

Capítulo 9

AJUSTAMENTOS, RESULTADOS, COMPARAÇÕES E ANÁLISES

Os vetores resultantes do processamento - também chamado de ajustamento primário - terão agora que ser ajustados conjuntamente em uma rede. Assim, serão detectados erros nos vetores observados e, após eliminar aqueles que contém erros acima de determinada tolerância, serão calculadas as coordenadas dos pontos que formam a rede.

De uma forma geral, considerando vetores no espaço tridimensional como observações a serem ajustadas pelo método dos mínimos quadrados, a matriz normal ($A^T P A$) é singular com deficiência de *rank* igual a três e esta deficiência pode ser removida fixando, no mínimo, as três coordenadas de uma estação, ou seja, fixando três parâmetros de translação, uma vez que os vetores contém informações de escala e rotações.

Este capítulo tem como objetivo descrever o processo de ajustamento de uma rede geodésica utilizando dois diferentes programas e apresentar os resultados dos diversos processamentos e ajustamentos realizados, bem como as comparações que possibilitarão análises e as conclusões do capítulo final.

Foram usados os programas *COLUMBUS* e *ADJUST*. O primeiro é um programa comercial que tem sido utilizado pelo Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (Larocca, 2000), ao qual tivemos acesso para ajustar os vetores independentes da Rede Minas. O segundo é um programa científico, já descrito no capítulo 6, desenvolvido e utilizado pelo NGS: *U.S. National Geodetic Survey*.

9.1 - Ajustamento com o programa *COLUMBUS*

O *COLUMBUS* v 1.10 é um programa que ajusta conjuntamente diversas observações geodésicas, dentre elas os vetores GPS. É um programa de fácil interação com o usuário, apresentando boas saídas gráficas dos resultados o que o

torna interessante para fins didáticos. No ajustamento de vetores GPS é possível entrar com os diversos valores de um mesmo vetor, observados em diferentes sessões; porém, não são consideradas as correlações entre componentes de diferentes vetores e, portanto, emprega o método base-simples mesmo que tenham sido utilizados três ou mais receptores numa mesma sessão de observação.

9.1.1- Entrada de dados

Uma vez que o *COLUMBUS* não lê o arquivo gravado pelo *OMNI* com as soluções do processamento, é necessário elaborar um programa de comunicação entre eles ou, então, entrar com os dados manualmente. Esta última forma é bastante laboriosa, já que são muitas observações com suas variâncias e covariâncias e existe a necessidade de garantir a integridade e correção dos dados, evitando erros de digitação. O arquivo de entrada de dados, em código ASCII e formato próprio, pode ser escrito utilizando um editor de textos que permita essa saída ou através de uma caixa de diálogo para a entrada de coordenadas geodésicas aproximadas e de observações GPS.

9.1.2- Coordenadas aproximadas, vetores e matrizes das variâncias

Como coordenadas aproximadas, podem ser utilizadas as mesmas coordenadas geodésicas - latitudes, longitudes e alturas geométricas – empregadas no processamento.

Os vetores podem ser extraídos diretamente dos arquivos *SAVIT* ou dos arquivos *Vdddsgf* de cada sessão. Já as variâncias e covariâncias entre as componentes de cada vetor devem ser calculadas previamente, a partir dos desvios padrão e dos coeficientes de correlação gravados nos arquivos resultantes do processamento. Esta tarefa pode ser feita utilizando planilhas de cálculos, ou através de programa computacional desenvolvido para isso.

9.1.3- Escolha do sistema de referência

Deve-se escolher, de uma lista que pode ser modificada pelo usuário, o modelo geodésico terrestre a ser empregado no ajustamento.

As observações da Rede Minas processadas pelo *OMNI*, com efemérides precisas, geram vetores referenciados ao sistema de coordenadas ITRF97, na época 2001,3. Para ajustar estes vetores e ter como resultado as coordenadas no WGS84, faz-se necessário transformá-los para este sistema, antes de ajustá-los. Com o *COLUMBUS*, estas transformações têm de ser realizadas a parte, o que nem sempre é feito.

Um dos objetivos desse trabalho é verificar o efeito da não transformação dos vetores no ITRF97 para o WGS84, nas coordenadas e nos desvios padrão resultantes do ajustamento.

9.1.4- Parâmetros para verificação da qualidade dos vetores

Para a verificação da qualidade dos vetores a serem ajustados, faz-se necessário atribuir valores para os seguintes critérios de tolerâncias:

- resíduo padronizado,
- razão ‘resíduo/desvio padrão da observação’ e
- valor máximo para os resíduos.

Sendo o resíduo padronizado a razão entre o valor do resíduo e seu desvio padrão, este critério pode não ser o mais adequado, uma vez que observações com grandes resíduos e que possuem grandes desvios padrão, não serão detectadas como problemáticas.

Já a razão ‘resíduo/desvio padrão da observação’ é sensível à variância de referência *a posteriori* e esse teste é válido somente se ela for unitária. Se for diferente de 1, o teste pode levar a resultados inesperados. O manual do programa recomenda que, se for este o caso, o ajustamento pode ser refeito escalando a variância *a priori* de tal forma que a *a posteriori* seja igual a 1.

A unidade para o valor máximo do resíduo é a unidade linear, previamente escolhida. Normalmente o metro.

Inicialmente, no ajustamento com o programa *COLUMBUS*, foram atribuídos, seguindo orientações do manual, os seguintes valores para estas constantes:

- Resíduo padronizado: 4,13386;
- Razão ‘resíduo/desvio da observação’: 15
- Valores dos resíduos das observações: 0,15 m.

Estes valores podem ser alterados na medida em que os dados são ajustados, para tornar o ajustamento mais, ou menos, rigoroso.

9.1.5 – Variância de referência *a priori*

Os desvios padrão vindos do processamento são notadamente otimistas. Expressam apenas a precisão interna das fases observadas e não consideram fatores externos, como, por exemplo, erros na medida da altura da antena. Este otimismo pode ser verificado comparando os diversos valores, para um mesmo vetor, obtidos em diferentes sessões, como realizado no capítulo anterior e mostrado na Tabela 8.5.

Se se utilizam estes desvios para formar a matriz dos pesos dos vetores, com uma variância de referência *a priori* igual a 1, certamente a variância de referência *a posteriori* será maior que 1 e a hipótese nula, no teste da variância de referência, será rejeitada.

Neste trabalho, inicialmente, foi atribuído o valor 1 para variância de referência *a priori*. Como se verá, esse valor teve de ser alterado.

9.1.6- Vetores independentes escolhidos para o ajuste

Para avaliar o efeito da escolha de diferentes vetores no ajustamento de uma rede, foram realizados ajustamentos com o programa *ADJUST*, descritos mais adiante, no tópico 9.4.3, utilizando dois conjuntos diferentes de vetores, originando assim, as estratégias 1 e 2.

A Figura 9.1 mostra os vetores escolhidos para ajustamento, tanto com o *COLUMBUS* quanto com o *ADJUST*, na estratégia 1. As estações grafadas em vermelho, e inscritas em um retângulo, são aquelas usadas como referência no processamento dos vetores.

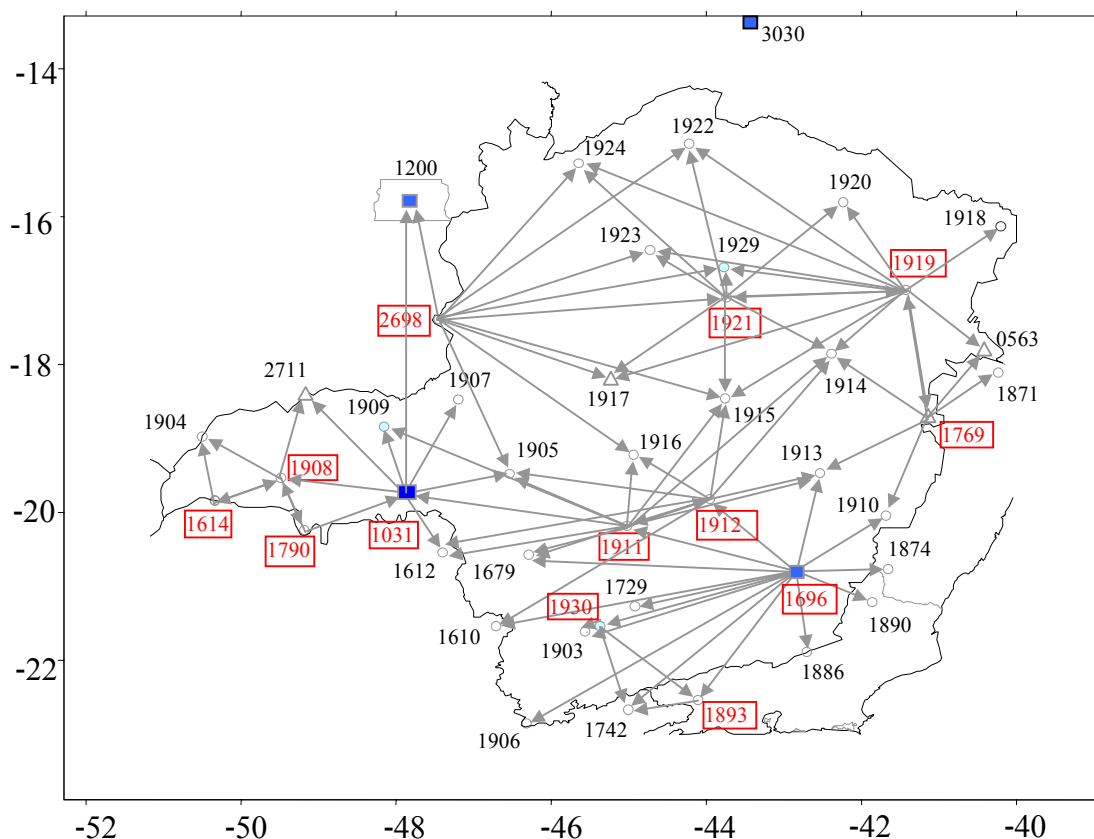


Figura 9.1 – Representação dos vetores independentes observados na estratégia 1.

9.1.7- Ajustamento com injunções mínimas

Selecionadas as estações e as observações que farão parte do ajustamento e atribuídos valores às tolerâncias para que as observações sejam, ou não, consideradas *outliers*, o passo seguinte é escolher a estação que terá suas coordenadas fixadas no ajustamento com injunções mínimas. O objetivo nesta fase do ajustamento é avaliar a qualidade dos vetores e eliminar aqueles que supostamente possuem erros grosseiros. Foi escolhido para ser fixado, a estação 1031 (CHUÁ), o marco zero do *Datum* sul Americano de 1969. A qualidade dos vetores independe da estação a ser fixada.

A Tabela 9.1, reproduz o cabeçalho do arquivo de resultados do *COLUMBUS*, e mostra um resumo do ajustamento realizado. Nela verifica-se que foram ajustadas 783 observações de 43 estações, sendo uma fixa. Verifica-se também que o teste de hipótese baseado na distribuição de qui-quadrado, aponta uma

diferença significativa entre as variâncias de referência *a priori* e a *a posteriori* a um nível de confiança de 95%. Isto significa que pode haver um ou mais dos seguintes problemas:

- As variâncias das observações foram avaliadas de forma otimista, ou seja, a qualidade os vetores observados foi superestimada;
- Há observações com erros grosseiros. O que pode ter sido causado, por exemplo, por erros na medida da altura da antena, pelo multicaminhamento do sinal GPS ou por erros residuais, devido à refração atmosférica.

Tabela 9.1 – Cabeçalho do arquivo de resultados do programa *COLUMBUS*, mostrando informações do ajustamento dos vetores da estratégia 1.

DATE:	02/01/2002	TIME:	09:39:38
WGS84	Major = 6378137.0000	1/f =	298.25722356
Linear Units:	Meters		
Angular Units:	Degrees		
3D GEODETIC NETWORK ADJUSTMENT SUMMARY			
Datum	WGS84	1D Expansion Factor	1.95937
Linear Units	Meters	2D Expansion Factor	2.44788
Angular Units	Degrees	3D Expansion Factor	2.79532
Field Observations	783	A Priori Variance	1.00000
Coord Observations	0	A Posteriori Variance	688.97834
TOTAL OBSERVATIONS	783	Confidence Level	95.0
		Chi Square Test On Variance Factor	620.165 < 1.0 < 769.943 (Fails)
Num Stations	43	Variance Factor Used	688.97834
Fixed In 1D	0	No Check Observations	0
Fixed In 2D	0	Stan Res Rejections	0
Fixed In 3D	1	(Tau Stat = 4.134)	
Float Coord Parm	126	Resid/SD Rejections	138
Direction Parm	0	Residual Rejections	28
Scale Parm	0	TOTAL OUTLIER OBS	139
Rotation Parm N	0	Iterations	2
Rotation Parm E	0	Convergence Criteria	0.00100
Rotation Parm Up	0	Zenith Angle Refraction	0.00000
TOTAL PARMS	126	Rotate Bearings	No
Degrees Of Freedom	657	Use Full Covariance	Yes

Que as variâncias das observações estão superestimadas, já se verificou. Na impossibilidade de obter valores realistas para os desvios padrão dos vetores processados, adotam-se fatores de escala para estes desvios que podem variar de

acordo com comprimento do vetor, ou, mais simplesmente, adota-se um fator único de escala para toda rede, que, neste caso, seria igual a variância de referência *a posteriori*.

Comparando os desvios padrão das componentes de um mesmo vetor observado em várias sessões, com os desvios de uma observação isolada, Tabela 8.5, verifica-se que as relações entre estes desvios variam de 1 a 25, de vetor para vetor. As variações destes valores para diferentes componentes de um mesmo vetor são menores.

Segundo Rizos (1999), os fatores de escala para as variâncias variam com o tipo de instrumento e programa usados, com o comprimento dos vetores, com o tempo e a técnica de observação e com as condições meteorológicas. Segundo esse mesmo autor, estes valores podem variar de 1 a 800, dependendo do tipo de receptor utilizado.

Rizos (1999) descreve alguns métodos para modificar as variâncias dos vetores observados. Porém, devido à dificuldade de estabelecer, *a priori*, um fator de escala para as variâncias dos vetores da Rede Minas, procurou-se inicialmente encontrar e eliminar *outliers*.

9.1.8 – Verificando e eliminando *outliers*

Com os critérios adotados para detecção de observações com prováveis erros grosseiros, apontados acima, o programa detectou, como se pode verificar na Tabela 9.1, que 139 das 783 observações possivelmente são *outliers* e a Tabela 9.2, que lista novamente os valores de tolerâncias, mostra parte da lista de observações com erros grosseiros gerada pelo *COLUMBUS* ao executar o primeiro ajuste.

Antes de eliminar uma observação marcada como uma possível *outlier*, deve-se examiná-la com cuidado; pois observações boas, quando são ajustadas juntamente com observações ruins, podem ser equivocadamente eliminadas.

Tabelas como as 8.5 e 8.6 podem ajudar a considerar uma observação como sendo *outlier*. Além destas, outras formas que podem ser empregadas nesta avaliação, serão descritas a seguir.

Na Figura 9.2, histograma dos resíduos padronizados, verifica-se que, embora a hipótese nula, no teste de qui-quadrado, seja rejeitada¹, os resíduos estão bem distribuídos em torno da média indicando que eles seguem uma distribuição normal e portanto, resíduos de mesmo módulo e sinais opostos são equiprováveis e grandes resíduos podem ocorrer, mas em quantidade bem menor que os pequenos. Neste gráfico, o eixo das ordenadas representa a frequência relativa e o eixo das abscissas - dividido em quatorze classes com intervalos de 0,5 desvios padrão, sete à esquerda da média teórica e sete à direita - contem dois valores:

- CNT, que representa a frequência dos resíduos padronizados em cada classe;
- STD, representa o número de desvios padrão adicionados à media dos resíduos.

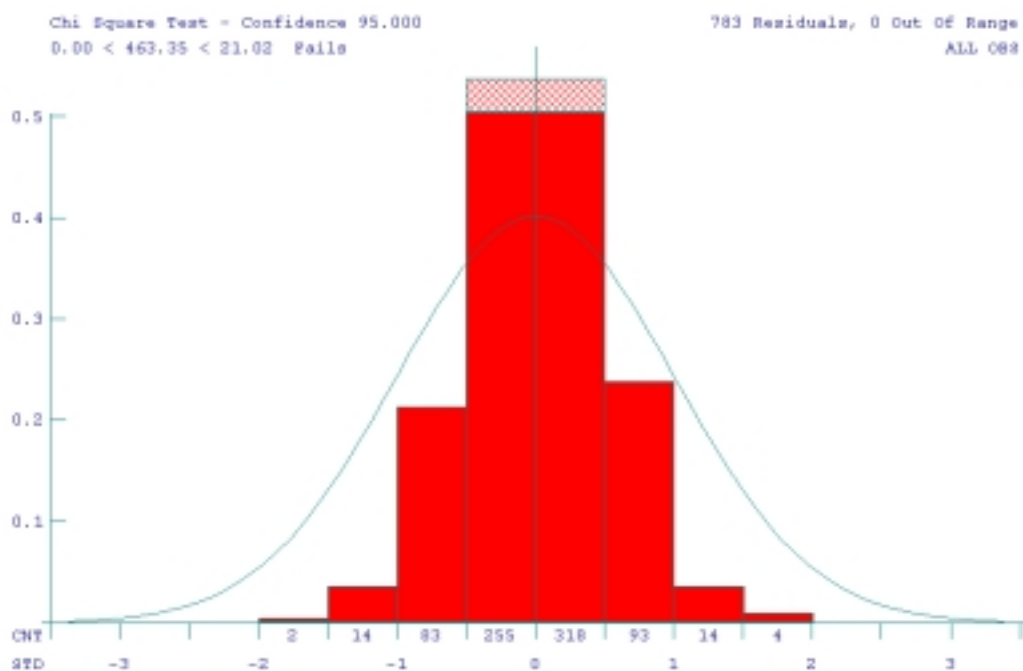


Figura 9.2 – Histograma dos resíduos padronizados antes de eliminar *outliers*

¹ Segundo o manual que acompanha o programa *COLUMBUS*, o teste do qui-quadrado para verificar a distribuição dos resíduos, tem-se mostrado muito sensível ao número de classes adotado.

Tabela 9.2 – Parte das observações marcadas como possíveis *outliers*.

Outlier Observations (Mark To Mark) Order By Residual / A Priori SD Ratio						
Standardized Residual Rejection Constant (Tau Stat)						= 4.13386
Residual / A Priori Stan Dev Rejection Constant						= 15.00000
Residual Rejection Constants For Each Observation Type						
Delta X						= 0.15000
Delta Y						= 0.15000
Delta Z						= 0.15000
Stations	Observations	SDobs	Rd	Rd/SDres		
		SDaju	SDres	Rd/SDobs		
AT 1912	Delta X -276242.04990	0.0095	-0.3758	-1.5335	23	
TO 1610	ADJUSTed -276242.42567	0.0462	0.2450	-39.5547		
AT 1912	Delta X 166240.42320	0.0098	0.3733	1.4681	23	
TO 1914	ADJUSTed 166240.79647	0.0391	0.2542	38.0883		
AT 1696	Delta X -328728.41940	0.0078	-0.2869	-1.4370	23	
TO 1610	ADJUSTed -328728.70633	0.0453	0.1997	-36.7856		
AT 1912	Delta X -275382.42830	0.0100	-0.3515	-1.3632	23	
TO 1612	ADJUSTed -275382.77984	0.0490	0.2579	-35.1539		
AT 1696	Delta X -311972.12860	0.0076	-0.2278	-1.1792	23	
TO 1906	ADJUSTed -311972.35645	0.0496	0.1932	-29.9796		
AT 1769	Delta X -104224.28540	0.0041	-0.1225	-1.2819	2	
TO 1913	ADJUSTed -104224.40787	0.0495	0.0955	-29.8717		
AT 1031	Delta X 104466.10840	0.0028	-0.0829	-1.2310	2	
TO 1200	ADJUSTed 104466.02545	0.0293	0.0674	-29.6249		
AT 1911	Delta X -173465.24990	0.0084	-0.2284	-1.0742	23	
TO 1612	ADJUSTed -173465.47827	0.0585	0.2126	-27.1874		
AT 1696	Delta Z -184535.46020	0.0031	0.0478	0.6191	2	
TO 1893	ADJUSTed -184535.41237	0.0255	0.0773	15.4291		
AT 2698	Delta Z -127354.80700	0.0023	0.0351	0.6042	2	
TO 1915	ADJUSTed -127354.77189	0.0164	0.0581	15.2631		
AT 1912	Delta Z -68561.63820	0.0020	0.0305	0.6663	2	
TO 1612	ADJUSTed -68561.60768	0.0256	0.0458	15.2622		
AT 1919	Delta Z 98848.97200	0.0013	-0.0198	-0.7294	2	
TO 1918	ADJUSTed 98848.95225	0.0208	0.0271	-15.1960		
1 - Exceeds Standardized Residual (Rd/SDres) Rejection Constant						
2 - Exceeds Residual/(A Priori SD) Rejection Constant						
3 - Exceeds Observation Residual Rejection Constant						

Na Tabela 9.2, onde:

Delta X, Delta Y e Delta Z são as componentes dos vetores resultantes do processamento das duplas diferenças de fases, SDobs é o desvio padrão da observação, vindo do processamento, ADJUSTed são os valores das componentes ajustados, SDaju representa o desvio padrão da componente ajustada, RD é o resíduo da observação, ou seja, o valor ajustado menos o observado e SDres é o desvio padrão do resíduo, calculado no ajustamento,

verifica-se que o vetor de 1912 para 1610 é uma provável *outlier*, por duas razões: os valores absolutos do resíduo (RD) e da razão Rd/SDobs, da componente Delta X, são, respectivamente, maiores que 0,15 m e 15,00.

A análise das elipses relativas, resultantes do ajustamento e independentes da posição da estação fixada, também ajuda na detecção de observações ruins, uma vez que elas representam uma estimativa da precisão da distância espacial ajustada entre duas estações.

É importante lembrar que a forma e o tamanho destas elipses dependem da qualidade das observações e da matriz variância-covariância *a priori*. O esperado, normalmente, é que os semi-eixos maiores estejam orientados na direção leste-oeste e, se as ambigüidades forem resolvidas, que elas tenham uma forma circular, (Rizos, 1999).

Com um nível de confiança igual a 95%, os semi-eixos das elipses são multiplicados por 2,448, que é, aproximadamente, a raiz quadrada do valor da distribuição de qui-quadrado com dois graus de liberdade e $\alpha = 0,05$. Já o eixo das alturas são multiplicados por 1,959, que é a raiz quadrada do valor da mencionada distribuição, para o mesmo α ; porém, com grau de liberdade igual a 1.

Na Figura 9.3 são mostradas as elipses absolutas e relativas e na Tabela 9.4 os valores dos elementos das elipses absolutas em todas as estações². Por ora, o importante é avaliar as relativas. Observando esta figura verifica-se que os vetores que ligam a estação 1696 (VICO) às estações 1874, 1886 e 1890 podem conter erros.

² Vale lembrar que as variâncias e covariâncias resultantes foram escaladas pelo “variance factor used” mostrado na Tabela 9.1.

Além destas, outras que podem estar contaminadas, são as observações entre as estações 1769 e 1871.

