133/1994 possui 4 classificações para nivelamentos, sendo que o subitem *a* do item 6.4.3 da referida norma define que a finalidade da classe IN é: “nivelamento geométrico para implantação de referências de nível (RN) de apoio altimétrico”. Esta classificação tem a seguinte metodologia segundo a tabela 8 da referida norma:

Nivelamento geométrico a ser executado com nível classe 3, utilizando miras dobráveis, centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura a ré e vante dos três fios, visadas eqüidistantes com diferença máxima de 10 m, ida e volta em horários distintos e com Ponto de Segurança (PS) a cada km, no máximo.

Como podemos ver, o levantamento deve ser feito usando nivelamento geométrico duplo, em horários distintos, com lances entre 15 e 80 metros e equidistantes ($\pm 10\text{m}$), leituras sempre acima de 50 cm do solo, mira inicial igual à mira final, verticalizadas e não apoiadas no solo. O controle dos erros será feito seção a seção e na linha. A Figura 9, a Figura 10 e a Figura 11 ilustram de forma geral e detalhada um transporte de RN formado por duas seções e uma linha, contendo um ponto de segurança no nivelamento e um no contranivelamento. A escala não foi preservada em função da clareza.

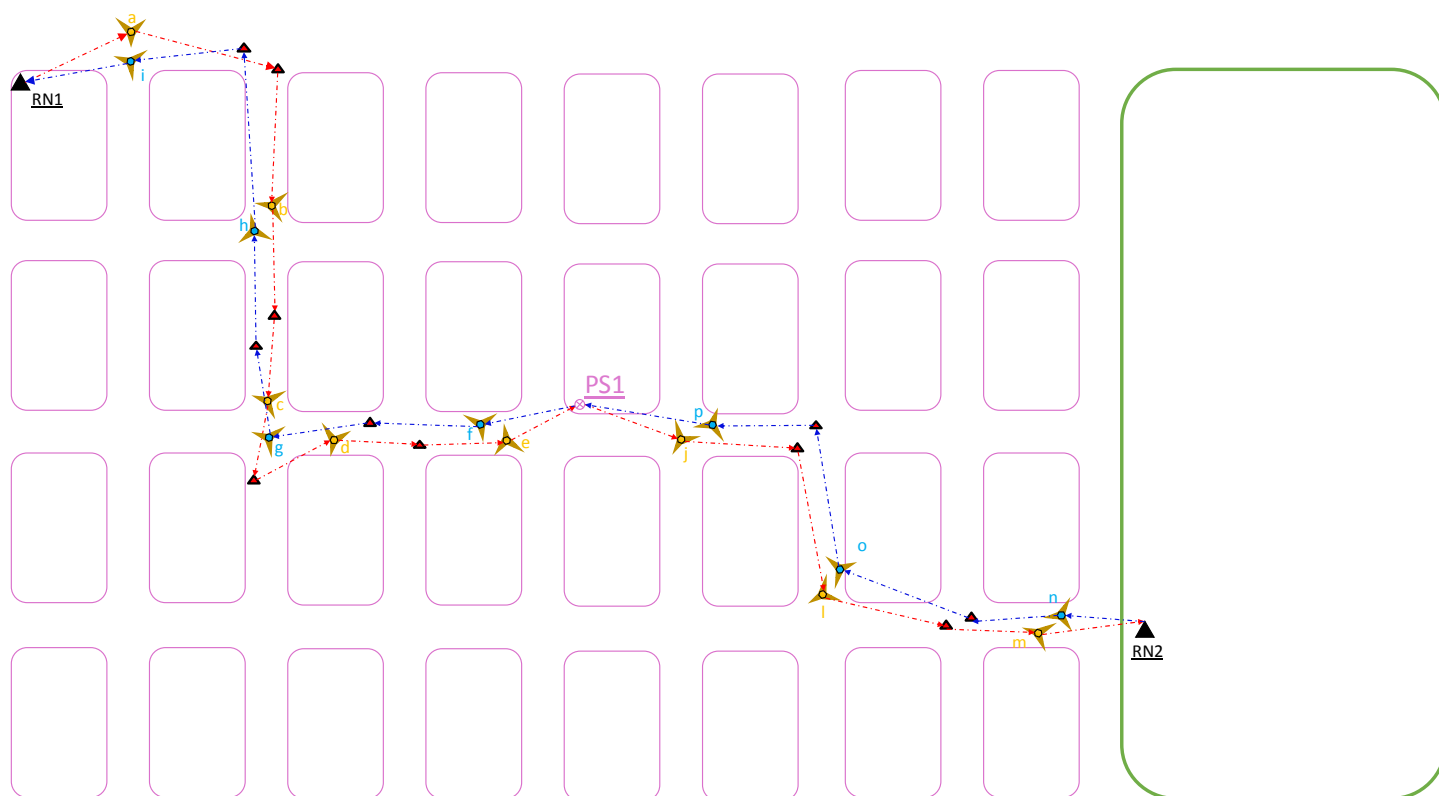


Figura 9: Exemplo de Transporte de RN formada por uma linha e duas seções.

Fonte: os Autores

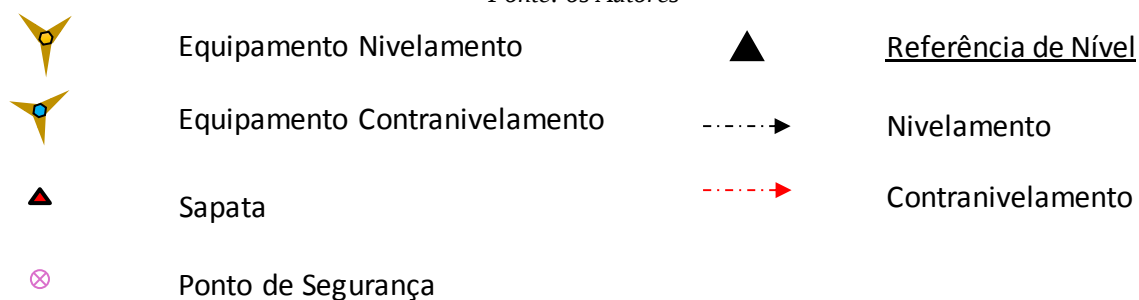


Figura 10: Convenções utilizadas na Figura 9

Fonte: os Autores

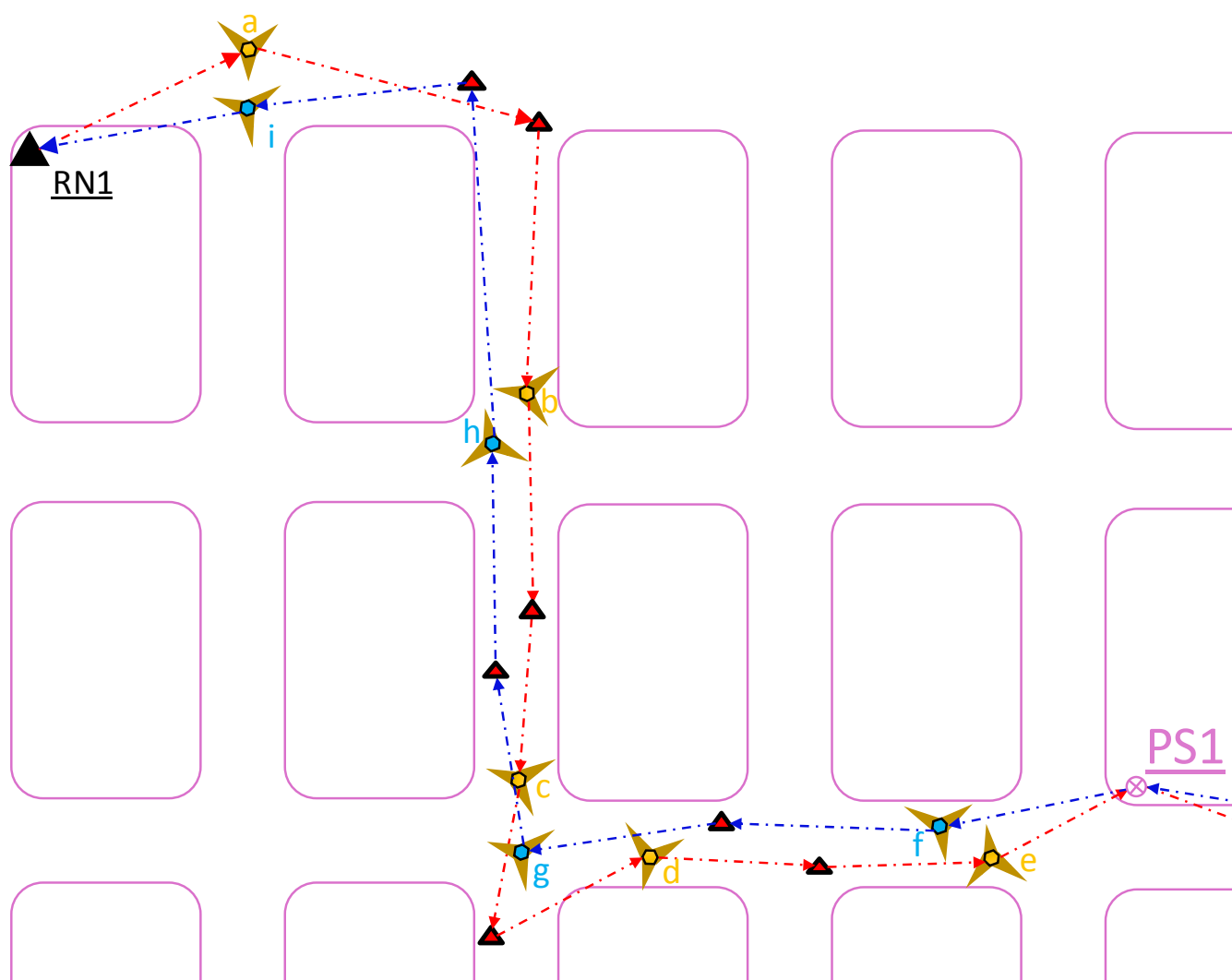


Figura 11: Detalhe da primeira seção do transporte de RN da Figura 9
Fonte: os Autores

Para os levantamentos em campo podemos fazer uso de uma planilha previamente editada para nos auxiliar na anotação dos dados, e título de exemplo temos a Figura 12 que ilustra a planilha disponibilizadas pelos autores.



