

Capítulo 7

METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DA REDE GEODÉSICA DE MINAS GERAIS

Pode-se dividir o trabalho de implantação de uma rede geodésica nas seguintes fases:

- Planejamento,
- Implantação das estações - geralmente por pilares de concreto com dispositivo de centragem forçada,
- Campanha de observação,
- Processamento dos dados, por sessões, ou ajustamento primário – com o objetivo de avaliar a qualidade das observações e determinar os vetores e suas variâncias e covariâncias,
- Ajustamento da rede – com o objetivo avaliar a qualidade dos vetores e determinar as coordenadas das estações e seus desvios padrão;
- Análise dos resultados,
- Oficialização, pelo IBGE, e divulgação das coordenadas e monografia dos vértices.

Este capítulo tratará das fases de planejamento, implantação das estações e campanha de observação da Rede Minas. As fases de processamento, ajustamento e análises dos resultados serão tratadas em capítulos específicos.

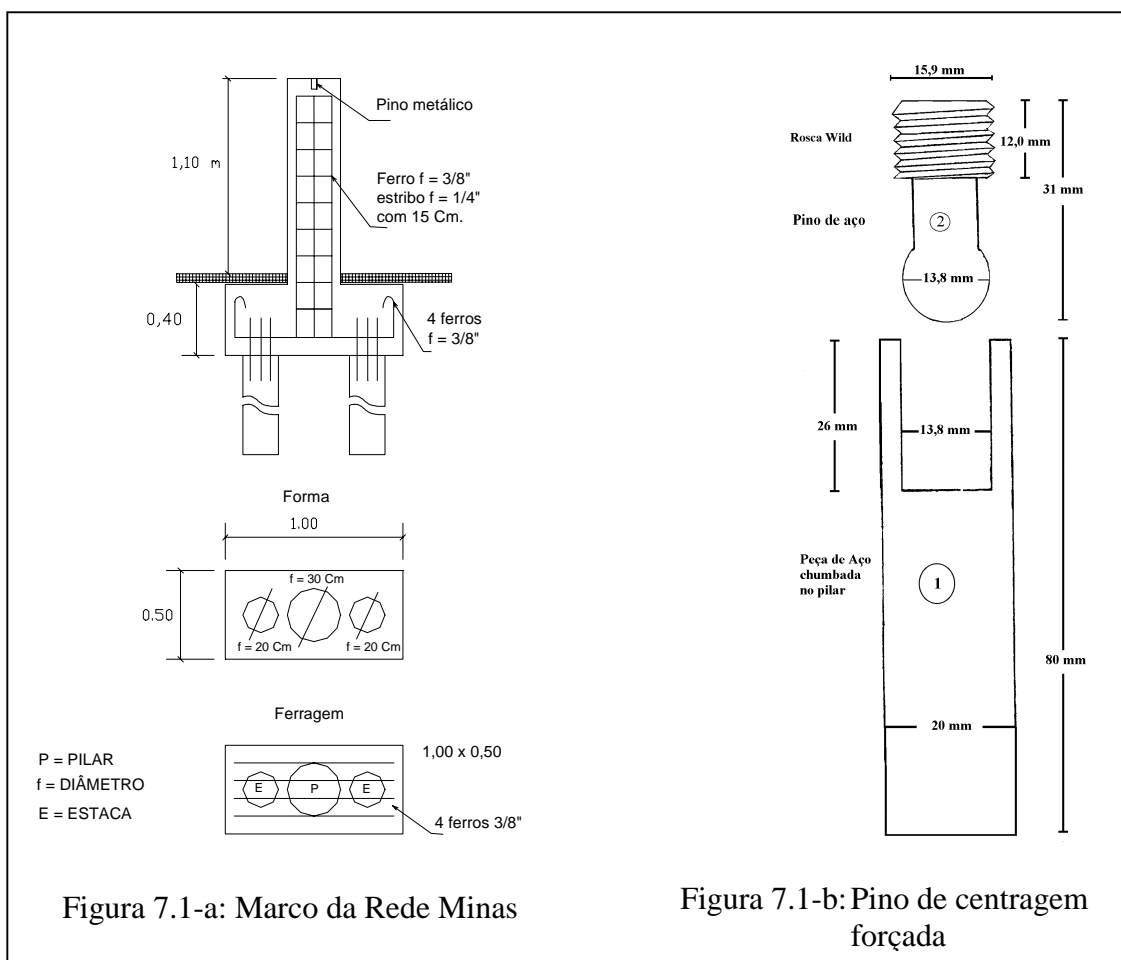
7.1- Planejamento

Verificada a necessidade de implantação da rede GPS em Minas Gerais, passou-se à elaboração de um projeto.

Partindo de um mapa do estado na escala 1:1.300.000 e dos marcos já implantados e relevantes, como os da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo, os da rede GPS de São Paulo próximos à divisa com Minas Gerais e o Datum do mapeamento nacional, CHUÁ, escolheu-se, inicialmente, com o auxílio de um compasso, as localidades equidistantes em 50 Km, para implantação dos marcos. O arbitramento da distância de 50 Km se devia à possibilidade de, posteriormente, usar

receptores de uma só frequência para implantação de marcos nos municípios, conectados à rede do estado. No entanto, verificado o grande número de marcos necessários para cobrir todo estado, cerca de 80, e conseqüentemente o alto custo, que inviabilizaria o projeto, triplicou-se esta distância (150 km), definindo-se uma rede com trinta e seis pontos. Destes, dezesseis já existiam. Escolhidas as localidades, passou-se a definir o tipo de marco, as condições do local de implantação e a metodologia de rastreio.