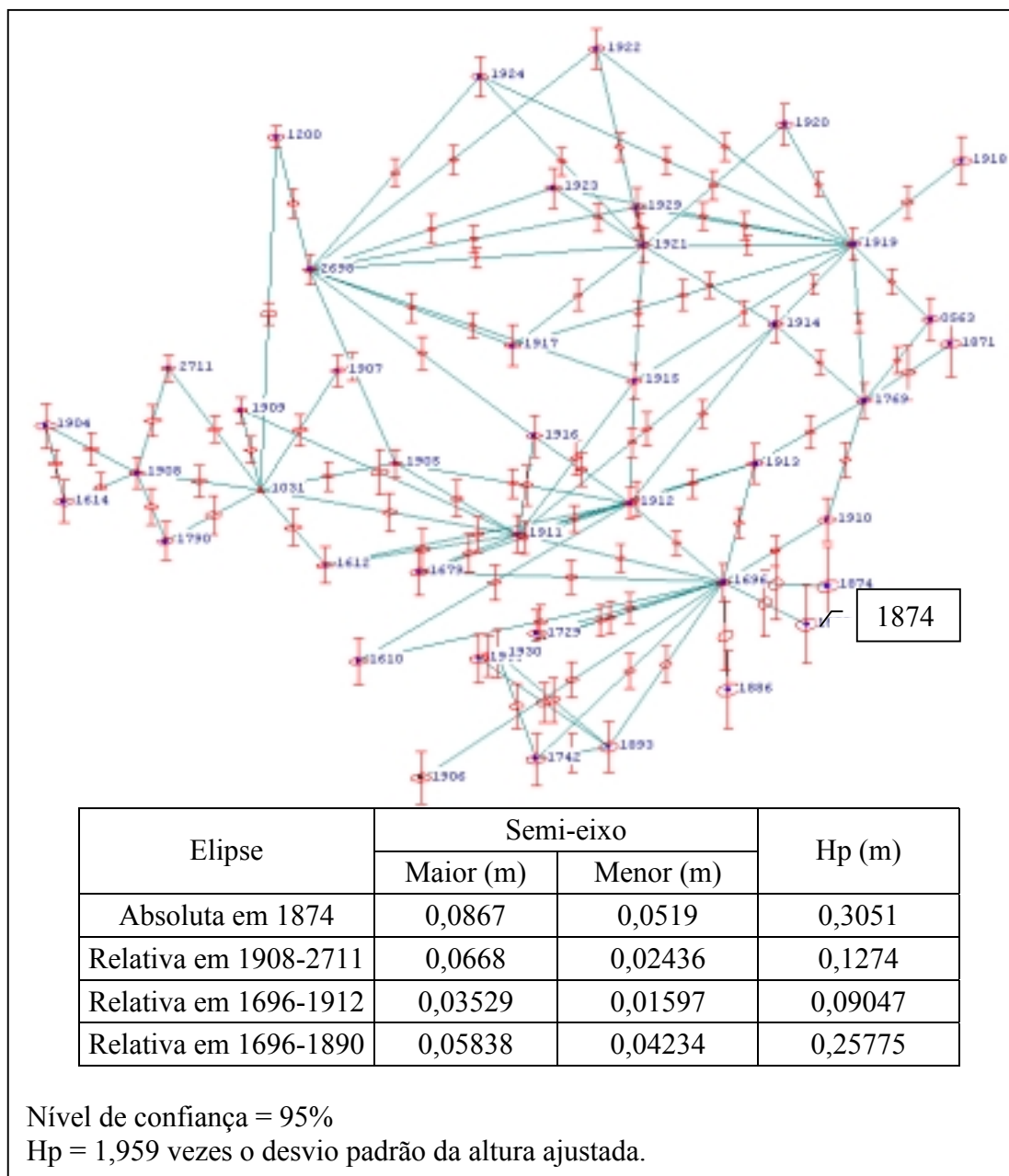


Figura 9.3 – Elipses relativas resultantes do ajustamento com o *COLUMBUS*, antes de eliminar *outliers*.

Porém, analisando a Tabela 9.3, que contém os vários valores de um mesmo vetor, suas médias e desvios, verifica-se que não há nenhum vetor, ligando as estações 1696 a 1874, 1886 e 1890 que possa ser considerado *outlier* e portanto esses vetores não devem ser eliminados *a priori*.

Tabela 9.3 - Resultados do processamento dos vetores com origem na 1696 e término nas estações 1874, 1886 e 1890. Média dos valores e desvio padrão da média.

Vetor		Sessão	Componentes do vetor			Desvios Padrão das componentes resultantes do processamento.		
			ITRF97 (m)			(m)		
De	Para		ΔX	ΔY	ΔZ	$S(\Delta x)$	$S(\Delta y)$	$S(\Delta z)$
1696	1874	100A	82718,3215	92226,2282	-2105,1295	0,0065	0,0053	0,0026
		101A	82718,3236	92226,2742	-2105,1009	0,0028	0,0033	0,0017
		101B	82718,1827	92226,3378	-2105,0707	0,0078	0,0065	0,0032
		$\overline{\Delta x}$	82718,2759	92226,2801	-2105,1004			
		Compr.	123904,9287 m					
		$S(x)$	0,0807	0,0550	0,0294			
		$S(\overline{x})$	0,0330	0,0225	0,0120			
	1696	1886	100A	-29062,5549	38177,8172	-119775,1502	0,0066	0,0054
101A			-29062,6306	38177,8805	-119775,1269	0,0027	0,0033	0,0017
101B			-29062,7129	38177,9374	-119775,0886	0,0069	0,0055	0,0027
$\overline{\Delta x}$			-29062,6328	38177,8784	-119775,1219			
		Compr.	129028,163 m					
		$S(x)$	0,0790	0,0601	0,0311			
		$S(\overline{x})$	0,0323	0,0246	0,0127			
1696		1890	100A	54057,7777	85525,8403	-44705,3010	0,0063	0,0052
	101A		54057,8493	85525,8256	-44705,3196	0,0027	0,0032	0,0017
	101B		54057,7491	85525,8770	-44705,2962	0,0072	0,0058	0,0029
	$\overline{\Delta x}$		54057,7920	85525,8476	-44705,3056			
		Compr.	110614,1033 m					
		$S(x)$	0,0516	0,0265	0,0124			
		$S(\overline{x})$	0,0211	0,0108	0,0050			

A Tabela 9.4 mostra os valores dos elementos das elipses em todas as estações. Verifica-se nesta tabela que os semi-eixos menores estão entre 2 a 5 cm, os maiores entre 5 a 9 cm e o semi-eixo das alturas entre 9 a 30 cm, com um nível de confiança de 95%.

Tabela 9.4 – Valores dos elementos das elipses das estações resultantes do ajustamento com o *COLUMBUS*, antes de eliminar *outliers*.

Estação	Semi-eixos		Azimute (°)	Hp (m)
	Maior (m)	Menor (m)		
0563	0,0674	0,0288	85,9	0,1619
1031	0,0000	0,0000	90,0	0,0000
1200	0,0663	0,0300	86,1	0,0855
1610	0,0753	0,0325	86,3	0,1781
1612	0,0660	0,0264	86,0	0,1420
1614	0,0774	0,0278	89,0	0,1632
1679	0,0708	0,0306	85,8	0,1740
1696	0,0618	0,0264	85,9	0,1439
1729	0,0757	0,0339	87,2	0,1852
1742	0,0776	0,0384	86,0	0,1984
1769	0,0612	0,0257	85,1	0,1417
1790	0,0625	0,0279	85,6	0,1502
1871	0,0862	0,0372	86,3	0,2544
1874	0,0867	0,0519	78,7	0,3050
1886	0,0875	0,0542	75,8	0,2976
1890	0,0844	0,0516	78,8	0,2951
1893	0,0752	0,0395	84,9	0,2000
1903	0,0741	0,0349	85,9	0,1863
1904	0,0842	0,0312	88,8	0,1739
1905	0,0501	0,0177	85,8	0,1075
1906	0,0797	0,0392	85,1	0,1981
1907	0,0597	0,0230	84,5	0,1196
1908	0,0590	0,0209	88,6	0,1210
1909	0,0530	0,0188	85,8	0,1024
1910	0,0680	0,0303	85,6	0,1725
1911	0,0563	0,0246	82,4	0,1450
1912	0,0552	0,0223	84,8	0,1229
1913	0,0654	0,0277	85,2	0,1579
1914	0,0610	0,0255	85,0	0,1406
1915	0,0601	0,0253	86,0	0,1396
1916	0,0637	0,0276	87,0	0,1578
1917	0,0647	0,0275	87,8	0,1589
1918	0,0778	0,0333	86,5	0,1812
1919	0,0592	0,0244	84,1	0,1301
1920	0,0672	0,0297	86,1	0,1588
1921	0,0587	0,0248	85,3	0,1326
1922	0,0642	0,0295	86,1	0,1549
1923	0,0638	0,0275	87,4	0,1545
1924	0,0634	0,0289	87,3	0,1545
1929	0,0643	0,0276	87,1	0,1532
1930	0,0726	0,0345	84,8	0,1884
2698	0,0547	0,0232	86,4	0,1156
2711	0,0585	0,0205	86,0	0,1057
Nível de confiança:		0,950		
Fator de expansão 1D:		1,959		
Fator de expansão 2D:		2,448		

Após vários testes verificou-se que o ajustamento ficaria melhor – a variância de referência ficaria menor – se fossem eliminadas previamente do ajustamento as observações consideradas ruins a partir da avaliação dos resíduos de vetores observados em várias sessões. Analisando tabelas como a 8.5 e a 8.6, que continham três ou mais valores de um mesmo vetor, resolveu-se por eliminar dezoito vetores – 54 observações. Com isso a variância de referência *a posteriori* caiu de 688,978 para 490,62.

A seguir foi feita iterativamente a eliminação dos vetores considerados *outliers*, ou seja, após eliminar um vetor com uma de suas componentes marcada como *outlier*, realizou-se um novo ajustamento, até surgir algum ponto de estrangulamento na rede. Acontecido isto, voltou-se com o último vetor eliminado e a seguir, os dados foram reajustados com um fator de escala, para as variâncias e covariâncias dos vetores, igual à variância de referência *a posteriori*.

Assim, foram eliminados mais 88 vetores, ou seja, 264 observações, alcançando um sigma *a posteriori* de 11,93, que é um fator perfeitamente aceitável, conforme se pode verificar ao analisar tabelas como a 8.5.

A Figura 9.4 mostra os vetores que foram considerados no ajustamento com o *COLUMBUS*, após eliminar aqueles com prováveis erros grosseiros. Nela verifica-se que a rede aparentemente está dividida em três blocos: um ao norte, outro ao sul e um outro na região do triângulo mineiro. No entanto, vale ressaltar que há vetores observados mais de uma vez e que, nesta figura, são mostrados apenas os vetores independentes.

Após eliminar as observações que possivelmente contêm erros, foi feito o ajustamento, cujos resultados serão mostrados a seguir, ainda com injunções mínimas, mas fixando as coordenadas de uma estação considerada *Datum*, ou seja, que tem coordenadas precisamente conhecidas no sistema WGS84. Esta solução é chamada ‘solução GPS pura’. Obviamente os valores das coordenadas variarão de acordo com a posição de fixação da rede.

9.1.9 – Resultados do ajustamento com o *COLUMBUS*, após eliminar *outliers*

A Tabela 9.5 mostra um resumo do ajustamento após eliminar as observações

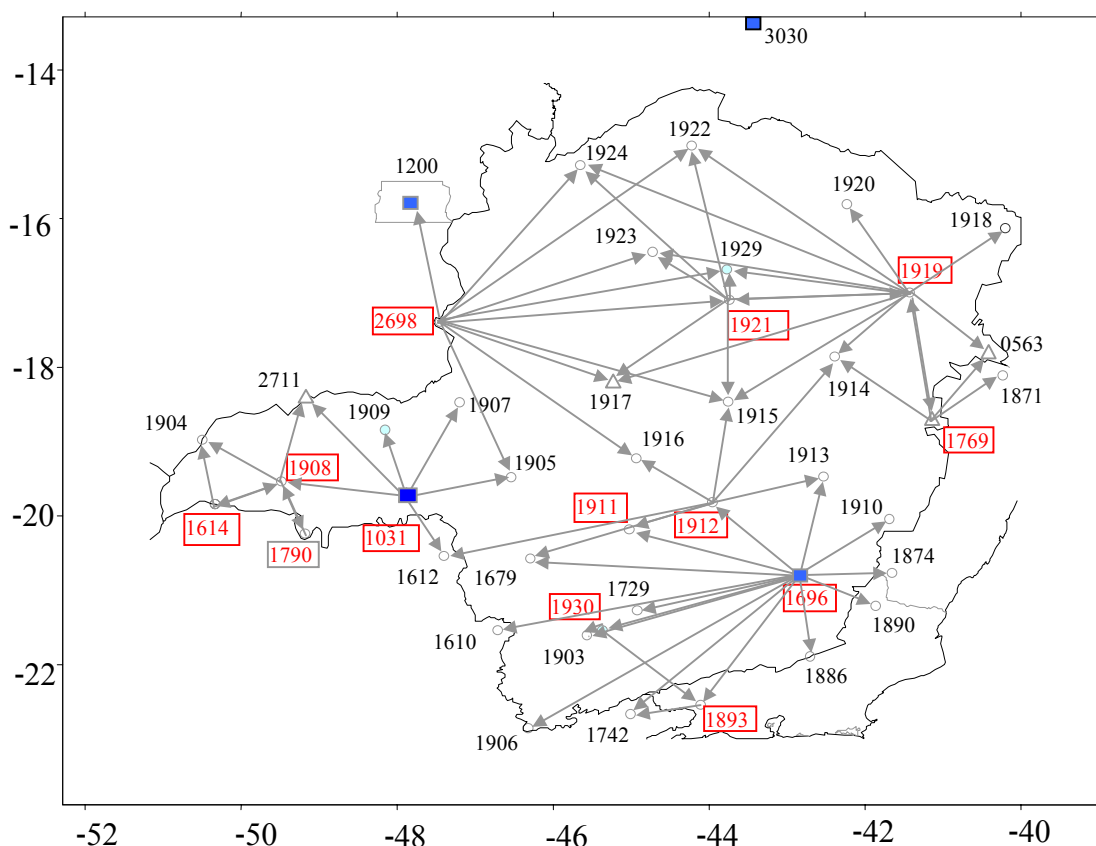


Figura 9.4 – Vetores considerados no ajustamento com o *COLUMBUS*

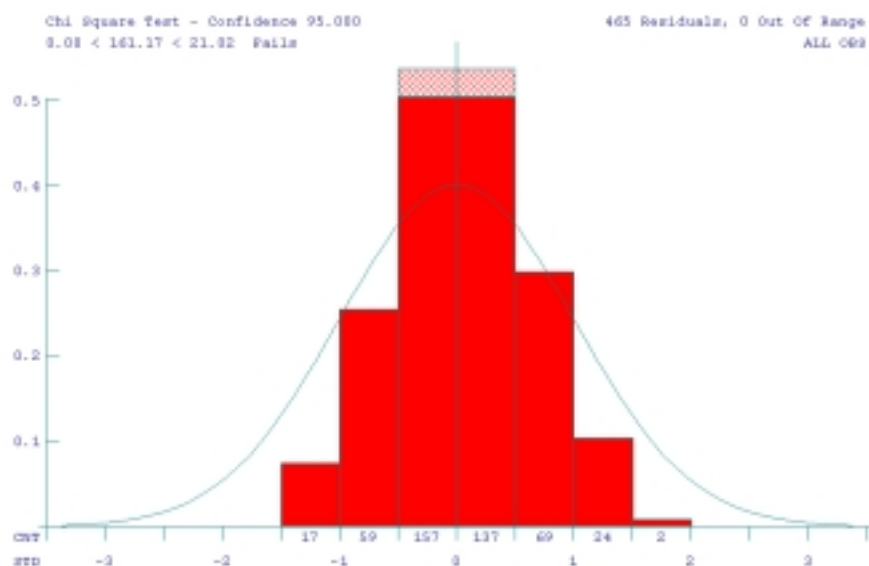
consideradas ruins. Nela verifica-se, principalmente, que o grau de liberdade é de 339 e que, para o teste de variância passar, foi necessário multiplicar as variâncias e covariâncias das componentes dos vetores por 142. O *COLUMBUS* considera que a matriz das variâncias e covariâncias está completa quando se usam as covariâncias entre as componentes de um mesmo vetor. Por isso, na Tabela 9.3, consta “Use Full Covariance: yes”. Porém, não foram empregadas as covariâncias entre as componentes de diferentes vetores, o que aí sim, tornaria a MVC dos vetores completa.

Na Figura 9.5 verifica-se que, embora a hipótese nula tenha sido rejeitada, no teste de qui-quadrado, (mensagem no canto superior esquerdo), os resíduos estão bem distribuídos em torno da média, indicando que eles continuam seguindo uma distribuição normal.

Observando as elipses relativas, Figura 9.6, verifica-se que houve uma melhora na qualidade das observações, embora as estações 1886, 1874 e 1890 continuem apresentando grandes desvios para a altura, principalmente.

Tabela 9.5 – Informações do ajustamento após eliminar *outliers* – Estratégia 1.

DATE:	02/02/2002	TIME:	22:30:21
WGS84	Major = 6378137.0000	1/f =	298.25722356
Linear Units:	Meters		
Angular Units:	Degrees		
3D GEODETIC NETWORK ADJUSTMENT SUMMARY			
Datum	WGS84	1D Expansion Factor	1.95937
Linear Units	Meters	2D Expansion Factor	2.44788
Angular Units	Degrees	3D Expansion Factor	2.79532
Field Observations	465	A Priori Variance	142.00000
Coord Observations	0	A Posteriori Variance	1.00221
TOTAL OBSERVATIONS	465	Confidence Level	95.0
		Chi Square Test On Variance Factor	0.867 < 1.0 < 1.172 (Passes)
Num Stations	43	Variance Factor Used	1.00221
Fixed In 1D	0	No Check Observations	0
Fixed In 2D	0	Stan Res Rejections	0
Fixed In 3D	1	(Tau Stat = 3.996)	
Float Coord Parms	126	Resid/SD Rejections	0
Direction Parms	0	Residual Rejections	0
Scale Parms	0	TOTAL OUTLIER OBS	0
Rotation Parms N	0	Iterations	2
Rotation Parms E	0	Convergence Criteria	0.00100
Rotation Parms Up	0	Zenith Angle Refraction	0.00000
TOTAL PARMS	126	Rotate Bearings	No
Degrees Of Freedom	339	Use Full Covariance	Yes

Figura 9.5– Histograma dos resíduos padronizados após eliminar possíveis *outliers*.

Considerando que as observações estão livres de erros sistemáticos e grosseiros e que as covariâncias das observações, após aplicar um fator de escala único igual a 142, estão bem estimadas; foram determinadas as coordenadas, e suas covariâncias, de todos os pontos da rede, ainda com injunções mínimas, fixando a estação 1031 (CHUÁ).

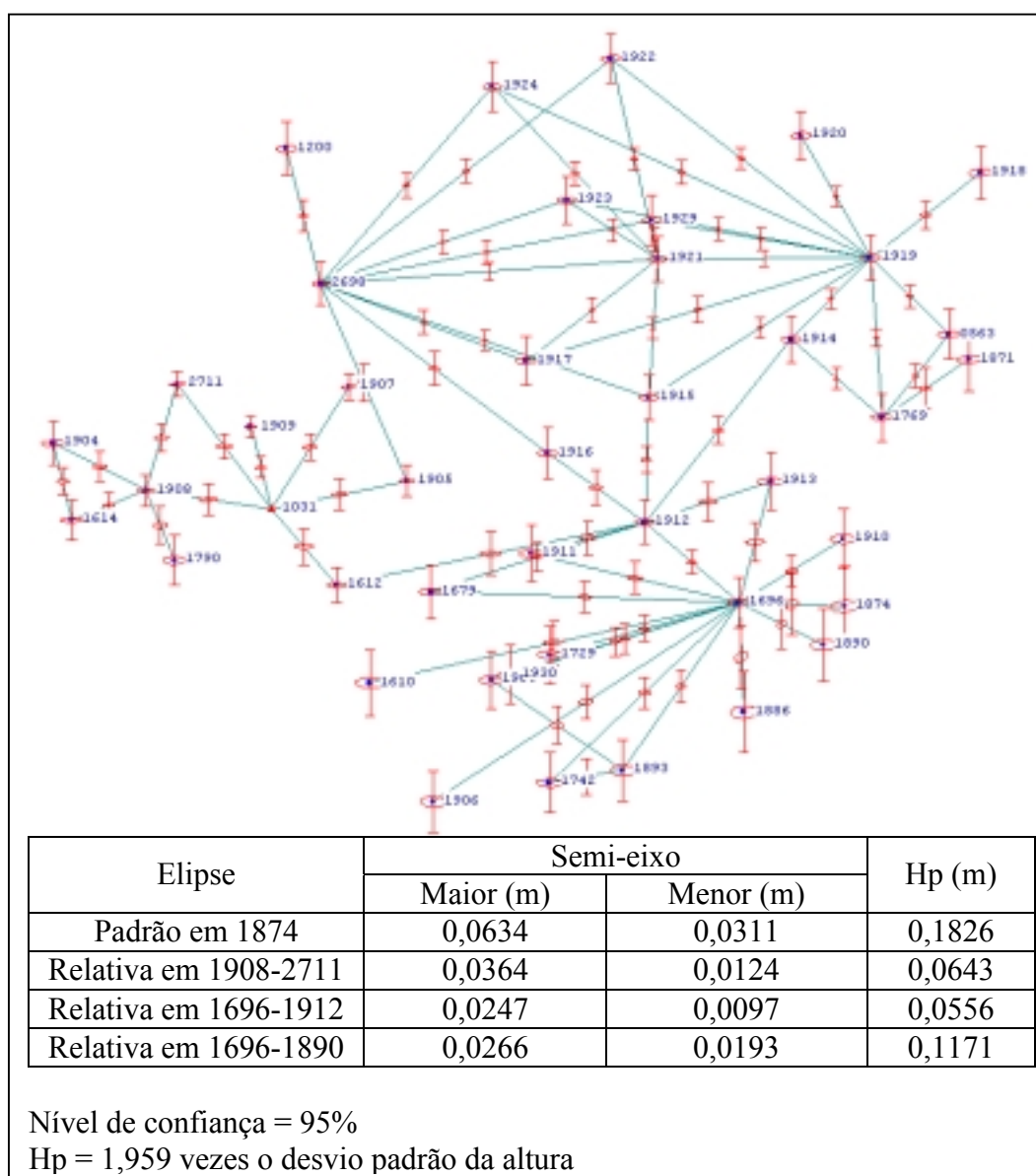


Figura 9.6 – Elipses relativas resultantes ajustamento com o *COLUMBUS*, após eliminar *outliers*.

Depois de feitos os testes com o programa *COLUMBUS*, que não permite levar em conta as correlações entre vetores de uma mesma sessão, procurou-se então um outro programa para ajustar a Rede Minas, que considera a matriz das variâncias e covariâncias dos vetores observados, completa.

9.2- Ajustamento com o programa *ADJUST*

O programa *ADJUST*, versão 4.16, considera as correlações entre as componentes de todos os vetores processados em uma mesma sessão, realiza o ajustamento livre, rotaciona e escala os vetores processados no ITRF97 transformando-os para o WGS84 e ajusta os vários valores de um mesmo vetor observados em diferentes sessões. No entanto, não há saídas gráficas e os programas do pacote são executados em linhas de comando no sistema operacional DOS.