Nivelamento Geométrico

Serviço:	Data: __/__/__
Proprietário:	Cidade:
Local	Operador:
Instrumento:	Folha:

Estação	Ponto	Leitura		APV	Cota / Altitude	Distância	Observação
		RÉ	VANTE				

Figura 12: Caderneta de campo padrão IFSC para Nivelamento Geométrico.

Fonte: os Autores

2.2.2. Procedimentos

Os procedimentos de campo e instrumentais são muito próximos aos vistos para o nivelamento de detalhes, sendo as alterações mais relevantes feitas na sequência de execução e cálculos. Se utilizado um nível analógico, deve-se anotar as leituras nos 3 fios, caso o nível seja digital a conferência é feita internamente e já calculada a distância. Para melhor compreendermos esse processo vamos observar o exemplo abaixo:

Um transporte de RN foi realizado seguindo as determinações da NBR13.133/1994, utilizando-se um nível digital. Partiu-se da RN 1 com o objetivo de determinar a cota da RN A. A planilha com os dados do nivelamento é apresentada na Tabela 4:



Tabela 4: Dados de campo da seção 1 do Transporte de RN.

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância
		RÉ	VANTE			
a	RN 1	1,335		10,65	9,315	40,325
	A0		1,813		8,837	35,078
b	A0	1,325		10,162		43,178
	A1		2,126		8,036	48,243
c	A1	1,241		9,277		52,972
	A3		1,784		7,493	58,243
d	A3	1,837		9,33		29,548
	A4		1,624		7,706	30,478
e	A4	1,366		9,072		22,765
	PS1		0,897		8,175	17,987
f	PS1	1,239		9,414		25,767
	A5		1,479		7,935	31,005
g	A5	1,786		9,721		44,549
	A6		1,154		8,567	41,806
h	A6	2,049		10,616		59,289
	A7		1,351		9,265	63,543
i	A7	1,401		10,666		53,096
	RN 1		1,346		9,320	48,514

Fonte: os Autores

As fórmulas utilizadas para a determinação da Altura do Plano de Visada (APV) e das Altitudes (Cotas) são:

$$APV = C_{ré} + L_{ré} \quad \text{Equação 1}$$

$$C_{vante} = APV - L_{vante} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

APV = Altura do Plano de Visada

C = Cota

L = Leitura

É importante que se perceba que no exemplo, o trecho entre a RN 1 e a RN A é percorrido duas vezes, uma partindo da RN 1 até alcançar a RN A, e outra vez partindo da RN A até alcançar a RN 1. (nivelamento e contranivelamento).

2.2.3. Tolerâncias

Em relação à tolerância de erro estabelecida pela NBR13.133/1994, tem-se:



$$Tol = 12mm \times \sqrt{K} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

K = extensão nivelada em km, medida num único sentido.

A extensão percorrida (perímetro) no nivelamento e contranivelamento devem ser próximas e são calculadas através da soma das distancias horizontais (DH) das visadas à ré e vante, que podem ser tomadas à trena, por estadimetria ou medidas eletronicamente. Para o exemplo utilizado, no nivelamento da seção 1 temos:

$$K_1 = 0,378 \text{ quilômetros} \quad \text{Equação 4}$$

Voltando à formula da tolerância (Equação 3), calcula-se:

$$Tol_1 = 12mm \times \sqrt{K_1} \therefore Tol = 12mm \times \sqrt{0,378} \therefore Tol_1 = 7,4 \text{ milímetros} \quad \text{Equação 5}$$

O erro cometido no nivelamento é dado pela Equação 6

$$Erro_{Cometido} = Cota_{final} - Cota_{inicial} \quad \text{Equação 6}$$

Aplicando a Equação 6 aos valores do exemplo, temos:

$$Erro_{Cometido} = 9,320 - 9,315 = 0,005 \text{ metros} \quad \text{Equação 7}$$

Comparando-se o erro cometido (0,005metros) com a tolerância (7,4 milímetros), têm-se a verificação quanto ao nivelamento.

$$5mm \leq 7,4mm \therefore OK \quad \text{Equação 8}$$

Para Seção 2 temos a Tabela 5 que apresenta os dados:



Tabela 5: Dados de campo da seção 2 do Transporte de RN

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância
		RÉ	VANTE			
j	PS1	1,432		9,607	8,175	40,325
	A8		1,768		7,839	35,078
l	A8	1,420		9,259		43,178
	A9		1,733		7,526	48,243
m	A9	1,289		8,815		32,972
	RN 2		1,897		6,918	27,987
n	RN 2	1,457		8,375		25,767
	A10		1,332		7,043	31,005
o	A10	2,284		9,327		44,549
	A11		1,537		7,79	41,806
p	A11	1,632		9,422		49,289
	PS1		1,243		8,179	41,514

Fonte: os Autores

Para esta segunda seção temos que o perímetro é fado pela Equação 9

$$K_2 = 0,228 \text{ quilômetros}$$

Equação 9

Aplicando estes valores na Equação 3 e na Equação 6, temos a tolerância para a segunda seção conforme a Equação 10, o erro cometido na Equação 11 e o fechamento na Equação 12:

$$Tol_2 = 12mm \times \sqrt{K_2} \therefore Tol = 12mm \times \sqrt{0,228} \therefore Tol_2 = 5,7 \text{ milímetros}$$

Equação 10

$$\text{Erro de cometido} = 8,175 - 8,179 = 0,004 \text{ metros}$$

Equação 11

$$4mm \leq 5,7mm \therefore OK$$

Equação 12

Feito este controle é necessário fazermos também o controle na linha, onde os dados da seção 1 e Seção 2 são unidos para formatem um só nivelamento duplo. A Tabela 6 traz estes dados.



Tabela 6: União dos dados de campo da seção 1 e 2 do Transporte de RN, formando uma linha.

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância
		RÉ	VANTE			
a	RN 1	1,335		10,65	9,315	40,325
	A0		1,813		8,837	35,078
b	A0	1,325		10,162		43,178
	A1		2,126		8,036	48,243
c	A1	1,241		9,277		52,972
	A3		1,784		7,493	58,243
d	A3	1,837		9,33		29,548
	A4		1,624		7,706	30,478
e	A4	1,366		9,072		22,765
	PS1		0,897		8,175	17,987
j	PS1	1,432		9,607		40,325
	A8		1,768		7,839	35,078
l	A8	1,42		9,259		43,178
	A9		1,733		7,526	48,243
m	A9	1,289		8,815		32,972
	RN 2		1,897		6,918	27,987
n	RN 2	1,457		8,375		25,767
	A10		1,332		7,043	31,005
o	A10	2,284		9,327		44,549
	A11		1,537		7,79	41,806
p	A11	1,632		9,422		49,289
	PS1		1,243		8,179	41,514
f	PS1	1,239		9,418		25,767
	A5		1,479		7,939	31,005
g	A5	1,786		9,725		44,549
	A6		1,154		8,571	41,806
h	A6	2,049		10,62		59,289
	A7	0	1,351		9,269	63,543
i	A7	1,401		10,67		53,096
	RN 1		1,346		9,324	48,514

Fonte: os Autores

Aplicando o mesmo procedimento de cálculo que foi utilizado nas seções, entretanto agora para a linha, temos:



$$K_t = 0,607 \text{ quilômetros}$$

Equação
13

$$Tol_t = 12mm \times \sqrt{K_t} \therefore Tol = 12mm \times \sqrt{0,607} \therefore Tol_t = 9,4 \text{ milímetros}$$

Equação
14

$$\text{Erro de cometido} = 9,324 - 9,315 = 0,009 \text{ metros}$$

Equação
15

$$9mm \leq 9,4mm \therefore OK$$

Equação
16

Considerando o erro alcançado (9mm), é aceitável de acordo com a tolerância estabelecida (9,4mm) conforme a NBR13.133/1994, as cotas devem ser corrigidas para que indiquem corretamente o valor altimétrico do ponto de interesse, adequando os valores de cota frente ao erro calculado.

A altitude da RN 2 será corrigida pela metade do erro total cometido no sentido contrário ao erro.

$$\text{Correção} = -1 * \frac{\text{Erro cometido}}{2}$$

Equação
17

$$Cota_{\text{corrigida}} = Cota_{\text{calculada}} + \text{Correção}$$

Equação
18

$$Cota_{\text{corrigida}} = 6,918 + (-0,0045) \therefore Cota_{\text{corrigida}} = 6,914 \text{ metros}$$

Equação
19

2.2.4. Exercício I

Utilizando os dados da Tabela 7, apresente a altitude corrigida do ponto RN2, e verifique se o levantamento pode ser enquadrado na classe IN da NBR 13133/94. Todos os valores apresentados na estão em metros.

2.2.5. Exercício II

Utilizando os dados da Tabela 8, apresente a altitude corrigida do ponto RN2, e verifique se o levantamento pode ser enquadrado na classe IN da NBR 13133/94. Todos os valores apresentados na estão em metros.

