CARLOS ALBERTO CORRÊA E CASTRO JUNIOR

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTABELECIMENTO DE UM SISTEMA
GRAVIMÉTRICO PARA A AMÉRICA DO SUL**

Dissertação apresentada ao Departamento de
Engenharia de Transportes da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo

SÃO PAULO

2005

CARLOS ALBERTO CORRÊA E CASTRO JUNIOR

**Contribuição ao Estabelecimento de um Sistema
Gravimétrico para a América do Sul**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia.**

**Área de Concentração: Engenharia de
Transportes**

Orientador: Prof. Dr. Denizar Blitzkow

**São Paulo
2005**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 03 de dezembro de 2005.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Corrêa e Castro Junior, Carlos Alberto

Contribuição ao estabelecimento de um sistema gravimétrico para a América do Sul / C.A. Corrêa e Castro Junior. -- ed.rev. -- São Paulo, 2005.

156 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Gravimetria 2.Geodésia física 3.Gravidade I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

Dedico este trabalho à minha mulher, Rosana Cristina, e aos meus filhos, Felipe Carlos e Caroline, agradecendo pelo constante incentivo e compreensão, diante das minhas inevitáveis ausências decorrentes das atividades profissionais e acadêmicas.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo, mestre e orientador, Professor Titular Denizar Blitzkow, pelo permanente incentivo, respeito profissional, companheirismo e pelas gratificantes oportunidades que me foram oferecidas, de trabalhar com gravimetria em diversas paragens de nosso continente.

Ao Professores Doutores da Escola Politécnica da USP, Jorge Pimentel Cintra e Nicola Paciléo Netto, pelos ensinamentos ministrados e pela compreensão ante as minhas falhas, ao longo de todo o curso.

À Direccion del Servicio Geográfico Militar do Paraguai (DISERGEMIL), pela valorosa colaboração nos trabalhos efetuados em terras paraguaias.

Ao Coronel Engenheiro Lorenzo Centurion, pela coordenação segura das atividades gravimétricas acontecidas no Paraguai e, em especial, pela amizade adquirida ao longo dos anos de convívio.

Ao Instituto Geográfico Militar Chileno (IGM), pela estreita colaboração durante os trabalhos de gravimetria ocorridos naquele país.

Ao Engenheiro Wilfredo Rubio, pela ativa participação nas campanhas desenvolvidas no Chile e, fundamentalmente, pela forte amizade auferida nos meses de trabalho conjunto.

Ao Instituto Geográfico Militar Equatoriano (IGM), pela atenção dispensada, relevante apoio e efetiva atuação nas atividades de campo desenvolvidas naquele país.

Ao Instituto de Cartografia Naval do Equador (INOCAR), pela confiança em mim depositada, pelo honroso convite de participação na Comissão Antártica e pela grande contribuição à implantação do Sistema Gravimétrico Equatoriano.

Aos amigos do Equador, Comandante Humberto Gomez, Suboficial Wilfrido Morales, Engenheiros Alfonso Criollo, Alexander Robayo, César Leiva, Julio Rosero e Luis Llerena, pelo companheirismo e significativa participação nas atividades gravimétricas conduzidas naquele país.

Aos amigos Edvaldo Simões da Fonseca Junior, João Francisco Galera Monico, Jorge Luiz Alves Trabanco, Jorge Pinto Gomes e Leonardo Castro Oliveira, profissionais de primeira grandeza da cartografia brasileira, pelas oportunas contribuições a este trabalho.

À minha amiga Maria Cristina Barbosa Lobianco, pelas dúvidas dirimidas e inquestionável ajuda à presente dissertação.

À Professora Doutora Márcia Cristina Lopes Quintas, por aceitar fazer parte da banca, pelo interesse demonstrado em acompanhar, em campo, parte do trabalho de nossa equipe e pela expressiva contribuição à dissertação.

Aos colegas do IBGE, sobretudo ao titular da Unidade Estadual de Goiás, Sr. Daniel Ribeiro de Oliveira, pela compreensão, incentivo e apoio à realização deste mestrado.

Ao grande amigo Clayton Evangelista da Rocha, pela incessante cooperação e prestimosa ajuda na montagem das apresentações e formatação deste texto.

Aos amigos e colegas de trabalho, Alcides, Aparecida, Archimedes, Bernardo, Lindinalva, Márcia e Roberto Jorge, que, de forma significativa, colaboraram na confecção da dissertação.