Embora este programa leia diretamente as informações contidas nos arquivos resultantes do processamento com o *OMNI*, alguns arquivos devem ser editados e outros devidamente preparados para o ajuste.

9.2.1- Coordenadas aproximadas – arquivo “Blue Book”

O arquivo “Bbook1” – primeira versão do arquivo “Blue Book” do projeto - é editado executando o programa *CR8BB* e fornecendo as informações solicitadas. Entre essas informações estão aquelas listadas no anexo A, as coordenadas aproximadas a serem usadas inicialmente no ajustamento e os parâmetros – semi-eixo maior e achatamento – do modelo geodésico destas coordenadas.

9.2.2- Vetores, desvios padrão e correlações – arquivo “G-file”

Após reunir em um único diretório os arquivos *Vdddsgf* de todas as sessões processadas e editar um arquivo listando os nomes dos arquivos reunidos, cria-se o “G-file” executando o programa *MAKEGF*.

O arquivo “Gfile” conterá, além do título do projeto e suas datas de início e término, as seguintes informações principais, para cada sessão:

- Os instantes da primeira e última observação;
- O número de vetores independentes da sessão;
- Nome da agência que calculou as efemérides;
- O sistema de referência das efemérides, e portanto dos vetores;
- A identificação das estações que determinam cada vetor;
- As componentes dos vetores e seus desvios padrão e
- Os coeficientes de correlação entre as componentes dos vetores.

9.2.3- Escolha do sistema de referência – arquivo “Afile”

O arquivo “Afile” deve ser editado obedecendo ao formato estabelecido pelo NGS. Informações sobre este formato podem ser obtidas na página http://www.ngs.noaa.gov/PC_PROD/pc_prod.shtml.

Este arquivo conterà, além de comentários sobre o projeto, as seguintes informações principais:

- Parâmetros geométricos do sistema geodésico a ser adotado para referenciar as coordenadas ajustadas das estações. Os valores *default* são os parâmetros do WGS84:
 - Semi-eixo maior: 6 378 137,000 m
 - Quadrado da excentricidade: 0,006 694 380 022 903 415 6 ,
- Identificação e coordenadas geodésicas das estações de controle, em graus, minutos e segundos (e fração);
- Desvio padrão das coordenadas dos pontos de controle, em milímetros. Os valores *default* para os desvios da latitude, longitude e altura são iguais a 0,1 mm, o que equivale a fixar tais coordenadas.
- Número máximo de iterações e
- Tolerância para os resíduos normalizados.

9.2.4- O processo de ajustamento com o *ADJUST*

Após editar os arquivos “Bbook1” e “Afile” e criar o arquivo “G-file”, deve-se verificar a compatibilidade entre esses arquivos, executando os programas *COMPGB*, *NEWCHKOB* e *OBSCHK*, e atualizar a versão do “Bbook1” com o

programa *MAKE.86*. Feito isso, dá-se continuidade ao processo de ajustamento com o *ADJUST*, realizando seqüencialmente o ajustamento com injunções mínimas, o ajustamento livre, o ajustamento com injunções mínimas pela segunda vez, o ajustamento fixando todas as coordenadas conhecidas e, finalmente, um novo ajustamento com injunções mínimas para verificar as precisões interna e externa da rede.

O primeiro ajustamento com injunções mínimas tem como único objetivo melhorar as coordenadas aproximadas gravadas no “Bbook1”, criando assim o “Bbook2”.

O ajustamento livre serve para verificar e eliminar *outliers*. Constatou-se, depois de vários testes, que a lista de possíveis *outliers* obtida com o ajustamento com injunções mínimas é diferente da lista obtida com o ajustamento livre e que a eliminação de *outliers* através deste ajustamento, leva a uma convergência mais rápida da variância de referência *a posteriori*. Esta tarefa é extremamente laboriosa quando realizada com o programa *COLUMBUS*.

São eliminados *outliers* até que a variância de referência *a posteriori* atinja um valor que torne realistas os desvios padrão dos vetores processados.

Após limpar o arquivo “G-file” de possíveis *outliers*, os desvios padrão dos vetores que serão considerados no ajustamento devem ser escalados pela raiz quadrada da variância de referência *a posteriori*, executando o programa *MODGEE* que criará o arquivo “Gflimpo.esc”.

Realizando um segundo ajustamento com injunções mínimas, agora com o arquivo “Gflimpo.esc”, tem-se a solução GPS pura, sem influência de coordenadas externas, para as coordenadas da rede. Cria-se desta forma o arquivo “Bbook3”.

Ao ajustar os vetores fixando as coordenadas de todos os pontos de controle conhecidos, cria-se o “Bbook4”, e avaliando as correções (*shifts*) a serem aplicadas às coordenadas do “Bbook3” para se determinar as do “Bbook4”, verifica-se se há alguma estação a reajustar ou se há problemas com alguma estação de controle. Para ajudar nesta decisão, o ajustamento mínimo deve ser realizado novamente, sem gravar um novo arquivo “Bbook”, com o objetivo de determinar as precisões interna e externa das linhas de base da rede. Caso seja necessário liberar alguma estação de controle, a fim de atender a precisão requerida, realiza-se novamente o ajustamento

fixando as estações que não deterioram a precisão.

Uma vez que o programa *ADJUST* não fornece nenhuma saída gráfica, foi elaborado um programa para ler os desvios padrão resultantes do ajustamento, *LEITOR.EXE*, e outro, denominado *ELIPSES.EXE*, para desenhar as elipses dos erros calculadas a partir destes desvios. Esses programas são de uso público, inclusive os fontes, e podem ser obtidos junto ao Departamento de Transportes da EPUSP ou ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa.

9.3 – Resultados, comparações e análises

Neste tópico serão apresentados os resultados dos diversos processamentos e ajustamentos realizados, bem como as comparações e as análises que possibilitarão conclusões relativas aos objetivos deste trabalho.

9.3.1- Matriz variância-covariância completa *versus* incompleta

Para verificar o efeito da não consideração das correlações entre componentes de diferentes vetores observados em uma mesma sessão, foram usados os resultados do ajustamento com os programas *ADJUST* e *COLUMBUS*. Para isso, no ajustamento com o *ADJUST*, foi feita a alteração do código do sistema ITRF97 para o do WGS84, no arquivo “G-file”. Dessa forma, os vetores foram ajustados como se referissem a este sistema, o que é admitido pelo *COLUMBUS*. Foi considerado o mesmo conjunto de vetores mostrado na Figura 9.1.

9.3.1.1- Antes eliminar *outliers*

Realizando o ajustamento com injunções mínimas, sem eliminar nenhum vetor, o sigma zero *a posteriori* para o ajustamento com o *ADJUST* foi de 29,14; enquanto que com o *COLUMBUS* foi de 26,25; mostrando que, inicialmente, o resultado do ajustamento, sem considerar as correlações entre os diferentes vetores de uma mesma sessão, embora teoricamente incorreto, é ligeiramente melhor.

A Tabela 9.6 mostra os valores dos elementos das elipses (semi-eixos maior e menor e azimute) resultantes dos desvios padrão calculados pelo *ADJUST*³, fixando a estação CHUÁ. Nela verifica-se que os pontos 1871, 1874, 1886 e 1890, da mesma forma que com o *COLUMBUS*, apresentam os maiores desvios, principalmente para as alturas. Verifica-se nesta tabela que os desvios são bastante homogêneos: 2 a 4 cm para a latitude, 5 a 8 cm para a longitude e 12 a 24 cm para a altura, com um nível de confiança de 95%. Comparando estes valores com aqueles da Tabela 9.3, verifica-se que, antes de eliminar *outliers*, praticamente não há diferença entre os desvios resultantes do ajustamento considerando (*ADJUST*), ou não (*COLUMBUS*), as covariâncias entre diferentes vetores de uma mesma sessão.

A Figura 9.7, gerada pelo programa *ELIPSES*, mostra as elipses desenhadas no horizonte geodésico local com um nível de confiança de 95%. É uma representação gráfica dos valores da Tabela 9.6. Ao posicionar o cursor sobre determinada elipse, o programa mostra os valores de seus elementos. Nesta figura foram destacados os elementos da elipse na estação 1874, por serem os maiores.

³ O programa *ADJUST* não grava nem imprime as covariâncias entre as coordenadas ajustadas, considerando-as nulas, ou seja, que as coordenadas ajustadas são não correlacionadas; conseqüentemente, os azimutes dos semi-eixos maiores das elipses serão iguais a noventa graus.

Tabela 9.6 – Valores dos elementos das elipses das estações resultantes ajustamento com o *ADJUST*, antes de eliminar *outliers*.

Estação	Semi-eixos		Azimute (°)	Hp (m)
	Maior (m)	Menor (m)		
563	0,0661	0,0269	90,0	0,1646
1031	0,0000	0,0000	0,0	0,0000
1200	0,0612	0,0269	90,0	0,1313
1610	0,0685	0,0294	90,0	0,1685
1612	0,0636	0,0245	90,0	0,1430
1614	0,0734	0,0269	90,0	0,1685
1679	0,0661	0,0269	90,0	0,1646
1696	0,0685	0,0294	90,0	0,1705
1729	0,0710	0,0318	90,0	0,1783
1742	0,0759	0,0367	90,0	0,1881
1769	0,0636	0,0269	90,0	0,1607
1790	0,0661	0,0294	90,0	0,1685
1871	0,0808	0,0318	90,0	0,2410
1874	0,0832	0,0367	90,0	0,2136
1886	0,0808	0,0367	90,0	0,2077
1890	0,0808	0,0367	90,0	0,2097
1893	0,0734	0,0343	90,0	0,1842
1903	0,0710	0,0318	90,0	0,1744
1904	0,0734	0,0245	90,0	0,1587
1905	0,0514	0,0196	90,0	0,1156
1906	0,0734	0,0343	90,0	0,1803
1907	0,0588	0,0196	90,0	0,1215
1908	0,0563	0,0196	90,0	0,1234
1909	0,0539	0,0171	90,0	0,1097
1910	0,0661	0,0294	90,0	0,1646
1911	0,0636	0,0269	90,0	0,1607
1912	0,0636	0,0269	90,0	0,1587
1913	0,0612	0,0269	90,0	0,1567
1914	0,0588	0,0245	90,0	0,1430
1915	0,0563	0,0220	90,0	0,1411
1916	0,0588	0,0245	90,0	0,1528
1917	0,0612	0,0245	90,0	0,1587
1918	0,0759	0,0318	90,0	0,1803
1919	0,0612	0,0245	90,0	0,1489
1920	0,0636	0,0269	90,0	0,1567
1921	0,0612	0,0245	90,0	0,1489
1922	0,0612	0,0269	90,0	0,1548
1923	0,0612	0,0245	90,0	0,1528
1924	0,0612	0,0269	90,0	0,1528
1929	0,0612	0,0245	90,0	0,1528
1930	0,0710	0,0318	90,0	0,1783
2698	0,0636	0,0245	90,0	0,1646
2711	0,0612	0,0196	90,0	0,1156
Nível de confiança:		0,950		
Fator de expansão 1D:		1,959		
Fator de expansão 2D:		2,448		

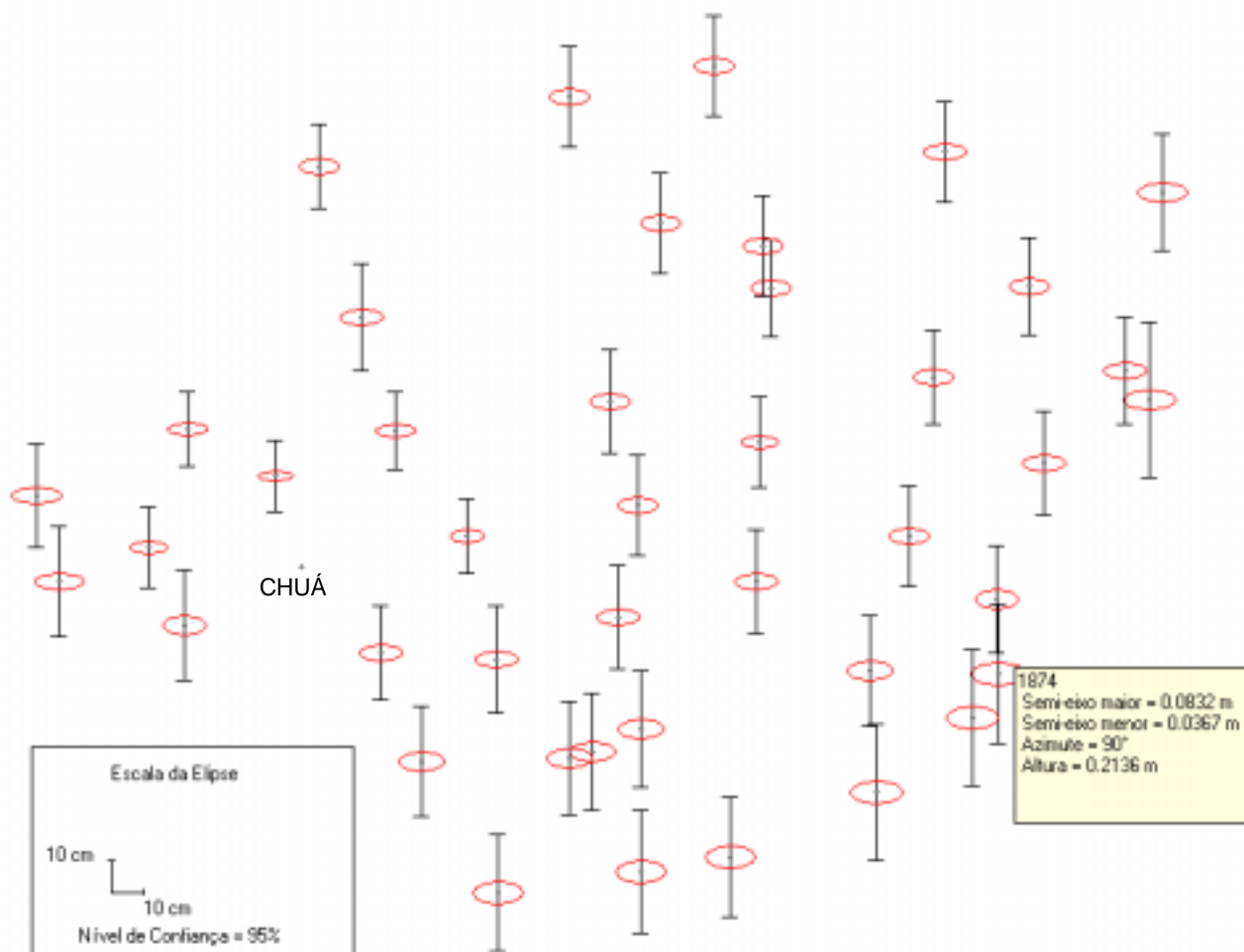


Figura 9.7 – Elipses resultantes dos desvios padrão calculados pelo *ADJUST*, antes de eliminar *outliers*. Vetores no WGS84.

Para comparar as precisões interna e externa dos resultados obtidos por esses diferentes métodos de processamento, as coordenadas ajustadas para os pontos de controle, BRAZ, VICO, AVER, FRAN e LIMO foram transformadas em coordenadas topocêntricas, empregando o programa *TOPOSAT* e utilizando as coordenadas oficiais, no WGS84, como origem do sistema.

As coordenadas oficiais (OF) e os valores de seus desvios padrão, listados na Tabela 9.7, foram obtidas, para as estações BRAZ e VICO, da RBMC, através dos arquivos *brazsad.rtf* e *vicosad.rtf* extraídos da página (acesso em 20/10/2001), <http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/rbmcpesq.php> e, para as demais 1614–AVER, 1612–FRAN, 1610–LIMO e 1031–CHUÀ, acessando na mesma data, a página do Laboratório de Topografia do Departamento de Transportes da EPUSP, <http://geodesia.ptr.usp.br/proj/redesp.htm>. Para facilidade de consulta, os Anexos C e D contém os arquivos *brazsad.rtf* e *vicosad.rtf* impressos.

Estas coordenadas estão também disponíveis no banco de dados do IBGE, que pode ser acessado pela página:

http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/carta_milionesimo.php

Verificam-se as seguintes incongruências nos dados da tabela 9.7:

- O desvio padrão para a altura de BRAZ é aproximadamente 30 cm enquanto para a outra estação da RBMC, VICO, é de 3,6 cm;
- Para as estações AVER, FRAN e LIMO os desvios padrão das alturas geométricas são menores que os das longitudes.

Para que pudessem ser usadas nos programas de ajustamento, estas coordenadas tiveram que ser transformadas para o WGS84; isto foi feito executando o programa *TOPOSAT*, que realiza esta transformação considerando os parâmetros oficiais que relacionam os sistemas SAD69 e WGS84 – capítulo 2, item 2.3. As coordenadas resultantes são mostradas na Tabela 9.8.

Tabela 9.7 – Coordenadas geodésicas e desvios padrão no SAD69, de estações da Rede Minas, conhecidas a priori.

Estações	Coordenadas geodésicas e desvios padrão no SAD69					
	Latitude S	σ_{LAT} (m)	Longitude W	σ_{LONG} (m)	Altura geométrica (m)	σ_{HG} (m)
1031 CHUÁ	19 45 41,652 7	0	48 6 4,0639	0	754,1502	0
1200 BRAZ	15 56 49,296 4	0,013	47 52 38,7376	0,047	1118,6531	0,302
1696 VICO	20 45 39,653 659	0,036	42 52 10,476 302	0,036	678,083	0,036
1610 LIMO	21 37 28,861 00	0,024	47 1 03,224 56	0,097	588,306 4	0,052
1612 FRAN	20 34 53,159 41	0,022	47 22 49,819 22	0,091	1013,814 7	0,049
1614 AVER	19 50 30,150 30	0,032	50 20 4,086 79	0,124	397,691 8	0,063

Tabela 9.8 – Coordenadas geodésicas no WGS 84, de estações da Rede Minas, conhecidas a priori.

Estações	Coordenadas geodésicas no WGS84		
	Latitude S	Longitude W	Altura geométrica (m)
1031 - CHUÁ	19 45 43,345 878	48 6 5,673 168	754,150 1
1200 - BRAZ	15 56 50,920 702	47 52 40,306 527	1105,950 5
1696 - VICO	20 45 41,411 015	42 52 11,938 175	666,056 0
1610 - LIMO	21 37 30,596 415	47 1 4,821 854	580,068 3
1612 - FRAN	20 34 54,873 375	47 22 51,415 927	1004,883 1
1614 - AVER	19 50 31,824 421	50 20 5,759 891	390,384 6

A Tabela 9.9 mostra as diferenças entre as coordenadas oficiais e as encontradas nos ajustamentos com os programas *ADJUST* e *COLUMBUS*, em unidade linear - ou seja, as coordenadas topocêntricas, e , n e h , nos sistemas com origens definidas pelas coordenadas oficiais de cada ponto - e os desvios padrão,

também em unidade linear, das longitudes (σ_e), latitudes (σ_n), e alturas geométricas (σ_h), com um nível de confiança (NC) de 95%.

Tabela 9.9 – Coordenadas topocêntricas dos pontos de controle resultantes do ajuste com os programas *ADJUST* e *COLUMBUS*, antes de eliminar *outliers*.

Estação	Programa	Coordenadas topocêntricas (m)			Desvios padrão com NC de 95% - (m)		
		e	n	h	σ_e	σ_n	σ_h
Q1: BRAZ	<i>ADJUST</i>	-0,0102	-0,0912	0,0795	0,061	0,027	0,131
	<i>COLUM.</i>	-0,0652	-0,1245	0,1065	0,066	0,029	0,086
Q2: VICO	<i>ADJUST</i>	-0,1812	0,0484	0,0630	0,069	0,029	0,171
	<i>COLUM.</i>	-0,2776	0,0426	0,1800	0,061	0,027	0,143
Q3: AVER	<i>ADJUST</i>	-0,0736	-0,0430	0,0574	0,073	0,027	0,169
	<i>COLUM.</i>	0,0463	-0,0030	-0,0216	0,078	0,027	0,163
Q4: FRAN	<i>ADJUST</i>	-0,0424	0,0241	0,2679	0,064	0,024	0,143
	<i>COLUM.</i>	-0,0835	0,0226	0,2929	0,066	0,027	0,143
Q5: LIMO	<i>ADJUST</i>	-0,0660	0,0632	0,0067	0,069	0,029	0,169
	<i>COLUM.</i>	-0,1684	0,0623	0,1047	0,076	0,032	0,178

A Figura 9.8 mostra, além das elipses dos erros, desenhadas no plano do horizonte topocêntrico, ou ‘horizonte geodésico’, com um nível de confiança de 95%, as posições dos pontos de controle determinadas fixando a estação CHUÁ, pelo *COLUMBUS* (COL) e pelo *ADJUST* (ADJ), em relação às posições oficiais (OF).

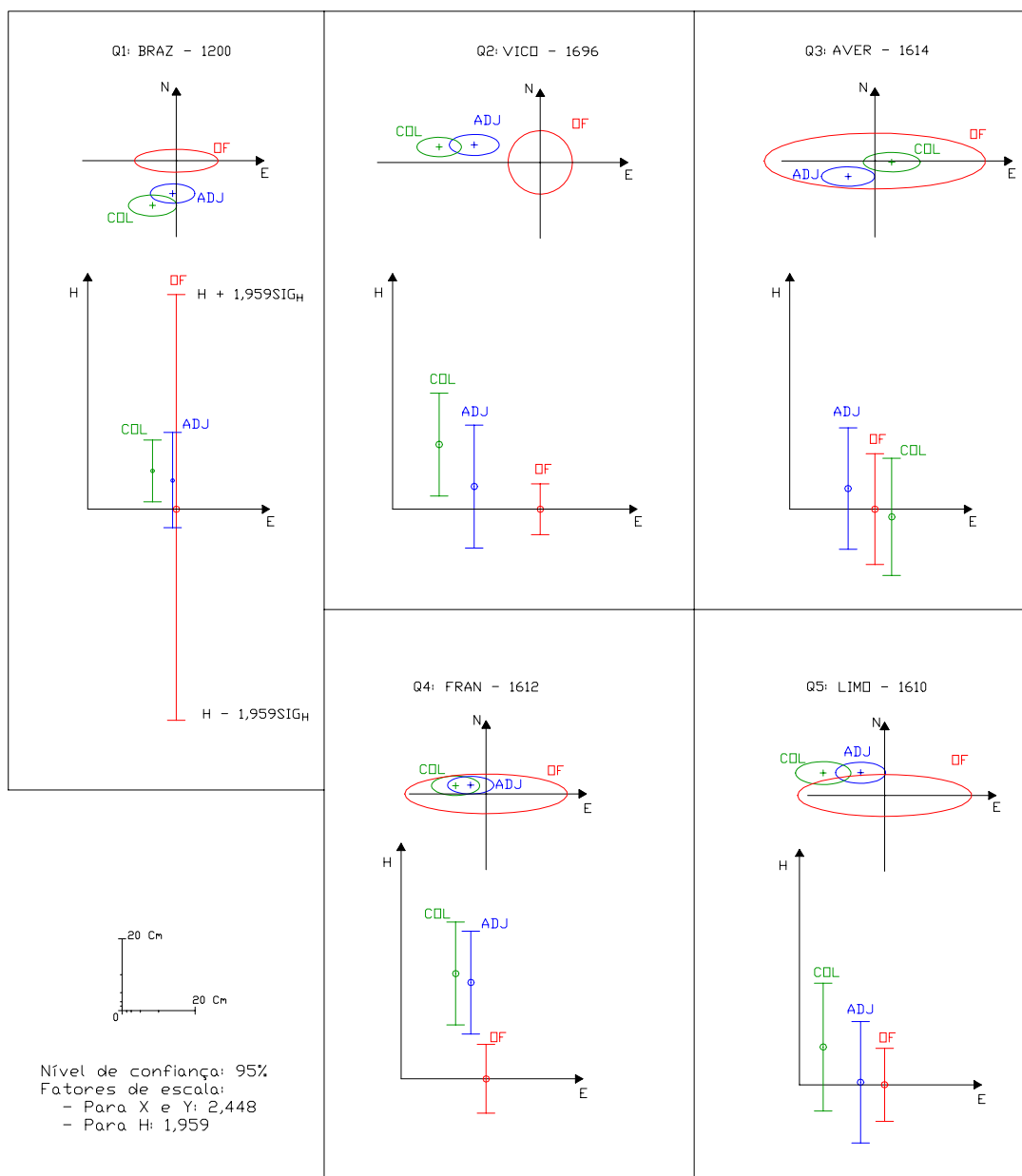


Figura 9.8 – Posições e elipses dos erros para pontos de controle, determinadas pelos programas *COLUMBUS* (COL) e *ADJUST* (ADJ), comparadas com as coordenadas oficiais (OF), antes de eliminar *outliers*.