Tabela 7: Dados para o Exercício I

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância
		RÉ	VANTE			
a	RN 1	1,875				40,325
	A0		1,503			38,093
b	A0	0,889				43,178
	A1		2,116			49,543
c	A1	1,009				52,972
	A3		0,784			58,243
d	A3	1,234				29,548
	A4		1,604			30,478
e	A4	1,198				22,765
	RN2		0,857			17,987
f	RN2	0,987				25,767
	A5		1,479			31,005
g	A5	0,678				45,528
	A6		0,756			41,806
h	A6	1,542				59,289
	A7		0,975			63,543
i	A7	1,532				53,096
	RN 1		0,876			48,514
		Distâncias Percorridas		Nivelamento		
				Contra		
		Tolerância				mm
		Erro Cometido				mm
		Fechamento				
		Cota Corrigida				m

Tabela 8: Dados para o Exercício II

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância
		RÉ	VANTE			
a	RN 1	1,497			132,459	40,325
	A0		1,235			38,093
b	A0	0,879				43,178
	A1		1,225			49,543
c	A1	2,341				62,972
	A3		1,891			58,243
d	A3	0,739				39,548
	A4		0,345			30,478
e	A4	1,378				42,765
	RN2		0,732			47,987
f	RN2	1,025				25,767
	A5		0,895			31,005
g	A5	0,799				45,528
	A6		2,356			41,806
h	A6	2,254				59,289
	A7		1,813			63,543
i	A7	0,915				53,096
	A8		1,459			65,478
j	A8	1,085				54,570
	RN 1		0,953			48,514
		Distâncias Percorridas		Nivelamento		
				Contra		
		Tolerância				mm
		Erro Cometido				mm
		Fechamento				
		Cota Corrigida				m



2.3. Circuito

2.3.1. Conceitos e planejamento.

A NBR13.133/1994 determina que a finalidade da classe IIN é:

Nivelamento geométrico para determinação de altitudes ou cotas em pontos de segurança (PS) e vértices de poligonais para levantamentos topográficos destinados a projetos básicos, executivos, como executado, e obras de engenharia;

Esta classificação tem a seguinte metodologia segundo a tabela 8 da referida norma:

Nivelamento geométrico a ser executado com nível classe 2, utilizando miras dobráveis, centimétricas, devidamente aferidas, providas de prumo esférico, leitura do fio médio, ida e volta ou circuito fechado, com Ponto de Segurança (PS) a cada dois km, no máximo.

Apesar de poder ser utilizada na forma de linhas, o habitual no mercado de trabalho é que nivelamentos desta classe sejam efetuados em circuito fechado, que de maneira semelhante ao transporte de RN, em um circuito de nivelamento também inicia e termina em uma mesma referência de nível. Porém, no circuito o caminhamento é dado por um polígono fechado e geralmente há pontos de detalhes a serem nivelados ao longo deste caminho percorrido. A Figura 13: Circuito de Nivelamento. Figura 13 ilustra um circuito fechado de nivelamento.

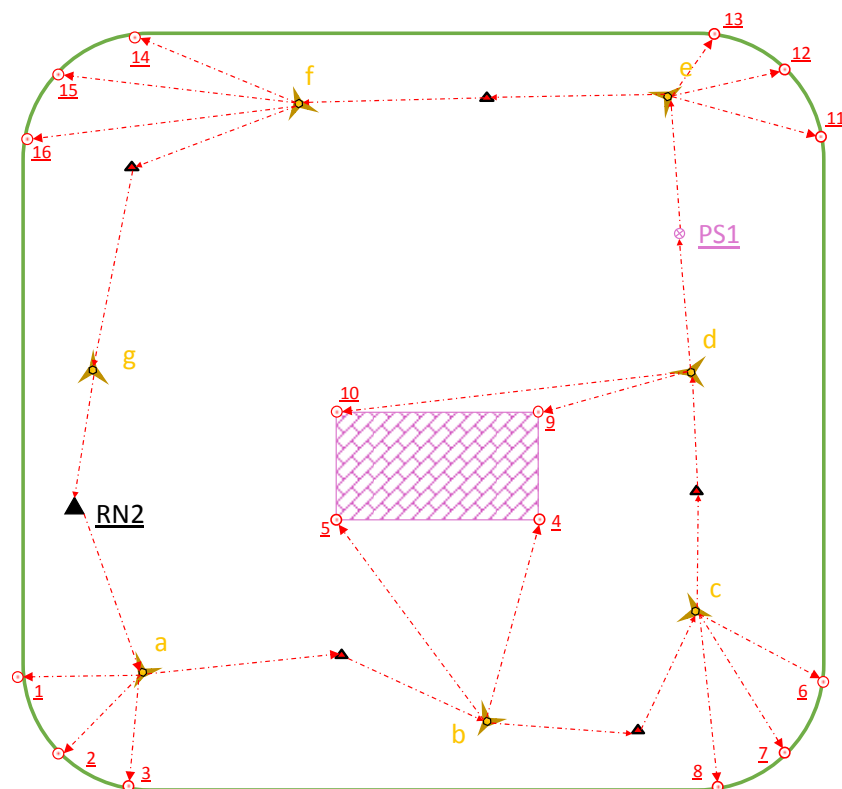


Figura 13: Circuito de Nivelamento.

Fonte: Os autores



2.3.2. Procedimentos

Nos levantamentos enquadrados na classe IIN da NBR13.133/1994, não determina que o nivelamento seja equidistante, pois seria impraticável esta regra para todos os pontos, visto que aqui também há o interesse em pontos de detalhes. Entretanto é extremamente recomendável que esta regra seja aplicada aos pontos que serão utilizados na mudança do instrumento, evitando assim erros sistemáticos.

Considerando o que determina a norma, e com base nos procedimentos para determinação das cotas/altitudes dos pontos de interesse a partir do circuito, observe a caderneta apresentada na Tabela 9:

Tabela 9: Dados de campo de um circuito de nivelamento.

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância
		RÉ	VANTE			
a	RN2	0,975			6,500	55,689
	1		1,175	7,475	6,300	13,345
	2		1,692	7,475	5,783	19,432
	3		1,595	7,475	5,880	37,753
	A1		1,383	7,475	6,092	63,436
b	A1	1,438				45,400
	4		0,899	7,530	6,631	60,382
	5		0,807	7,530	6,723	72,456
c	A2		1,472	7,530	6,058	48,492
	A2	1,408				63,450
	6		1,128	7,466	6,338	13,183
	7		1,508	7,466	5,958	25,934
	8		1,799	7,466	5,667	34,724
	A3		1,510	7,466	5,956	57,439
d	A3	1,389				43,678
	9		1,500	7,345	5,845	12,356
	10		1,678	7,345	5,667	72,312
	PS1		1,656	7,345	5,689	39,219
e	PS1	1,572				46,689
	11		1,500	7,261	5,761	12,356
	12		1,678	7,261	5,583	72,312
	13		1,462	7,261	5,799	45,645
	A4		1,456	7,261	5,805	53,923
f	A4	1,497				51,436
	14		1,500	7,302	5,802	12,356
	15		1,500	7,302	5,802	12,356
	16		1,678	7,302	5,624	72,312
	A5		1,654	7,302	5,648	48,320
g	A5	1,674				48,647
	RN2		0,833	7,322	6,489	52,436

Fonte: os Autores

Os procedimentos para determinação da cota/altitude são os mesmos aplicados no transporte de RN, apresentados na Equação 1 e Equação 2.

**2.3.3. Tolerâncias**

Em relação à tolerância, para circuitos é estabelecida pela NBR13.133/1994 a Equação 20:

$$Tol = 20mm \times \sqrt{K} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

K = extensão nivelada em km.

Então para o exemplo acima temos que a tolerância é calculada da seguinte forma:

$$Tol = 20mm \times \sqrt{0,718} \therefore Tol = 17 \text{ milímetros} \quad \text{Equação 21}$$

Assim como no transporte de RN, no Circuito o erro total do nivelamento é dado pela Equação 6, e então para o exemplo temos:

$$Erro_{Cometido} = 6,489 - 6,500 = -0,011 \text{ metros} \quad \text{Equação 22}$$

Comparando-se o erro cometido com a tolerância, têm-se a verificação do nivelamento.

$$11mm < 13mm \therefore OK \quad \text{Equação 23}$$

O nivelamento realizado pode ser classificado como IIN de acordo com a NBR13.133/1994, uma vez que ficou dentro da tolerância de fechamento estabelecida para esta classe. Mesmo com a validação do nivelamento, a cota de cada ponto nivelado no circuito deve ser corrigida considerando o erro encontrado, a partir de um fator de correção “C”, que pode ser calculado pela fórmula:

$$C = -1 * \frac{Erro_{cometido}}{n.^\circ \text{ de } L_{ré}} \quad \text{Equação 24}$$

No exemplo da planilha:

$$C = -1 * \frac{-12mm}{7} = 0,0016 \text{ mm} \quad \text{Equação 25}$$

A correção da cota calculada em cada ponto nivelado obedecerá a fórmula:

$$Cota_{corrigida} = Cota_{calculada} + (N \times Correção) \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

N é o número da estação em ordem crescente (1, 2,... n).

Para o ponto 2 da planilha, que foi nivelado a partir da estação A que na ordem crescente do nivelamento foi a estação 1, o cálculo da cota corrigida utilizando a Equação 26, e lembrando que a correção se dá em sinal contrário, temos:



$$Cota_{corrigida} = 5,783 + (1 \times 0,0016) = 5,785 \text{ metros}$$

Equação 27

Para o ponto 14, por exemplo, que foi nivelado a partir da estação D que na ordem crescente do nivelamento foi a estação 4, o cálculo da cota corrigida é:

$$Cota_{corrigida} = 5,802 + (4 \times 0,0016) = 5,811 \text{ metros}$$

Equação 28

O cálculo das cotas corrigidas segue o mesmo raciocínio para todos os outros pontos nivelados ao longo do circuito, conforme apresentados na Tabela 10:

Tabela 10: Circuito de Nivelamento.

