

COMPARAÇÃO ENTRE OS ÂNGULOS HORIZONTAIS OBTIDOS POR DIFERENTES ESTAÇÕES TOTAIS NA DEFINIÇÃO DE UMA REDE PLANIMÉTRICA DE MONITORAMENTO GEODÉSICO

Daniel Carvalho Granemann²
Luis Augusto Koenig Veiga¹
Pedro Luis Faggion¹
Silvio Rogério Correia de Freitas¹
Carlos Aurélio Nadal¹
Cesar Rafael Lopes³

¹ Universidade Federal do Paraná – UFPR - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Departamento de Geomática

kngveiga@ufpr.br,

faggion@ufpr.br,

sfreitas@ufpr.br,

cnadal@ufpr.br

² Universidade Federal do Paraná – UFPR - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas –

daniel.mestrado@ibest.com.br

³ Universidade Federal do Paraná – UFPR - Curso de Engenharia Cartográfica –

cesar.r.lopes@bol.com.br

RESUMO

O monitoramento geodésico de grandes obras de engenharia é uma atividade de grande importância do ponto de vista de segurança das mesmas. Atualmente têm-se empregado técnicas de posicionamento que permitem determinar deslocamentos tridimensionais de pontos. Esta informação é empregada na análise de deformações estruturais. Uma das técnicas utilizadas para se executar este monitoramento é através da implantação de redes planimétricas de monitoramento.

Este trabalho faz uma comparação e análise da influência dos equipamentos e do operador nos resultados obtidos por três estações totais distintas e com diferentes precisões nominais, as quais foram empregadas na implantação da rede planimétrica de monitoramento da Usina Hidrelétrica Salto Caxias, localizada no Rio Iguaçu, sudoeste do Paraná, pertencente à Companhia Paranaense de Energia (COPEL), sendo que uma das estações permite a realização do refinamento de pontaria automaticamente sobre os alvos através de um sistema de busca e pontaria no prisma. Para o estudo definiu-se um quadrilátero formado pelos vértices da rede, aplicando-se o Método dos Correlatos para o ajustamento das observações. Os resultados obtidos mostram que as estações totais testadas neste trabalho podem ser empregadas em projetos dessa espécie.

Palavras-chave: Monitoramento, Geodésia, Ajustamento.

COMPARISON AMONG THE OBTAINED HORIZONTAL ANGLES FOR DIFFERENT TOTAL STATIONS IN THE DEFINITION OF A GEODETIC PLANIMETRIC MONITORING NETWORK

ABSTRACT

The monitoring of large engineering construction is an important activity in the safety point of view. Today many different techniques are used to determine three-dimensional displacements of points. This information is used in the analysis of structural deformations. One of the techniques used to execute this monitoring is the definition of a geodetic planimetric monitoring network.

This work makes a comparison and analysis of the equipments influence and of the operator in the results obtained by three different total stations and with different nominal precisions, which were used in the definition of the planimetric monitoring network of Salto Caxias Dam, located in Iguaçu River, Southwest of Paraná, belonging to the Paraná Energy Company (COPEL), and one of the total stations used allows the accomplishment of the aim refinement automatically using a target recognize. For the study was defined a quadrilateral formed by the vertices of the network, being applied the Method of Correlates for the adjustment of the observations. The obtained results show that the total stations tested in this work can be used to establish these networks.

Keywords: Monitoring, Geodesy, Adjustment.

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de mensuração geodésica permitem determinar se um ponto ou conjunto destes sofreu variação em suas coordenadas ao longo do tempo, e podem conduzir a detecção de movimentos horizontais, verticais ou tridimensionais, dependendo das técnicas empregadas.

Uma rede de pontos interconectados por medidas de ângulos e/ou medidas de distâncias proporcionam redundância de observações para análises estatísticas de qualidade e detecção de erros, fornecendo informações sobre deslocamentos no objeto e do objeto como um todo. Além disso, para se estabelecer a escala da triangulação, é necessário realizar, ao menos, a medição de uma distância, denominada base. A partir da rede básica de monitoramento, definida pelos pontos levantados por triangulação, as coordenadas dos pontos a serem monitorados são determinadas. Se a rede implantada for independente do objeto a ser monitorado (posicionada fora do objeto) é possível a determinação de deslocamentos absolutos dos pontos que estão sendo monitorados, conforme figura 1.

Alguns métodos de levantamento geodésico são utilizados para monitoramento. A saber: triangulação e trilateração geodésicas, poligonação, nivelamento geométrico de precisão e determinação de coordenadas utilizando GPS (Global Positioning System). Em muitos casos estes métodos podem ser combinados para realizar o monitoramento.