Analisando os dados da Tabela 9.9 e a Figura 9.8, verifica-se que, para os pontos de controle:

- a) Antes de eliminar *outliers*, praticamente não há diferença na precisão interna (tamanho das elipses) dos ajustamentos realizados considerando (ADJ) ou não (COL), a matriz das variâncias e covariâncias completa dos vetores. Os desvios padrão, com um nível de confiança de 95%, estão entre 2 a 3 cm para as latitudes, 6 a 8 cm para longitudes e 9 a 18 cm para as alturas.
- b) As maiores distâncias entre os pontos determinados pelos dois métodos em questão, estão por volta de 4 cm em latitude, 12 cm em longitude e 12 cm em altura.

Para a estação 1918- JACI, o ponto mais distante da estação fixada, as distâncias em latitude, longitude e altura entre os pontos determinados pelos dois métodos, antes de eliminar *outliers*, são da ordem de 2, 9 e 12 cm, respectivamente.

- c) Ainda na Figura 9.8, verifica-se que não há uma diferença sistemática entre os resultados oficiais e os resultados dos ajustamentos considerando (ADJ) ou não (COL), a matriz das variâncias e covariâncias completa dos vetores. Embora na Figura 9.8 verifica-se, desde já, em algumas estações, uma concordância maior entre as posições determinadas pelo *ADJUST* e *COLUMBUS* que entre estas posições e as oficiais; estas relações só serão estudadas no tópico que analisa a qualidade dos pontos de controle.

9.3.1.2- Após eliminar *outliers*

Eliminando observações com prováveis erros grosseiros através do ajustamento livre com o *ADJUST*, chegou-se a um sigma zero *a posteriori* de 11,91 , após eliminar 47 vetores; o que resultou em um grau de liberdade igual a 516. Observando a Tabela 9.5, item 9.1.9, verifica-se que o mesmo sigma zero somente foi alcançado com o *COLUMBUS* após eliminar 106 vetores – empregando o ajustamento com injunções mínimas, uma vez este programa não realiza o ajustamento livre - resultando em um grau de liberdade igual a 339, contra os 516 do

ADJUST. Assim, a rede ajustada com o *ADJUST* passa a ter maior confiabilidade, quando comparada com a ajustada pelo *COLUMBUS*.

A Figura 9.9 mostra os vetores não eliminados no ajustamento com o *ADJUST*. Nela verifica-se que a Rede Minas apresenta dois blocos quase distintos: um ao norte e outro ao sul, ligados pelas estações 1911, 1912 e 1916.

Consultando o arquivo “Gflimpo.esc”, verificou-se que estação BRAZ – 1200 está ligada à rede por dois vetores com origem na estação PARA – 2698, observados nas sessões 116A, com duração de cinco horas, e na 116B, com 3,5 horas de duração. O mesmo comentário vale para as estações 1610, 1874, 1886, 1890, 1906, 1907, 1910, 1918 e 1920. Nenhuma estação está ligada à rede por apenas um vetor. Vale lembrar que a Figura 9.9 mostra apenas os vetores independentes.

Comparando a Figura 9.1 – todos os vetores observados na estratégia 1 - com a 9.4 e com a 9.9, verifica-se ainda que a eliminação de vetores, tanto no ajustamento com o *COLUMBUS* quanto com o *ADJUST*, não é função do comprimento do vetor.

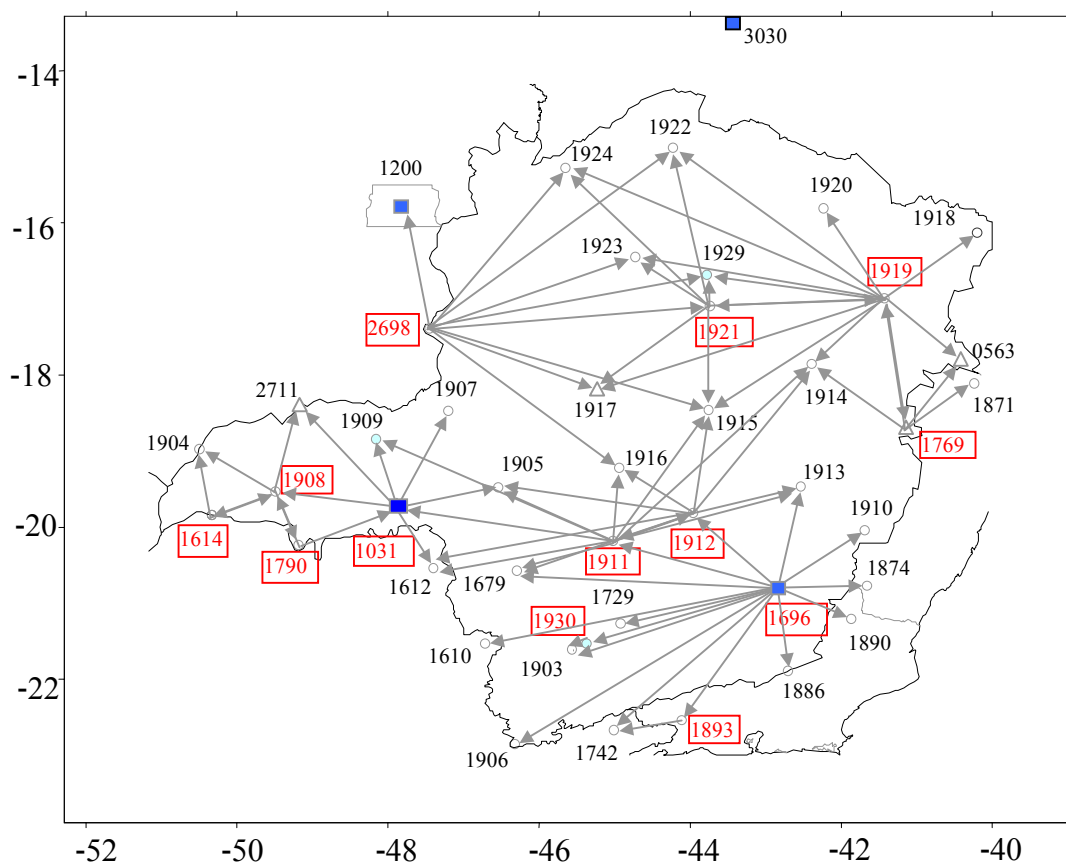


Figura 9.9 – Vetores independentes usados na estratégia 1, no ajustamento com o *ADJUST*, após eliminar *outliers*.

A Tabela 9.10 mostra as coordenadas topocêntricas, e , n e h , dos cinco pontos de controle - sendo as origens dos sistemas a posição definida pelas coordenadas oficiais - e seus desvios padrão, determinados pelos programas *ADJUST* e *COLUMBUS*, após eliminar *outliers*. A Figura 9.10 faz a representação gráfica destes valores, junto com os valores oficiais (OF).

Tabela 9.10 – Coordenadas topocêntricas dos pontos de controle resultantes do ajuste com os programas *ADJUST* e *COLUMBUS*, após eliminar *outliers*.

Estação	Programa	Coordenadas topocêntricas (m)			Desvios padrão com NC de 95% - (m)		
		e	n	h	σ_e	σ_n	σ_h
Q1: BRAZ	<i>ADJUST</i>	0,1228	-0,1235	0,0205	0,037	0,015	0,106
	<i>COLUM.</i>	0,0317	-0,1315	-0,0045	0,049	0,020	0,122
Q2: VICO	<i>ADJUST</i>	-0,1289	-0,0014	0,1380	0,032	0,015	0,080
	<i>COLUM.</i>	-0,1896	-0,0143	0,1500	0,054	0,020	0,116
Q3: AVER	<i>ADJUST</i>	-0,0765	-0,0363	0,0584	0,029	0,010	0,069
	<i>COLUM.</i>	-0,0227	-0,0015	0,0274	0,054	0,015	0,094
Q4: FRAN	<i>ADJUST</i>	-0,0687	0,0017	0,3279	0,029	0,010	0,063
	<i>COLUM.</i>	-0,0867	-0,0060	0,3169	0,044	0,015	0,082
Q5: LIMO	<i>ADJUST</i>	-0,0770	0,0300	0,2167	0,034	0,017	0,090
	<i>COLUM.</i>	-0,1558	0,0300	0,1957	0,071	0,024	0,157

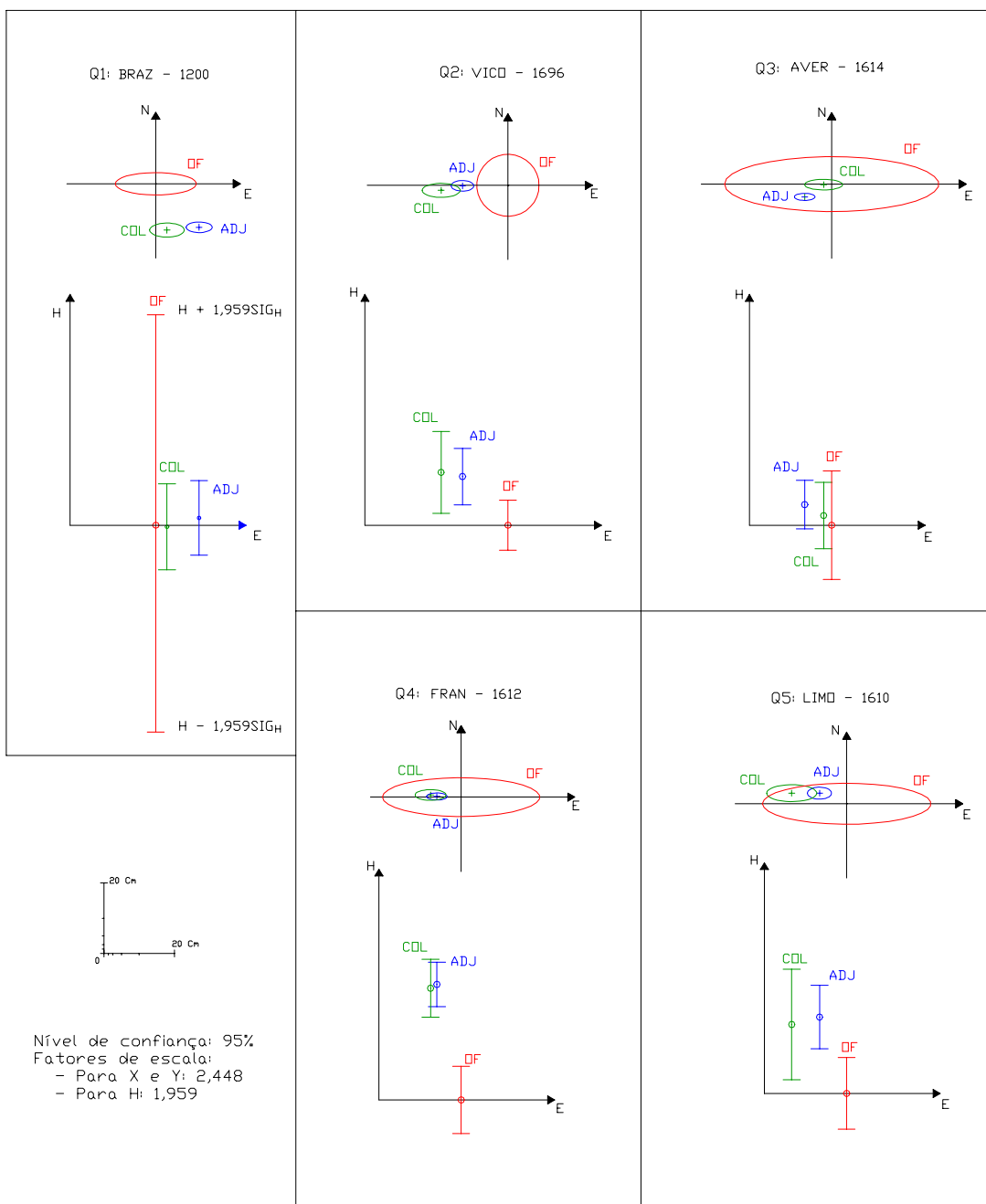


Figura 9.10 – Posições e elipses dos erros para pontos de controle, determinadas pelos programas *COLUMBUS* (COL) e *ADJUST* (ADJ), após eliminar *outliers*, com relação às oficiais (OF).

Analisando os dados da Tabela e Figura 9.10, verifica-se que:

- a) Após eliminar *outliers*, os resultados do ajustamento com o programa que considera as correlações entre diferentes vetores de uma mesma sessão (ADJ), apresenta melhor precisão interna (elipses menores). Para o *ADJUST* os desvios padrão, com um nível de confiança de 95%, estão entre 1 e 2 cm para a latitude; 3 e 4 cm para as longitudes e 6 e 11 cm para as alturas. Para o *COLUMBUS*, estão na ordem de 2 cm para as latitudes; entre 4 e 7 cm para as longitudes e 8 e 16 cm para as alturas.
- b) Para as estações escolhidas como controle, as distâncias entre os pontos determinados pelos dois métodos em questão, estão por volta de 4 cm em latitude, 9 cm em longitude e 3 cm em altura.

Para a estação 1918-JACI, a mais distante de CHUÁ, as distâncias em latitude, longitude e altura entre os pontos determinados considerando ou não as covariâncias entre diferentes vetores, após eliminar *outliers*, são da ordem de 2, 9 e 4 cm, respectivamente.

- c) Ainda na Figura 9.10, verifica-se que não há uma diferença sistemática entre os resultados oficiais e os resultados dos ajustamentos considerando (ADJ), ou não (COL), a matriz das variâncias e covariâncias completa dos vetores. As relações entre as coordenadas determinadas neste trabalho com as oficiais só serão estudadas no tópico que analisa a qualidade dos pontos de controle.

9.3.2- Efeito da eliminação de *outliers*

A eliminação de vetores considerados *outliers* leva a uma menor variância de referência *a posteriori* e, conseqüentemente, a uma melhor precisão interna da rede.

Isto pode ser verificado, no ajustamento com o programa *COLUMBUS*, comparando as Figuras 9.3 e 9.6, onde se observa que as elipses diminuíram.

No ajustamento com o *ADJUST*, a raiz quadrada da variância de referência que, inicialmente, era 29,14, passou a 9,98, após eliminar 69 vetores considerados *outliers*, levando a um grau de liberdade igual a 450.

Para verificar o efeito da eliminação de observações, provavelmente contaminadas por erros grosseiros, nas posições determinadas, foram calculadas as diferenças, em unidade linear, entre as coordenadas oficiais e as encontradas nos ajustamentos com o *ADJUST*, antes e depois de eliminar *outliers*.

A Tabela 9.11 mostra estas diferenças e os desvios padrão das longitudes, latitudes, e alturas geométricas, com um nível de confiança de 95%, em unidade linear. A Figura 9.11 representa graficamente estes valores.

Tabela 9.11 – Coordenadas topocêntricas dos pontos de controle resultantes dos ajustes, com o programa *ADJUST*, antes (A) e depois (D) de eliminar *outliers*.

Estação	Antes (A) e depois (D) de eliminar <i>outliers</i>	Coordenadas topocêntricas (m)			Desvios padrão com NC de 95% - (m)		
		<i>e</i>	<i>n</i>	<i>h</i>	σ_e	σ_n	σ_h
Q1: BRAZ	A	-0,0102	-0,0912	0,0795	0,061	0,027	0,131
	D	0,1239	-0,1269	0,0295	0,032	0,012	0,088
Q2: VICO	A	-0,1812	0,0484	0,0630	0,069	0,029	0,171
	D	-0,1159	0,0002	0,1160	0,027	0,012	0,069
Q3: AVER	A	-0,0736	-0,0430	0,0574	0,073	0,027	0,169
	D	-0,0765	-0,0363	0,0584	0,024	0,010	0,057
Q4: FRAN	A	-0,0424	0,0241	0,2679	0,064	0,024	0,143
	D	-0,0684	0,0014	0,3279	0,024	0,010	0,053
Q5: LIMO	A	-0,0660	0,0632	0,0067	0,069	0,029	0,169
	D	-0,0701	0,0401	0,1327	0,039	0,015	0,090

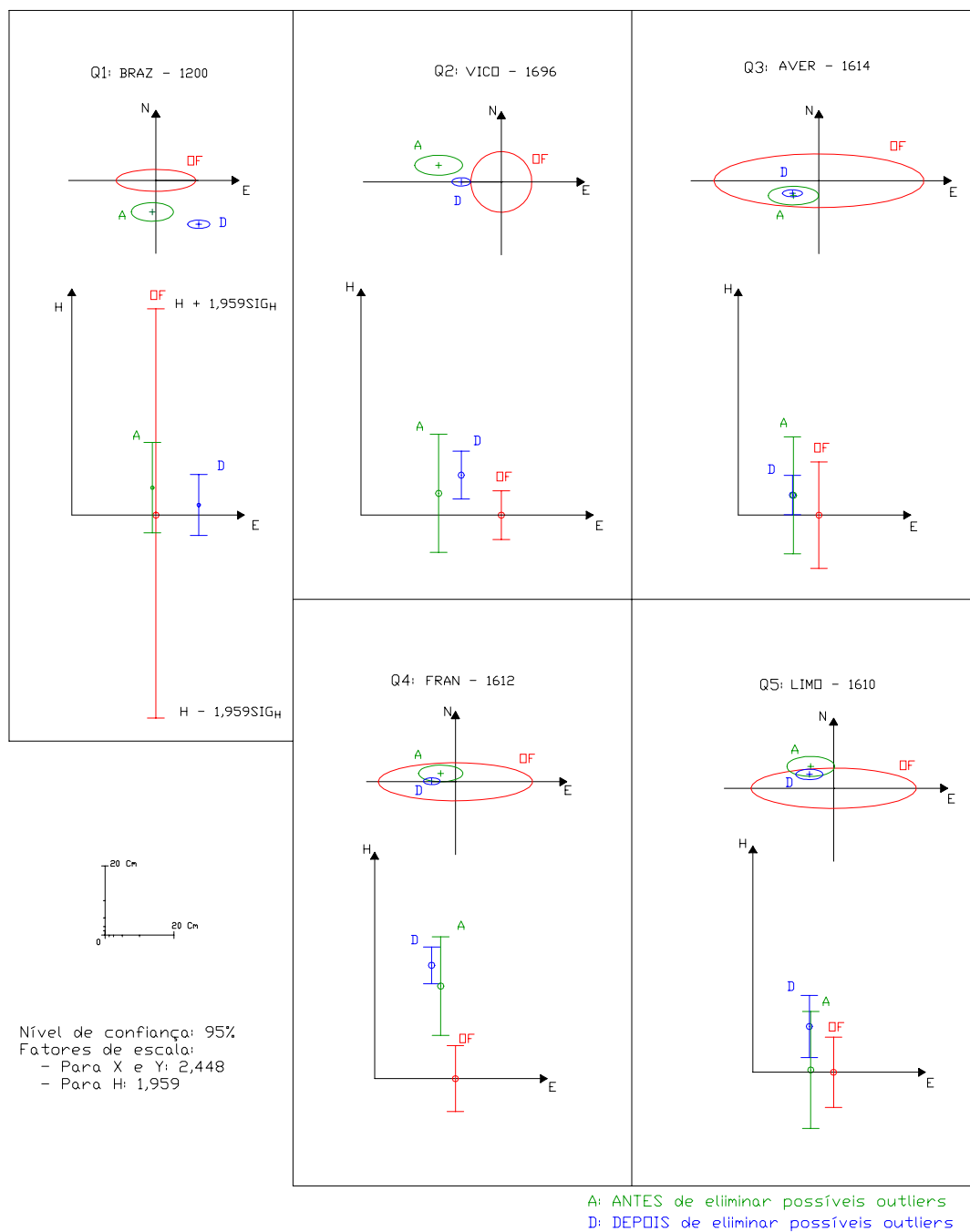


Figura 9.11 – Posições e elipses dos erros para pontos de controle, determinadas com o *ADJUST*, antes e depois de eliminar *outliers*, comparadas com as oficiais.

A Tabela 9.12 mostra os valores dos elementos das elipses resultantes dos desvios padrão calculados pelo *ADJUST*, após eliminar *outliers*.

Tabela 9.12 – Valores dos elementos das elipses das estações resultantes ajustamento com o *ADJUST*, após eliminar *outliers*, considerando os vetores no ITRF97 – estratégia 1.