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância	Correção	Cota Corrigida
		RÉ	VANTE					
a	RN2	0,975			6,500	55,689		6,500
	1		1,175	7,475	6,300	13,345	0,0016	6,302
	2		1,692	7,475	5,783	19,432	0,0016	5,785
	3		1,595	7,475	5,880	37,753	0,0016	5,882
	A1		1,383	7,475	6,092	63,436	0,0016	6,094
b	A1	1,438				45,400		
	4		0,899	7,530	6,631	60,382	0,0031	6,634
	5		0,807	7,530	6,723	72,456	0,0031	6,726
c	A2		1,472	7,530	6,058	48,492	0,0031	6,061
	A2	1,408				63,450		
	6		1,128	7,466	6,338	13,183	0,0047	6,343
	7		1,508	7,466	5,958	25,934	0,0047	5,963
	8		1,799	7,466	5,667	34,724	0,0047	5,672
	A3		1,510	7,466	5,956	57,439	0,0047	5,961
d	A3	1,389				43,678		
	9		1,500	7,345	5,845	12,356	0,0063	5,851
	10		1,678	7,345	5,667	72,312	0,0063	5,673
	PS1		1,656	7,345	5,689	39,219		
e	PS1	1,572				46,689		
	11		1,500	7,261	5,761	12,356	0,0079	5,769
	12		1,678	7,261	5,583	72,312	0,0079	5,591
	13		1,462	7,261	5,799	45,645	0,0079	5,807
	A4		1,456	7,261	5,805	53,923		
f	A4	1,497				51,436		
	14		1,500	7,302	5,802	12,356	0,0094	5,811
	15		1,500	7,302	5,802	12,356	0,0094	5,811
	16		1,678	7,302	5,624	72,312	0,0094	5,633
	A5		1,654	7,302	5,648	48,320		
g	A5	1,674				48,647		
	RN2		0,833	7,322	6,489	52,436	0,0110	6,500

Fonte: os Autores

**2.3.4. Exercício III**

Calcule o nivelamento da Tabela 11 de acordo com a classe de Circuito de Nivelamento NBR 13133/94, determinando a tolerância para o erro, e apresentando as cotas corrigidas de todos os pontos.

2.3.5. Exercício IV

Calcule o nivelamento da Tabela 12 de acordo com a classe de Circuito de Nivelamento NBR 13133/94, determinando a tolerância para o erro, e apresentando as cotas corrigidas de todos os pontos.

Tabela 11: Dados para o Exercício III

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância	Correção	Cota Corrigida
		RÉ	VANTE					
a	RN1	1,963			972,367	55,689		
	1		1,175			13,345		
	2		1,692			19,432		
	3		1,595			37,753		
	A1		1,372			63,436		
b	A1	1,246				45,400		
	4		0,899			60,382		
	5		0,807			72,456		
c	A2		1,482			48,492		
	A2	1,192				63,450		
	6		1,128			13,183		
	7		1,508			25,934		
	8		1,799			34,724		
	A3		1,566			57,439		
d	A3	1,333				43,678		
	9		1,500			12,356		
	10		1,678			72,312		
	A4		1,656			39,219		
e	A4	1,282				46,689		
	RN2		0,934			52,436		
						Perímetro (m)		
						Erro cometido (mm)		
						Erro permitido (mm)		
						Fechamento		
						Correção (m)		



Tabela 12: Dados para o Exercício IV

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância	Correção	Cota Corrigida
		RÉ	VANTE					
a	RN1	2,819			972,367	40,6		
	Aux1		2,244			40,1		
b	Aux1	2,120				39,2		
	Aux2		2,172			38,9		
c	Aux2	2,418				43,4		
	Aux3		2,660			43,6		
d	Aux3	2,246				42,5		
	Aux4		2,144			41,7		
	JKG87		1,975			90,4		
	MPX12		1,850			85,6		
e	Aux4	3,871				39,6		
	Aux5		2,901			38,9		
f	Aux5	0,813				41,2		
	RN1		2,172			40,8		
Perímetro (m)								
Erro cometido (mm)								
Erro permitido (mm)								
Fechamento								



3. Estadimetria

3.1. Conceito

O princípio geral da estadimetria define que é possível determinar a distância horizontal entre o instrumento e a mira através da relação entre as leituras dos fios estadimétricos e os valores constantes do instrumento.

Os fios estadimétricos foram criados por um ótico inglês chamado Green, que construiu em 1778 um aparelho composto de um tubo com 3 fios, que ele chamou de estadia.

Os instrumentos estadimétricos são dotados de luneta que contém os 4 fios:

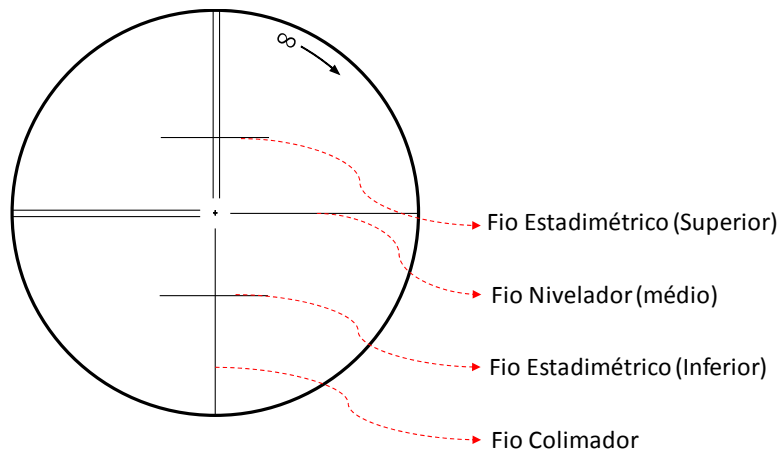


Figura 14: Visão em uma luneta com fios estadimétricos.

Fonte: os Autores

Realizando-se as leituras dos fios superior, médio e inferior, a partir da aplicação de relações matemáticas, obtém-se a distância entre o ponto de interesse visado (ponto onde se encontra a mira) e o ponto onde foi instalado o equipamento, conforme Figura 15:

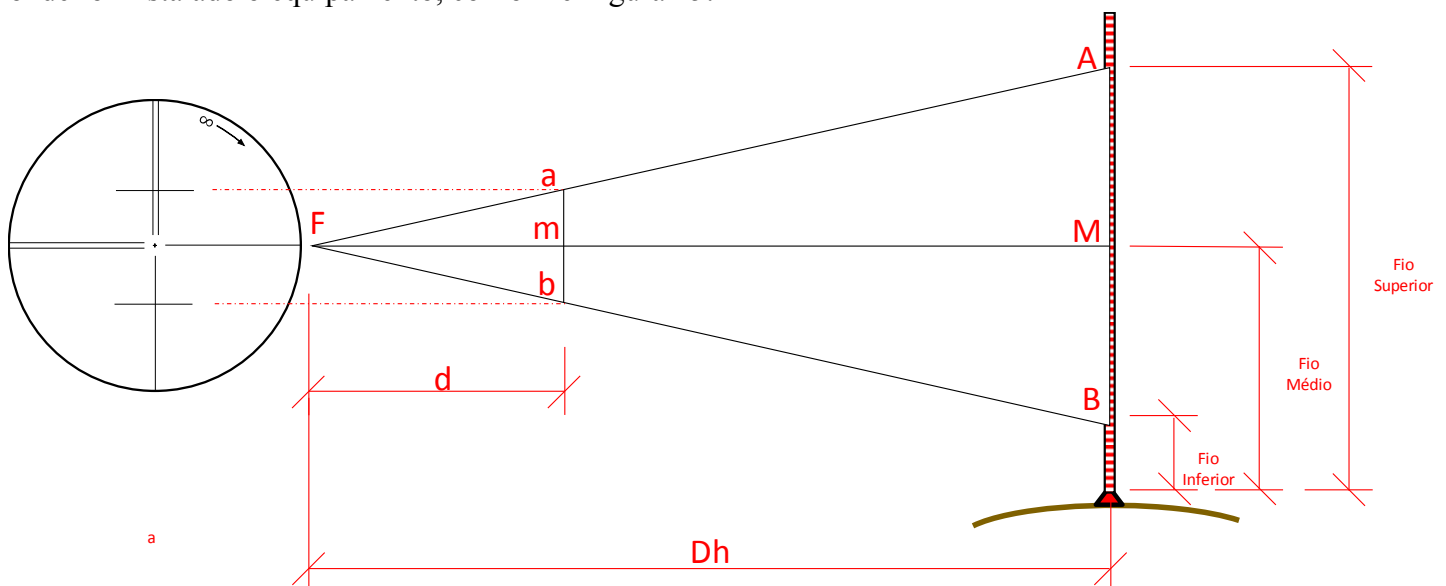


Figura 15: Princípio da estadimetria

Fonte: os Autores



Onde:

F = foco da objetiva;

d = distância entre o plano dos fios do retículo e o foco da objetiva (distância focal);

ab = distância vertical entre os fios stadimétricos;

D_h = distância horizontal entre o aparelho e a mira;

AB = número gerador 'S' = diferença de leituras sobre a mira entre os fios superior (FS) e inferior (FI).