Como modelos de marco e dispositivo de centragem forçada, adotou-se aqueles utilizados na rede de São Paulo: um pilar de concreto no formato cilíndrico com raio de 0,30 m e altura de 1,10 m, assentado sobre uma base de 1,0 x 0,5 m com 0,40 m de profundidade e duas estacas moldadas “in loco”. A Figura 7.1-a mostra o marco básico projetado para a Rede Minas.



Uma vez que a análise geológica dos locais definidos para construção dos marcos, a fim de definir a profundidade das estacas, aumentaria em muito o custo,

estabeleceu-se que os marcos deveriam ser construídos em solos estáveis com dois metros de profundidade para as estacas, caso não se chegue antes à rocha ou material impenetrável. O dispositivo de centragem forçada, denominado “dispositivo padrão USP”, tem 13,8 mm de diâmetro e rosca padrão Wild. A Figura 7.1-b mostra detalhes deste dispositivo. Mais detalhes quanto ao projeto do marco e do pino podem ser visto em Neto (1994).

A fim de maximizar o número de satélites observáveis e evitar, durante o rastreamento, sinais refletidos e sinais com baixa relação sinal/ruído, os locais de implantação destes marcos devem apresentar boa visibilidade do horizonte local – acima de 20° (vinte graus) – em qualquer direção, e ser distantes de linhas de transmissão de energia elétrica e de faces de edificações. As estações devem ainda ser de fácil acesso, estar localizadas em áreas de instituições públicas e protegidas de vandalismo.

Na coleta de dados, passo seguinte, foi utilizado o método multi-estação, onde três ou mais receptores operam simultaneamente, ocupando pontos adjacentes da rede e formando quadriláteros ou triângulos, o que permite a determinação de posições com uma alta precisão relativa.

Para que o efeito residual da refração ionosférica fosse melhor corrigido, foram utilizados receptores de dupla frequência.

Propunha-se, até então, usar vários receptores, em sessões de três, quatro, sete ou até mesmo oito receptores – complementando com dados de Viçosa, Brasília ou Bom Jesus da Lapa – que fazem parte da RBMC e estão rastreando continuamente satélites GPS. As sessões com três ou quatro receptores aconteceriam enquanto algumas equipes de rastreamento estivessem se deslocando para outros pontos.

