

INFLUÊNCIA DO NÍVEL DO INSTRUMENTO SOBRE A PRECISÃO DE NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO

Westanley Jales Dantas¹, Francisco de Assis de Oliveira², Thiago Pereira de Sousa³, Raniere Barbosa de Lira⁴

Resumo: O nivelamento altimétrico é uma operação de fundamental importância na elaboração de projetos topográficos. Dentre as principais metodologias para esta finalidade destacam-se os nivelamentos geométrico e o trigonométrico. O nivelamento geométrico é método classificado como de elevada precisão para esta finalidade, porém, dependendo da dimensão e do relevo do terreno por tornar-se um método oneroso e de pouco rendimento. Por outro lado, o nivelamento trigonométrico, devido a características próprias do equipamento, é um método de proporciona maior rendimento no campo, porém, com menor precisão em comparação com o nivelamento geométrico. Para que os dados coletados apresentem satisfatório precisão, vários cuidados devem ser considerados durante a coleta de dados, com destaque para a adequada instalação e estacionamento do equipamento. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do nível de bolha sobre a precisão do nivelamento trigonométrico em diferentes condições de estacionamento. Para isso, foram analisados os erros de nivelamento em relação ao nivelamento geométrico, bem como a variação das cotas dos pontos topográficos. O estudo foi desenvolvido no Campus central da UFRSA, em Mossoró, RN. Foram materializados quatro pontos topográficos, em distâncias de 23, 74 e 91 m, em locais com diferentes altitudes. Foram testadas sete condições de estacionamento do teodolito, considerando para cada condição a posição da bolha de ar no círculo de nivelamento do aparelho. Para cada condições foram realizadas três leituras, sendo o equipamento desinstalado entre cada leitura. Realizou-se ainda um nivelamento geométrico para ser utilizado como referência. Os resultados indicaram que as condições de estacionamento afetam significativamente a precisão do nivelamento trigonométrico, com variações nas cotas dos pontos topográficos. Além disso, o adequado ajuste na bolha do nível circular foi destacado como um fator crucial para a precisão do nivelamento. Os erros são maiores foram observados nas condições em que a bolha do nível circular foi posicionada totalmente fora do círculo central, na mesma direção da visada, seja na frente (CN-2) ou por trás (CN-3) do alinhamento. Este estudo contribui para o entendimento da importância do estacionamento adequado dos equipamentos topográficos e fornece conhecimento para aprimorar a precisão do nivelamento trigonométrico em futuras aplicações

Palavras-Chave: Topografia; precisão; teodolito; cotas.

1. INTRODUÇÃO

Topografia é a ciência que trata da determinação de dimensões e contornos da superfície da Terra [1]. Através da medição de distâncias, direções e altitudes, cálculo de áreas, volumes e representação em plantas, primordial ao planejamento e projetos em áreas urbanas ou rurais.

Dentre os segmentos da topografia, destacamos a altimetria, responsável pelos métodos e instrumentos topográficos empregados no estudo e na representação do relevo do terreno. Com esse objetivo, as medidas são efetuadas considerando um plano vertical, obtendo-se distâncias verticais ou diferenças de nível em campo [2]. é imprescindível para projetar, implantar e executar obras de engenharia.

A determinação das cotas do terreno e a diferença de nível (DN) entre dois ou mais pontos do terreno, é obtida a partir do nivelamento geométrico [5]. Operação rotineiramente realizada com uso do nível óptico como instrumento padrão, com leitura direta através de visadas horizontais em miras verticais graduadas, adotando-se como referência o nível aparente, ou seja, uma cota arbitrada no terreno, denominada de referência de nível (RN), sendo considerado o método de nivelamento mais preciso que existe. Com limitação para leituras a no máximo 120m de distância em relação à estação [7].