O método de triangulação geodésica, aqui empregado, é um dos mais utilizados para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos a partir de uma rede planimétrica de monitoramento. De acordo com BRASIL (1998, p.6), a triangulação é o procedimento em que se obtêm figuras geométricas a partir de triângulos justapostos ou sobrepostos, formados através da medição dos ângulos subtendidos por cada vértice.

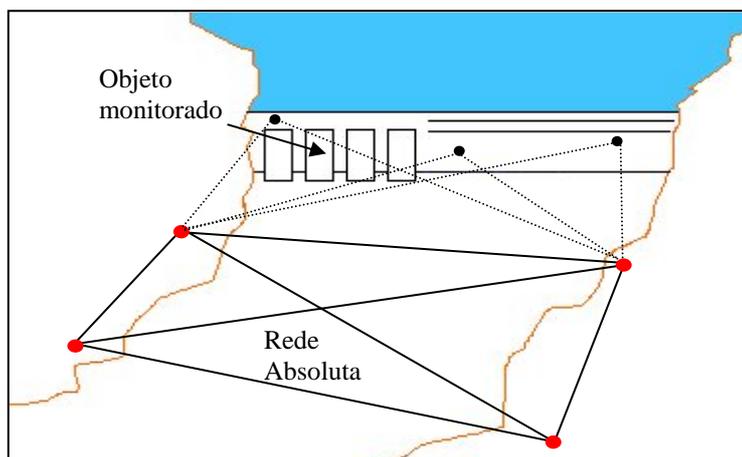


FIGURA 1 – Rede Absoluta
Fonte: VEIGA, et al. (2004)

Este trabalho realiza uma comparação dos resultados obtidos no estabelecimento de uma rede planimétrica de monitoramento implantada na Barragem de Salto Caxias, através de triangulação geodésica utilizando-se 3 diferentes equipamentos: WILD TC 2002 (precisão: angular - 0,5"; linear - 1 mm ± 1 ppm), ZEISS Elta S20 (precisão: angular - 3"; linear - 2 mm ± 2 ppm) e LEICA TCR 705 (precisão: angular - 5"; linear - 2 mm ± 2 ppm). Procedeu-se ao ajustamento das observações, através do método dos correlatos, para a posterior análise dos dados.

2. DESENVOLVIMENTO

Pelo fato da WILD TC2002 ter as melhores precisões nominais, foi definida como padrão para as observações angulares e de distância para este estudo.

Implantou-se uma rede planimétrica de monitoramento à jusante da barragem, composta por 6 vértices (figura 2). Na figura 3 são apresentadas as visadas entre os pilares ocupados para definir o quadrilátero a ser ajustado.

A figura 4 apresenta o pilar com o sistema de centragem forçada instalado, garantindo a reocupação do ponto com erro inferior ao décimo de milímetro (10^{-1} mm). (NADAL, 2000). Na figura 5 tem-se o detalhe do referido sistema.