Estação	Semi-eixos		Azimute (°)	Hp (m)
	Maior (m)	Menor (m)		
563	0.0269	0.0122	90.0	0.0725
1031	0.0000	0.0000	0.0	0.0000
1200	0.0318	0.0122	90.0	0.0882
1610	0.0392	0.0147	90.0	0.0901
1612	0.0245	0.0098	90.0	0.0529
1614	0.0245	0.0098	90.0	0.0568
1679	0.0245	0.0098	90.0	0.0666
1696	0.0269	0.0122	90.0	0.0686
1729	0.0294	0.0122	90.0	0.0725
1742	0.0318	0.0147	90.0	0.0803
1769	0.0269	0.0122	90.0	0.0745
1790	0.0220	0.0098	90.0	0.0568
1871	0.0318	0.0122	90.0	0.0960
1874	0.0367	0.0220	90.0	0.1254
1886	0.0318	0.0147	90.0	0.0823
1890	0.0343	0.0147	90.0	0.0862
1893	0.0318	0.0147	90.0	0.0803
1903	0.0343	0.0171	90.0	0.1058
1904	0.0245	0.0073	90.0	0.0549
1905	0.0196	0.0073	90.0	0.0431
1906	0.0318	0.0147	90.0	0.0745
1907	0.0220	0.0073	90.0	0.0411
1908	0.0196	0.0073	90.0	0.0411
1909	0.0171	0.0049	90.0	0.0372
1910	0.0318	0.0122	90.0	0.0745
1911	0.0245	0.0098	90.0	0.0647
1912	0.0220	0.0098	90.0	0.0588
1913	0.0269	0.0122	90.0	0.0745
1914	0.0245	0.0098	90.0	0.0666
1915	0.0245	0.0098	90.0	0.0666
1916	0.0245	0.0098	90.0	0.0686
1917	0.0269	0.0122	90.0	0.0764
1918	0.0318	0.0122	90.0	0.0784
1919	0.0245	0.0098	90.0	0.0686
1920	0.0294	0.0147	90.0	0.0784
1921	0.0269	0.0122	90.0	0.0705
1922	0.0269	0.0122	90.0	0.0745
1923	0.0269	0.0122	90.0	0.0745
1924	0.0269	0.0122	90.0	0.0764
1929	0.0269	0.0122	90.0	0.0725
1930	0.0294	0.0122	90.0	0.0725
2698	0.0269	0.0098	90.0	0.0725
2711	0.0196	0.0073	90.0	0.0392
Nível de confiança:		0,950		
Fator de expansão 1D:		1,959		
Fator de expansão 2D:		2,448		

Analisando esta figura e as tabelas que contêm os desvios padrão antes (Tabela 9.6) e depois (Tabela 9.12) de eliminar *outliers*, com NC de 95%, verifica-se que:

- a) A precisão interna das coordenadas determinadas melhorou. Antes de eliminar *outliers* os desvios padrão estavam entre 2 e 4 cm para latitudes, 5 e 8 cm para as longitudes e 12 e 24 cm para as alturas; após eliminar as observações que provavelmente continham erros grosseiros estes desvios passaram a estar entre 1 e 2 cm, 2 e 4 cm e 4 e 13 cm, para as latitudes, longitudes e alturas geométricas, respectivamente.
- b) Os pontos se deslocaram com a eliminação de *outliers*; uns mais, outros menos.
- c) Enquanto as coordenadas no horizonte geodésico, latitude e longitude, de BRAZ se afastaram das oficiais, em aproximadamente 4 e 13 cm, respectivamente; a altura geométrica se aproximou 5 cm.
- d) A maior alteração verificada foi na altura da estação LIMO que se distanciou da oficial em aproximadamente 13 cm. FRAN se afastou ainda mais do valor oficial, 6 cm; e VICO 5 cm.
- e) As outras coordenadas se aproximaram dos valores oficiais, aproximando o ponto da região de aceitação de igualdade das coordenadas com um nível de confiança de 95%.

O fato de o ponto se afastar da posição oficial quando se elimina *outliers*, não significa que o resultado piorou, uma vez que a qualidade das coordenadas das estações de controle ainda não foi avaliada e estas coordenadas podem diferir do valor real.

9.3.3- Efeito da não consideração dos vetores no ITRF97

Depois de verificar o efeito de considerar ou não as correlações entre as componentes de diferentes vetores observados simultaneamente, antes e depois de eliminar *outliers*, retornou-se com o código do sistema ITRF97 no arquivo “G-file” e iniciou-se um novo processo de ajustamento com o *ADJUST*, considerando ainda o mesmo conjunto de vetores mostrado na Figura 9.1 - estratégia 1, com o objetivo de

verificar as conseqüências da consideração do WGS84 como sistema de referência dos vetores; ao passo que, na verdade, eles se referem ao ITRF97.

Realizado o ajustamento com os vetores no ITRF97, não foi verificada nenhuma alteração nos resultados estatísticos, ou seja, o sigma zero *a posteriori* antes de eliminar *outliers* foi de 29,14, o rol de observações consideradas *outliers* foi exatamente o mesmo, o sigma zero *a posteriori* de 9,98 foi alcançado com um grau de liberdade igual 450 e os desvios padrão resultantes também não se modificaram.

A Figura 9.12 traz as elipses desenhadas para todas as estações da rede a partir dos elementos da Tabela 9.12. Nela, são destacados os valores dos semi-eixos das elipses na estação 1874, por ser a estação com os maiores valores.

A Tabela 9.13 e a Figura 9.13 mostram o efeito da troca do sistema de referência dos vetores, nas posições determinadas. Observando esta tabela e esta figura verifica-se que o efeito de não considerar os vetores no ITRF97 é maior nas alturas, sendo a maior diferença, entre as estações de controle, igual a 5,2 cm, verificada na estação VICO. Para as latitudes e longitudes estes valores não chegam a 2 cm.

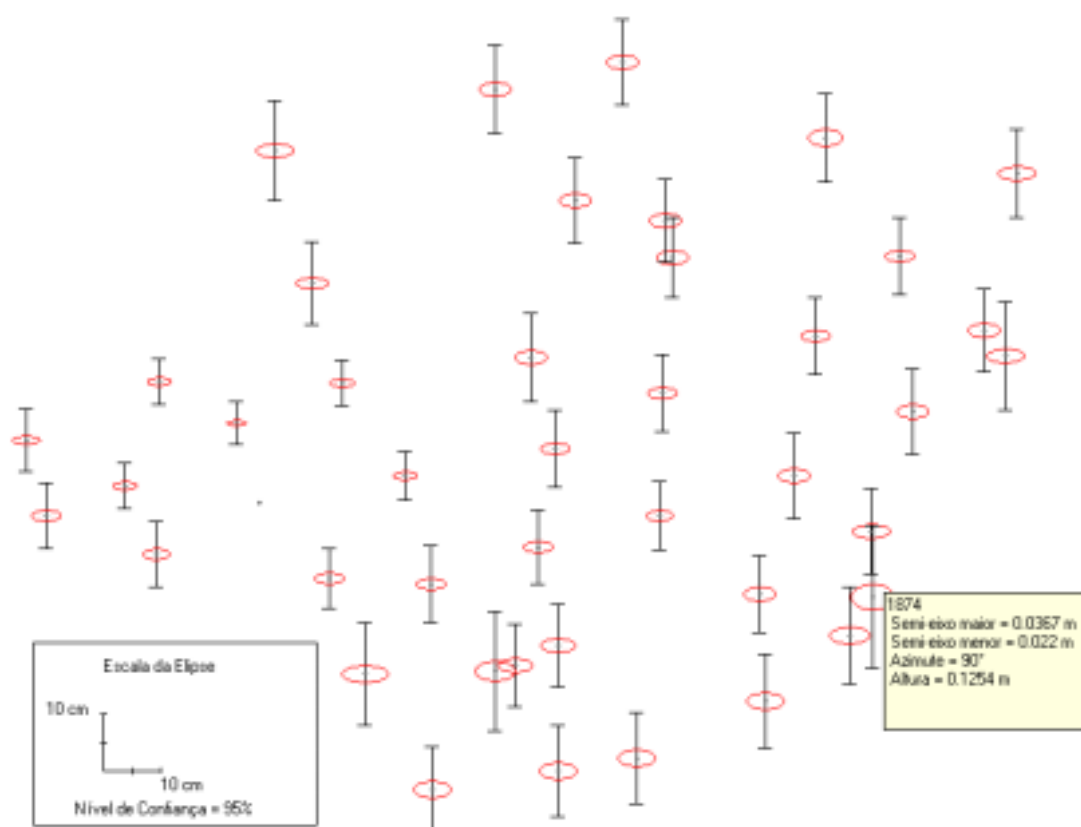


Figura 9.12 – Elipses resultantes dos desvios padrão calculados pelo *ADJUST*, na estratégia 1, após eliminar *outliers*– vetores no ITRF97.

Tabela 9.13 – Coordenadas topocêntricas dos pontos de controle resultantes do ajuste com o programa *ADJUST*, considerando os vetores no ITRF97 e no WGS84.

Estação	Sistema de referência dos vetores	Coordenadas topocêntricas (m)			Desvios padrão com NC de 95% - (m)		
		e	n	h	σ_e	σ_n	σ_h
Q1: BRAZ	ITRF97	0,1364	-0,1260	-0,0205	0,032	0,012	0,088
	WGS84	0,1239	-0,1269	0,0295	0,032	0,012	0,088
Q2: VICO	ITRF97	-0,1214	-0,0168	0,1680	0,027	0,012	0,069
	WGS84	-0,1159	0,0002	0,1160	0,027	0,012	0,069
Q3: AVER	ITRF97	-0,0768	-0,0304	0,0434	0,024	0,010	0,057
	WGS84	-0,0765	-0,0363	0,0584	0,024	0,010	0,057
Q4: FRAN	ITRF97	-0,0711	-0,0005	0,3449	0,024	0,010	0,053
	WGS84	-0,0684	0,0014	0,3279	0,024	0,010	0,053
Q5: LIMO	ITRF97	-0,0758	0,0377	0,1657	0,039	0,015	0,090
	WGS84	-0,0701	0,0401	0,1327	0,039	0,015	0,090

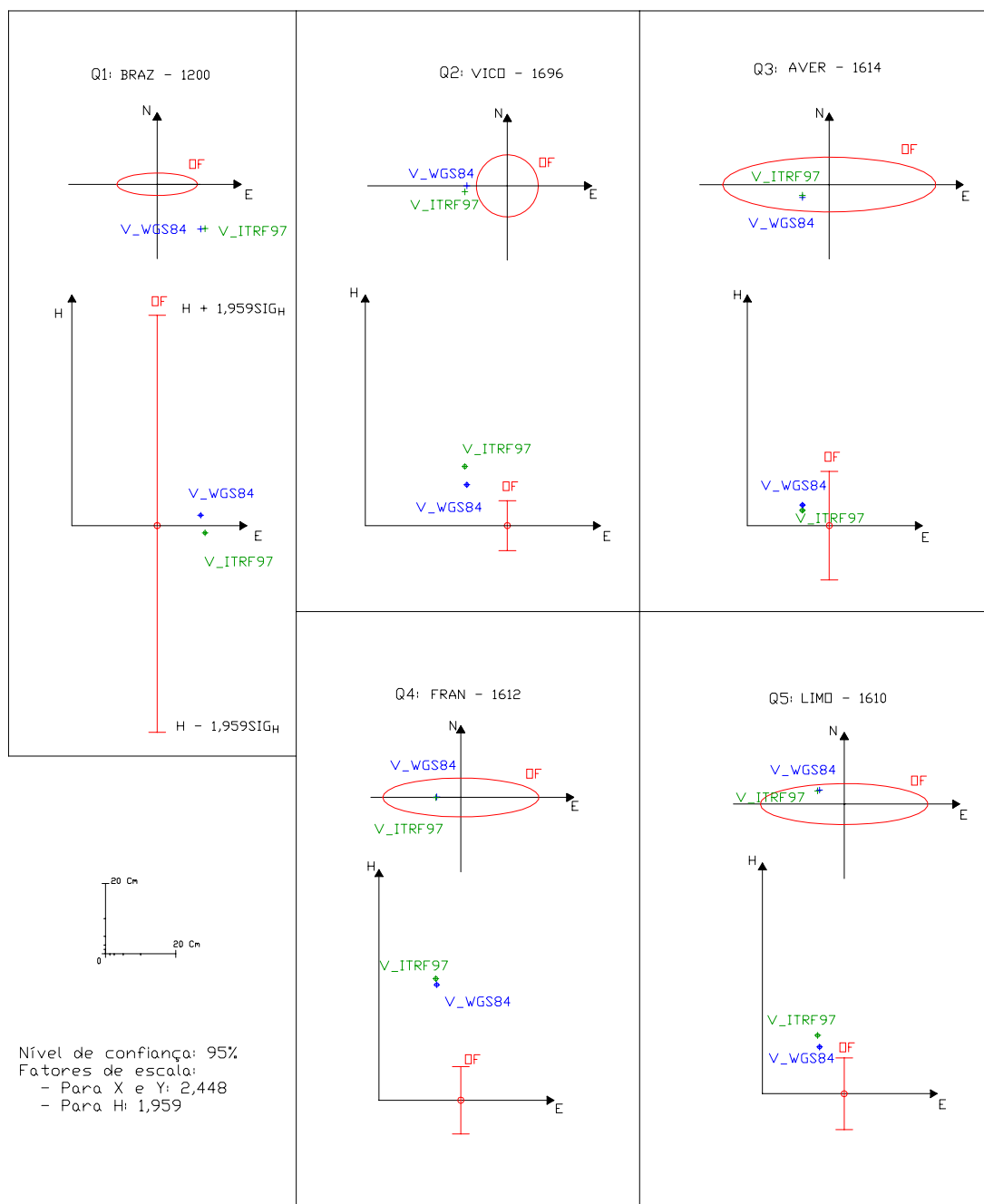


Figura 9.13 – Posições, e elipses dos erros para pontos de controle, determinadas pelo *ADJUST* considerando os vetores no ITRF97 e no WGS-84.

Não se verifica um comportamento sistemático nas variações das coordenadas em relação às oficiais.

Embora as diferenças sejam pequenas, não é correto ajustar os vetores como se eles se referissem ao WGS84, uma vez que eles foram processados com efemérides precisas determinadas pelo NGS e portanto, se referem, atualmente, ao ITRF97. Doravante, neste trabalho, todos os ajustamentos serão realizados considerando os vetores no ITRF97.

9.3.4 – Efeito da escolha de diferentes conjuntos de vetores

No capítulo 4, item 4.4, viu-se que, para processar as duplas diferenças de fases em uma sessão é necessário escolher, entre as possíveis de serem formadas, aquelas que são matematicamente independentes. No processamento com o *OMNI*, esta escolha é feita estabelecendo-se uma estação de referência.

Partindo do princípio que entre as estações mais próximas os erros sistemáticos residuais são melhor correlacionados, escolhe-se para estação de referência, em uma determinada sessão, aquela que gera os menores vetores. Se mais de uma sessão é observada em um mesmo polígono, é possível processar estas observações com diferentes estações de referência, visando a obtenção de vetores menores, com origem em estações de referência, para serem ajustados.

Uma das intenções deste trabalho é analisar o efeito da escolha de diferentes estações de referência, para um mesmo polígono, observado em mais de uma sessão, no resultado final do ajustamento de vetores.

Dependendo da qualidade das observações em determinada estação, pode ser impossível processar os dados tendo tal estação como referência, devido à impossibilidade de eliminar todas as perdas de ciclos.

Na Rede Minas foram empregados até dez receptores e normalmente foram realizadas três sessões por polígono. Portanto, em princípio, para cada polígono seria possível processar os dados com até três estações de referência diferentes; porém, o processamento de algumas sessões só foi possível com o estabelecimento de uma ou outra estação de referência.

Na estratégia 1, empregada até então, há 13 estações de referência, como se pode verificar na Figura 9.1. As estações de referência são aquelas inscritas em retângulos e grafadas em vermelho.

Na Figura 9.14, observa-se que na estratégia agora proposta, estratégia 2, há 25 estações de referência - estações grafadas em vermelho e inscritas em retângulos. Esta figura mostra também todos os vetores independentes, com origens nas estações de referências, considerados, inicialmente, como observações no ajustamento da estratégia 2. Verifica-se ainda nesta figura que, por exemplo, a estação BRAZ – 1200 se liga à Rede Minas, não somente pelas estações 2698 e 1031, como aparentemente sugere a Figura 9.1.

É importante ressaltar que, para chegar a esta configuração de vetores, foram utilizadas as mesmas fases observadas e empregadas na estratégia 1; porém, as duplas diferenças de fases foram formadas entre diferentes estações.

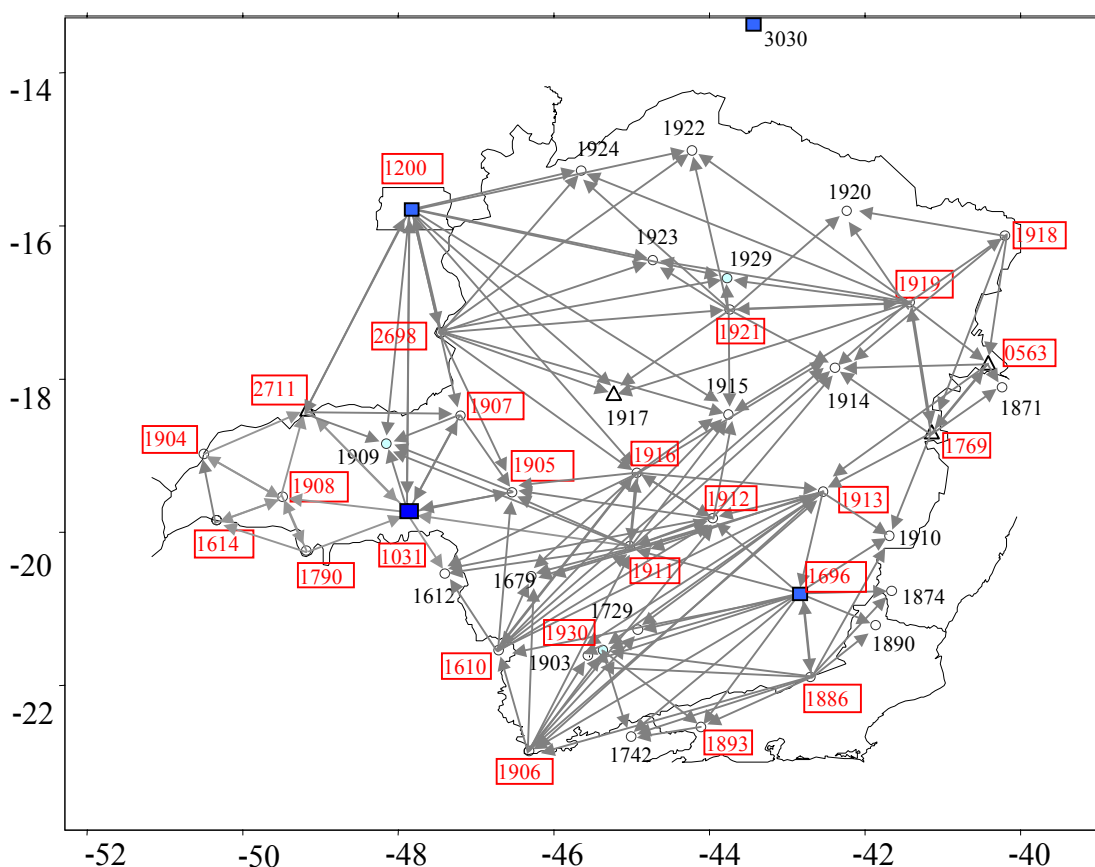


Figura 9.14 – Vetores independentes da estratégia 2, antes de eliminar *outliers*.

Embora a Figura 9.15 mostre mais vetores que a 9.9, no ajustamento com a estratégia 2 foram eliminados quatro vetores a mais que na estratégia 1. Essa aparente contradição se explica pelo fato de existirem vetores que se repetem na estratégia 1, com seus desenhos coincidindo.

Comparando os valores dos elementos das elipses da Tabela 9.12, item 9.3.2, estratégia 1, com os da 9.14, a seguir, verifica-se que as diferenças existentes são pequenas e que as maiores são para a estação BRAZ-1200, onde o semi-eixo maior da elipse aumentou 5 mm e para a estação LIMO-1610, que diminuiu 7 mm. As demais variações, quando ocorreram, estão em torno de 2 mm, ou seja, estas são as diferenças quando se empregaram as duas diferentes estratégias na escolha de vetores.

A influência da escolha de diferentes conjuntos de vetores nas posições determinadas e nos desvios padrão resultantes para as coordenadas, pode ser analisada também a partir das Tabelas 9.15 e 9.16, além das Figuras 9.16 e 9.17, que mostram as elipses dos erros e as posições para pontos considerados como controle, em relação as posições oficiais, considerando os vetores das estratégias 1 e 2, antes e depois de eliminar possíveis *outliers*, respectivamente.

Analisando a Tabela 9.15 e a Figura 9.16 verifica-se que a precisão interna obtida antes de eliminar *outliers* é ligeiramente melhor, em geral, com a estratégia 2 e que não se verifica nenhum comportamento sistemático das posições determinadas com ambas estratégias em relação às coordenadas oficiais. Porém após eliminar os vetores que provavelmente contêm erros grosseiros, Tabela 9.16 e Figura 9.17, as precisões internas se igualam e se verificam diferenças para as latitudes e longitudes de até 6 cm, como é o caso da estação LIMO-1610. Estas diferenças para BRAZ-1200 estão na ordem de 2 cm para a latitude e longitude. Para as alturas geométricas as diferenças são menores que as entre latitudes e longitudes.

Tabela 9.14 – Valores dos elementos das elipses das estações, resultantes do ajustamento com o *ADJUST*, após eliminar *outliers*, considerando os vetores da estratégia 2.

Estação	Semi-eixos		Azimute (°)	Hp (m)
	Maior (m)	Menor (m)		
563	0.0269	0.0122	90.0	0.0725
1031	0.0000	0.0000	0.0	0.0000
1200	0.0367	0.0122	90.0	0.0882
1610	0.0318	0.0196	90.0	0.1058
1612	0.0245	0.0098	90.0	0.0529
1614	0.0245	0.0098	90.0	0.0588
1679	0.0245	0.0098	90.0	0.0647
1696	0.0269	0.0122	90.0	0.0705
1729	0.0294	0.0122	90.0	0.0745
1742	0.0318	0.0147	90.0	0.0803
1769	0.0269	0.0122	90.0	0.0745
1790	0.0220	0.0098	90.0	0.0568
1871	0.0318	0.0122	90.0	0.0960
1874	0.0392	0.0220	90.0	0.1313
1886	0.0294	0.0147	90.0	0.0784
1890	0.0343	0.0147	90.0	0.0862
1893	0.0318	0.0147	90.0	0.0803
1903	0.0294	0.0122	90.0	0.0745
1904	0.0245	0.0098	90.0	0.0549
1905	0.0196	0.0073	90.0	0.0431
1906	0.0294	0.0122	90.0	0.0705
1907	0.0220	0.0098	90.0	0.0490
1908	0.0196	0.0073	90.0	0.0431
1909	0.0196	0.0073	90.0	0.0431
1910	0.0318	0.0147	90.0	0.0843
1911	0.0220	0.0098	90.0	0.0627
1912	0.0245	0.0098	90.0	0.0588
1913	0.0294	0.0122	90.0	0.0705
1914	0.0245	0.0098	90.0	0.0666
1915	0.0245	0.0098	90.0	0.0647
1916	0.0245	0.0098	90.0	0.0666
1917	0.0269	0.0122	90.0	0.0764
1918	0.0318	0.0122	90.0	0.0784
1919	0.0245	0.0098	90.0	0.0666
1920	0.0294	0.0122	90.0	0.0784
1921	0.0245	0.0098	90.0	0.0705
1922	0.0269	0.0122	90.0	0.0745
1924	0.0269	0.0122	90.0	0.0764
1923	0.0269	0.0122	90.0	0.0725
1929	0.0269	0.0122	90.0	0.0725
1930	0.0294	0.0122	90.0	0.0745
2698	0.0269	0.0098	90.0	0.0705
2711	0.0220	0.0073	90.0	0.0431
Nível de confiança:		0,950		
Fator de expansão 1D:		1,959		
Fator de expansão 2D:		2,448		

Tabela 9.15 – Coordenadas topocêntricas dos pontos de controle, resultantes do ajuste com o programa *ADJUST*, antes de eliminar *outliers*, para as estratégias 1 e 2.