Entretendo, tem-se também a adoção do nivelamento trigonométrico como pratica comum na topografia, método esse que adota como instrumento o teodolito e/ou a estação total para obtenção das cotas do terreno ou altitude dos pontos. Em ambos os casos, o nivelamento é um método usual na determinação de diferenças de nível entre um conjunto de pontos [5]. Conforme a NBR 13.133 [6]. Executado a partir de visadas com qualquer

¹ Graduando em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido

² Prof. Dr. Departamento de Ciência Agrônomicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido

³ Dr. em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba

⁴ Dr. em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido

inclinação e cálculos trigonométricos, adotando como RN uma cota no terreno, cuja limitação para leituras é de até 5 km de distância em relação à estação, tornando-se uma metodologia mais rápida, porém menos precisa. Não indicado para projetos de engenharia, onde a implantação exige o máximo de precisão [7].

Além desses, tal representação, também pode ser obtida através da altitude de pontos, ou seja, pela diferença de altitude entre diversos pontos na superfície do terreno. Para isso, emprega-se a tecnologia GNSS [2]. Visando determinar as alturas relativas a uma superfície de referência, usando como base as posições planimétricas sobre as quais é representada a altimetria da superfície levantada. Método esse, denominado de relativo indireto, cuja obtenção da altitude ortométrica possui como referência a ondulação geoidal e a altitude geométrica com referência no elipsoide, ambas obtidas pelo sistema GNSS [7].

Dentre estes métodos, os mais utilizados em projetos de engenharia, que exigem maior precisão, são os nivelamentos geométricos e os trigonométricos. Que segundo a NBR 13133 podem ser de quatro classes. Quais sejam:

Classe IN - nivelamento geométrico para implantação de referências de nível (RN) de apoio altimétrico.

Classe IIN - nivelamento geométrico para a determinação de altitudes ou cotas em pontos de segurança e vértices de poligonais para levantamentos topográficos destinados a projetos básicos executivos e obras de engenharia.

Classe IIIN - Nivelamento trigonométrico para a determinação de altitudes ou cotas em poligonais de levantamento, levantamento de perfis para estudos preliminares e/ou de viabilidade de projetos.

Classe IVN - Nivelamento taqueométrico destinado a levantamento de perfis para estudos expeditos.

Neste cenário, temos que nenhum sistema de medição angular é isento de erro, mesmo que o instrumento esteja retificado, e que outros erros possam ser eliminados por métodos de observação adequados. De tal maneira que temos erros internos relacionados ao instrumento e/ou observador, tais como: erro de pontaria, erro de leitura e erro de nivelamento do instrumento, e os erros externos relacionados ao ambiente, quais sejam: erro de centragem, refração atmosférica, vento, temperatura, dentre outros [13].

Assim, vemos que fatores como a qualidade do equipamento de observação, os métodos operacionais, as condições atmosféricas e do operador, interferem na precisão dos trabalhos de levantamento altimétrico [13]. Além desses, o erro no nivelamento do instrumento, causado por insensibilidade do nível de bolha, pode acarretar erros significativos nos dados obtidos.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência do nível de bolha sobre a precisão do nivelamento trigonométrico em diferentes condições de estacionamento. Para isso, foram analisados os erros de nivelamento em relação ao nivelamento geométrico, bem como a variação das cotas dos pontos topográficos.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Campus Oeste, Mossoró/RN, geograficamente localizada a uma latitude de 05°12'07,25"S e longitude de 37°19'35,98"W, com altitude média de 15 metros (Figura 1).



Figura 1. Localização da área de estudo, Fonte: Google Earth (2024).

2.2 Equipamentos Utilizados

Os nivelamentos trigonométricos (NT) foram realizados utilizando um Teodolito Eletrônico (FOIF® - Série DT200), abertura da objetiva de 42 mm, capacidade de aumento da imagem de até 30x, prumo óptico laser, campo de visão 1°20", leitura mínima de 1", foco mínimo de 1 m, imagem direta, leitura angular 10" e precisão angular de 9" (Figura 2A).

Para o nivelamento geométrico (NG) foi utilizado um Nível Óptico da marca CST/Berger, modelo SAL24, com aumento de 24X, abertura da objetiva de 30 mm e precisão de 2,0 mm (Figura 2B). Sendo que para ambos os instrumentos, foram utilizados um tripé de alumínio (Figura 2C), e uma mira topográfica graduada milimetricamente na face traseira, com comprimento total de 5 metros (Figura 2D).



Figura 2. Instrumentos utilizados nos nivelamentos. Mossoró/RN, 2024.