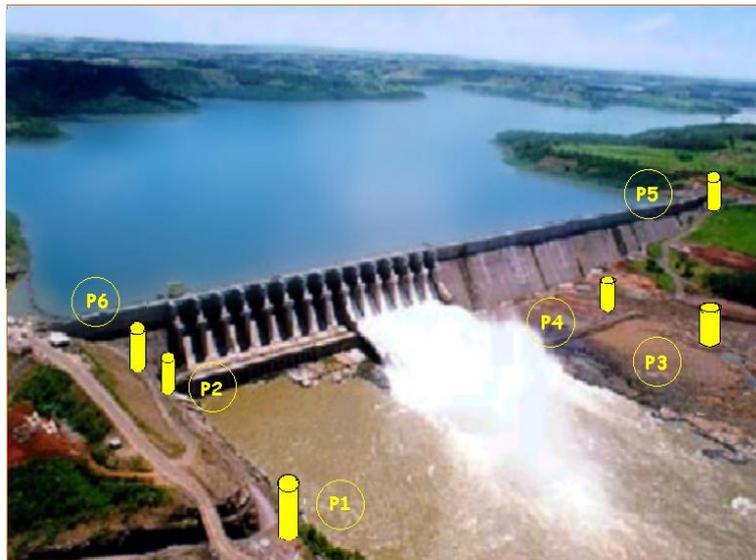


FIGURA 2. Vértices da Rede de Monitoramento Geodésico

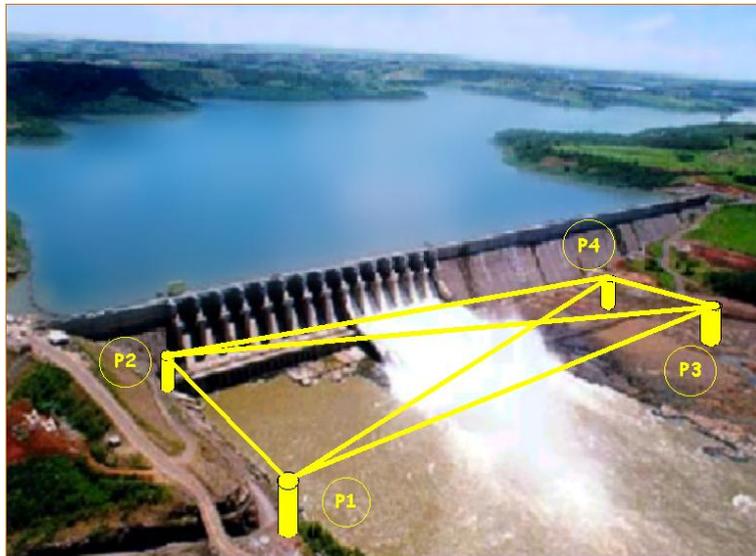


FIGURA 3. Visadas entre os Vértices do Quadrilátero



FIGURA 4. Pilar com o Sistema de Centragem Forçada.



FIGURA 5. Detalhe do Sistema de Centragem Forçada.

Na figura 6 tem-se o perfil da rede de monitoramento. Apresentam-se, em planta na figura 7, os ângulos e as distâncias horizontalizadas e corrigidas dos efeitos atmosféricos.