Assim sendo, seriam necessárias 07 (sete) equipes de rastreamento e 22 (vinte e duas) sessões. Cada sessão de observação teria uma duração de 8 horas, com observações realizadas das 9:30 às 17:30h, coletando dados a uma taxa de 15 segundos.

A equipe envolvida na coleta de dados deve efetuar todas as operações necessárias para a execução do trabalho. Elas incluem desde as mais simples, como a fixação e medição da altura da antena; até as um pouco mais complexas, envolvendo a operação do receptor e a transferência dos dados compactados para disquetes. Um

conhecimento adequado do receptor a ser utilizado é imprescindível para auxiliar a identificação e a correção de problemas que porventura venham a ocorrer durante as atividades de campo. Cada equipe de rastreamento deve ser composta de no mínimo dois técnicos, uma viatura, um rastreador e um microcomputador portátil.

Desde o início do projeto definiu-se que não seriam adquiridos novos receptores, devido ao alto custo, e que se buscava viabilizar o uso daqueles, de dupla frequência, disponíveis em Universidades e órgãos públicos como, por exemplo, a EPUSP e o IBGE. Os demais equipamentos necessários e as equipes de rastreamento, bem como microcomputadores e programas para processar e ajustar a rede, ficariam a cargo da EPUSP, UFV e IBGE. Assim sendo, o custo de implantação de uma rede geodésica envolve os seguintes itens: combustível, lubrificantes, verbas para manutenção de veículos; alimentação e hospedagem para os técnicos, além de material e mão-de-obra para a construção dos marcos de concreto.

A fim tornar o projeto exequível, buscaram-se parcerias com as prefeituras dos municípios em que se situavam os locais definidos para a construção dos marcos. A confecção e fixação dos pinos de centragem forçada ficariam a cargo da EPUSP e da UFV, o rastreamento a cargo do IBGE e o processamento por conta do IBGE, EPUSP e UFV, sendo o IBGE o responsável pela oficialização.

7.2- Implantação das estações

A pesquisa aplicada, além de reduzir a distância entre a tecnologia de ponta e a tecnologia do dia a dia, tem como vantagem em relação à pesquisa básica o fato de adicionar experiência e testar metodologias que, em teoria, podem ser aplicáveis. Volta-se, além disso, para sanar deficiências do País em determinados setores, disponibilizando metodologias e instrumentos úteis aos usuários. Naturalmente, na pesquisa aplicada, nem tudo acontece como planejado, conforme se verá.

7.2.1- Captação de recursos e construção dos marcos

Para construção dos vinte marcos necessários, segundo o planejamento de 1999, foi pesquisado o endereço das prefeituras envolvidas e a elas enviado o projeto

com uma carta solicitando colaboração. Algumas responderam positivamente, umas pediram mais explicações e outras não responderam nem mesmo após os contatos tentados por telefone. Por isso a definição das localidades foi alterada de acordo com maior ou menor interesse das prefeituras contatadas.

Paralelamente à busca de parcerias com as prefeituras foram realizados contatos com diversos órgãos e empresas públicas de Minas Gerais - Instituto de Geociências Aplicadas (IGA), Instituto Estadual de Florestas (IEF), Departamento de Estradas e Rodagem (DER) e Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia (CREA), etc – apresentando-lhes o projeto e solicitando apoio financeiro para o levantamento de campo. Desses contatos, pouco se conseguiu de prático, ainda que se tenha levantado a discussão sobre problemas pelos quais passa o mapeamento sistemático no Brasil e em Minas Gerais.

Em fevereiro de 2001, em função do cancelamento de uma campanha de campo, mesmo antes de se conseguir a construção de todos os marcos necessários, a Diretoria de Geociências do IBGE se prontificou em fazer a ocupação dos vértices e levantar os dados.