O nivelamento geométrico foi realizado apenas uma vez, com o Nível Óptico devidamente ajustado e nivelado conforme recomendação, sendo este adotado como padrão de referência para comparação.

Já o nivelamento trigonométrico foi realizado em seis repetições, considerando seis condições de estacionamento, onde para cada condição a posição da bolha de ar no círculo de nivelamento do instrumento foi modificada (Figura 3).

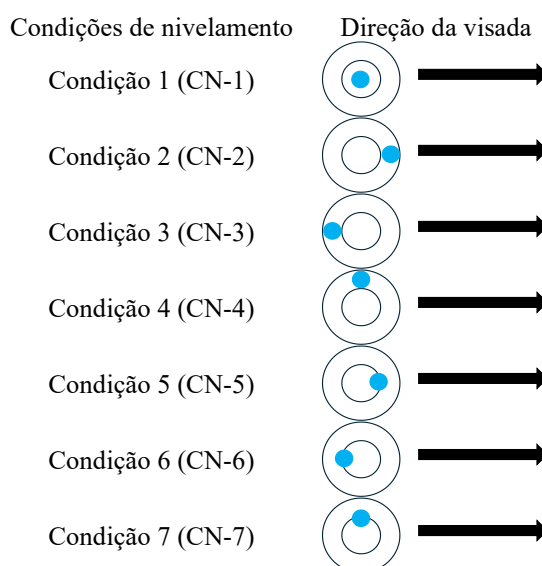


Figura 3. Ilustração das seis condições de nível do instrumento. Mossoró/RN, 2024.

O estudo foi realizado em duas etapas, sendo a primeira a coleta dos dados, a segunda etapa compreendeu a tabulação, análise e interpretação dos dados. Na primeira etapa foram materializados três pontos topográficos, em seguida, estes foram levantados por meio da topografia convencional utilizando um teodolito eletrônico, denominado de nivelamento trigonométrico. Para cada condição de nivelamento foram realizadas três leituras, sendo o instrumento desmontado e montado novamente entre cada fase de coleta de dados. Em cada visada foram coletadas as leituras do fio estadimétrico superior (Ls) e inferior (Li), além do ângulo zenital de acordo com a inclinação da luneta. A partir dessas leituras determinou-se a distância horizontal (DH) dos alinhamentos, de acordo com a equação 1.

$$DH = 100(Ls - Li)\cos^2 \alpha \quad (1)$$

Em que:

DH – Distância Horizontal, m;

Ls – Leitura do fiostadimétrico superior, m;

Li – Leitura do fiostadimétrico inferior, m;

α – Inclinação da luneta, °.

O ângulo da inclinação da luneta foi determinado pela diferença entre o ângulo zenital (Z) e 90°, de acordo com as equações 2 e 3.

$$\alpha = Z - 90^\circ \text{ (para visada descendente, } Z > 90^\circ \text{)} \quad (2)$$

$$\alpha = 90^\circ - Z \text{ (para visada ascendente, } Z < 90^\circ \text{)} \quad (3)$$

A partir da distância horizontal (DH) determinou-se o desnível entre a estação e cada ponto visado, de acordo com a equação 4.

$$DN = DH \cdot \text{Tang}(\alpha) \pm I \pm Lm \quad (1)$$

Em que:

DN – Desnível entre estação e o ponto visado, m;

DH – Distância Horizontal entre a estação e o ponto visado, m;

α – Inclinação da luneta, °;

I – Altura do equipamento, m;

Ls – Leitura do fiostadimétrico médio, m.

Para o nivelamento geométrico, as cotas foram determinadas através da leitura do fio médio do instrumento na mira, adotando um nível de referência para que a cota fosse gerada, primeiramente faz-se uma leitura “de Ré” para determinar a altura do instrumento (Ai), sendo as demais “de vante”.

$$Ai = \text{Cota (RN)} + \text{Leitura de Ré}$$

$$\text{Cota} = Ai - \text{Leitura de Vante}$$

Onde:

Cota (RN) - É o nível de referência atribuído inicialmente (m).

Ai – Altura do instrumento, já adicionado o nível de referência (m).

Leitura de Ré – Leitura do primeiro ponto, contido ou não no terreno (m).