Aos amigos da Gerência de Geodésia e Cartografia de Goiás, companheiros de muitas jornadas, Benedito, José Araújo e João Pereira, pela estreita cooperação na obtenção e tratamento primário dos dados vinculados a esta dissertação.

Aos funcionários do PTR, Adalberto, Arildo, Conceição e Sarah, pela atenção e apoio a mim dispensados no decorrer do curso.

Em suma, a todos aqueles que, por esquecimento involuntário da minha parte não tenham sido citados, e, direta ou indiretamente, contribuíram para a efetivação deste trabalho.

“Estamos literalmente ‘mergulhados’ no campo da gravidade apesar de, em geral, nos esquecermos disso. Existem na natureza forças mais espetaculares em suas manifestações como as forças elétricas e as magnéticas, mas nenhuma é onipresente como a da gravidade”.

Camil Gemaël

RESUMO

A crescente demanda por informações gravimétricas consistentes em âmbito sul-americano, visando, sobretudo, a unificação de um sistema altimétrico para o continente, foi a motivação maior deste trabalho. Nesse contexto, procurou-se evidenciar informações detalhadas, de cunho técnico e operacional, voltadas à execução de levantamentos gravimétricos. Assim, conceitos básicos introdutórios seguidos de uma resenha histórica da gravimetria no Brasil e no mundo, são delineados. É efetuada a proposta de uma nova abordagem para um sistema gravimétrico. Apresentam-se aspectos práticos detalhados sobre o manuseio do gravímetro LaCoste & Romberg. Sugerem-se, adicionalmente, procedimentos metodológicos para as diversas etapas de uma operação gravimétrica. Ao final, à guisa de estudo de caso, disponibilizam-se resultados que são analisados e comparados.

ABSTRACT

The increasing demand for consistent South American gravimetric informations, aiming, most of all, the unification of a height system for the continent, was the motivation for this work. Within this context, an effort was made to evince detailed technical and operational informations related to the execution of gravimetric surveys. Basic concepts are exposed, followed by a historical summary of gravimetry in Brazil and throughout the world. A proposal of a new approach for a gravimetric system is made and detailed practical aspects on the use of LaCoste & Romberg gravity meter are given. In addition, methodological procedures are suggested for the several stages of a gravimetric operation. Finally, as a case study, results are made available after analysis and comparisons.

LISTA DE SIGLAS

ABGP	<i>Anglo Brazilian Gravity Project</i>
APCS	<i>Air Photographic and Charting Service</i>
CAD	Arquivo de saída do GRAVI96 - caderneta de campo
CHAMP	<i>Challenging Mini Satellite Payload</i>
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
CONGRAB	Comissão Nacional de Gravimetria
DISERGEMIL	<i>Dirección de Servicio Geográfico Militar</i>
DMA	<i>Defense Mapping Agency</i>
EEGG	Estações Gravimétricas
EG	Estação Gravimétrica
EGM96	<i>Earth Global Model</i>
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
EXCEL	Planilha eletrônica
g	Aceleração da Gravidade
GETECH	<i>Geophysical Exploration Technology Ltd, University of Leeds</i>
GOCE	<i>Gravity Field and Stead-State Ocean Circulation</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRACE	<i>Gravity Recovery and Climate Experiment</i>
GRAVI96	Programa de cálculo de aceleração da gravidade
GRAVIMEDIA	Aplicativo que calcula as médias e desvios-padrão
EEGG	Estações gravimétricas
IAG	<i>International Association of Geodesy</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGM	Instituto Geográfico Militar
IGSN	<i>International Gravity Standardization Net</i>
INOCAR	Instituto de Cartografia Naval
IUGG	<i>International Union of Geodesy and Geophysics</i>
L & R	Gravímetro LaCoste & Romberg
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
N	Ondulação geoidal
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
ON	Observatório Nacional
PETROBRAS	Petróleo do Brasil S.A
RED	Arquivo de saída do GRAVI96 – valores de g
REDGRAV	Módulo de processamento do GRAVI96
RENEGA	Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas
RGFB	Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira
RGSB	Rede Gravimétrica Secundária Brasileira
RN	Referência de Nível
RRNN	Referências de Nível
SCGSA	<i>Sub-Commission for the Geoid and Gravity in South America</i>
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISGRAB	Sistema Gravimétrico Brasileiro
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNB	Universidade de Brasília
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 CONCEITOS INTRODUTÓRIOS	20
2.1 TÓPICOS SOBRE O CAMPO DE GRAVIDADE	20
2.2 GRAVIMETRIA E ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE	21
2.3 ERROS NA MENSURAÇÃO DE GRANDEZAS GEODÉSICAS	23
2.3.1 Erros grosseiros	24
2.3.2 Erros sistemáticos	24
2.3.3 Erros aleatórios	25
2.4 PRECISÃO E ACURÁCIA	26
2.5 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS	27
3 RESENHA HISTÓRICA	31
3.1 EVOLUÇÃO DE CONCEITOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	31
3.2 A GRAVIMETRIA NO BRASIL	38
3.3 ATIVIDADES CONJUNTAS ENTRE O IBGE E A USP EM TERRITÓRIO BRASILEIRO	42
3.4. ATIVIDADES CONJUNTAS ENTRE O IBGE E A USP NA AMÉRICA DO SUL	46
3.4.1 Levantamentos no Paraguai	46
3.4.2 Levantamentos no Chile	49