Estação	Estratégias	Coordenadas topocêntricas (m)			Desvios padrão com NC de 95% - (m)		
		e	n	h	σ_e	σ_n	σ_h
Q1: BRAZ	1	0,0023	-0,0903	0,0285	0,061	0,027	0,131
	2	0,0374	-0,0912	-0,0465	0,044	0,020	0,096
Q2: VICO	1	-0,1867	0,0315	0,1160	0,069	0,029	0,171
	2	-0,1662	0,0131	0,0960	0,051	0,022	0,129
Q3: AVER	1	-0,0742	-0,0375	0,0424	0,073	0,027	0,169
	2	-0,0718	-0,0353	0,0274	0,054	0,020	0,125
Q4: FRAN	1	-0,0450	0,0223	0,2839	0,064	0,024	0,143
	2	-0,0879	0,0125	0,3379	0,047	0,020	0,106
Q5: LIMO	1	-0,0718	0,0608	0,0397	0,069	0,029	0,169
	2	-0,1103	0,0328	0,1277	0,051	0,022	0,123

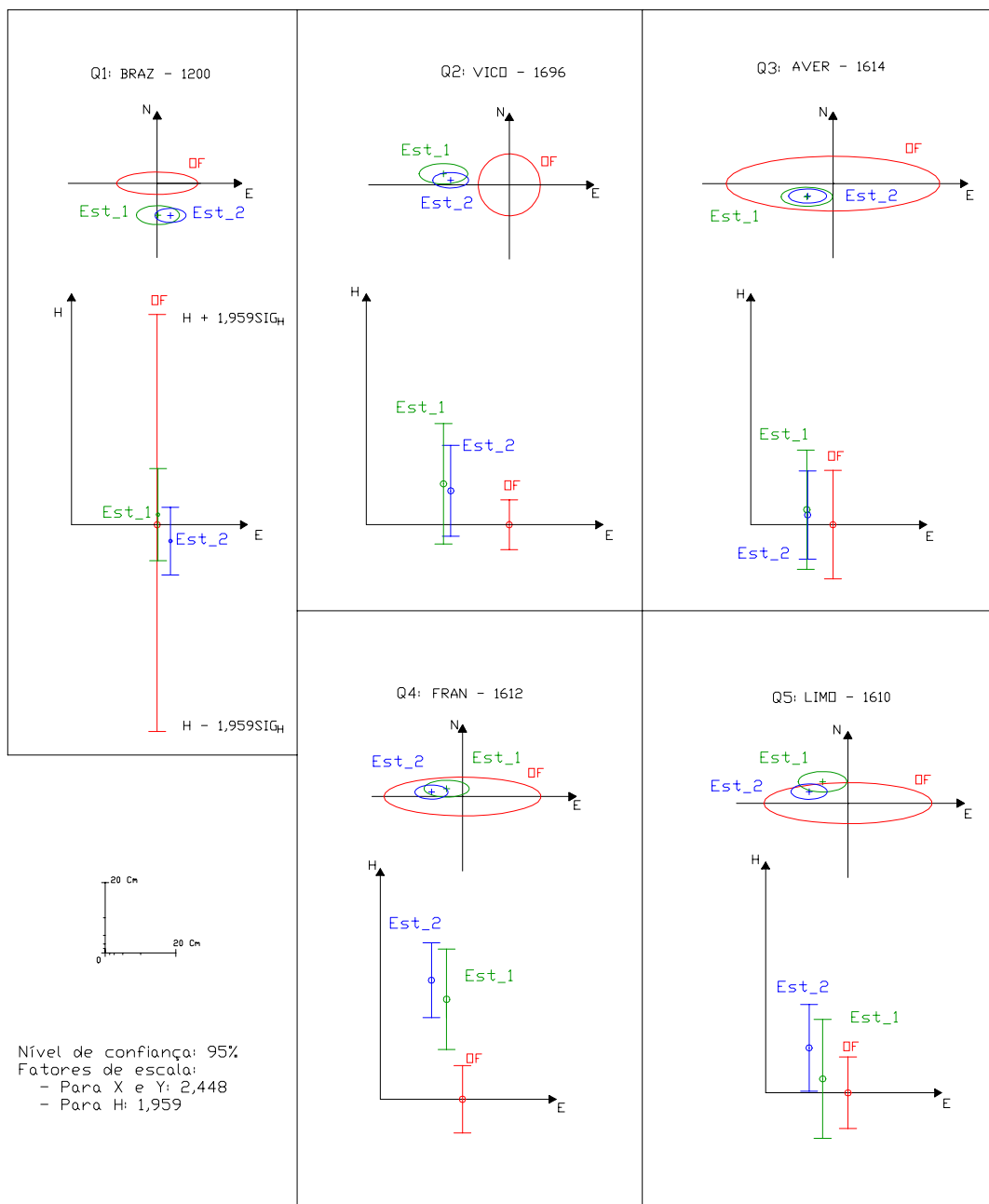


Figura 9.16 - Posições e elipses dos erros para pontos de controle, determinadas pelo *ADJUST* considerando os vetores das estratégias 1 e 2, antes de eliminar *outliers*.

Tabela 9.16 – Coordenadas topocêntricas dos pontos de controle, resultantes do ajuste com o programa *ADJUST*, depois de eliminar *outliers*, para as estratégias 1 e 2.

Estação	Estratégias	Coordenadas topocêntricas (m)			Desvios padrão com NC de 95% - (m)		
		e	n	h	σ_e	σ_n	σ_h
Q1: BRAZ	1	0,1364	-0,1260	-0,0205	0,032	0,012	0,088
	2	0,1123	-0,1063	-0,0415	0,037	0,012	0,088
Q2: VICO	1	-0,1214	-0,0168	0,1680	0,027	0,012	0,069
	2	-0,1535	-0,0254	0,1880	0,027	0,012	0,071
Q3: AVER	1	-0,0768	-0,0304	0,0434	0,024	0,010	0,057
	2	-0,0745	-0,0307	0,0254	0,024	0,010	0,059
Q4: FRAN	1	-0,0711	-0,0005	0,3449	0,024	0,010	0,053
	2	-0,0705	-0,0008	0,3459	0,024	0,010	0,053
Q5: LIMO	1	-0,0758	0,0377	0,1657	0,039	0,015	0,090
	2	-0,1348	-0,0226	0,1517	0,032	0,020	0,106

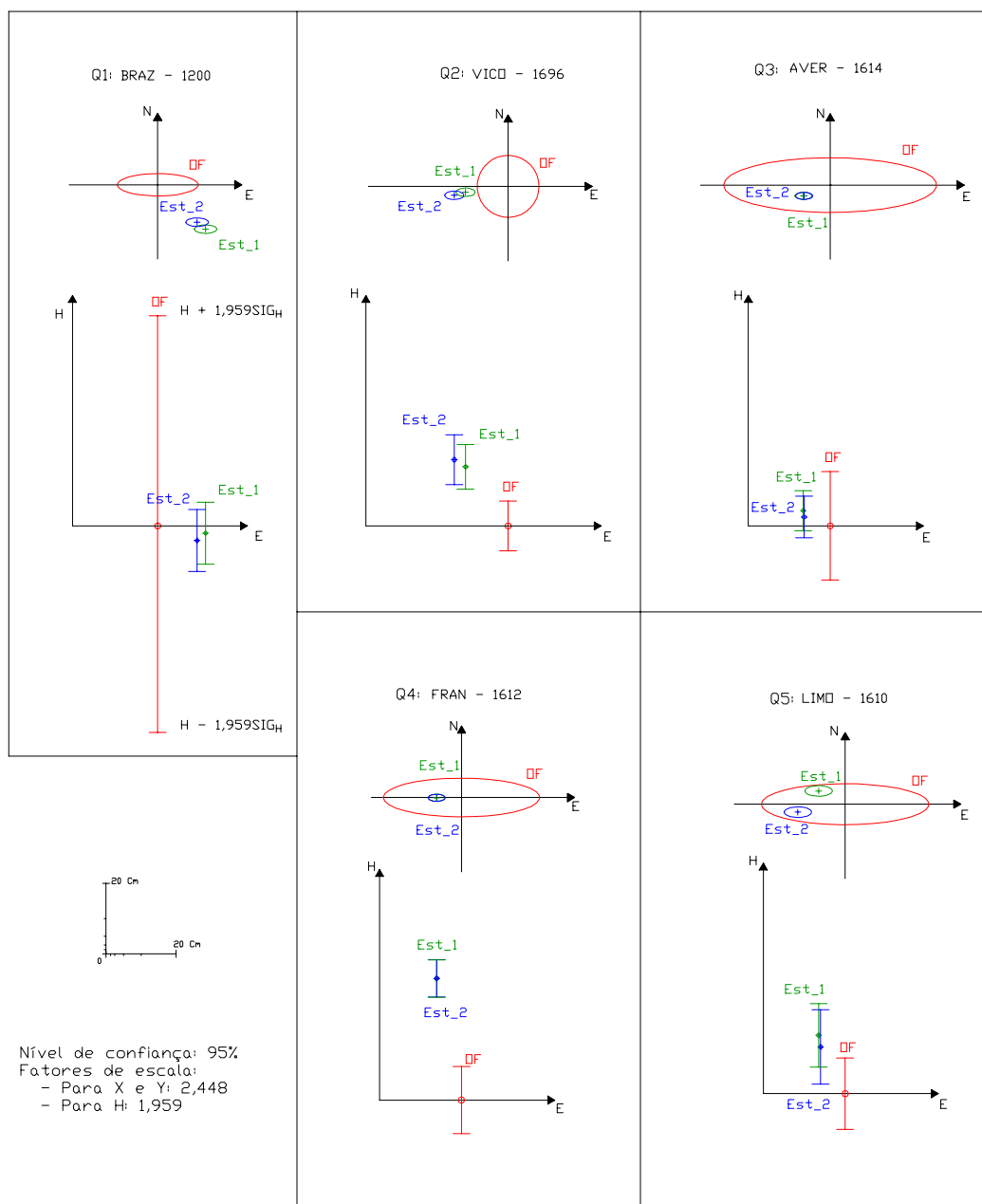


Figura 9.17 - Posições e elipses dos erros para pontos de controle, determinadas pelo *ADJUST* considerando os vetores das estratégias 1 e 2, após eliminar *outliers*.

9.3.5 – Verificação da influência da injeção de diferentes pontos de controle

Antes de fixar todos os possíveis pontos de controle, é prudente verificar a influência da fixação de cada um na determinação das coordenadas e seus desvios padrão.

Considerando os vetores da estratégia 1, que levaram a um sigma zero *a posteriori* de 9,98, e a matriz das variâncias e covariâncias completa, ou seja, considerando as correlações entre vetores independentes de uma mesma sessão, foram realizados ajustamentos com diferentes injeções.

Nas Tabelas 9.17 a 9.21, são listadas as diferenças entre as coordenadas oficiais e as encontradas no ajustamento da Rede Minas, fixando uma só estação: CHUÁ, BRAZ, ou VICO; duas: BRAZ e VICO ou estas três em um mesmo ajustamento.

Para as latitudes e longitudes as diferenças tabeladas são entre os módulos dos valores determinados e os dos valores oficiais e para as alturas, o contrário, ou seja, entre os valores oficiais e os determinados. Em verdade estas diferenças são as coordenadas topocêntricas, calculadas pelo *TOPOSAT*, nos sistemas com origem nas coordenadas oficiais de cada ponto.

A Figura 9.18 mostra as posições relativas das estações e as elipses dos erros, ao fixar diferentes pontos de controle.

Analisando os dados das Tabelas 9.17 a 9.21 e a Figura 9.18 constata-se que:

- a) Ao fixar as coordenadas oficiais que definem CHUÁ, o ponto que define a estação BRAZ desloca-se, em relação àquele definido pelas coordenadas oficiais, cerca de 10 cm tanto para leste quanto para o sul e, com relação à altura geométrica, praticamente não há diferença. Já os demais pontos que definem VICO, LIMO, FRAN e AVER deslocam-se aproximadamente 10 cm para oeste e, em altura geométrica, FRAN desloca-se cerca de 35 cm, VICO e LIMO, 15 cm e AVER 5 cm, para cima.

Tabela 9.17 - Diferenças entre as coordenadas determinadas e as oficiais, fixando CHUÁ – 1031.

Diferenças em Centímetros	BRAZ-1200	VICO-1696	AVER-1614	FRAN-1612	LIMO-1610
Δ LAT	-12,60	-1,68	-3,04	-0,05	3,77
Δ LONG	13,64	-12,14	-7,68	-7,11	-7,58
Δ HG	-2,05	16,80	4,34	34,49	16,57

Tabela 9.18 - Diferenças entre as coordenadas determinadas e as oficiais, fixando BRAZ – 1200.

Diferenças em Centímetros	CHUÁ-1031	VICO-1696	AVER-1614	FRAN-1612	LIMO-1610
Δ LAT	12,73	10,66	9,87	12,63	16,44
Δ LONG	-13,63	-26,22	-21,09	-20,81	-21,30
Δ HG	1,29	16,80	6,14	35,49	17,27

Tabela 9.19 - Diferenças entre as coordenadas determinadas e as oficiais, fixando VICO – 1696.

Diferenças em Centímetros	CHUÁ-1031	BRAZ-1200	AVER-1614	FRAN-1612	LIMO-1610
Δ LAT	1,59	-9,83	-1,63	1,34	4,88
Δ LONG	10,68	24,38	2,36	3,79	3,43
Δ HG	-17,81	-19,65	-13,86	16,79	-1,03

Tabela 9.20 - Diferenças entre as coordenadas determinadas e as oficiais, fixando BRAZ e VICO.

Diferenças em Centímetros	CHUÁ-1031	AVER-1614	FRAN-1612	LIMO-1610
Δ LAT	4,85	1,76	4,44	6,01
Δ LONG	2,18	-6,17	-4,41	-0,22
Δ HG	-19,41	-15,16	14,99	-1,83

Tabela 9.21 - Diferenças entre as coordenadas determinadas e as oficiais, fixando CHUÁ, BRAZ e VICO.

Diferenças em Centímetros	AVER-1614	FRAN-1612	LIMO-1610
Δ LAT	-3,01	1,92	5,49
Δ LONG	-7,71	-4,64	0,18
Δ HG	3,94	25,29	0,87

- b) Ao fixar BRAZ, o ponto que define a estação CHUÁ desloca-se, em relação àquele definido pelas coordenadas oficiais, cerca de 10 cm tanto para oeste quanto para o norte e, com relação à altura geométrica, praticamente não há diferença. Já os demais pontos que definem VICO, LIMO, FRAN e AVER deslocam aproximadamente 20 cm para oeste e 10 cm para o norte; em altura geométrica, FRAN desloca-se cerca de 35 cm, VICO e LIMO, 15 cm e AVER 5 cm, para cima.
- c) Fixando as coordenadas oficiais de BRAZ e VICO, as maiores diferenças verificadas, em latitudes e longitudes, para os demais pontos de controle, estão por volta de 5 cm; e em altura geométrica, verifica-se que CHUÁ e AVER descem cerca de 15 cm e FRAN sobe 15 cm.
- d) Fixando as coordenadas oficiais de BRAZ, VICO e CHUÁ, as maiores diferenças verificadas, entre as coordenadas oficiais e as determinadas no ajustamento, estão por volta de 5 cm, em latitudes e longitudes; e em altura geométrica, verifica-se que FRAN sobe, aproximadamente, 25 cm.

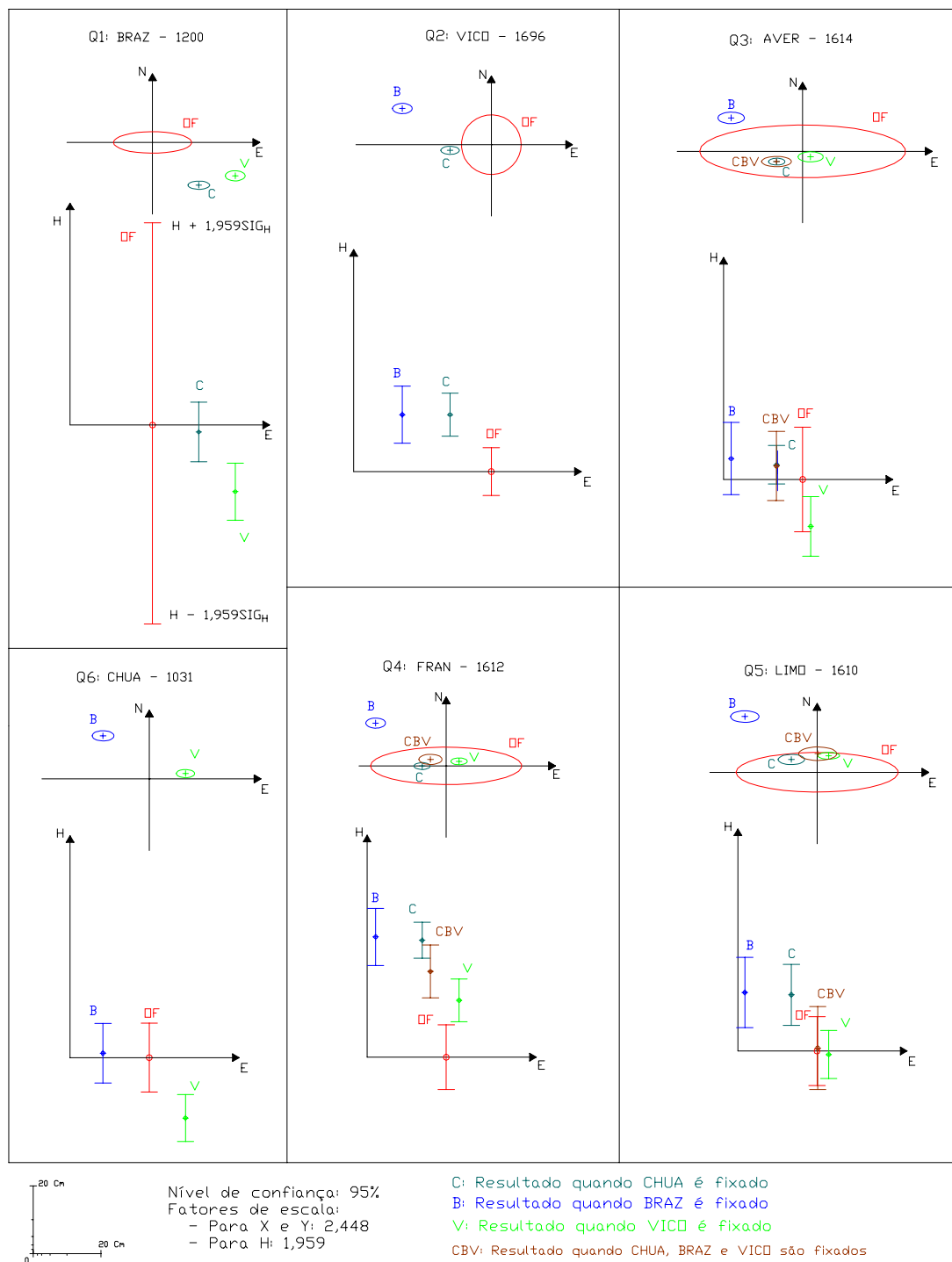


Figura 9.18 - Posições e elipses dos erros para pontos de controle, fixando diferentes estações.

Avaliando ainda a qualidade dos pontos de controle, verificou-se o seguinte: considerando um sigma zero *a priori* de 9,98, nos ajustamentos com injunções mínimas, o *a posteriori* é igual a unidade. Fixando BRAZ e VICO este valor altera para 1,64; fixando BRAZ, VICO e CHUÁ para 1,76 e fixando as seis estações listadas na Tabela 9.4, a raiz quadrada da variância de referência *a posteriori* vai para 2,00. A Tabela 9.22 mostra os valores dos sigmas zero *a posteriori*, para um sigma zero *a priori* de 9,98, quando é liberada uma das seis estações de controle.

Tabela 9.22 - Raiz quadrada da variância de referência *a posteriori*, ao liberar uma das seis estações de controle fixadas.

Estação liberada	Raiz quadrada da variância de referência <i>a posteriori</i>	Estação liberada	Raiz quadrada da variância de referência <i>a posteriori</i>
CHUÁ - 1031	1,86	FRAN - 1612	1,91
BRAZ - 1200	1,44	AVER - 1614	1,94
LIMO - 1610	1,92	VICO - 1696	1,92

Analisando a Tabela 9.22, juntamente com as informações contidas na Figura 9.18, bem como nas outras figuras semelhantes à esta, resultantes dos ajustamentos da estratégia 2, com os vetores no WGS84 e considerando ou não as correlações entre vetores, verifica-se que com a fixação das coordenadas oficiais da estação BRAZ-91200 - divulgadas pelo IBGE no banco de dados de coordenadas geodésicas no SAD69 e nos arquivos com extensão rtf de informações da RBMC - a precisão da Rede Minas deteriora-se.

No ajustamento da Rede Minas, com os dados da Tabela 9.21, verifica-se também fortes indícios de que a altura geométrica da estação FRAN-1612 esteja cerca de 25 cm menor do que realmente é.

Assim sendo, as coordenadas da Rede Minas foram determinadas com injunções mínimas, fixando estas seis estações de controle e liberando BRAZ. Os resultados são apresentados a seguir.

Foi realizado também um ajustamento ponderando estas seis estações, considerando as variâncias listadas na Tabela 9.4. Assim, o sigma zero *a posteriori* foi de 1,01; porém esta forma de ajustamento apresenta o inconveniente, do ponto de vista prático, tanto para a engenharia, quanto para a organização do mapeamento sistemático do País, de variar as coordenadas dos pontos de controle.

9.3.6- Coordenadas das estações da Rede Geodésica por GPS do Estado de Minas Gerais

A Figura 9.19 mostra as elipses resultantes dos desvios padrão calculados pelo *ADJUST*, fixando as seis estações das quais se teve acesso às coordenadas geodésicas e seus desvios padrão. Já a Figura 9.20 mostra as mesmas elipses após liberar a estação BRAZ.

Analisando estas figuras verifica-se que ao liberar BRAZ as elipses diminuem, ou seja, a precisão interna da rede melhora.

Verifica-se ainda nestas elipses, que as estações MONT-1871, GUAÇ-1874 e ELOI-1903 apresentam os maiores desvios, tanto em latitude e longitude como em altura geométrica e que os maiores valores são, com um nível de 95% de confiança, 3,7 cm para a latitude, 4,7 cm para a longitude e 21 cm para a altura geométrica da estação 1874, fixando as seis estações de controle. Esses valores caem para 2,7, 3,4 e 15 cm liberando BRAZ.

Os Anexos F e G trazem, respectivamente, as precisões relativas internas e externas, calculadas pelo *ADJUST*, para as distâncias entre as estações calculadas com as coordenadas ajustadas, fixando as seis estações e liberando BRAZ.

O *ADJUST* determina a precisão interna a partir dos desvios padrão das coordenadas estimadas e a precisão externa a partir das diferenças entre as coordenadas estimadas com injunção mínima e aquelas estimadas com mais injunções.

Ao fixar as seis estações, verifica-se, no Anexo F, que a pior precisão relativa externa é de 1/1 404 704 e está entre as estações BRAZ e PARA, cuja distância é de aproximadamente 165537m. Liberando BRAZ a pior precisão relativa externa passa

a ser 1/1 665 282, entre as estações CHUÁ e FRAN, cuja distância aproximada é de 117966 m – Anexo G.