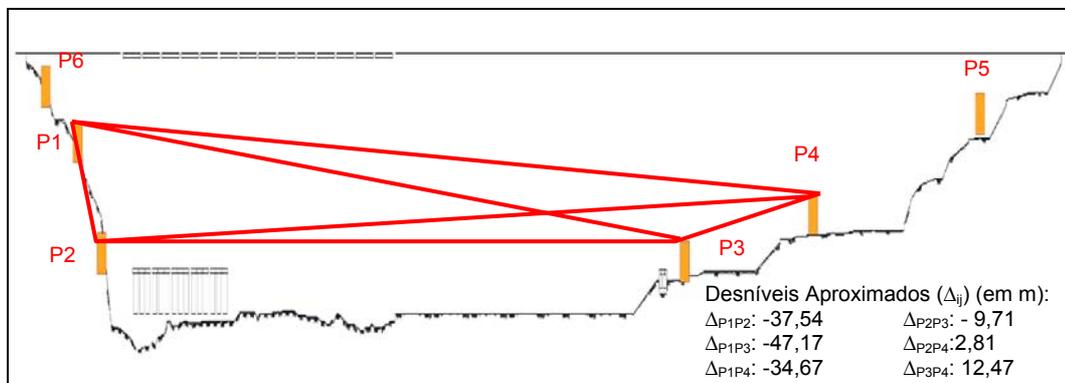


FIGURA 6 – Perfil da Rede de Monitoramento

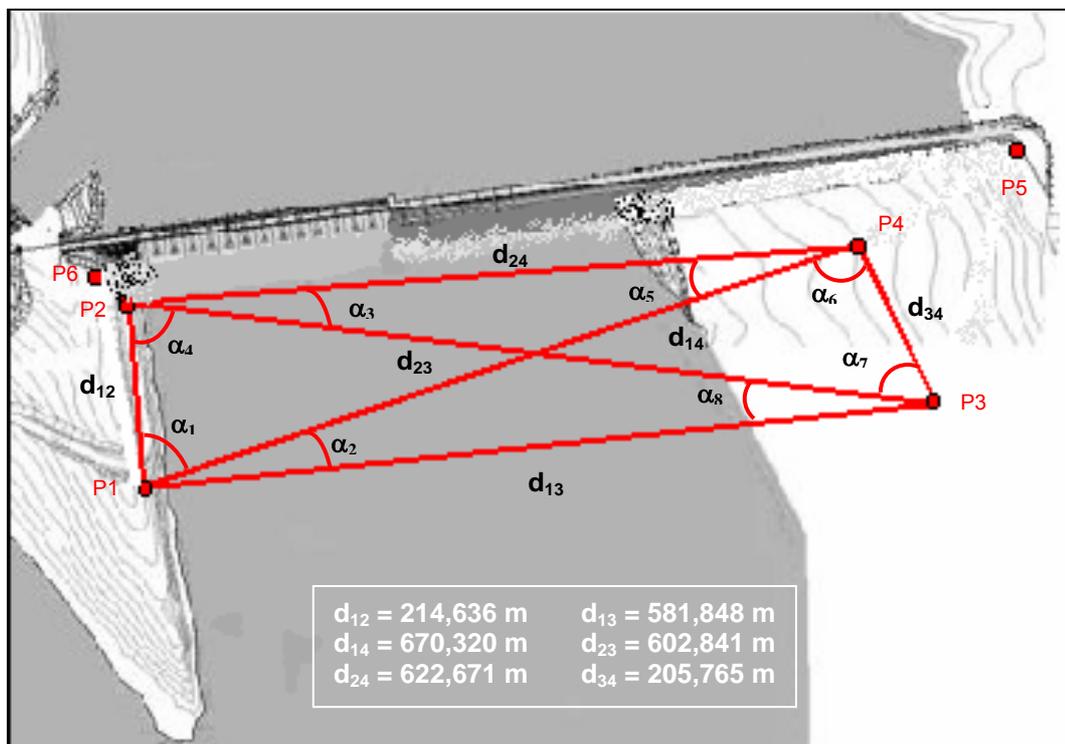


FIGURA 7. Ângulos Observados e Distâncias Horizontalizadas entre os Vértices da Rede

Na figura 8 visualiza-se esquematicamente o projeto de construção dos pilares, implantados de forma a garantir a sua estabilidade.

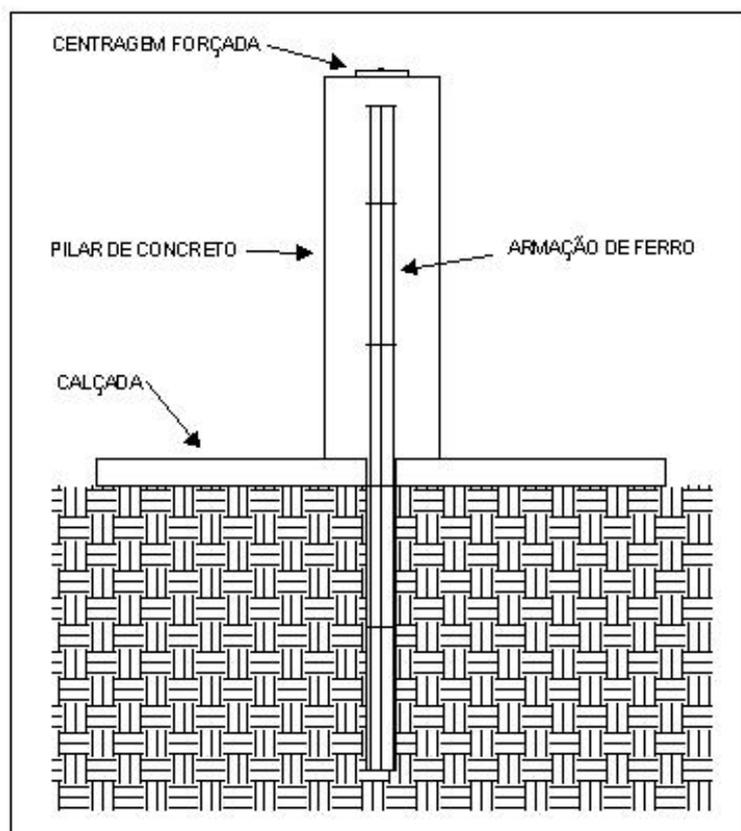


FIGURA 8. Projeto dos Pilares

Cada um dos quatro vértices do quadrilátero foi ocupado com os três equipamentos distintos, definindo-se a geometria apresentada na figura 7.

A estação total LEICA TCR 705 é uma estação com servomotores que permite o reconhecimento automático de prisma. Neste caso, as operações em campo consistem na instalação sobre os pilares, nivelamento através dos parafusos calantes, e pontaria próxima ao seu prisma refletor, sendo que as medições angulares e lineares independem do operador. (LEICA, 1994).

A estação total WILD TC2002, apesar das elevadas precisões, é um equipamento óptico-mecânico. Sendo assim, foi totalmente manuseada pelo operador. (LEICA, 1994).

Apesar da estação ZEISS Elta S20 utilizada ser um equipamento robotizado, que também possui servomotores, este modelo realiza tão somente o tombamento da luneta e mudança de posição direta para inversa, sendo que o refinamento de pontaria é realizado pelo operador. (TRIMBLE ZEISS, 2001).

As leituras com a WILD TC 2002 foram obtidas a partir de 8 séries de medidas, enquanto as demais com 4 séries. As médias das observações angulares realizadas por cada uma das estações e os desvios-padrões da média são apresentados no quadro 1.