Leitura de Vante – Leituras dos pontos do terreno onde gerarão as cotas.

Cota – É a cota do ponto em questão.

Os dados de ambos os levantamentos foram tabulados em planilha do Excel® 2016. Para análise da precisão de cada condição de nivelamento. A partir das cotas obtidas foi determinado o desvio padrão, utilizando a equação 4.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (4)$$

Em que:

σ – Desvio padrão;

x_i – Cota obtida em cada leitura;

$\bar{x}$ – Cota média nas três leituras;

N – Número de leituras.

Além do desvio padrão, a precisão dos aplicativos foi analisada a partir da diferença entre cota obtida em cada condição de nivelamento com as cotas obtidas a partir do nivelamento geométrico (Equação 5).

$$E = |T - A| \quad (5)$$

Em que:

E – Erro do nivelamento trigonométrico;

T – Cota obtida em cada condição do nivelamento trigonométrico;

A – Cota obtida com o nivelamento trigonométrico.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de diferentes condições de nivelamento, verificou-se que a maior diferença entre os dados, comparando-se com o nivelamento geométrico, ocorreram nas condições CN-2 e CN-3, sendo que o CN-2 menor do que (NG) apresenta o menor DN em comparação ao NG, enquanto o CN-3 apresenta DN maior que o NG (Figura 3).

Por outro lado, houve pouca variação entre os DN para as condições CN-4, CN-5, CN-6 e CN-7 em comparação com NG, considerando as condições de maior erro em que a instalação do teodolito foi realizada com a maior condição de erros (CN-2, CN-3, CN-4), em comparação com a condição em que o teodolito foi instalado de acordo com a recomendação, totalmente centralizado (CN-1), verificando-se que a condição CN-4, em que a bolha de nível foi mantida fora do círculo central, na posição lateral do alinhamento, apresentou o menor erro. De forma geral, esse comportamento foi observado para as três distâncias do alinhamento (Figura 3).

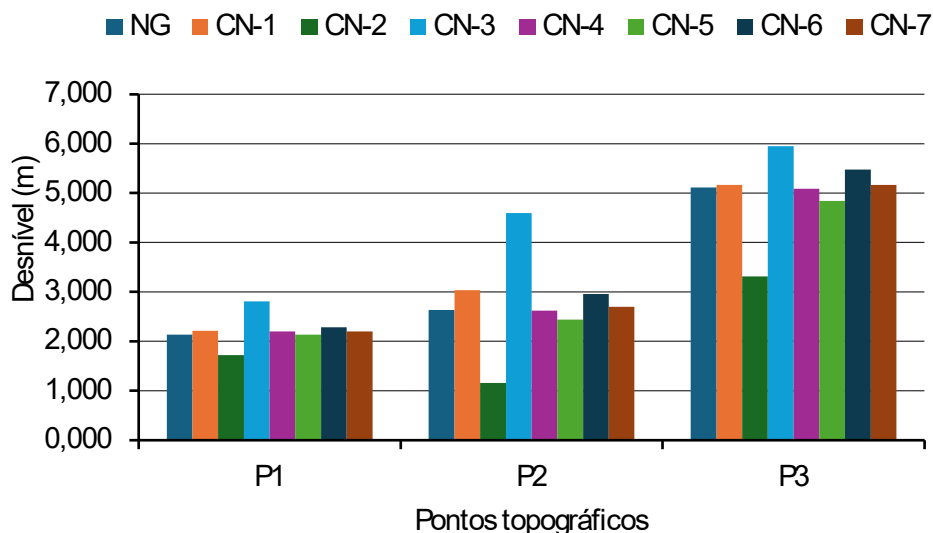


Figura 3. Desníveis dos pontos topográficos obtido pelo nivelamento geométrico (NG) e pelo nivelamento trigonométrico em diferentes condições de nivelamento do instrumento.

Em relação à cota de cada ponto, observou-se não haver diferença entre as cotas no ponto PO, pelo fato de que para esse ponto foi arbitrada a cota de 10,000 metros para todos os nivelamentos. Para os demais pontos verificou-se um comportamento semelhante ao observado para os desníveis (Figura 4).