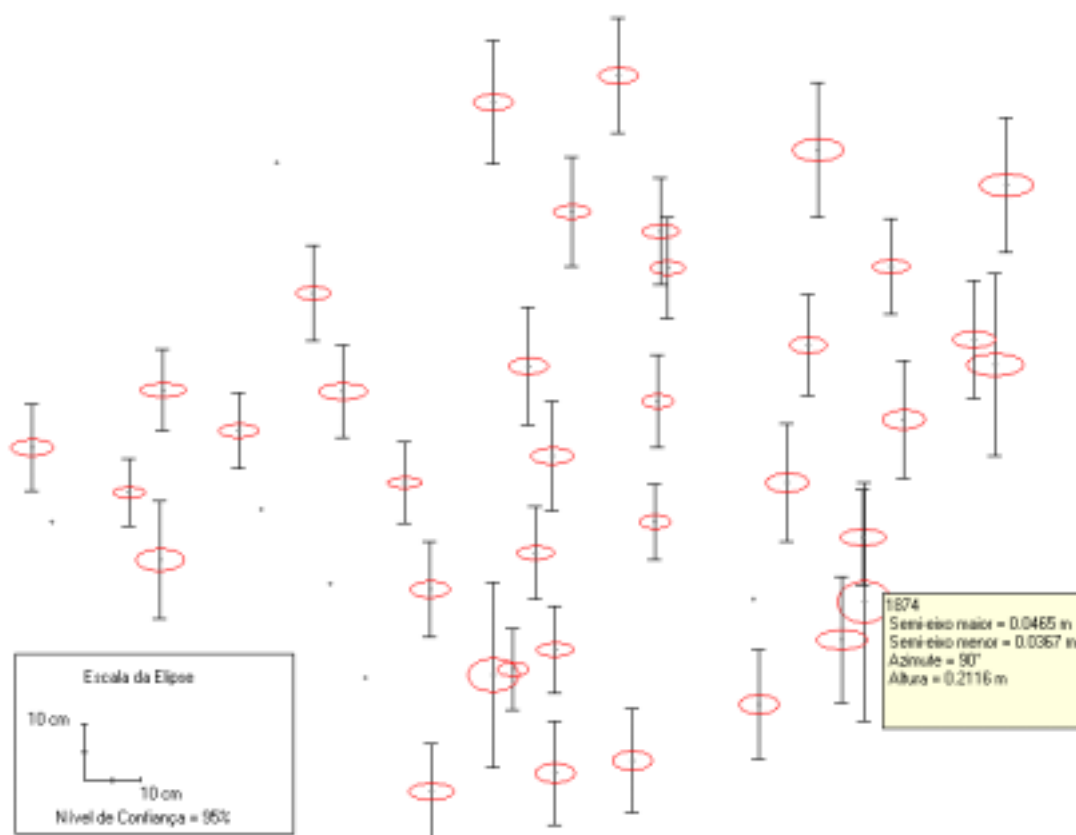


Figura 9.19 - Elipses resultantes dos desvios padrão calculados pelo *ADJUST*, fixando CHUÁ, BRAZ, VICO, AVER, FRAN e LIMO.

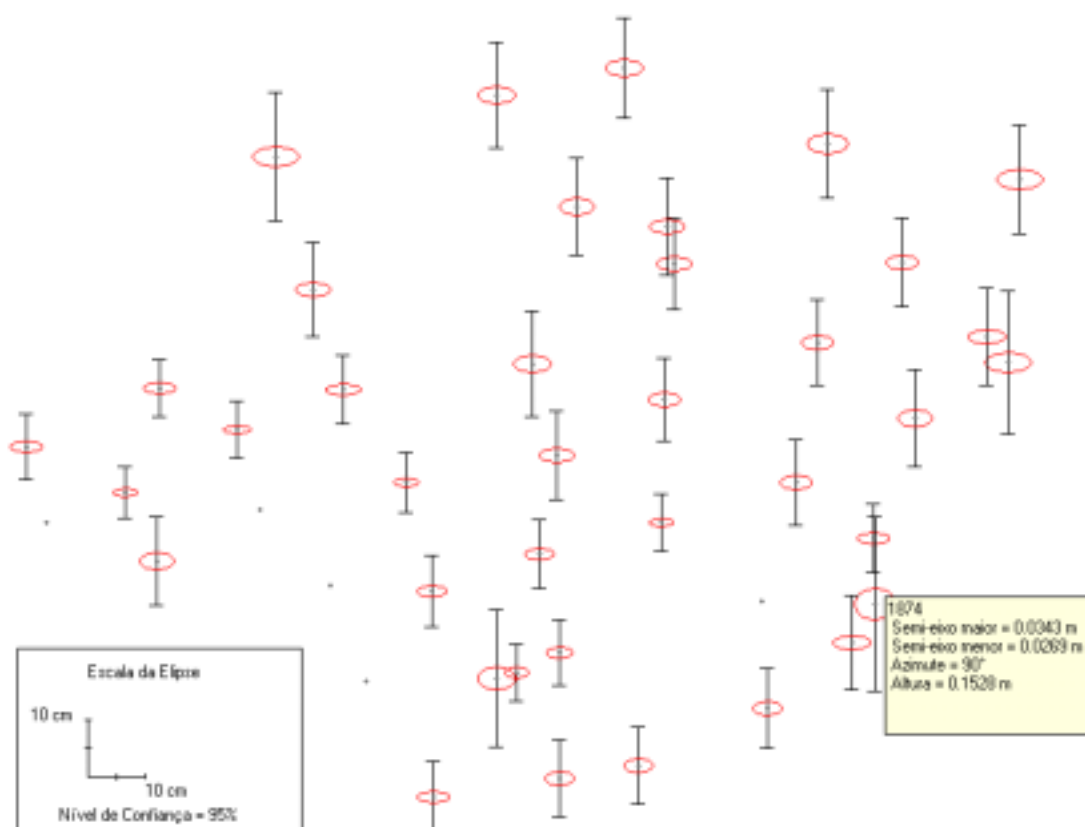


Figura 9.20 - Elipses resultantes dos desvios padrão calculados pelo *ADJUST*, fixando cinco estações - liberando BRAZ.

Finalmente, as Tabelas 9.23, 9.24 e 9.25 listam as coordenadas dos pontos da Rede Geodésica por GPS do Estado de Minas Gerais, no WGS84, seus desvios padrão e os números Googe, determinados fixando as seis estações de controle, liberando a estação BRAZ e fixando somente CHUÁ, respectivamente.

Vale lembrar que, de acordo com Mader et al. (1994), se o número Googe for menor que 1×10^{-6} , o parâmetro foi mal determinado. A determinação é melhor, quando este número aproxima de 1. Observando as Tabelas 9.23, 9.24 e 9.25, verifica-se que as coordenadas com os piores números Googe são aquelas determinadas, com injunção mínima, para a estação PARA-2698, próxima a BRAZ.

Verifica-se ainda nestas tabelas que as coordenadas, latitude, longitude e altura geométrica, da estação 1874-GUAÇ variaram cerca de 1,5 cm (0,0005”), 12 cm (0,004”) e 18 cm, respectivamente, do ajustamento com injunções mínimas para o ajustamento fixando as seis estações de controle. Para a estação 1918-JACI estas variações foram da ordem de 6 cm (0,002”), 3 cm (0,001”) e 25 cm e para a estação BRAZ de 12 cm para oeste, 14 cm para o norte e 2 cm para cima.

Comparando os resultados do ajustamento fixando as seis estações com aqueles obtidos liberando BRAZ, verifica-se, para esta estação, alterações na ordem de 20 cm para oeste, 10 cm para o norte e 21 cm para cima.

As coordenadas aqui apresentadas podem ser utilizadas com fins didáticos e científicos; no entanto, as coordenadas oficiais das estações da Rede Geodésica por GPS do Estado de Minas Gerais, serão aquelas divulgadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Tabela 9.23 – Coordenadas, desvios padrão e números Googe das estações da Rede Minas, no WGS-84, fixando 6 estações.

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1614	AVER	19 50 31,82442	50 20 5,75989	390,385	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1904	SIMA	19 1 3,99552	50 30 43,28564	386,884	0,006	0,015	0,040	7,4D-01	8,1D-01	8,0D-01
1908	CAMP	19 33 5,22050	49 29 41,14558	516,882	0,004	0,011	0,031	9,5D-01	8,7D-01	8,5D-01
1790	FRON	20 17 38,45554	49 11 40,00852	449,845	0,008	0,017	0,054	1,0D+00	9,9D-01	9,7D-01
1031	CHUÁ	19 45 43,34588	48 6 5,67317	754,150	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
2711	ARAP	18 25 27,37544	49 7 8,10729	511,985	0,005	0,016	0,037	9,6D-01	9,6D-01	9,1D-01
1907	CORO	18 28 38,41485	47 13 5,11006	955,692	0,006	0,017	0,042	9,3D-01	9,5D-01	9,1D-01
1909	UBER	18 53 22,33888	48 19 1,07584	791,890	0,005	0,014	0,035	1,0D+00	9,7D-01	9,3D-01
1200	BRAZ	15 56 50,92070	47 52 40,30653	1105,951	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1905	IBIA	19 29 19,53870	46 35 2,19053	1108,567	0,004	0,012	0,037	9,1D-01	8,6D-01	9,1D-01
1612	FRAN	20 34 54,87338	47 22 51,41593	1004,883	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1679	FURN	20 39 55,05055	46 19 14,54297	676,095	0,006	0,014	0,044	9,9D-01	9,8D-01	9,5D-01
1911	PEDR	20 15 38,73515	45 11 43,00840	997,411	0,005	0,013	0,042	9,7D-01	9,7D-01	9,4D-01
1912	BHTE	43 55 49,90891	19 55 20,35918	875,253	0,005	0,011	0,034	9,0D-01	9,3D-01	9,0D-01
1913	IPAT	19 28 20,51747	42 31 36,42102	252,437	0,007	0,015	0,053	9,2D-01	9,1D-01	9,4D-01
1914	AGUA	17 57 56,54130	42 19 55,77041	641,220	0,006	0,013	0,046	7,0D-01	7,7D-01	8,2D-01

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1915	GOUV	18 35 32,80194	43 53 58,60760	1262,123	0,005	0,011	0,042	9,7D-01	9,6D-01	9,7D-01
1916	POMP	19 11 56,06397	45 0 53,85343	727,585	0,006	0,015	0,050	9,3D-01	9,2D-01	9,2D-01
1610	LIMO	21 37 30,59642	47 1 4,82185	580,068	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1910	CHAL	20 4 2,62034	41 42 22,91457	639,536	0,006	0,016	0,043	9,4D-01	9,4D-01	8,8D-01
1696	VICO	20 45 41,41102	42 52 11,93818	666,056	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1729	LAVR	21 19 50,21629	44 59 1,98410	1213,660	0,005	0,013	0,040	9,8D-01	9,8D-01	9,4D-01
1930	VARG	21 32 33,67229	45 26 5,52511	958,711	0,005	0,011	0,037	9,0D-01	8,7D-01	9,0D-01
1903	ELOI	21 36 6,59774	45 38 46,02820	826,835	0,012	0,018	0,084	9,9D-01	9,2D-01	5,5D-01
1906	EXTR	22 53 17,63659	46 19 7,27924	1643,962	0,006	0,016	0,044	9,3D-01	9,4D-01	8,6D-01
1874	GUAC	20 46 55,03103	41 40 49,25441	632,089	0,015	0,019	0,108	1,0D+00	9,6D-01	6,4D-01
1890	ITAP	21 11 45,04405	41 54 43,51470	111,127	0,007	0,018	0,058	9,8D-01	9,8D-01	9,6D-01
1886	ALEM	21 55 27,81898	42 47 25,94116	231,752	0,007	0,014	0,050	9,9D-01	9,8D-01	9,8D-01
1893	BARR	22 33 20,39966	44 9 18,23577	376,647	0,007	0,014	0,047	8,3D-01	8,9D-01	8,4D-01
1742	CAPA	22 41 14,54012	44 59 8,83454	616,084	0,007	0,014	0,047	1,0D+00	1,0D+00	9,7D-01
1769	CENT	18 46 2,04098	41 18 53,01714	252,304	0,007	0,015	0,054	9,4D-01	9,1D-01	9,1D-01
1871	MONT	18 7 59,39325	40 21 49,08900	179,809	0,008	0,020	0,083	1,0D+00	1,0D+00	8,9D-01
563	NANU	17 52 12,68067	40 35 41,67302	309,053	0,006	0,015	0,054	8,5D-01	8,5D-01	8,9D-01

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1919	PADR	17 4 47,51622	41 28 33,95981	915,261	0,005	0,013	0,044	6,5D-01	6,4D-01	6,8D-01
1918	JACI	16 8 59,23557	40 17 13,28120	174,852	0,008	0,019	0,061	9,9D-01	9,8D-01	9,7D-01
1920	TAIO	15 48 9,17220	42 15 43,02502	944,518	0,008	0,018	0,061	6,2D-01	7,0D-01	6,7D-01
1922	ITAC	15 0 23,86323	44 20 19,56801	703,730	0,006	0,014	0,052	9,9D-01	9,8D-01	9,8D-01
1924	CHAP	15 18 27,19396	45 37 49,71102	856,567	0,006	0,014	0,056	8,9D-01	9,2D-01	9,5D-01
1923	AZUL	16 30 51,53593	44 48 44,99830	654,304	0,005	0,013	0,050	8,9D-01	8,8D-01	9,2D-01
1921	BOCA	17 7 52,89853	43 48 52,86831	728,309	0,005	0,012	0,046	8,1D-01	7,7D-01	8,1D-01
1917	TRES	18 12 53,94334	45 15 35,34896	566,063	0,006	0,014	0,054	8,6D-01	8,2D-01	8,7D-01
1929	MTCL	16 43 13,43274	43 52 52,71646	656,368	0,005	0,013	0,049	6,2D-01	6,1D-01	6,5D-01
2698	PARA	17 23 3,15058	47 31 11,68414	791,592	0,005	0,012	0,044	4,3D-01	4,2D-01	4,5D-01

Tabela 9.24 – Coordenadas, desvios padrão e números Googe das estações da Rede Minas, no WGS-84, liberando BRAZ.

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1614	AVER	19 50 31,82442	50 20 5,75989	390,385	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1904	SIMA	19 1 3,99553	50 30 43,28563	386,884	0,004	0,011	0,029	7,4D-01	8,1D-01	8,1D-01
1908	CAMP	19 33 5,22051	49 29 41,14557	516,883	0,003	0,008	0,023	9,5D-01	8,7D-01	8,5D-01
1790	FRON	20 17 38,45555	49 11 40,00852	449,845	0,006	0,012	0,039	1,0D+00	9,9D-01	9,7D-01
1031	CHUÁ	19 45 43,34588	48 6 5,67317	754,150	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
2711	ARAP	18 25 27,37546	49 7 8,10724	511,985	0,004	0,011	0,026	9,6D-01	9,6D-01	9,1D-01
1907	CORO	18 28 38,41491	47 13 5,10984	955,689	0,004	0,012	0,030	9,3D-01	9,5D-01	9,1D-01
1909	UBER	18 53 22,33897	48 19 1,07546	791,883	0,003	0,010	0,025	1,0D+00	9,7D-01	9,3D-01
1200	BRAZ	15 56 50,92416	47 52 40,29977	1105,734	0,007	0,016	0,057	1,0D+00	9,6D-01	9,7D-01
1905	IBIA	19 29 19,53893	46 35 2,18991	1108,572	0,003	0,009	0,027	9,1D-01	8,6D-01	9,1D-01
1612	FRAN	20 34 54,87338	47 22 51,41593	1004,883	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1679	FURN	20 39 55,05091	46 19 14,54223	676,104	0,004	0,010	0,032	9,9D-01	9,8D-01	9,5D-01
1911	PEDR	20 15 38,73552	45 11 43,00765	997,422	0,004	0,010	0,031	9,7D-01	9,7D-01	9,4D-01
1912	BHTE	19 55 20,35956	43 55 49,90820	875,266	0,003	0,008	0,026	9,0D-01	9,3D-01	9,0D-01
1913	IPAT	19 28 20,51777	42 31 36,42031	252,443	0,005	0,011	0,038	9,2D-01	9,1D-01	9,4D-01
1914	AGUA	17 57 56,54233	42 19 55,76869	641,270	0,005	0,011	0,038	7,0D-01	7,7D-01	8,2D-01

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1915	GOUV	18 35 32,80302	43 53 58,60532	1262,166	0,005	0,011	0,037	9,7D-01	9,6D-01	9,7D-01
1916	POMP	19 11 56,06479	45 0 53,85213	727,575	0,005	0,012	0,039	9,3D-01	9,2D-01	9,2D-01
1610	LIMO	21 37 30,59642	47 1 4,82185	580,068	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1910	CHAL	20 4 2,62044	41 42 22,91442	639,541	0,004	0,011	0,031	9,4D-01	9,4D-01	8,8D-01
1696	VICO	20 45 41,41102	42 52 11,93818	666,056	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1729	LAVR	21 19 50,21638	44 59 1,98394	1213,665	0,004	0,009	0,029	9,8D-01	9,8D-01	9,4D-01
1930	VARG	21 32 33,67236	45 26 5,52497	958,716	0,004	0,008	0,026	9,0D-01	8,7D-01	9,0D-01
1903	ELOI	21 36 6,59779	45 38 46,02811	826,837	0,008	0,013	0,061	9,9D-01	9,2D-01	5,5D-01
1906	EXTR	22 53 17,63667	46 19 7,27903	1643,969	0,004	0,011	0,032	9,3D-01	9,4D-01	8,6D-01
1874	GUAC	20 46 55,03107	41 40 49,25435	632,091	0,011	0,014	0,078	1,0D+00	9,6D-01	6,4D-01
1890	ITAP	21 11 45,04409	41 54 43,51462	111,130	0,005	0,013	0,042	9,8D-01	9,8D-01	9,6D-01
1886	ALEM	21 55 27,81902	42 47 25,94109	231,755	0,005	0,010	0,036	9,9D-01	9,8D-01	9,8D-01
1893	BARR	22 33 20,39969	44 9 18,23569	376,650	0,005	0,010	0,034	8,3D-01	8,9D-01	8,4D-01
1742	CAPA	22 41 14,54015	44 59 8,83446	616,087	0,005	0,010	0,034	1,0D+00	1,0D+00	9,7D-01
1769	CENT	18 46 2,04209	41 18 53,01511	252,366	0,006	0,012	0,044	9,4D-01	9,1D-01	9,1D-01
1871	MONT	18 7 59,39439	40 21 49,08701	179,871	0,007	0,016	0,064	1,0D+00	1,0D+00	8,9D-01
563	NANU	17 52 12,68184	40 35 41,67100	309,114	0,005	0,013	0,044	8,5D-01	8,5D-01	8,9D-01

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1919	PADR	17 4 47,51753	41 28 33,95755	915,325	0,005	0,011	0,039	6,5D-01	6,4D-01	6,8D-01
1918	JACI	16 8 59,23681	40 17 13,27920	174,913	0,007	0,016	0,049	9,9D-01	9,8D-01	9,7D-01
1920	TAIO	15 48 9,17349	42 15 43,02294	944,577	0,007	0,014	0,049	6,2D-01	7,0D-01	6,7D-01
1922	ITAC	15 0 23,86502	44 20 19,56518	703,778	0,006	0,013	0,045	9,8D-01	9,8D-01	9,8D-01
1924	CHAP	15 18 27,19567	45 37 49,70817	856,608	0,006	0,013	0,047	8,9D-01	9,2D-01	9,5D-01
1923	AZUL	16 30 51,53755	44 48 44,99540	654,356	0,006	0,012	0,044	8,8D-01	8,8D-01	9,2D-01
1921	BOCA	17 7 52,90003	43 48 52,86556	728,369	0,005	0,012	0,041	8,0D-01	7,7D-01	8,0D-01
1917	TRES	18 12 53,94479	45 15 35,34592	566,120	0,006	0,013	0,047	8,5D-01	8,1D-01	8,6D-01
1929	MTCL	16 43 13,43432	43 52 52,71366	656,427	0,005	0,012	0,043	5,8D-01	5,9D-01	6,3D-01
2698	PARA	17 23 3,15224	47 31 11,68067	791,656	0,005	0,012	0,042	2,1D-01	2,0D-01	2,5D-01

Tabela 9.25 – Coordenadas, desvios padrão e números Googe das estações da Rede Minas, no WGS-84, fixando somente CHUÁ.

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1614	AVER	19 50 31,82541	50 20 5,76253	390,428	0,004	0,010	0,029	5,5D-01	4,2D-01	4,5D-01
1904	SIMA	19 1 3,99598	50 30 43,28747	386,910	0,003	0,010	0,028	7,4D-01	8,1D-01	8,0D-01
1908	CAMP	19 33 5,22097	49 29 41,14698	516,906	0,003	0,008	0,021	9,5D-01	8,7D-01	8,5D-01
1790	FRON	20 17 38,45589	49 11 40,00946	449,859	0,004	0,009	0,029	1,0D+00	9,9D-01	9,7D-01
1031	CHUÁ	19 45 43,34588	48 6 5,67317	754,150	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
2711	ARAP	18 25 27,37568	49 7 8,10805	512,014	0,003	0,008	0,020	9,6D-01	9,6D-01	9,1D-01
1907	CORO	18 28 38,41500	47 13 5,11042	955,726	0,003	0,009	0,021	9,3D-01	9,5D-01	9,1D-01
1909	UBER	18 53 22,33906	48 19 1,07640	791,958	0,002	0,007	0,019	1,0D+00	9,6D-01	9,2D-01
1200	BRAZ	15 56 50,92480	47 52 40,30194	1105,930	0,005	0,013	0,045	1,0D+00	9,6D-01	9,7D-01
1905	IBIA	19 29 19,53906	46 35 2,19141	1108,701	0,003	0,008	0,022	7,9D-01	7,6D-01	7,9D-01
1612	FRAN	20 34 54,87339	47 22 51,41838	1005,228	0,004	0,010	0,027	9,3D-01	8,9D-01	9,2D-01
1679	FURN	20 39 55,05106	46 19 14,54493	676,283	0,004	0,010	0,034	9,4D-01	9,2D-01	8,9D-01
1911	PEDR	20 15 38,73573	45 11 43,01043	997,598	0,004	0,010	0,033	9,1D-01	9,1D-01	8,6D-01
1912	BHTE	19 55 20,35984	43 55 49,91120	875,460	0,004	0,009	0,030	7,5D-01	7,5D-01	7,4D-01
1913	IPAT	19 28 20,51816	42 31 36,42343	252,612	0,005	0,011	0,038	7,1D-01	7,9D-01	7,1D-01
1914	AGUA	17 57 56,54282	42 19 55,77148	641,460	0,004	0,010	0,034	6,9D-01	7,6D-01	8,0D-01

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1915	GOUV	18 35 32,80342	43 53 58,60794	1262,358	0,004	0,010	0,034	9,5D-01	9,4D-01	9,4D-01
1916	POMP	19 11 56,06509	45 0 53,85464	727,768	0,004	0,010	0,035	8,7D-01	8,5D-01	8,4D-01
1610	LIMO	21 37 30,59519	47 1 4,82449	580,234	0,006	0,016	0,046	8,6D-01	8,5D-01	6,6D-01
1910	CHAL	20 4 2,62090	41 42 22,91843	639,723	0,005	0,013	0,038	7,1D-01	7,1D-01	6,7D-01
1696	VICO	20 45 41,41156	42 52 11,94237	666,224	0,005	0,011	0,035	8,7D-01	8,2D-01	8,2D-01
1729	LAVR	21 19 50,21662	44 59 1,98765	1213,855	0,005	0,012	0,037	9,1D-01	9,0D-01	8,7D-01
1930	VARG	21 32 33,67258	45 26 5,52866	958,908	0,005	0,012	0,037	6,8D-01	5,8D-01	6,8D-01
1903	ELOI	21 36 6,59807	45 38 46,03188	827,022	0,007	0,014	0,054	9,3D-01	8,4D-01	5,4D-01
1906	EXTR	22 53 17,63670	46 19 7,28261	1644,160	0,006	0,013	0,038	8,4D-01	8,6D-01	7,9D-01
1874	GUAC	20 46 55,03155	41 40 49,25855	632,266	0,009	0,015	0,064	1,0D+00	9,6D-01	6,4D-01
1890	ITAP	21 11 45,04451	41 54 43,51879	111,306	0,006	0,014	0,044	9,8D-01	9,8D-01	9,6D-01
1886	ALEM	21 55 27,81934	42 47 25,94520	231,934	0,006	0,013	0,042	9,9D-01	9,8D-01	9,8D-01
1893	BARR	22 33 20,39990	44 9 18,23967	376,833	0,006	0,013	0,041	8,3D-01	8,9D-01	8,4D-01
1742	CAPA	22 41 14,54033	44 59 8,83835	616,271	0,006	0,013	0,041	1,0D+00	1,0D+00	9,7D-01
1769	CENT	18 46 2,04250	41 18 53,01801	252,555	0,005	0,011	0,038	9,4D-01	9,1D-01	9,1D-01
1871	MONT	18 7 59,39489	40 21 49,09000	180,058	0,005	0,013	0,049	1,0D+00	1,0D+00	8,9D-01
563	NANU	17 52 12,68237	40 35 41,67396	309,301	0,005	0,011	0,037	8,5D-01	8,5D-01	8,9D-01

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1919	PADR	17 4 47,51813	41 28 33,96041	915,513	0,004	0,010	0,035	6,5D-01	6,4D-01	6,8D-01
1918	JACI	16 8 59,23752	40 17 13,28217	175,099	0,005	0,013	0,040	9,9D-01	9,8D-01	9,7D-01
1920	TAIO	15 48 9,17421	42 15 43,02570	944,767	0,006	0,012	0,040	6,2D-01	7,0D-01	6,6D-01
1922	ITAC	15 0 23,86580	44 20 19,56771	703,970	0,005	0,011	0,038	9,8D-01	9,7D-01	9,8D-01
1924	CHAP	15 18 27,19641	45 37 49,71056	856,801	0,005	0,011	0,039	8,9D-01	9,2D-01	9,5D-01
1923	AZUL	16 30 51,53816	44 48 44,99790	654,548	0,005	0,011	0,038	8,8D-01	8,8D-01	9,1D-01
1921	BOCA	17 7 52,90059	43 48 52,86817	728,560	0,005	0,011	0,036	7,9D-01	7,6D-01	7,9D-01
1917	TRES	18 12 53,94521	45 15 35,34839	566,314	0,005	0,011	0,039	8,4D-01	8,1D-01	8,5D-01
1929	MTCL	16 43 13,43492	43 52 52,71626	656,618	0,005	0,011	0,037	5,7D-01	5,7D-01	6,0D-01
2698	PARA	17 23 3,15272	47 31 11,68289	791,852	0,004	0,011	0,037	1,4D-01	1,3D-01	1,6D-01

9.3.7 - Ajustamento fixando as coordenadas de BRAZ e VICO, no ITRF94, constantes no relatório SIRGAS.