O princípio da estadimetria se aplica por semelhança de triângulos: Fab e FAB , conforme busca ilustrar

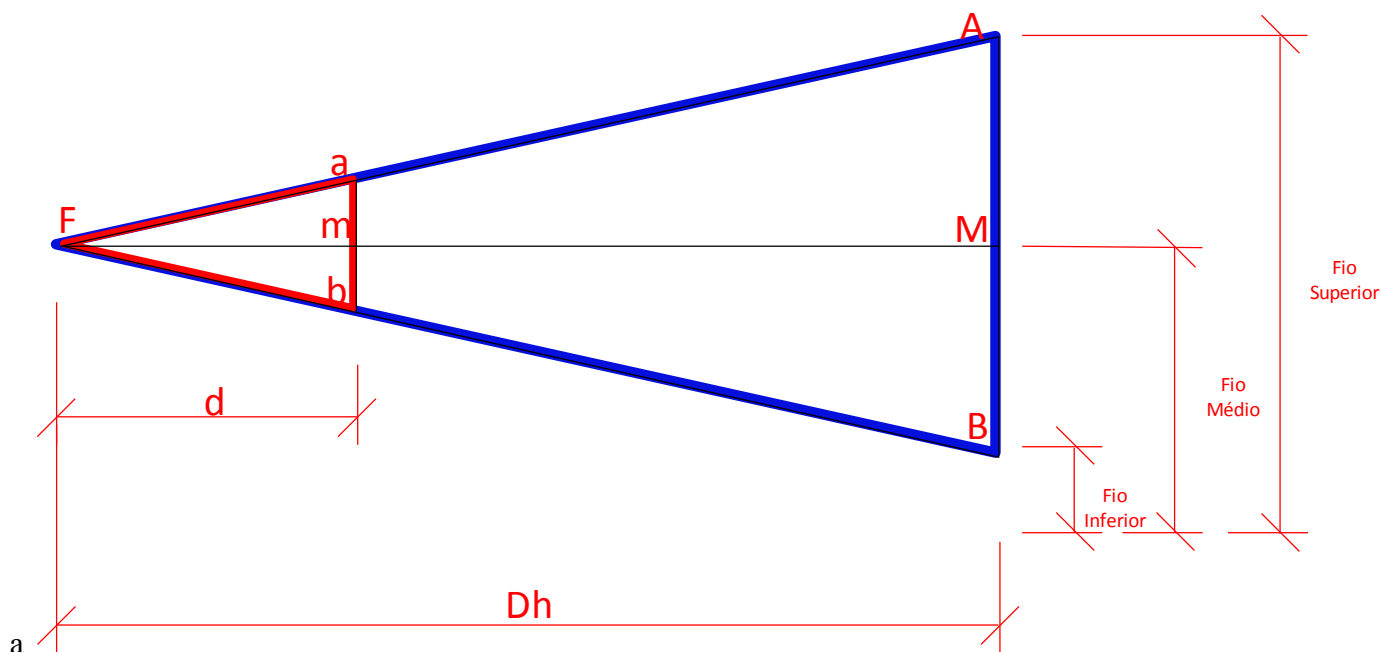


Figura 16, e a sua formulação está na Equação 29.

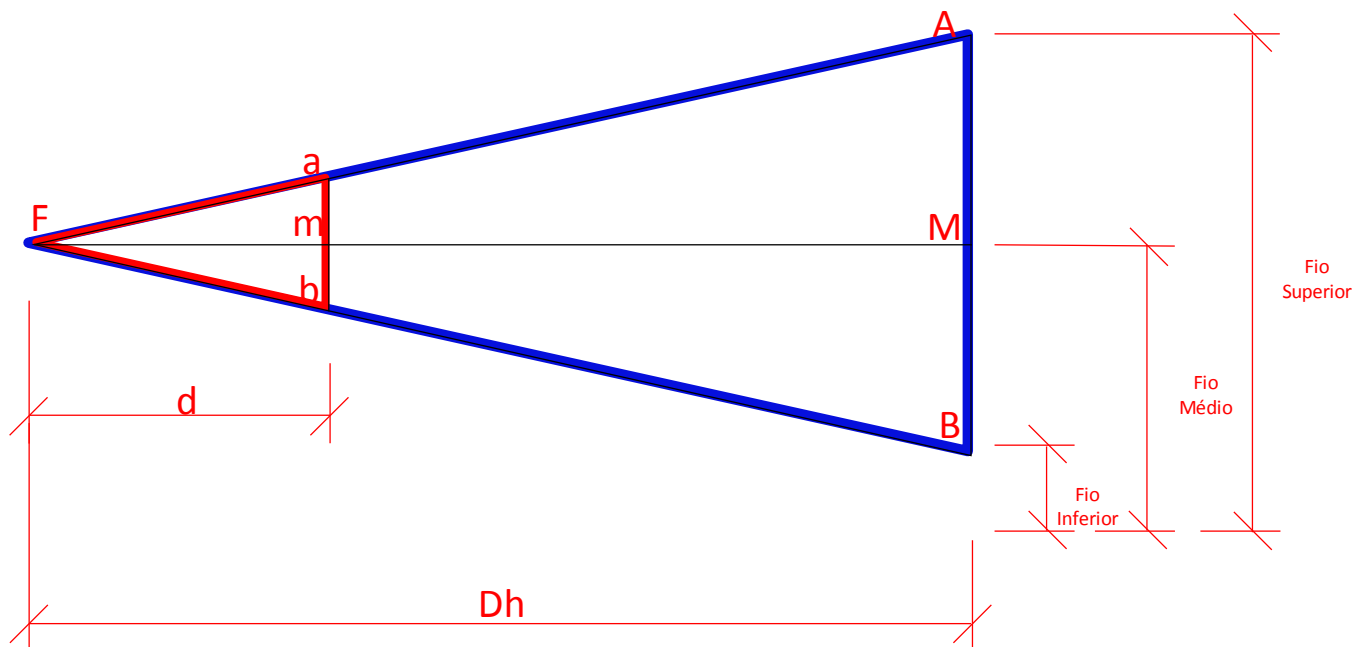


Figura 16: Dedução da fórmula da estadimetria

Fonte: os Autores



$$\frac{Dh}{d} = \frac{\overline{AB}}{\overline{ab}} \quad \text{Equação 29}$$

Analisando a Figura 16, podemos deduzir as Equação 30 e Equação 31, que se aplicadas na Equação 29 resultam na Equação 32.

$$\overline{AB} = F_s - F_i = S \quad \text{Equação 30}$$

$$\overline{ab} = s \quad \text{Equação 31}$$

$$D = \frac{d}{s} \times S \quad \text{Equação 32}$$

Os valores d e s são invariáveis (constantes) para cada tipo de instrumento, logo, cria-se uma constante C para representar a relação entre estes dois valores fixos, conforme a Equação 33. A grande maioria dos instrumentos atuais são fabricados para $C = 100$.

$$\frac{d}{s} = C \quad \text{Equação 33}$$

Sendo assim, a equação básica da estadiometria é dada pela Equação 34 e pode ser utilizada sempre que o instrumento faça leituras com a luneta na horizontal e a mira na vertical.

$$Dh = C \times S \quad \text{Equação 34}$$

Onde:

Dh = Distância horizontal

C = Constante

S = Número gerador (fio superior (FS) - inferior (FI)).

Para visadas inclinadas (que tenham ângulo zenital diferente de 90°), é estabelecida nova equação conforme ilustra a Figura 17.

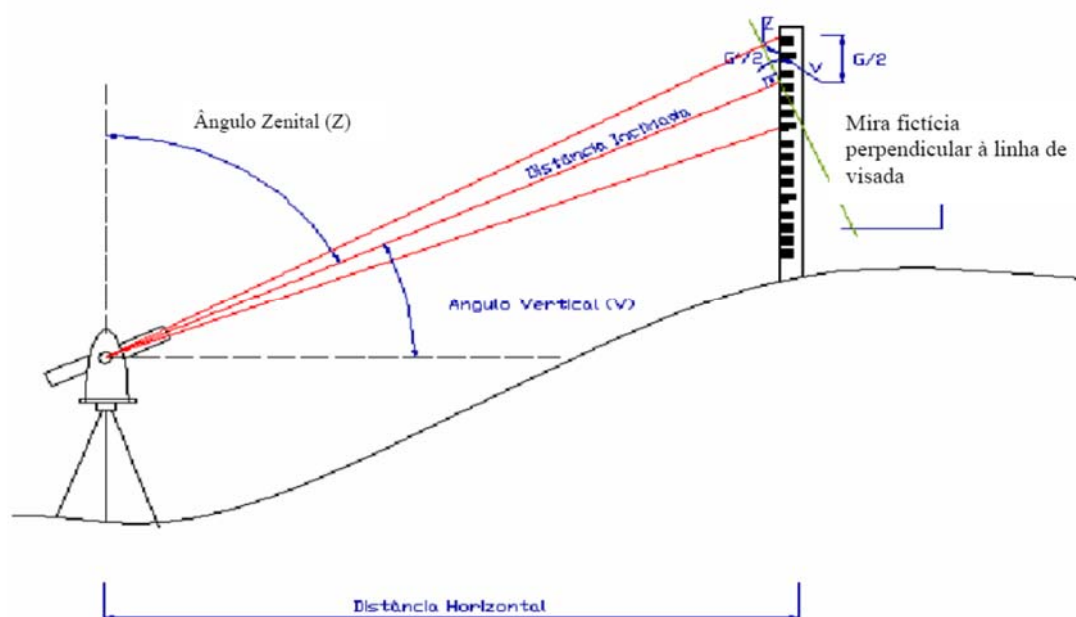


Figura 17: Ilustração sobre a visada dos fios superior, médio e inferior. Princípio da Estadimetria.

Fonte: Veiga et al (2012). Adaptado pelo autor.

A equação para a determinação da distância horizontal entre o aparelho e a mira, com visada inclinada fica sendo:

$$Dh = C \times S \times \sin^2 Z$$

Equação 35

Onde:

Dh = distância horizontal entre o aparelho e a mira

C = constante estadimétrica do instrumento;

S = Número gerador (diferença de leituras na mira: fio superior (FS) – fio inferior (FI)).

Z = ângulo zenital.

Para os levantamentos em campo podemos fazer uso de uma planilha previamente editada para nos auxiliar na anotação dos dados, e título de exemplo temos a Figura 18. Figura 18: Caderneta de campo padrão IFSC para Estadimetria, que ilustra a planilha disponibilizadas pelos autores.



Estadimetria

Local:	
Equipe:	Data: __/__/__
Equipamentos:	Folha:

[illegible]

Figura 18: Caderneta de campo padrão IFSC para Estadimetria.