Rapidamente, com recursos do Departamento de transportes da EPUSP e de algumas prefeituras, foram construídos os marcos que faltavam e instalados os pinos de centragem forçada. Durante as visitas aos locais para instalação dos pinos, foram elaboradas as descrições de acesso e enviadas por fax ao IBGE.

7.2.2- Campanha de observação

A equipe de geodésia do IBGE complementou o projeto: inseriu três pontos do estado do Rio de Janeiro, dois do estado do Espírito Santo, quatro pontos, 91909, 91929, 91930 e 91932, do projeto de uma rede de monitoramento contínuo da CEMIG em Minas Gerais e o ponto 91720 (Lavras), uma vez que a construção do marco em São João Del Rei estava atrasada. A rede passou então a ser composta de quarenta e seis pontos. A Tabela 7.1 lista e identifica estas estações e a Figura 7.2 mostra suas posições.

De 19/03 a 04/04/2001 foram realizadas vinte e três sessões, com quatro horas de duração, utilizando três receptores ASHTECH (dois UZ-12 e um Z-XII3) com antenas ASH700936_AM, na região do triângulo mineiro, próximo a CHUÁ.

A partir de 30/03 puderam ser inseridos dados da estação de rastreamento contínuo da CEMIG, localizada naquela região – estação 91909 (UBER) – com receptor ASHTECH UZ-12 e antena Marine L1/L2. Devido à proximidade, puderam também ser inseridos, nestas sessões, dados da estação BRAZ-RBMC com receptor TRIMBLE 4000 SSI e antena Dorne Margolin T.

Tabela 7.1 - Identificação dos pontos da rede Minas

ITEM	MUNICÍPIO ONDE ESTÁ A ESTAÇÃO	SIGLA DE IDENTIFICAÇÃO	NÚMERO DE IDENTIFICAÇÃO (Código Internacional)
1	Uberaba	CHUA	91031
2	Caconde – SP	LIMO	91610
3	Franca – SP	FRCA	91612
4	Gurani d'oeste – SP	AVER	91614
5	São João Batista do Glória	FURN	91679
6	São João Del Rei	SJDR	91237
7	Lavras	LAVR	91729
8	Cruzeiro – SP	CAPA	91742
9	Central de Minas	CENTR	91769
10	Fronteira	FRON	91790
11	Guaçuí – ES	GUACÇ	91874
12	Além Paraíba	ALEM	91886
13	Barra Mansa – RJ	BARR	91893
14	Nanuque	NANU	90563
15	Elói Mendes	ELOI	91903
16	São Simão – GO	SIMA	91904
17	Ibiá	IBIA	91905
18	Extrema	EXTR	91906
19	Coromandel	CORO	91907
20	Campina Verde	CAMP	91908

21	Pedra do Indaiá	PEDR	91911
22	Ipatinga	IPAT	91913
23	Água Boa	AGUA	91914
24	Gouveia	GOUV	91915
25	Pompeu	POMP	91916
26	Três Marias	TRES	91917
27	Bocaiúva	BOCA	91921
28	Itacarambí	ITAC	91922
29	Campo Azul	AZUL	91923
30	Chapada Gaúcha	CHAP	91924
31	Araporã (Itumbiara)	ARAP	92711
32	Chalé	CHAL	91910
33	Itaperuna – RJ	ITAP	91890
34	Montanha – ES	MONT	91871
35	Taiobeiras	TAIO	91920
36	Paracatu	PARA	92698
37	Belo Horizonte	BHTE	91912
38	Padre Paraíso	PADR	91919
39	Jacinto	JACI	91918
40	Varginha	VAR	91930
41	Montes Claros	MCL	91929
42	Governador Valadares	GVA	91932
43	Uberlândia	ULA	91909
44	Brasília - DF	BRAZ	91200
45	Viçosa	VICO	91696
46	Bom Jesus da Lapa - BA	BOMJ	93030

A partir de 04/04, passaram a fazer parte da campanha mais sete equipes de rastreamento com seis receptores TRIMBLE 4000 SSI - antenas TRM29659.00 - e um receptor ASHTECH UZ-12 - antena ASH700936A_M. Na estação 91696 (VICO) da RBMC, encontra-se um receptor TRIMBLE 4000 SSI com antena Dorne Margolin T e em todas as estações da CEMIG estão receptores ASHTECH UZ-12 com antenas Marine L1/L2.