Verifica-se ainda que a condição CN-2 proporcionou cotas com valores inferiores ao observado no NG, enquanto a condição CN-3 resultou em valores de cotas superiores ao NG. Por outro lado, nas demais condições (CN-1, CN-4, CN-5, CN-6 e CN-7) os valores de cotas foram mais próximos ao NG, indicando que nessas condições ocorrerá um menor erro.

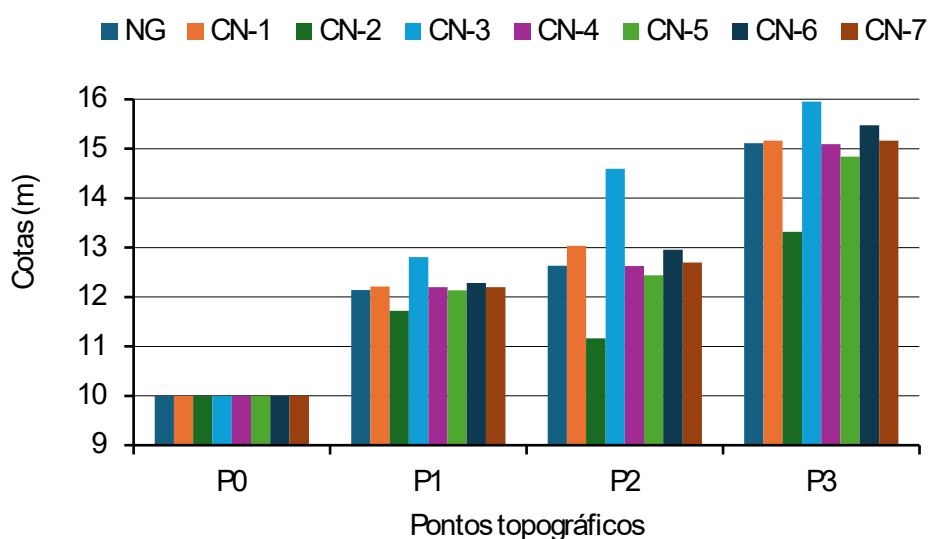


Figura 4. Cotas dos pontos topográficos obtidas pelo nivelamento geométrico (NG) e pelo nivelamento trigonométrico em diferentes condições de estacionamento

De forma geral observa-se que o desvio padrão nas diferentes condições de nivelamento do NT foi menor na condição do teodolito foi instalado corretamente, com a bolha de ar no centro do nível circular (CN-1), em relação às demais condições em que a bolha ficou localizada de forma intermediária (CN-5, CN-6 e CN-7). Por outro lado, o maior desvio padrão ocorreu quando a bolha de ar ficou localizada completamente fora do centro do círculo e nas direções de nivelamento (CN-2 e CN-3) (Figura 5).

O desvio padrão é uma medida que expressa o grau de dispersão de um conjunto de dados, ou seja, o desvio padrão indica o quanto um conjunto de dados é uniforme, quanto mais próximo de 0 for o desvio padrão, mais homogêneo são os dados [16]. Com isso, esses resultados mostram a importância do adequado estacionamento do teodolito a fim de se obter dados mais confiáveis.