Fonte: os Autores

3.1. Exemplo II

Considerando que em campo foi direcionada a luneta de um teodolito para um ponto de interesse onde foi estacionada uma mira, tendo sido lido neste ponto o ângulo zenital = $91^{\circ}19'40''$ e que a leitura do Fio Superior e do Fio Inferior ao visar a mira nesta angulação foi 1,279m e 1,185m respectivamente. Sabendo-se ainda que se trata de um teodolito Classe 3 (classificado conforme NBR13.133/1994), e que sua constante (distância focal / afastamento dos fios estadimétricos é = 100). Apresente a distância horizontal entre o teodolito e o ponto de interesse aplicando os princípios da Estadimetria:

Para solucionarmos o problema iremos utilizar a Equação 35, aplicando os valores mencionados acima.

$$Dh = 100 \times (1,279 - 1,185) \times (\text{sen } 91^\circ 19' 40'')^2 \quad \therefore Dh = 9,395 \text{ metros} \quad \text{Equação 36}$$



4. Taqueometria

4.1. Conceito e Planejamento

O termo taqueometria tem sua origem nas palavras gregas *takhys* (rápido) e *metren* (medida). A taqueometria pode ser definida como sendo a parte da topografia que se ocupa dos processos de levantamentos planialtimétricos onde as medidas horizontais e verticais são realizadas de forma indireta, simultaneamente, baseado na trigonometria, seja utilizando a estadimetria ou a medição eletrônica de distâncias.

Os taqueômetros estadimétricos são teodolitos dotados de luneta que contêm os fios estadimétricos, que além de serem utilizados para a medição indireta das distâncias horizontais, também faz a medição dos ângulos horizontais e verticais (zenitais).

Para os levantamentos em campo podemos fazer uso de uma planilha previamente editada para auxiliar na anotação dos dados, e a título de exemplo temos a Figura 19 que ilustra a planilha disponibilizadas pelos autores.



Nivelamento Taqueométrico

Serviço:	Data: __/__/__
Proprietário:	Cidade:
Local	Operador:
Instrumento:	Folha:

Estação	Altura Instr.	Ponto Visado	Leitura			Ângulo Zenital	Ângulo Horizontal	Descrição
			Superior	Média	Inferior			

Figura 19: Caderneta de campo padrão IFSC para Nivelamento Taqueométrico.

Fonte: os Autores

4.2. Procedimentos

Existem ao menos duas formas de se iniciar um levantamento taqueométrico, uma delas onde a cota/altitude do ponto ocupado é conhecida, e outra em que esta cota será determinada utilizando uma referência de nível. Nas duas, após a instalação do instrumento, coloca-se a mira no ponto a ser levantado, mantendo a mira na vertical e procede-se a leitura na mira dos fios estadimétricos superior (FS), médio (FM) e inferior (FI), faz-se a leitura do ângulo vertical (Z) e do ângulo horizontal.



Mede-se a altura do instrumento com uma trena. É necessário também determinar os azimutes de cada direção, conforme visto em Topografia I.

As cotas ou altitudes (H) dos pontos levantados serão calculadas pela fórmula do nivelamento trigonométrico:

$$DN = +i - h + \frac{DH}{\tan Z} \quad \text{Equação 37}$$

Lembrando que

$$DN = H_{\text{Visado}} - H_{\text{estação}} \quad \text{Equação 38}$$

As coordenadas retangulares (X,Y) dos pontos serão calculadas utilizando-se a transformação de coordenadas polares (distâncias horizontais e ângulos horizontais entre a estação e os pontos levantados) em retangulares, conforme demonstrado na apostila da unidade curricular de Topografia I.

$$X_{\text{Visado}} = X_{\text{estação}} + Dh * \sin Az \quad \text{Equação 39}$$

$$Y_{\text{Visado}} = Y_{\text{estação}} + Dh * \cos Az \quad \text{Equação 40}$$

Para os Cálculos fazer uso de planilhas em papel ou eletrônica. Um exemplo temos a que ilustra a planilha disponibilizadas pelos autores.



Nivelamento Taqueométrico

Serviço:	Data: __/__/__
Proprietário:	Cidade:
Local	Operador:
Instrumento:	Folha:

Est.	Alura Instr.	Ponto Visado	Leitura			Ângulo Zenital	Ângulo Horizontal	Azimute	Distância Horizontal	Desnível	Delta X	Delta Y	Coordenadas		
			Superior	Média	Inferior								X	Y	Z

Figura 20: Caderneta de Cálculo padrão IFSC para Nivelamento Taqueométrico.

Fonte: os Autores

4.3. Exercício V



Calcule as cotas, bem como as coordenadas X e Y dos pontos 12 a 15, dada a caderneta de campo abaixo. Sabe-se que o ângulo horizontal foi zerado na direção do norte magnético, que a cota do ponto 100 é 40,034 m e suas coordenadas X e Y são respectivamente 1000,000m e 5000,00m.

Tabela 13: Dados do Exercício V

Estação	Altura Instr.	Ponto Visado	Leitura			Ângulo Zenital	Ângulo Horizontal	Descrição
			Superior	Média	Inferior			
100	1,57	12	1,129	1,009	0,888	95°37'31"	237°47'55"	Edificação
100	1,57	13	1,167	1,007	0,849	88°22'58"	301°13'22"	Edificação
100	1,57	14	1,247	1,075	0,903	89°52'46"	55°32'55"	Árvore
100	1,57	15	1,329	1,166	1,002	125°22'58"	11°25'37"	Árvore



5. Coefficientes de curvatura e refração

Independentemente do tipo de nivelamento a ser realizado, é importante que se observe quais os erros inerentes ao trabalho executado e como fazer para minimizá-los, corrigi-los ou anulá-los.

Em razão da curvatura da Terra, as superfícies de nível são esferas concêntricas que produzem erros nas leituras das visadas, que precisam ser corrigidos. Na prática das operações altimétricas, o erro devido à curvatura da Terra, apresenta-se diminuído, em razão do efeito da refração atmosférica sobre o raio visual.

Quando se faz uma visada de um ponto para outro, o raio visual ao atravessar as camadas atmosféricas de densidades diferentes se refrata, seguindo uma trajetória curva, situada sobre o plano vertical visual, cuja concavidade é dirigida sobre a superfície do solo.

Há ainda que se considerar o efeito da refração atmosférica, visto que quando se tomam medidas horizontais em longas distâncias ou se utiliza medidores eletrônicos para medidas inclinadas, o feixe luminoso realiza uma curva quando se propaga na atmosfera, fazendo com que as leituras de mira sejam inferiores às esperadas.

O coeficiente de curvatura da terra deve ser considerado em visadas longas, e de modo simplificado, conhecendo-se o valor do raio da terra (aproximadamente 6.370 Km), pode-se determinar o erro devido à curvatura e à refração atmosférica, para qualquer visada, conforme ilustrado na Figura 21:

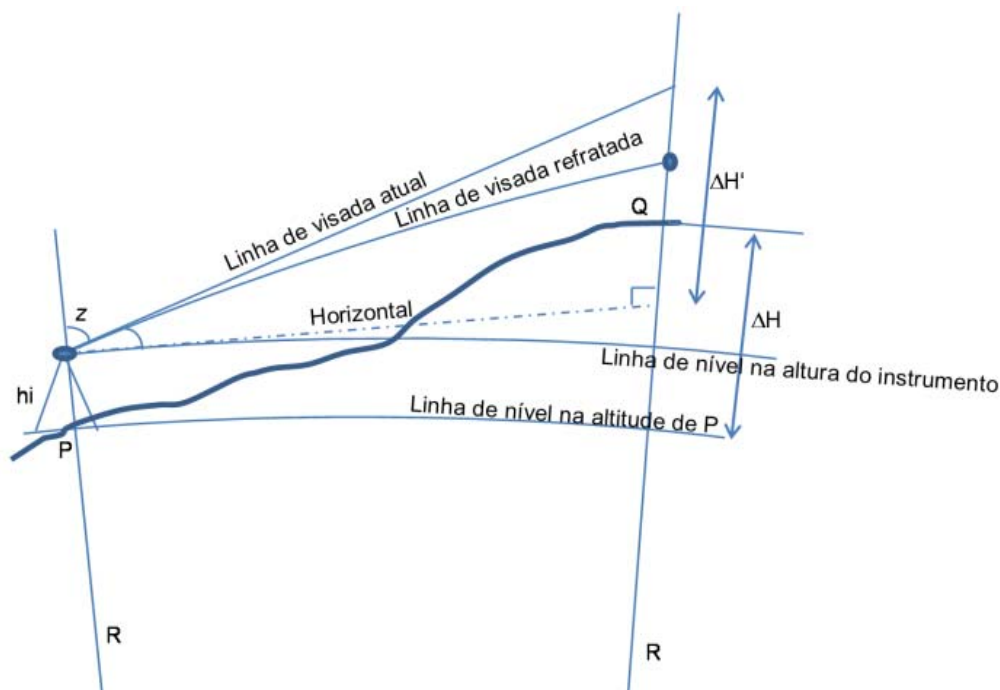


Figura 21: Interferências do efeito da refração atmosférica e da curvatura da Terra associados.

Fonte: Irineu da Silva (2013).

Considerando que os valores de correção são muito pequenos, principalmente em visadas curtas, é possível eliminar os erros se as leituras forem tomadas a uma mesma distância do instrumento. Assim, pode-se admitir que para distâncias menores que 120 m, o erro devido à curvatura da terra e à refração atmosférica é desprezível, por ser inferior ao milímetro.

6. Redes de Referência de Nível (Rede Altimétrica)

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) define rede altimétrica como o “conjunto de estações geodésicas, denominadas referências de nível (RRNN), que materializam a componente altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), a partir de medições de nivelamento geométrico de alta precisão.”

As altitudes no Brasil são determinadas a partir da Rede Altimétrica Brasileira, estabelecida e mantida pelo IBGE (Figura 22). Esta rede é um exemplo de rede vertical e como os demais tipos de coordenadas geodésicas, as altitudes normais-ortométricas das RRNN do SGB são periodicamente recalculadas, em função da incorporação de novas observações, correção de inconsistências, e utilização de novas técnicas de observação e cálculo. Um exemplo menor de rede é ilustrado na Figura 23. O trecho entre duas RRNN consecutivas corresponde à seção; seções formam a linha; linhas formam os circuitos e estes formam a rede de nivelamento.