Na primeira etapa, de 19/03 a 04/04, foram levantados dados nos polígonos de I a VIII e de 04/04 a 26/04, nos polígonos IX a XXI, da Figura (7.2), mostrada a seguir.

Normalmente foram realizadas duas sessões por dia: uma das 08:00 às 12:00h e outra, sem retirar a antena do ponto, das 13 às 17:00 horas no sistema de tempo local. No entanto, foram levantadas algumas sessões com cinco e até seis horas de duração. A Figura 8.6 mostra o gráfico PDOP, em uma estação, para a época e horários de rastreo e o Anexo A, a duração das sessões.

Todas as bases foram observadas, em no mínimo, três sessões.

Em todas as estações a taxa de observação foi de 15 segundos, a elevação mínima, 10° e o número mínimo de satélites, quatro.

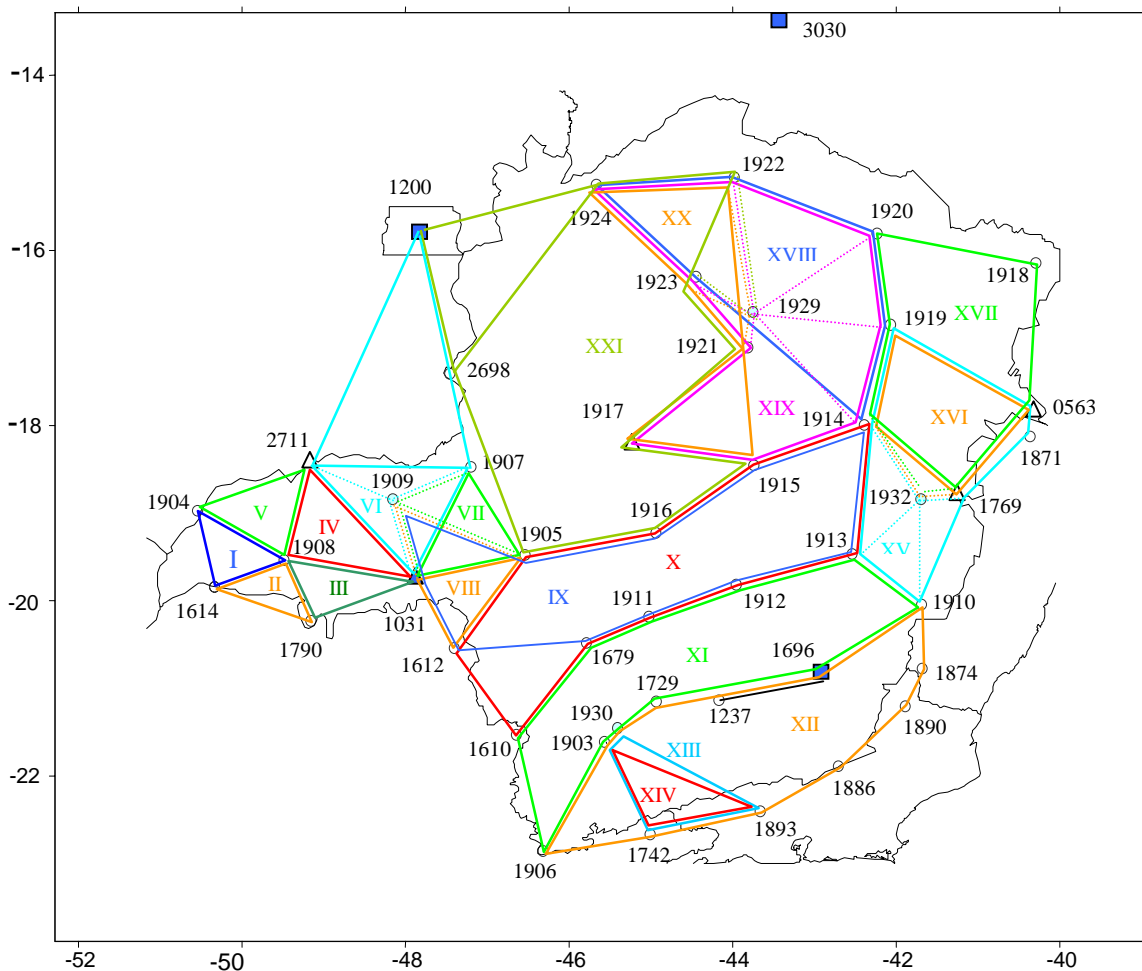


Figura 7. 2 – Situação dos pontos da rede Minas e poligonais levantadas com observações simultâneas.

Todos os receptores ASHTECH utilizados na campanha, coletam os seguintes tipos de observações:

- L1 e L2: fases dos sinais SL1 e SL2,
- C1: pseudodistância usando o código C/A em SL1,
- P1 e P2: pseudodistância usando o código P em SL1 e SL2
- D1 e D2: frequência Doppler em SL1 e SL2.

Já os receptores Trimble observam L1, L2, C1, P2 e D1.

Uma vez que todos os receptores empregados, reconstróem as portadoras L1 e L2 demodulando os códigos P1 e P2, os comprimentos de onda, tanto de L1 quanto de L2 são inteiros. Fato importante na fixação das perdas de ciclos.

Não foram observados dados meteorológicos, porém foram registradas as condições climáticas informando se havia sol, chuva ou se o tempo estava nublado.