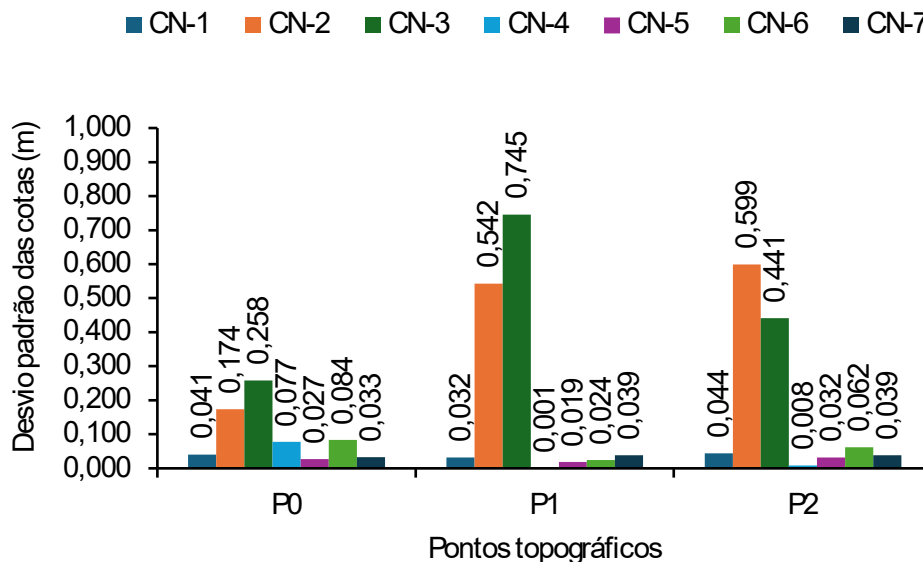


Figura 5. Desvio padrão das cotas de pontos topográficos obtidos por nivelamento trigonométrico em diferentes condições de nivelamento em comparação com as cotas obtidas por nivelamento geométrico.

Comparando-se as cotas obtidas pelo NT nas diferentes condições de nivelamento, com as obtidas com o NG, verifica-se que os erros variaram de acordo com a distância do alinhamento. De modo que no ponto P1, as condições CN-1, CN-4, CN-5, CN-7, proporcionaram menores erros, com valores inferiores a 0,1 m, enquanto que nas condições CN-2 e CN-3 os erros foram de 0,418 e 0,670 m, respectivamente (Figura 6).

Para o ponto P2, os menores erros ocorreram nas condições CN-1, CN-4 e CN-7, cuja variação foi inferior a 0,1 m. Assim como observado no ponto P1, as condições CN-2 e CN-3 proporcionaram maiores erros, com 1,474 m para CN-2 e 1,960 m para CN-3. Já no ponto P3 os menores valores (<0,1m) também foram observados nas condições CN-1, CN-4 e CN-7, com maior diferença entre as condições CN-2 e CN-3, mesmo ambas terem proporcionado maiores erros (Figura 6).

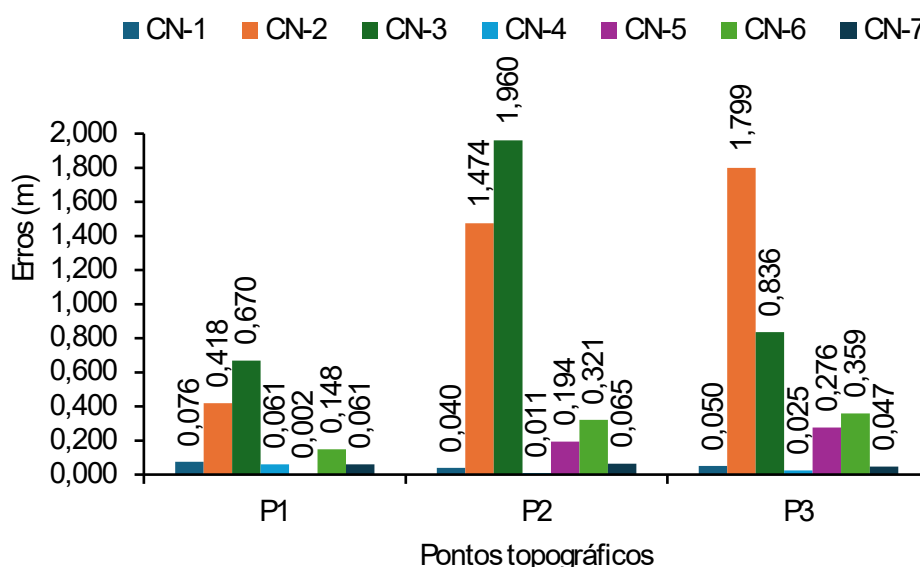


Figura 6. Erros das cotas dos pontos topográficos obtidos por nivelamento trigonométrico em diferentes condições de nivelamento, comparados com as cotas obtidas pelo nivelamento geométrico.

É possível observar também, uma grande variação no CN-2 e CN-3, encontrando-se muito distante do NG, sendo que a CN-3 proporcionou cotas superestimadas, enquanto a CN-2 resultou em cotas subestimadas, em comparação com NG. Já as demais (CN-1, CN-4, CN-5 e CN-7), apesar de terem apresentado erros, graficamente ficaram mais próximas do NG (Figura 7).