Após concluir os testes anteriores, e no momento de fechamento deste trabalho, recebeu-se a informação, confirmada pelo Departamento de Geodésia do IBGE que as coordenadas de BRAZ, divulgadas no banco de dados do IBGE, página http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/carta_milionesimo.php, e no arquivo brazsad.rtf, que contém as coordenadas da estação BRAZ da RBMC, no SAD69, constante no anexo D, são coordenadas antigas, determinadas em junho de 1994 e que haviam novas coordenadas para as estações da RBMC, BRAZ-91200 e VICO-91696, constantes no relatório SIRGAS. Estas coordenadas referem-se ao sistema cartesiano ITRF94, em 1995,4, e ao modelo geodésico GRS80, com semi-eixo maior igual a 6378137,000 m e achatamento, f , igual a $1/298,257\ 222\ 1$. Os novos valores dessas coordenadas estão na Tabela 9.26.

Tabela 9.26– Coordenadas geodésicas e desvios padrão no GRS80, ITRF94, das estações BRAZ-91200 e VICO- 91696.

Estações	Coordenadas geodésicas e desvios padrão no GRS80 e ITRF94					
	Latitude S	σ_{LAT} (")	Longitude W	σ_{LONG} (")	Altura geométrica (m)	σ_{HG} (m)
BRAZ	15 56 50,9135	0,0001	47 52 40,3270	0,0001	1106,027	0,004
VICO	20 45 41,4042	0,0001	42 52 11,9609	0,0001	665,962	0,004

Transformando estas coordenadas para o WGS84 e comparando-as com as coordenadas oficiais, utilizadas até então para controle, obtêm-se as diferenças dadas na Tabela 9.27. Esta tabela contém também as diferenças entre as coordenadas oficiais e as no ITRF94. A Figura 9.21 retrata estas diferenças. Observa-se que com as coordenadas referentes ao SIRGAS, no WGS84, as estações transladam-se em, aproximadamente 60 cm para oeste, 20 cm para o sul e 30 cm para cima e, observa-se ainda, que a estação BRAZ translada 5 cm a menos para oeste, 5 cm a mais para o sul e cerca de 20 cm a mais para cima, que a estação VICO.

mostradas na Tabela 9.29, constante no final deste capítulo, e às elipses dos erros representadas na Figura 9.22. O sigma zero *a posteriori*, resultante, foi de 1,57.

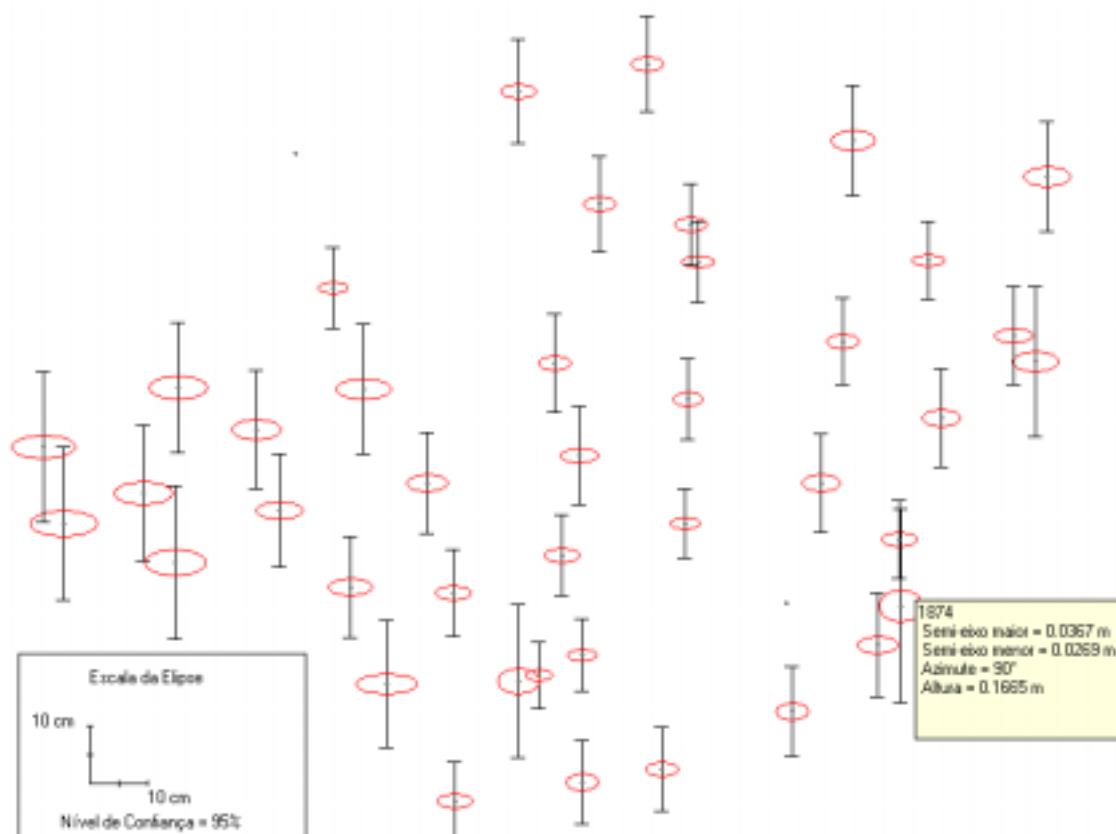


Figura 9.22 – Elipses dos erros resultantes do ajustamento no ITRF94, fixando as coordenadas de BRAZ e VICO.

Para efeito de comparação foi realizado o ajustamento com as coordenadas oficiais no WGS84 fixando BRAZ e VICO. A Figura 9.23 mostra as elipses resultantes. Como já mencionado anteriormente, o sigma zero *a posteriori*, neste caso, foi de 1,64. Para facilitar a comparação foram inseridas no corpo deste trabalho as Tabelas dos Anexos H e I, que mostram as precisões internas e externas obtidas com estas duas estratégias de ajuste. Para o ajuste fixando as coordenadas no ITRF94 do relatório SIRGAS, Anexo H, a pior precisão externa foi de 1/1 810 132 entre as estações CENT e CHAL que estão a 149693m uma da outra e, fixando as coordenadas oficiais, Anexo I, a pior precisão foi de 1/1 414 943 entre estas mesmas estações.

Verifica-se portanto uma ligeira melhora na precisão interna e externa da rede ao fixar as coordenadas dos pontos BRAZ e VICO no ITRF94.

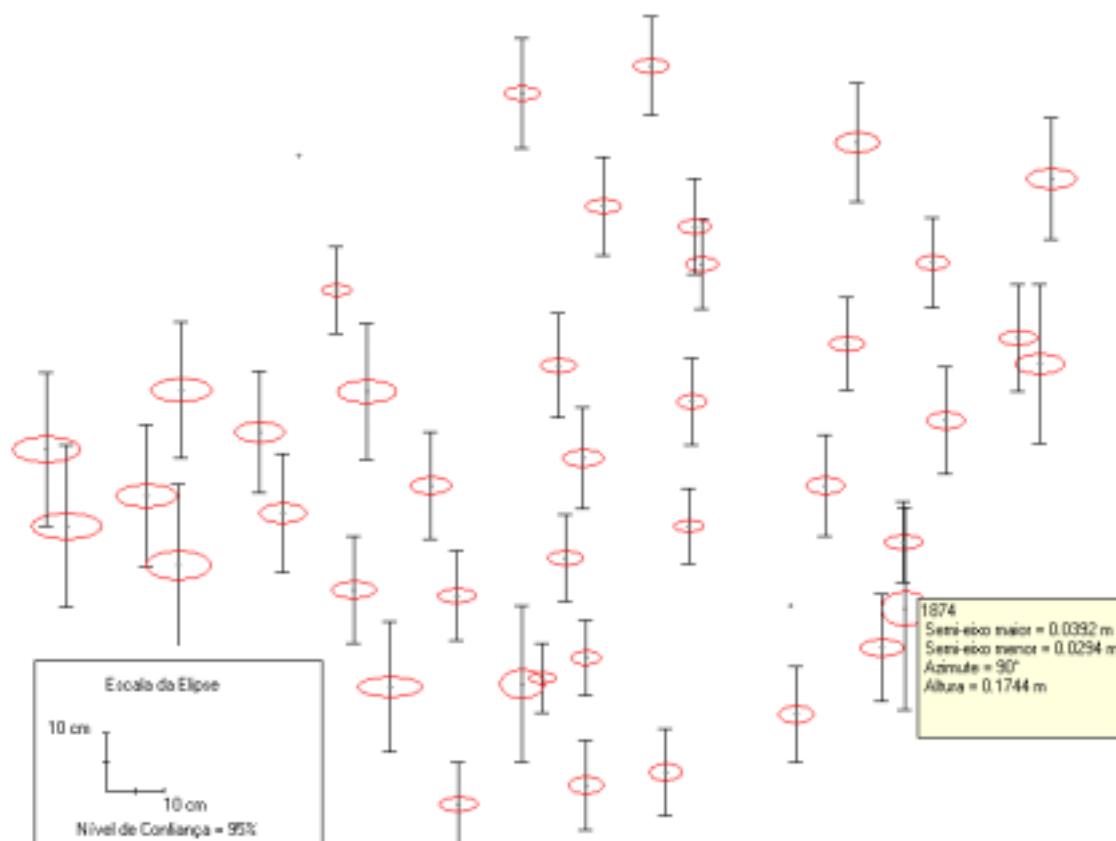


Figura 9.23 – Elipses dos erros resultantes do ajustamento fixando as coordenadas de BRAZ e VICO oficiais, no WGS84.

Após transformar as coordenadas ajustadas das estações CHUÁ, AVER, FRAN e LIMO para o WGS84, foram calculadas as coordenadas topocêntricas dessas estações, em sistemas topocêntricos com origens definidas pelas coordenadas oficiais. Os valores encontrados estão na Tabela 9.28 e graficamente mostrados na Figura 9.24

Observa-se que as estações transladam cerca de 60 cm para oeste e 20 cm para o sul. Para as alturas, observa-se que FRAN sobe aproximadamente 50 cm, LIMO e AVER 30 cm e CHUÁ 20 cm.

Tabela 9.28 - Diferenças entre as coordenadas no sistema WGS84, obtidas da conversão das coordenadas ajustadas, no ITRF94, e as oficiais utilizadas anteriormente.

Estação	e (m)	n (m)	h (m)
CHUA	-0,558	-0,193	0,210
AVER	-0,626	-0,232	0,301
FRAN	-0,622	-0,188	0,525
LIMO	-0,589	-0,166	0,344

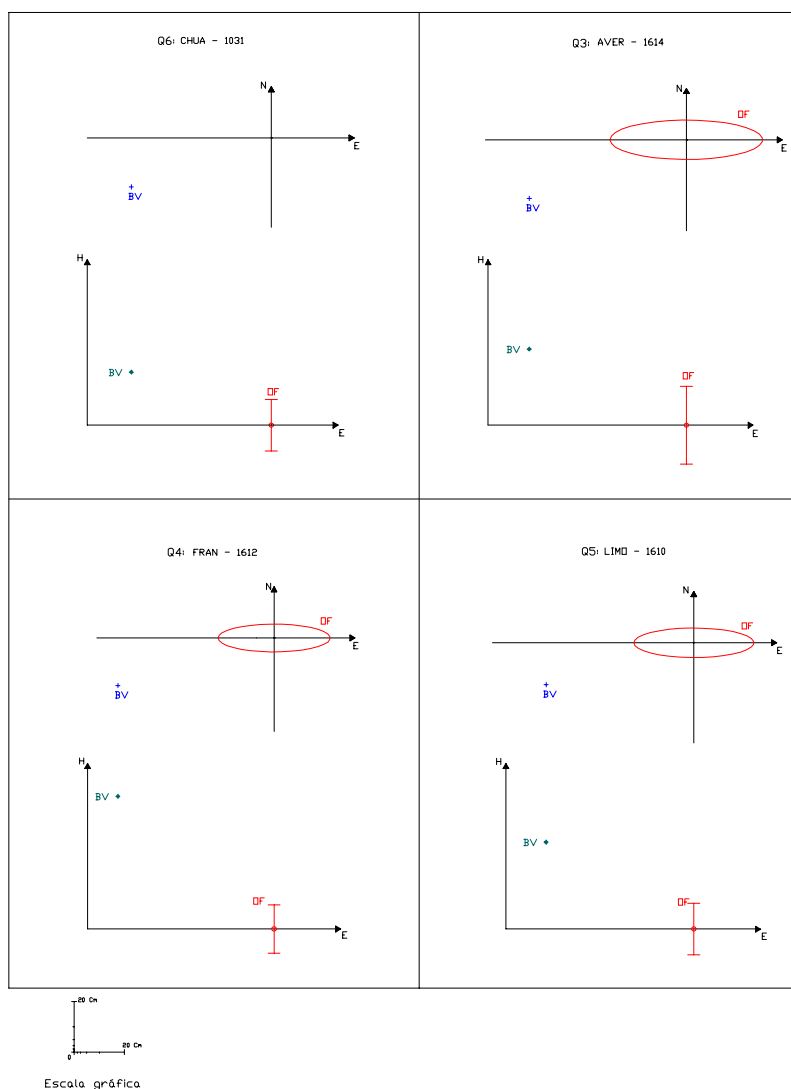


Figura 9.24 - Diferenças entre as coordenadas no sistema WGS84, obtidas da conversão das coordenadas ajustadas, no ITRF94, e as oficiais utilizadas anteriormente.

Tabela 9.29 – Coordenadas, desvios padrão e números Googe das estações da Rede Minas, no ITRF94, fixando BRAZ e VICO.

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1614	AVER	19 50 31,81665	50 20 5,78371	390,268	0,009	0,023	0,068	3,8D-01	2,9D-01	3,0D-01
1904	SIMA	19 1 3,98713	50 30 43,30862	386,769	0,008	0,022	0,066	6,5D-01	7,6D-01	7,3D-01
1908	CAMP	19 33 5,21221	49 29 41,16811	516,737	0,008	0,020	0,060	8,0D-01	7,4D-01	7,1D-01
1790	FRON	20 17 38,44721	49 11 40,03060	449,671	0,009	0,021	0,068	9,4D-01	9,2D-01	9,3D-01
1031	CHUÁ	19 45 43,33719	48 6 5,69424	753,953	0,006	0,016	0,050	7,6D-01	7,7D-01	7,0D-01
2711	ARAP	18 25 27,36683	49 7 8,12914	511,859	0,008	0,020	0,058	8,4D-01	8,4D-01	7,5D-01
1907	CORO	18 28 38,40618	47 13 5,13141	955,537	0,007	0,019	0,057	9,3D-01	9,5D-01	9,1D-01
1909	UBER	18 53 22,33026	48 19 1,09747	791,781	0,007	0,017	0,052	1,0D+00	9,6D-01	9,2D-01
1200	BRAZ	15 56 50,92070	47 52 40,30653	1106,027	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1905	IBIA	19 29 19,53037	46 35 2,21236	1108,485	0,006	0,014	0,045	3,9D-01	4,9D-01	4,3D-01
1612	FRAN	20 34 54,86486	47 22 51,43935	1005,003	0,006	0,015	0,045	9,6D-01	9,2D-01	9,4D-01
1679	FURN	20 39 55,04283	46 19 14,56549	676,057	0,005	0,012	0,038	9,9D-01	9,7D-01	9,4D-01
1911	PEDR	20 15 38,72744	45 11 43,03089	997,359	0,005	0,012	0,036	9,7D-01	9,6D-01	9,4D-01
1912	BHTE	19 55 20,35147	43 55 49,93140	875,200	0,004	0,010	0,031	8,9D-01	9,3D-01	8,9D-01
1913	IPAT	19 28 20,50984	42 31 36,44354	252,344	0,006	0,013	0,043	9,0D-01	9,1D-01	9,3D-01
1914	AGUA	17 57 56,53343	42 19 55,79255	641,179	0,005	0,011	0,038	6,9D-01	7,7D-01	8,1D-01

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1915	GOUV	18 35 32,79413	43 53 58,62954	1262,108	0,005	0,010	0,036	9,5D-01	9,5D-01	9,7D-01
1916	POMP	19 11 56,05612	45 0 53,87566	727,558	0,005	0,013	0,043	9,1D-01	8,9D-01	9,0D-01
1610	LIMO	21 37 30,58752	47 1 4,84441	580,007	0,007	0,021	0,056	9,7D-01	9,5D-01	7,1D-01
1910	CHAL	20 4 2,61313	41 42 22,93722	639,440	0,005	0,012	0,035	9,4D-01	9,4D-01	8,8D-01
1696	VICO	20 45 41,40420	42 52 11,96090	665,962	0,000	0,000	0,000	1,0D+00	1,0D+00	1,0D+00
1729	LAVR	21 19 50,20912	44 59 2,00679	1213,602	0,004	0,010	0,032	9,8D-01	9,8D-01	9,4D-01
1930	VARG	21 32 33,66515	45 26 5,54778	958,660	0,004	0,009	0,029	9,0D-01	8,7D-01	9,0D-01
1903	ELOI	21 36 6,59071	45 38 46,05089	826,784	0,009	0,014	0,067	9,9D-01	9,2D-01	5,5D-01
1906	EXTR	22 53 17,62943	46 19 7,30206	1643,897	0,005	0,012	0,035	9,3D-01	9,4D-01	8,6D-01
1874	GUAC	20 46 55,02409	41 40 49,27711	631,978	0,011	0,015	0,085	1,0D+00	9,6D-01	6,4D-01
1890	ITAP	21 11 45,03708	41 54 43,53742	111,012	0,006	0,014	0,046	9,8D-01	9,8D-01	9,6D-01
1886	ALEM	21 55 27,81206	42 47 25,96390	231,642	0,006	0,011	0,040	9,9D-01	9,8D-01	9,8D-01
1893	BARR	22 33 20,39273	44 9 18,25853	376,552	0,005	0,011	0,037	8,3D-01	8,9D-01	8,4D-01
1742	CAPA	22 41 14,53316	44 59 8,85731	616,001	0,006	0,011	0,037	1,0D+00	1,0D+00	9,7D-01
1769	CENT	18 46 2,03313	41 18 53,03918	252,234	0,006	0,013	0,044	9,4D-01	9,1D-01	9,1D-01
1871	MONT	18 7 59,38535	40 21 49,11107	179,732	0,007	0,016	0,066	1,0D+00	1,0D+00	8,9D-01
563	NANU	17 52 12,67277	40 35 41,69509	308,985	0,005	0,013	0,043	8,5D-01	8,5D-01	8,9D-01

SSN	NOME	LATITUDE ° ' " S	LONGITUDE ° ' " W	HG (m)	SIG LA (m)	SIG LO (m)	SIG HG (m)	GOOGE X	GOOGE Y	GOOGE Z
1919	PADR	17 4 47,50836	41 28 33,98184	915,224	0,004	0,011	0,035	9,0D-01	6,5D-01	2,4D-01
1918	JACI	16 8 59,22760	40 17 13,30336	174,808	0,007	0,016	0,049	9,9D-01	9,8D-01	9,7D-01
1920	TAIO	15 48 9,16434	42 15 43,04714	944,517	0,007	0,015	0,048	6,5D-01	7,0D-01	8,3D-01
1922	ITAC	15 0 23,85561	44 20 19,58985	703,794	0,005	0,011	0,042	9,9D-01	9,8D-01	9,9D-01
1924	CHAP	15 18 27,18635	45 37 49,73278	856,644	0,005	0,012	0,046	8,9D-01	9,2D-01	9,8D-01
1923	AZUL	16 30 51,52825	44 48 45,02006	654,348	0,005	0,011	0,042	8,8D-01	8,8D-01	9,6D-01
1921	BOCA	17 7 52,89082	43 48 52,89013	728,342	0,004	0,011	0,036	6,3D-01	7,7D-01	2,2D-01
1917	TRES	18 12 53,93561	45 15 35,37063	566,090	0,005	0,011	0,044	8,5D-01	8,2D-01	9,4D-01
1929	MTCL	16 43 13,42503	43 52 52,73829	656,381	0,005	0,011	0,036	1,5D-01	5,9D-01	4,9D-02
2698	PARA	17 23 3,14292	47 31 11,70555	791,676	0,004	0,010	0,036	3,8D-01	3,7D-01	4,0D-01