Em quase todos os marcos foi necessário o uso de base nivelante e as alturas dos pontos de referência das antenas foram medidas três vezes por sessão. Aqui é interessante chamar a atenção para o fato de que alguns esquemas feitos pelas equipes de campo nos relatórios de ocupação, deixam dúvidas quanto ao ponto da antena usado como referência para a medida da altura. Para saná-las foi necessário contatar a coordenadora do projeto de densificação da rede nacional do IBGE, Sônia Maria Alves Costa, que sugeriu o uso das alturas enviadas.

Devido ao atraso na construção do marco em São João Del Rei (91237), ele foi ocupado nos dias 14 e 15/04 por uma equipe, enquanto as demais estavam de folga. Com isto, este ponto ficou fora do processamento, uma vez que somente uma base entre ele e Viçosa, pôde ser considerada como observada nestes dias.

O receptor da estação 91932 (Governador Valadares) da rede de monitoramento contínuo da CEMIG, apresentou problemas durante toda campanha e só foram observadas fases do sinal L1, e conseqüentemente, suas informações não foram consideradas no processamento.

Outra estação que não foi incluída na rede, foi a estação da RBMC, 93030 (Bom Jesus da Lapa), uma vez que ela apresentou problemas e não operou no período da campanha. Portanto, desconsiderando as estações 93030, 91932 e 91237 a Rede Minas passou a ser composta por 43 marcos. A Figura 7.3 mostra a localização das estações da Rede Minas, processadas e ajustadas neste trabalho.

Problemas menores como interrupção de energia, e conseqüentemente, quebra de sessões em duas, aconteceram algumas vezes, o que não afetou substancialmente o processamento dos dados e nem a precisão dos resultados.

7.2.3- Organização dos dados

Ao final do levantamento os arquivos foram transformados para o formato RINEX v2.0 e as observações, extensão ‘01o’, juntamente com uma cópia dos relatórios de ocupação, foram enviados, em junho de 2001, pelo IBGE à EPUSP. Estes dados ocupam cerca de 300 MB de memória em disco.