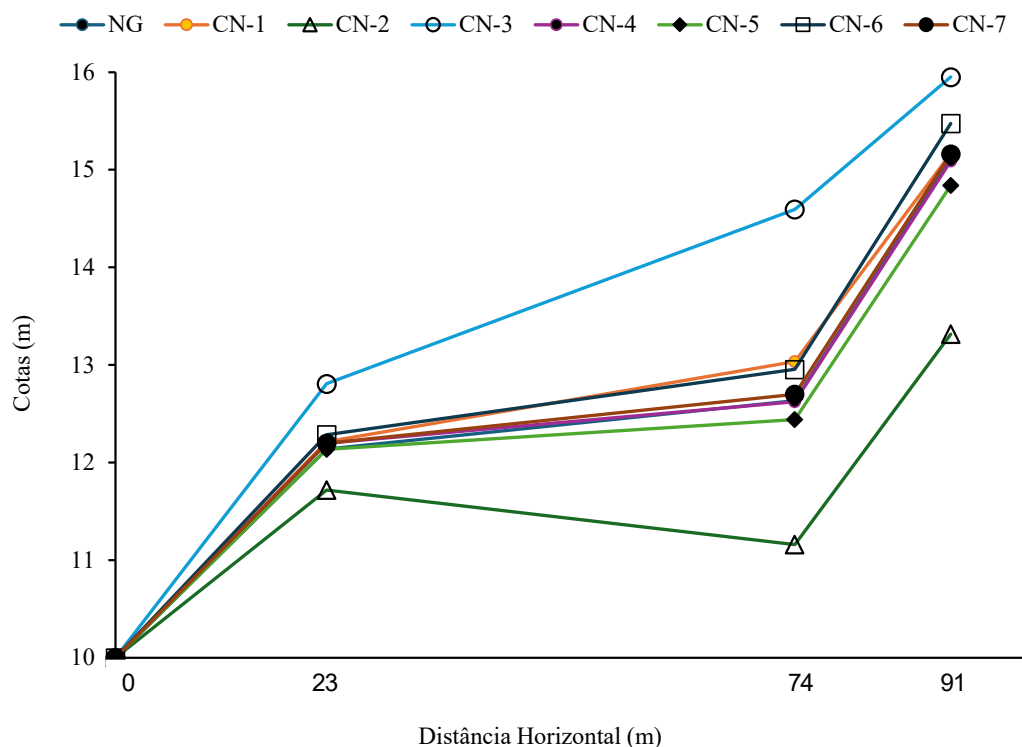


Figura 7. Cotas das cotas dos pontos topográficos obtidos por nivelamento trigonométrico em diferentes condições de nivelamento, comparados com as cotas obtidas pelo nivelamento geométrico

Verificou-se que erros variados nas cotas em todos os pontos de coleta de dados com nivelamento trigonométrico, sendo os mais evidentes quando o teodolito foi estacionado sem o cuidado de nivelar corretamente o nível circular. Sendo o nivelamento trigonométrico classificado como Classe IIIN por apresentar menor precisão em relação ao nivelamento geométrico NBR 13.133 [4]. Outros autores, como Rossi et al. [17], também observaram menor precisão do nivelamento trigonométrico.

Rossi et al. [17], analisando a precisão de levantamentos planialtimétricos pelo nivelamento trigonométrico e por GNSS, verificaram que o nivelamento trigonométrico teve uma variação menor, de 0 a 1,173m. Já Dantas [18] avaliando a utilização Nível de precisão, Teodolito e GPS de navegação, constatou que os modelos tridimensionais obtidos a partir dos nivelamentos geométricos e trigonométricos apresentavam semelhanças satisfatórias.

Gomes & Cardoso [8], também avaliando uso do teodolito e do nível de precisão, verificaram variações muito pequenas entre os dados obtidos por esses equipamentos, sugerindo a substituição do nivelamento geométrico composto pelo nivelamento trigonométrico.

Assim, observa-se a importância do adequado nivelamento do teodolito para obtenção de maior precisão na determinação das cotas por trigonometria. Tornando o ajuste fino da bolha do nível circular imprescindível na obtenção de maiores precisões e acurácia dos dados levantados em campo [14, 19; 20].

3. CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que as condições de estacionamento afetam significativamente a precisão do nivelamento trigonométrico, com variações nas cotas dos pontos topográficos. Além disso, o adequado ajuste na bolha do nível circular foi destacada como um fator crucial para a precisão do nivelamento.

Os erros são maiores foram observados nas condições em que a bolha do nível circular foi posicionada totalmente fora do círculo central, na mesma direção da visada, seja na frente (CN-2) ou por trás (CN-3) do alinhamento.

Este estudo contribui para o entendimento da importância do estacionamento adequado dos equipamentos topográficos e fornece conhecimento para aprimorar a precisão do nivelamento trigonométrico em futuras aplicações

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- [1] McCORMAC, J. C. **Topografia**. 5ª edição, Rio de Janeiro: Editora LTC - Livros Técnicos e Científicos S.A., 2007
- [2] TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de Topografia**. Porto alegre. Bookman, 2014. 308p.
- [3] MOREIRA, A. S. B. **Nivelamento trigonométrico e nivelamento geométrico classe IIN da NBR 13.133 limites e condições de compatibilidade**. Mestrado em Engenharia Civil. São Carlos. Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 120p.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico: procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- [5] MCCORMAC, J.; SARASUA, W.; DAVIS, W. **Topografia**, 6ed., LTC, 2016. 428p
- [6] ABNT, Associação de Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 13.133 – Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro, 1994, atualizada em 2021.
- [7] REGINATO, V. S. C.; ZIMMERMANN, C. C.; ARAÚJO, G. V. **Apostila de Topografia II**. Florianópolis, 2020. 149p. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://petecv.ufsc.br/wp-content/uploads/2020/08/TOPOGRAFIA_II_APOSTILA.pdf
- [8] GOMES, L. N. CARDOSO, L. G. Modelagem numérica da superfície na geração da planimetria segundo dados de quatro equipamentos topográficos. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 81-91, 2008.
- [9] ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. 9ed. Rio de Janeiro, Globo, 1987. 655p.
- [10] CASTRO, A. L. P. **Nivelamento Através do GPS: Avaliação e proposição de estratégias**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2002.
- [11] GOMES, R.H.; SANTOS, A.P.; POZ, W.R.D. et al. Comparação do Nivelamento Trigonométrico, pelo Método Leap-Frog Utilizando Instrumentos de Média Precisão, com o Nivelamento Geométrico de Precisão. V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, **Anais ...** Gramado - RS, p.1-9, ago.2014.
- [12] FERREIRA, Z. A.; RABÊLO, J. P.; BORGES, L. E. O.; GOMES, M. G. B. C.; CASTRO, G. M. C. Análise comparativa entre métodos de determinação de desníveis: Nivelamento geométrico e posicionamento em tempo real (RTK). **Revista Sítio Novo**, v. 13, n. 1, p. 7-82, 2019.
- [13] CASACA, J.M.; MATOS, J.L.; DIAS, J.M.B. **Topografia Geral**, 4ed, Rio de Janeiro: LTC, 2017. 208p.
- [14] VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Apostila. Curitiba, UFPR, 2007, 195p.
- [15] KUANG, S. **Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications**, Ann Arbor Press, Inc., Chelsea, Michigan, 1996. 368p.
- [16] GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. 1. Ed. Paraná. Editora: UFPR, 2004. 319p.
- [17] ROSSI, M. S.; FREITAS, E. R.; VANZELA, L. S. Determinação de volume de solo por diferentes métodos de levantamento planialtimétrico. In: **Encontro de Pós-graduação, Encontro de Iniciação Científica**, Fernandópolis, Universidade Camilo Castelo Branco. 2015. 4p.
- [18] DANTAS, W. C. **Avaliação de metodologias de levantamento planialtimétrico para trabalhos de terraplenagem**. 2013. 54 p. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.
- [19] VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Universidade Federal do Paraná, Dep. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. PR, 2012.
- [20] ZIMMERMANN, C. C. **Apostila de Topografia**. Apostila (didática) - Universidade Federal de Santa Catarina, Dep. de Engenharia Civil. Florianópolis, SC, 2015.