QUADRO 1 – Ângulos Médios Observados e Desvios-Padrões

Ângulos	Estações Totais					
	TC 2002	σ	ELTA S20	σ	TCR 705	σ
α_1	68° 01' 35,46"	± 1,05"	68° 01' 40,35"	± 1,32"	68° 01' 38,83"	± 0,96"
α_2	17° 06' 24,69"	± 0,85"	17° 06' 28,40"	± 1,05"	17° 06' 24,92"	± 2,19"
α_3	19° 14' 36,46"	± 1,07"	19° 14' 36,84"	± 0,64"	19° 14' 37,67"	± 1,67"
α_4	74° 05' 15,10"	± 1,04"	74° 05' 17,95"	± 1,46"	74° 05' 22,16"	± 1,00"
α_5	18° 38' 31,90"	± 1,60"	18° 38' 31,95"	± 1,49"	18° 38' 30,08"	± 1,75"
α_6	56° 16' 59,94"	± 0,97"	56° 17' 05,15"	± 0,87"	56° 17' 04,12"	± 1,19"
α_7	85° 49' 46,43"	± 0,23"	85° 49' 47,97"	± 0,82"	85° 49' 57,33"	± 1,58"
α_8	20° 46' 45,49"	± 0,91"	20° 46' 40,73"	± 0,89"	20° 46' 32,83"	± 1,96"

É possível observar no quadro acima, através dos desvios-padrões angulares obtidos para cada uma das estações, que todas as observações se encontram abaixo das precisões nominais das estações totais utilizadas neste trabalho.

De posse dessas observações procedeu-se ao ajustamento dos ângulos aplicando o Método dos Correlatos (GEMAEL, 1994) ao quadrilátero definido pelos pilares P1, P2, P3 e P4 da rede. Os modelos do método são:

$$\begin{aligned} & \text{Modelo Matemático Natural} \\ & F(L_a) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{Modelo Matemático Linearizado} \\ & BV + W = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

onde:

F – função dos ângulos que compõem o quadrilátero;
 La – ângulos ajustados;
 B – matriz das derivadas da função em relação aos ângulos observados;
 V – matriz das correções angulares;
 W – matriz dos erros de fechamento angulares.

Para o caso do ajuste da triangulação, o número de equações será dado por:
 Número de Equações de Condição:

$$C = n - (2v - 4) = n - 2v + 4 \quad (1)$$

Número de Equações de Condição Angulares:

$$C_A = l - v + 1 \quad (2)$$

Número de Equações de Condição Laterais:

$$C_L = l - 2v + 3 \quad (3)$$

onde:

v - número total de vértices;
 n - número total de ângulos medidos e independentes em cada estação;
 l - número total de linhas;
 l₂ - número de linhas visadas em ambas as direções;
 v₂ - número de vértices realmente ocupados;
 l : número total de linhas;
 v : número total de vértices.

Do quadrilátero apresentado na figura 7, tem-se que n = 8, v = 4 e l = 6. Substituindo estes valores nas equações (1), (2) e (3), obtêm-se o número de equações de condição, o número de equações de condição angulares e o número de equações de condição laterais para o ajustamento: C=4, C_A=3 e C_L=1.

Sabendo-se que C_A=3, determinaram-se as equações de condição angulares para o levantamento executado por cada uma das estações. Da figura 7, obtêm-se três triângulos independentes. A saber:

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_2\text{P}_4) = (\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5) \quad (4)$$

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_2\text{P}_3) = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_8) \quad (5)$$

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_3\text{P}_4) = (\alpha_2 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8) \quad (6)$$

A partir das equações (4), (5) e (6) são determinados os excessos angulares para cada um dos triângulos. Sabendo-se que a soma dos ângulos internos de um triângulo é igual a 180°, têm-se os seguintes excessos obtidos pela TC 2002:

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_2\text{P}_4) = (\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 180^\circ) = -1,08'' \quad (7)$$

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_2\text{P}_3) = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_8 - 180^\circ) = 0,74'' \quad (8)$$

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_3\text{P}_4) = (\alpha_2 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8 - 180^\circ) = -3,45'' \quad (9)$$

Para a Elta S20:

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_2\text{P}_4) = (\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 180^\circ) = 7,09'' \quad (10)$$

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_2\text{P}_3) = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_8 - 180^\circ) = 7,43'' \quad (11)$$

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_3\text{P}_4) = (\alpha_2 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8 - 180^\circ) = 2,25'' \quad (12)$$

Para a TCR 705:

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_2\text{P}_4) = (\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 180^\circ) = 9,46'' \quad (13)$$

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_2\text{P}_3) = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_8 - 180^\circ) = -1,26'' \quad (14)$$

$$\text{Triângulo (P}_1\text{P}_3\text{P}_4) = (\alpha_2 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8 - 180^\circ) = -0,80'' \quad (15)$$

A equação linear faltante é obtida através da Lei dos Senos aplicada ao quadrilátero da figura 7. Assim, têm-se:

$$\text{sen } \alpha_7^a / (\text{sen } \alpha_5 + \text{sen } \alpha_6)^a = d_{24} / d_{23} \quad (16)$$

$$(\text{sen } \alpha_1 + \text{sen } \alpha_2)^a / \text{sen } \alpha_8^a = d_{23} / d_{12} \quad (17)$$

$$\text{sen } \alpha_5^a / \text{sen } \alpha_1^a = d_{12} / d_{24} \quad (18)$$

onde:

α_i^a – ângulos observados ajustados;

d_{jk} – distâncias horizontalizadas entre os vértices.

Multiplicando membro a membro as equações (16), (17) e (18), obtém-se:

$$(\text{sen } \alpha_7^a (\text{sen } \alpha_1 + \text{sen } \alpha_2)^a \text{sen } \alpha_5^a) / ((\text{sen } \alpha_5 + \text{sen } \alpha_6)^a \text{sen } \alpha_8^a \text{sen } \alpha_1^a) = 1 \quad (19)$$

Pode-se reescrever a equação (19) da seguinte forma:

$$\text{sen } \alpha_7^a (\text{sen } \alpha_1 + \text{sen } \alpha_2)^a \text{sen } \alpha_5^a = (\text{sen } \alpha_5 + \text{sen } \alpha_6)^a \text{sen } \alpha_8^a \text{sen } \alpha_1^a \quad (20)$$

$$\text{sen } \alpha_7^a (\text{sen } \alpha_1 + \text{sen } \alpha_2)^a \text{sen } \alpha_5^a - (\text{sen } \alpha_5 + \text{sen } \alpha_6)^a \text{sen } \alpha_8^a \text{sen } \alpha_1^a = 0 \quad (21)$$

Como os erros observacionais são inerentes ao processo de mensuração, para cada ângulo α_i^a há um resíduo v_i . Logo:

$$\text{sen } \alpha_i^a = \text{sen } (\alpha_i + v_i) \quad (22)$$

Substituindo a equação (22) na equação (21), e aplicando-se logaritmo para linearizá-la, obtém-se:

$$\begin{aligned} & \log \text{sen}(\alpha_7 + v_7) + \log \text{sen}(\alpha_1 + v_1 + \alpha_2 + v_2) + \log \text{sen}(\alpha_5 + v_5) \\ & - \log \text{sen}(\alpha_5 + v_5 + \alpha_6 + v_6) - \log \text{sen}(\alpha_8 + v_8) - \log \text{sen}(\alpha_1 + v_1) = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

Pelo fato dos ângulos observados ainda não terem sido ajustados, tem-se que:

$$(\text{sen } \alpha_7 (\text{sen } \alpha_1 + \text{sen } \alpha_2) \text{sen } \alpha_5) / ((\text{sen } \alpha_5 + \text{sen } \alpha_6) \text{sen } \alpha_8 \text{sen } \alpha_1) \approx 1 \quad (24)$$

Substituindo os ângulos observados pela TC 2002 no numerador (N) e denominador (D) da equação (24), obtém-se:

$$(N): (\text{sen } \alpha_7 (\text{sen } \alpha_1 + \text{sen } \alpha_2) \text{sen } \alpha_5 = 0,317661430 \quad (25)$$

$$(D): (\text{sen } \alpha_5 + \text{sen } \alpha_6) \text{sen } \alpha_8 \text{sen } \alpha_1 = 0,317676490 \quad (26)$$

Subtraindo a equação (26) da equação (25), obtém-se:

$$N - D = -15,060 \quad (27)$$

O valor da equação (27) irá compor, juntamente com os excessos angulares das equações (7), (8) e (9) a matriz W do ajustamento para os ângulos observados pela TC 2002.

Considerando-se a pequenez dos resíduos v_i , admite-se:

$$\log (\text{sen } (\alpha_i + v_i)) \approx \log \text{sen } \alpha_i + (v_i \Delta_i) \quad (28)$$

onde:

Δ_i – variação do logaritmo do seno do ângulo observado, para uma variação do ângulo de apenas 1" (em unidades da 6ª casa decimal).