Figura 22: Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro

Fonte: Site IBGE¹

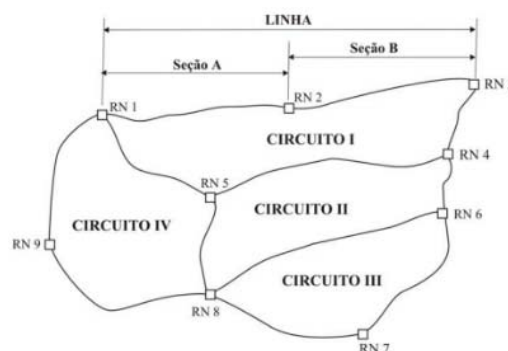


Figura 23: Exemplo de circuito de nivelamento.

Fonte: IBGE

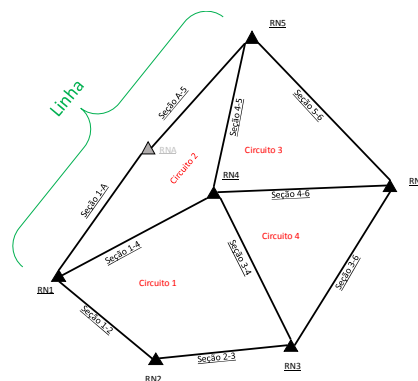


Figura 24: Exemplo detalhado de um circuito de nivelamento.

Fonte: os Autores

Para acesso aos dados das RRNN do IBGE acesse o site <http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>

¹ ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/cartograma/altitotal.pdf



7. Nivelamentos de precisão muito alta

7.1. Conceito

Nivelamentos de precisão muito alta correspondem a trabalhos realizados com níveis de precisão muito alta: ($\leq \pm 1$ mm/km) conforme a NBR 13.133/1994 (Figura 25) e são empregados principalmente em: medições de controle vertical (recalque), construção civil e mecânica de precisão (topografia industrial).

O nivelamento é realizado conforme prática habitual, porém, mais rigor é empregado em todas as etapas do trabalho. Os elementos observados (ângulos, distâncias, altura do instrumento, altura do sinal, leituras nas miras e outros elementos que possibilitem os cálculos) devem ser registrados, em cadernetas apropriadas, de forma clara, ordenada, completa, precisa e impessoal.

Além disso, ela deve conter croquis dos detalhes a representar, com indicação dos pontos visados e medições complementares de distâncias destinadas a servir de verificação, ou mesmo, para completar o levantamento. A boa ordenação dos elementos colhidos no campo é indispensável aos cálculos e desenho correto e completo da planta.

Classes de níveis	Desvio-padrão
1 - precisão baixa	$> \pm 10$ mm/km
2 - precisão média	$\leq \pm 10$ mm/km
3 - precisão alta	$\leq \pm 3$ mm/km
4 - precisão muito alta	$\leq \pm 1$ mm/km

Figura 25: Classes de níveis segundo os desvios padrão.

Fonte: NBR 13.133/1994

As tolerâncias variam conforma finalidade do levantamento, e podem envolver series temporais para cálculos de velocidades de deslocamento. Na mecânica (Topografia Industrial) é comum as tolerâncias serem na ordem dos décimos de milímetros ou até menores. Vale salientar que as precisões nominais dos níveis são dadas comumente dadas em milímetros por quilômetro e na Topografia Industrial é incomum nivelamentos com perímetros maiores que algumas dezenas de metros.

7.2. Equipamentos e metodologias

Os instrumentos utilizados dependerão muito da tolerância exigida para o levantamento, mas geralmente são utilizados níveis com a classificação precisão muito alta da NBR13.133/1994. Porém existem diversos instrumentos atuais com a precisão nominal de 1,5mm por km de duplo nivelamento e estes também podem ser utilizados dependendo da finalidade.

As metodologias empregadas são as mesmas do nivelamento geométrico, sendo que a atenção e o cuidado na manipulação dos instrumentos e acessórios são severamente aumentados, as correções ambientais devem sempre ser levantadas e analisadas para que erros grosseiros e sistemáticos sejam evitados ao máximo.

7.3. Cálculo do Recalque

Segundo a NBR 6122:2010, recalque é o movimento vertical descendente de um elemento estrutural. Quando o movimento for ascendente, denomina-se levantamento. O recalque é um dos principais causadores de



patologias em edificações e em alguns casos do colapso total das mesmas. Está presente em todas as edificações, com maior ou menor magnitude, porém em até certo nível não provoca problemas consideráveis. Existe a necessidade do controle do recalque, desde a sua identificação até a estabilização, para assim evitar casos extremos de instabilidades da estrutura.

O controle de deslocamento das estruturas envolve na maioria das vezes diferentes técnicas e métodos de medição. Para cada tipo de construção é desenvolvida uma técnica para o monitoramento, considerando-se desde necessidade até a precisão, sendo ele contínuo, por minutos, semanas a meses, dependendo do tipo de carga, se estática ou dinâmica, de condicionantes como o solo do local, estrutura utilizada, alterações no entorno, tamanho da estrutura, utilização, acidentes, dentre outros.

A classificação dos métodos de monitoramento das deformações em estruturas é, de forma geral, apresentada em dois grandes grupos: os métodos geodésicos e os métodos geotécnicos. Os métodos de monitoramento geodésico visam encontrar alterações de coordenadas (planimétricas e/ou altimétricas), de uma série de leituras, de pontos, em determinado período de tempo. Os valores encontrados indicam se houveram alterações nos valores das coordenadas, chamado de deslocamento.

A medida dos recalques deve obedecer a uma estratégia cuidadosamente elaborada, desde a implantação da Referência de Nível indeslocável (Benchmark) até a execução das campanhas de medição. O Benchmark deve ser materializado fora da área de influência de estudo, ou seja, externamente à área suscetível a recalque, e a sua implantação obedece a rígidos critérios, para garantir a sua indeslocabilidade é construído sobre elemento firmemente engastado no solo ou em rocha.

Os pontos de controle devem ser distribuídos de acordo com a característica geométrica da estrutura ou da edificação, sendo geralmente fixados pinos em pilares ou nas peças estruturais onde se quer efetuar a medição para controle dos deslocamentos verticais.

As campanhas de nivelamento geométrico devem ser planejadas de forma a atender aos seguintes requisitos:

a) periodicidade das observações para tomada das medidas, decorrente da metodologia de trabalho traçada em conjunto com a equipe de observação e análise do comportamento da estrutura;

b) deve-se sempre que possível efetuar as medições em horários fixos, em condições similares, buscando-se diminuir a variabilidade de influência nos resultados; c) as leituras deverão ser efetuadas em um número de séries (de nivelamento e contranivelamento) tal que propicie alcançar a precisão almejada.

8. Nivelamentos de alta precisão (Geodésicos)

Os nivelamentos de Alta Precisão são definidos pelo IBGE nas Especificações e Normas para Levantamentos geodésicos Associados do Sistema Geodésico Brasileiro, publicado em 2017. Devido aos avanços tecnológicos mais recentes houve uma evolução dos referenciais altimétricos clássicos, baseados na adoção do nível médio do mar (NMM), para que em sua materialização mais moderna, as altitudes possuam maior significado físico (Gravidade).

Os avanços e modernizações metodológicas relacionadas às atividades de Controle Geodésico de Estações Maregráficas e a expansão do uso dos sistemas globais de posicionamento, aumentou a necessidade de obtenção de um modelo de ondulação geoidal compatível com as atuais necessidades da comunidade usuária. Como consequência, ocorreu uma densificação sistemática das redes gravimétricas, por meio de ocupação das



RRNN existentes e sobre “vazios gravimétricos” a partir da década de 1990 até a atualidade, culminando na divulgação dos modelos de ondulação geoidal da série MAPGEO², específicos para o território brasileiro.

O conjunto homogêneo de marcos dotadas de altitudes de alta precisão é formalmente denominado Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), e suas altitudes têm precisão na ordem de poucos milímetros em relação às estações adjacentes. O cálculo dessas altitudes é realizado a partir de medições e procedimentos específicos para a obtenção da alta precisão. a partir da RAAP os usuários do SGB estabelecem suas próprias redes de altitudes para os mais variados objetivos, tais como: obras de saneamento, irrigação, estradas, telecomunicações, usinas hidrelétricas, mapeamento, etc..

8.1. Equipamentos e metodologias

As instruções abaixo foram compiladas das Especificações e Normas para Levantamentos geodésicos Associados do Sistema Geodésico Brasileiro do IBGE.

Deverão ser usados níveis e miras adequados ao objetivo de alta precisão. Assim, qualquer que seja o tipo de nível utilizado, a precisão de horizontalização do eixo de colimação deverá ser melhor que 0.35”, e a precisão do desnível observado em 1 km de nivelamento duplo, melhor que 0.4 mm.

No caso de níveis ótico-mecânicos, deverão ser dotados de sistema para auxílio na calagem da bolha (“bolha bipartida”), e leitura das miras por meio de micrômetro de placa plano-paralela. A Figura 26 ilustra um o uso da bolha bipartida.

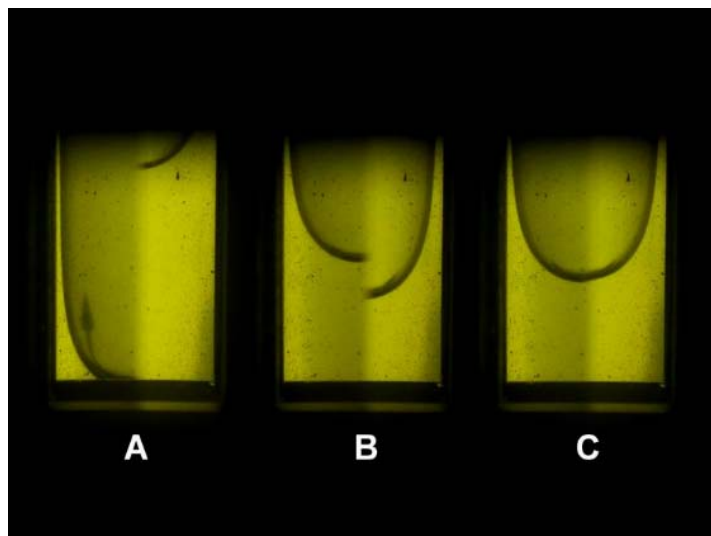


Figura 26: Exemplo de bolha bipartida

Fonte: http://www.dehilster.info/geodetic_instruments/1970_wild_nk2.php

O tripé deverá ter peso mínimo de 6 kg, com pernas não extensíveis (“rígidas”) conforme ilustra a Figura 27. As miras deverão possuir nível de bolha circular para verticalização e ter a escala convencional (Figura 28), ou o código de barras para nível digital (Figura 29), gravados em fita de invar.