Inicialmente os arquivos foram organizados em diretórios separados por polígonos com observações simultâneas, e dentro de cada polígono, separados por sessões.

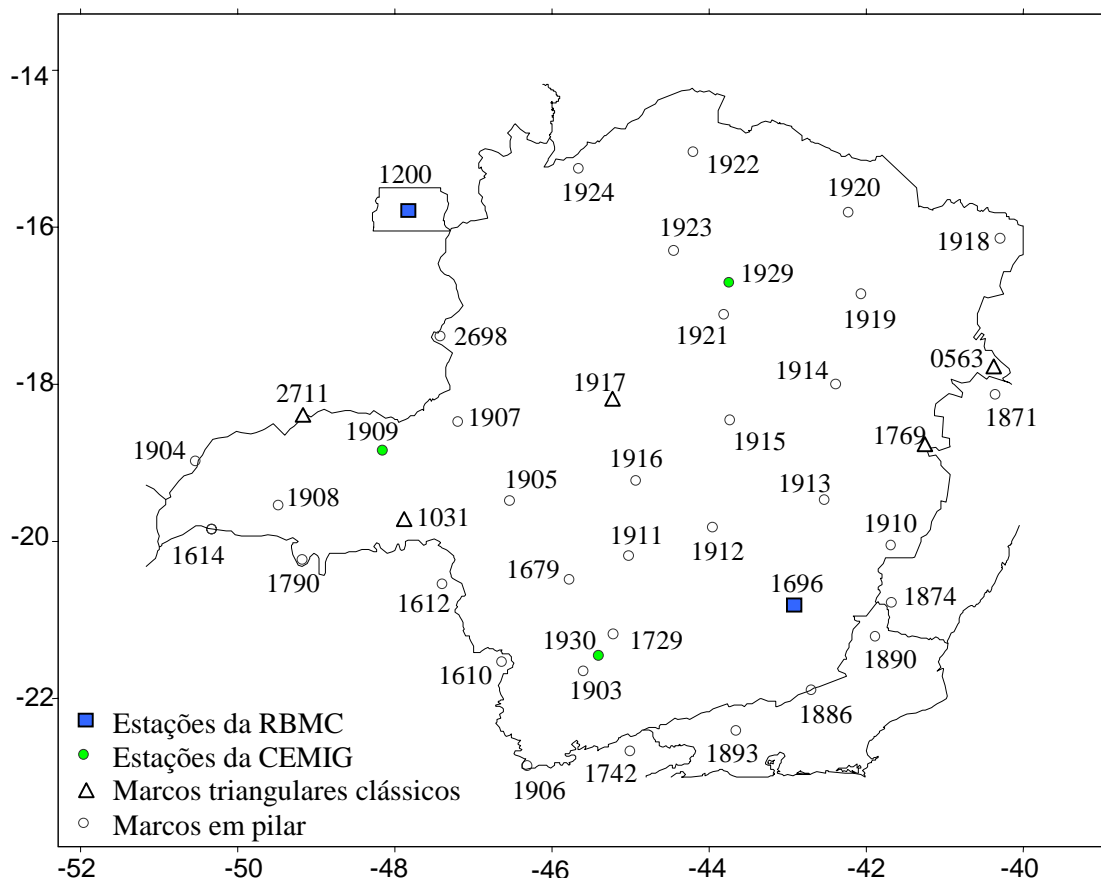


Figura 7.3 – Localização das estações processadas e ajustadas da Rede Minas neste Trabalho.

Como não foi enviado nenhum arquivo com dados de navegação, as efemérides transmitidas, solicitadas pelo programa de processamento, mesmo se se vai processar os dados com efemérides precisas, tiveram que ser obtidas através da internet. O U.S National Geodetic Survey (NGS), divulga diariamente, com um dia de defasagem, as efemérides transmitidas em arquivos, no formato RINEX, denominados brdcDDD0.01n.gz – onde DDD é o dia do ano – na página “ftp://www.ngs.noaa.gov/cors/rinex”.