Substituindo-se a equação (28) na equação (23), obtém-se:

$$\begin{aligned} & \log \text{sen} \alpha_7 + \log \text{sen}(\alpha_1 + \alpha_2) + \log \text{sen} \alpha_5 \\ & - \log \text{sen}(\alpha_5 + \alpha_6) - \log \text{sen} \alpha_8 - \log \text{sen} \alpha_1 = \\ & - v_7 \Delta_7 - (v_1 + v_2) \Delta_{1+2} - v_5 \Delta_5 + (v_5 + v_6) \Delta_{5+6} + v_8 \Delta_8 + v_1 \Delta_1 \end{aligned} \quad (29)$$

O 2º termo da equação (29) corresponde ao erro de fechamento da equação linear faltante.

Os valores de Δ_i para os ângulos da equação (29), observados pela TC 2002, são apresentados no quadro 2.

Quadro 2. Valores de Δ_i

Ângulos Observados	log sen α_i	Δ_i (em unidades da 6ª casa decimal)
$\alpha_1 = 68^\circ 01' 35,46''$	-0,001151479	0,15
$\alpha_1 + \alpha_2 = 85^\circ 08' 00,15''$	-0,015207904	0,57
$\alpha_5 = 18^\circ 38' 31,90''$	-0,001568512	0,18
$\alpha_5 + \alpha_6 = 74^\circ 55' 31,84''$	-0,450054033	5,55
$\alpha_7 = 85^\circ 49' 46,43''$	-0,495315523	6,24
$\alpha_8 = 20^\circ 46' 45,49''$	-0,032752987	0,85

Rearranjando-se o 2º termo da equação (29) e substituindo-se nesta os valores de Δ_i , resulta:

$$-0,67v_1 + 0,18v_2 + 5,67v_5 - 0,57v_6 + 0,15v_7 - 5,55v_8 \quad (30)$$

A equação (30) será empregada no ajustamento angular de todas as observações, pois os ângulos observados por cada uma das estações totais são muito próximos, fazendo com que os valores de Δ_i sejam iguais para os ângulos observados pelas mesmas.

As matrizes para o método são dadas por:

$$B = \frac{\partial F}{\partial L\alpha} \Big|_{Lb} \quad (31)$$

$$M = BP^{-1}B^T \quad (32)$$

$$K = -M^{-1}W \quad (33)$$

$$V = P^{-1}B^TK \quad (34)$$

onde:

B^T – matriz transposta de B;

Lb – ângulos observados;

M – matriz M;

M^{-1} – matriz inversa da matriz M;

P^{-1} – matriz inversa da matriz dos pesos;

K – matriz K.

Substituindo as equações (4), (5), (6) e (30) na equação (31), obtém-se a matriz:

$$B = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0,67 \end{matrix} & \begin{matrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0,57 & 0,15 & 5,55 \end{matrix} \\ & \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} \end{matrix} \quad (35)$$

Para todos os ajustamentos foi utilizada como matriz dos pesos a matriz identidade (I), ou seja, $P = I$. Assim, os elementos da diagonal são todos iguais, degenerando-se em uma matriz diagonal.

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ & \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ & \begin{matrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ & \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ & \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \\ & \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} \\ & \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{matrix} \\ & \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \end{matrix} \quad (36)$$

Substituindo-se as matrizes (35) e (36) na (32), obtém-se:

$$M = \begin{matrix} & 4 & 2 & 0 & 5 \\ & 2 & 4 & 2 & 5,06 \\ & 0 & 2 & 4 & 5,31 \\ & 5 & 5,06 & 5,31 & 63,7801 \end{matrix} \quad (37)$$

Substituindo-se os resultados das equações (7), (8), (9) e (27) em W, resulta:

$$W = \begin{matrix} 1,08 \\ -0,74 \\ 3,45 \\ 15,060 \end{matrix} \quad (38)$$

Substituindo-se os valores das matrizes (37) e (38) na (33), resulta:

$$K = \begin{matrix} 0,7945 \\ 1,4940 \\ 1,3732 \\ 0,1781 \end{matrix} \quad (39)$$

Por fim, substituindo-se os valores de (35), (36) e (39) na (34), obtém-se as correções angulares para a WILD TC 2002, em segundos de arco:

$$V = \begin{matrix} 0,8189 \\ 0,0888 \\ 0,7945 \\ 0,6996 \\ 1,8040 \\ 1,2717 \\ 1,3999 \\ 0,8673 \end{matrix} \quad (40)$$

Procedendo-se ao ajustamento para a ZEISS Elta S20, as correções, em segundos de arco, foram:

$$V = \begin{matrix} 2,8814 \\ 1,5007 \\ 1,3639 \\ 2,7334 \\ 0,1114 \\ 0,2969 \\ 0,1379 \\ 0,3145 \end{matrix} \quad (41)$$

No caso da LEICA TCR 705, as correções, em segundos de arco, foram:

$$V = \begin{matrix} 0,2688 \\ 2,0116 \\ 3,2932 \\ 0,5157 \\ 5,3824 \\ 0,4896 \\ 0,7549 \\ 0,0329 \end{matrix} \quad (42)$$

Após o ajustamento, os ângulos ajustados de cada uma das estações totais são apresentados no quadro 3.