Antes do início dos trabalhos diários, todo o instrumental deverá ser deixado sob as condições comuns de trabalho, para estabilização térmica – porém nunca sob insolação direta (usar guarda-sol). O tempo total será estimado pela relação de 2 min para cada grau de diferença entre a temperatura do local de armazenagem e a do local de operação. Em adição, no início de cada dia de trabalho, deverá ser verificado o fator de colimação. Este

² Para maiores informações consulte o Livro de Geodésia Aplicada.



fator de colimação é determinado através de uma verificação apresentado no documento do IBGE. Tal verificação é utilizada por diversos fabricantes e pode ser encontrada nos manuais dos fabricantes dos instrumentos.

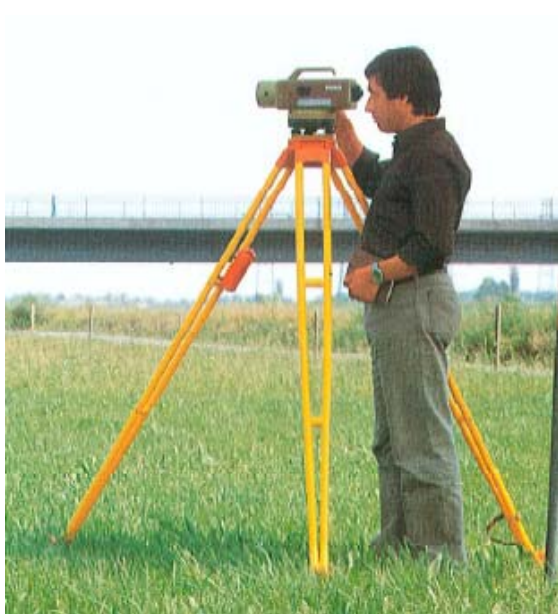


Figura 27: Tripé com pernas rígidas
Fonte: Wild N3 Catalogue

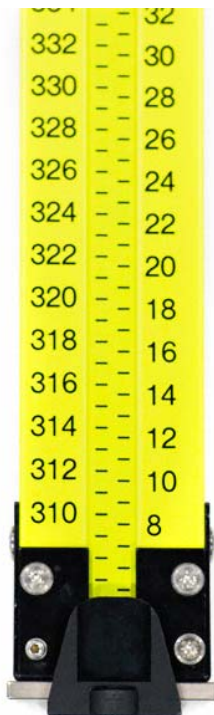


Figura 28: Mira invar convencional

Fonte:

<https://www.instop.es/accesorios>



Figura 29: Mira invar código de barras

Fonte: <https://www.viarural.com.ar>

Exercícios Resolvidos

Resposta do Exercício I

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância
		RÉ	VANTE			
a	RN 1	1,875		11,19	9,315	40,325
	A0		1,503	9,687		38,093
b	A0	0,889		10,576		43,178
	A1		2,116	8,46		49,543
c	A1	1,009		9,469		52,972
	A3		0,784	8,685		58,243
d	A3	1,234		9,919		29,548
	A4		1,604	8,315		30,478
e	A4	1,198		9,513		22,765
	RN2		0,857	8,656		17,987
f	RN2	0,987		9,643		25,767
	A5		1,479	8,164		31,005
g	A5	0,678		8,842		45,528
	A6		0,756	8,086		41,806
h	A6	1,542		9,628		59,289
	A7		0,975	8,653		63,543
i	A7	1,532		10,185		53,096
	RN 1		0,876	9,309		48,514
		Distâncias Percorridas		Nivelamento Contra		383,132 368,548
		Tolerância		7,43 mm		
		Erro Cometido		-6,00 mm		
		Fechamento		SIM		
		Cota Corrigida		8,659 m		

Resposta do Exercício II

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância
		RÉ	VANTE			
a	RN 1	1,497		133,956	132,459	40,325
	A0		1,235	132,721		38,093
b	A0	0,879		133,6		43,178
	A1		1,225	132,375		49,543
c	A1	2,341		134,716		62,972
	A3		1,891	132,825		58,243
d	A3	0,739		133,564		39,548
	A4		0,345	133,219		30,478
e	A4	1,378		134,597		42,765
	RN2		0,732	133,865		47,987
f	RN2	1,025		134,890		25,767
	A5		0,895	133,995		31,005
g	A5	0,799		134,794		45,528
	A6		2,356	132,438		41,806
h	A6	2,254		134,692		59,289
	A7		1,813	132,879		63,543
i	A7	0,915		133,794		53,096
	A8		1,459	132,335		65,478
j	A8	1,085		133,42		54,570
	RN 1		0,953	132,467		48,514
		Distâncias Percorridas		Nivelamento Contra		453,132 488,596
		Tolerância		8,08 mm		
		Erro Cometido		8,00 mm		
		Fechamento		SIM		
		Cota Corrigida		133,861 m		

Resposta do Exercício III

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância	Correção	Cota Corrigida
		RÉ	VANTE					
a	RN1	1,963			972,367	55,689		6,500
	1		1,175	974,330	973,155	13,345	-0,0012	973,154
	2		1,692	974,330	972,638	19,432	-0,0012	972,637
	3		1,595	974,330	972,735	37,753	-0,0012	972,734
	A1		1,372	974,330	972,958	63,436	-0,0012	972,957
b	A1	1,246				45,400		
	4		0,899	974,204	973,305	60,382	-0,0024	973,303
	5		0,807	974,204	973,397	72,456	-0,0024	973,395
c	A2		1,482	974,204	972,722	48,492	-0,0024	972,720
	A2	1,192				63,450		
	6		1,128	973,914	972,786	13,183	-0,0036	972,782
	7		1,508	973,914	972,406	25,934	-0,0036	972,402
	8		1,799	973,914	972,115	34,724	-0,0036	972,111
	A3		1,566	973,914	972,348	57,439	-0,0036	972,344
d	A3	1,333				43,678		
	9		1,500	973,681	972,181	12,356	-0,0048	972,176
	10		1,678	973,681	972,003	72,312	-0,0048	971,998
	A4		1,656	973,681	972,025	39,219		
e	A4	1,282				46,689		
	RN2		0,934	973,307	972,373	52,436	-0,0060	972,367
						Perímetro (m)	515,928	
						Erro cometido (mm)	6,000	
						Erro permitido (mm)	14,366	
						Fechamento	Sim	
						Correção (m)	-0,0012	

Resposta do Exercício IVExercício I

EST.	PTO	LEITURA		APV	Cota	Distância	Correção	Cota Corrigida
		RÉ	VANTE					
a	RN1	2,819			972,367	40,6		972,367
	Aux1		2,244	975,186	972,942	40,1	0,001	972,943
b	Aux1	2,120				39,2		
	Aux2		2,172	975,062	972,890	38,9	0,002	972,892
c	Aux2	2,418				43,4		
	Aux3		2,660	975,308	972,648	43,6	0,003	972,651
d	Aux3	2,246				42,5		
	Aux4		2,144	974,894	972,750	41,7	0,004	972,754
	JKG87		1,975	974,894	972,919	90,4	0,004	972,923
	MPX12		1,850	974,894	973,044	85,6	0,004	973,048
e	Aux4	3,871				39,6		
	Aux5		2,901	976,621	973,720	38,9	0,005	973,725
f	Aux5	0,813				41,2		
	RN1		2,172	974,533	972,361	40,8	0,006	972,367
						Perímetro (m)	490,500	
						Erro cometido (mm)	-6,000	
						Erro permitido (mm)	14,007	
						Fechamento	Sim	
						Correção (m)	0,0010	

Resposta do Exercício V

Estação	Altura Instr.	Ponto Visado	Leitura			Ângulo Zenital	Ângulo Horizontal	Descrição	Azimute	Distância Horizontal	Desnível	Azimute (° decimais)	Delta X	Delta Y	Coordendas		
			Superior	Média	Inferior										X	Y	Z
100	1,57	12	1,129	1,009	0,888	95°37'31"	237°47'55"	Edificação	237°47'55"	23,868	-1,790	237,799	-20,197	-12,7194	979,803	4987,281	38,24405
100	1,57	13	1,167	1,007	0,849	88°22'58"	301°13'22"	Edificação	301°13'22"	31,775	1,460	301,223	-27,1724	16,47094	972,8276	5016,471	41,49411
100	1,57	14	1,247	1,075	0,903	89°52'46"	55°32'55"	Árvore	55°32'55"	34,400	0,567	55,549	28,36634	19,46023	1028,366	5019,46	40,60138
100	1,57	15	1,329	1,166	1,002	92°22'58"	11°25'37"	Árvore	11°25'37"	32,643	-0,954	11,427	6,467271	31,99642	1006,467	5031,996	39,08016



BIBLIOGRAFIA

ABNT, NBR 13133 (1994) Execução de Levantamentos Topográficos. Rio de Janeiro. **Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil, 1994.**

ABNT, NBR. 6122 (2010) Projeto e execução de fundações. **Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.**

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Z.; FAGGION, Pedro Luis. Fundamentos de topografia. **Universidade Federal do Paraná, 2012.**

SILVA, Irineu da; SEGANTINI, PCL. Topografia para Engenharia-Teoria e Prática de Geomática. **Rio de Janeiro, 2015.**