As efemérides precisas, calculadas pelo NGS, a partir de observações feitas na época da campanha da Rede Minas, estão referenciadas ao ITRF97 e são divulgadas com quinze dias de defasagem, podendo ser obtidas na mesma página em que se obtém as efemérides transmitidas. As efemérides estão em arquivos, no formato sp3, denominados “igsWWWD.sp3”, onde WWWW representa a semana GPS e D o dia da semana – 0 para domingo. Estes arquivos foram copiados, descompactados, transformados para o formato sp1 e armazenados nos diretórios que continham os dados das sessões do dia D.

O programa *OMNI*, escolhido para processar as observações da Rede Minas, requer a identificação dos satélites observados durante a sessão. Uma vez que nem todo arquivo de observações continha no cabeçalho a lista de satélites observados, nem havia arquivos sumários contendo a identidade de tais satélites, a lista de satélites disponíveis nos intervalos de observação, teve que ser elaborada com um programa de planejamento. Foi utilizado o programa *PLANEJ*, desenvolvido pelo autor. Este programa lê as efemérides transmitidas no formato RINEX v 1.0 e tem a função de calcular os fatores de diluição da precisão para uma determinada época.

Como alguns arquivos de observações não continham as coordenadas cartesianas geocêntricas aproximadas das estações; as coordenadas geodésicas das estações - obtidas quando da fixação dos pinos de centragem forçada ou do arquivo de coordenadas do IBGE - foram transformadas em coordenadas cartesianas geocêntricas utilizando o programa *TOPOSAT*, também desenvolvido pelo autor. O *TOPOSAT* tem como função transformar coordenadas cartesianas concêntricas com um determinado modelo geodésico em coordenadas geodésicas e vice-versa, além de transformar coordenadas do SAD69 para o WGS84 e vice-versa.

O programa *OMNI* considera o plano *Top Ground Plane – TGP* como referência para a medida da altura da antena. No entanto, no levantamento de campo, as alturas foram medidas até o *Antenna Reference Point – ARP*.

As distâncias verticais entre os ARPs e TGPs, juntamente com as alturas dos centros de fases de L1 e L2 e suas variações com a elevação dos satélites, são determinadas por calibrações feitas pelo NGS e divulgadas na página <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL> . (Acesso em 07/01/02).

A todas as alturas verticais das antenas medidas no campo foram acrescentadas as distâncias ARP-TGP determinadas pelo NGS e listadas na Tabela 7.2, a seguir.

Tab. 7.2 – Distâncias verticais ARP – TGP e alturas dos centros de fases de L1 (L1PC) e L2 (L2PC) em relação ao TGP, das antenas utilizadas na Rede Minas.

ANTENA		DISTÂNCIA ARP – TGP (m)	L1PC (m)	L2PC (m)
JPL D/M+crT	Dorne Margolin T (no radome)	0,0452	0,0718	0,0898
TRM 29659.00	Trimble Choke Ring (no radome)	0,0382	0,0713	0,0895
ASH 700700.B	ASHTECH Marine L1/L2, Rev B	0,0350	0,0165	0,0244
ASH 700936A_M	ASHTECH L1/L2, D/M element, (without radome)	0,0378	0,0711	0,0896

A altura do centro de fase em relação ao TGP e suas variações com a variação da elevação do satélite, para cada tipo de antena, utilizada pelo programa *OMNI*, estão armazenadas nos arquivos MERSET.AIF e ANT_INFO.01 respectivamente. Como os originais destes arquivos não continham informações das antenas ASH700936A_M e ASH700700B, foi necessário inserir esses dados, obtendo-os através das informações do NGS. O Anexo B mostra estes arquivos e os dados de calibração do NGS para os tipos de antenas utilizados na campanha.