QUADRO 3 – Ângulos Observados Ajustados

Ângulos	Estação Total		
	TC 2002	ELTA S20	TCR 705
α_1	68° 01' 34,64"	68° 01' 37,47"	68° 01' 38,56"
α_2	17° 06' 24,60"	17° 06' 26,90"	17° 06' 27,04"
α_3	19° 14' 37,25"	19° 14' 35,47"	19° 14' 34,38"
α_4	74° 05' 14,40"	74° 05' 15,22"	74° 05' 21,64"
α_5	18° 38' 33,70"	18° 38' 31,84"	18° 38' 25,42"
α_6	56° 17' 01,21"	56° 17' 04,85"	56° 17' 03,63"
α_7	85° 49' 47,83"	85° 49' 47,83"	85° 49' 56,58"
α_8	20° 46' 46,36"	20° 46' 40,41"	20° 46' 32,80"

3. CONCLUSÃO

A estação total WILD TC 2002 foi utilizada como padrão para a determinação da rede planimétrica de monitoramento na Barragem Salto Caxias, pois a detecção de deslocamentos está implicitamente ligada às precisões do equipamento e da rede planimétrica de monitoramento, ou seja, quanto maior a precisão dos instrumentos maior a possibilidade de determinação e detecção de pequenos deslocamentos. Ressalta-se a importância dos equipamentos estarem perfeitamente verificados, retificados e calibrados antes de quaisquer atividades observacionais.

Analisando o quadro 1 verifica-se que os desvios-padrões das médias angulares encontram-se abaixo das precisões nominais das estações totais, indicando que estas possuem alta repetibilidade. Sendo a estação total WILD TC 2002 adotada como padrão para este levantamento, em virtude da citação do primeiro parágrafo deste item, verifica-se também a acuracidade das observações angulares realizadas com a ZEISS Elta S20 e LEICA TCR 705 em relação à TC 2002.

Analisando as observações realizadas por cada uma das estações totais, constata-se que os resíduos angulares obtidos pela WILD TC 2002 foram menores para as equações de erro do método dos correlatos, o que era esperado em face de sua precisão angular.

Ainda que os resíduos da ZEISS Elta S20 e LEICA TCR 705 sejam maiores, estes se encontram dentro ou muito próximas de suas respectivas precisões nominais. No caso da primeira, a influência do operador no refinamento de pontaria por ter acarretado tais erros, diferente da segunda, que não foi diretamente operada nas observações.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, Ministério do Planejamento e Orçamento, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Geodésia – Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, Coletânea de Normas Vigentes, 1998.
- CHRZANOWSKI, A. Design and Error Analysis of Surveying Projects – Selected Papers and Lecture Notes, 1977,
- GEMAEL, C. Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas. 1ª Edição. Editora UFPR. Curitiba, 1994, 319 p.
- LEICA, User Manual Wild TC2002, Heerbrugg, 1994.
- LEICA, User Manual TCR 705, Heerbrugg, 1994.
- MOREIRA, A. P. Métodos de Cálculo de Coordenadas Tridimensionais para o Controle de Obras de Engenharia. (Tese Doutorado) Curso de Pós-Graduação em Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998, 206 p.
- NADAL, C. A. Método de Interseção Óptica Tridimensional Aplicada à Engenharia de Precisão. (Tese Doutorado) Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000, 116 p.
- NADAL, C. A., VEIGA, L. A. K., FAGGION, P. L., De REITAS, S. R. C., GRANEMANN, D. C., ZOCOLOTTI, C. A. Revisão Bibliográfica Realizada para o Projeto de Pesquisa – Integração da Auscultação Geodésica com a Instrumentação de Controle e Segurança de Barragem de Salto Caxias. Curitiba, 2004, 75 p.
- TRIMBLE ZEISS, User Guide Elta® S20, Edition 6, 2001.

SUPORTE

Este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento realizado em parceria com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Companhia Paranaense de Energia (COPEL), Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Laboratório de Tecnologia (LACTEC).