3.4.3 Levantamentos no Equador	52
4. SISTEMA GRAVIMÉTRICO	54
4.1 CIRCUITOS GRAVIMÉTRICOS	55
4.2 REDES GRAVIMÉTRICAS - CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	56
4.3 REDES GRAVIMÉTRICAS - UMA PROPOSTA OTIMIZADA	57
4.3.1 Rede absoluta de referência	59
4.3.2 Rede relativa de referência	60
4.3.3 Rede de densificação	61
5 DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE	64
5.1 O GRAVÍMETRO LACOSTE & ROMBERG – MODELO G	65
5.1.1 Características gerais	65
5.1.2 Alimentação	66
5.1.3 Princípio de funcionamento	67
5.1.4 Sugestões de manuseio	69
5.1.4.1 Ajustes preliminares à operação	70
5.1.4.1.1 Focalização da ocular	70
5.1.4.1.2 Posição de leitura	71
5.1.4.1.3 Nível longitudinal	74
5.1.4.1.4 Nível transversal	76
5.1.4.2. Sistemática de operação	78
5.1.4.2.1. Preparo para operação	78
5.1.4.2.2. Escolha adequada do local da estação	79
5.1.4.2.3 Retirada do instrumento da caixa de transporte	80

5.1.4.2.4 Nivelamento do aparelho	80
5.1.4.2.5. Destravamento do mecanismo interno	81
5.1.4.2.6 Aferição da sensibilidade	81
5.1.4.2.7. Colocação na posição de leitura	81
5.1.4.2.8. Estabilização do sistema	82
5.1.4.2.9 Série de leituras	83
5.1.4.2.10. Travamento do mecanismo interno	85
5.1.4.2.11 Posicionamento do instrumento na caixa de transporte	85
5.1.5. Calibração	85
5.1.6. Leituras em áreas de instabilidade	87

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS SUGERIDOS NAS OPERAÇÕES

GRAVIMÉTRICAS	89
6.1 PLANEJAMENTO	89
6.1.1 Aspectos técnicos	90
6.1.1.1 Configuração da rede de referência	90
6.1.1.2 Possibilidade de densificação futura	91
6.1.1.3 Informações sobre o arcabouço geodésico preexistente	91
6.1.1.4 Instrumental e sistemática de trabalho	93
6.1.2 Aspectos operacionais	94
6.1.2.1 Características da região	94
6.1.2.2 Meios de transporte	94
6.1.2.3 Condições climáticas e épocas propícias	95
6.1.2.4 Meios de comunicação	96
6.1.2.5 Medidas profiláticas	97

6.1.2.6 Estratégia de atuação	97
6.2 REDE DE REFERÊNCIA	98
6.2.1 Sistemática proposta	98
6.2.2 Escolha das estações	99
6.2.2.1 Abrangência espacial	99
6.2.2.2 Cercania das redes geodésicas	100
6.2.2.3 Estabilidade da estação e do solo	101
6.2.2.4 Segurança e preservação	101
6.2.2.5 Infra-estrutura adequada	102
6.3 DENSIFICAÇÃO GRAVIMÉTRICA	104
6.3.1 Composição das equipes	104
6.3.2 Viaturas	105
6.3.3 Características das estações de densificação	105
6.3.4 Instrumental empregado e sistemática de medição	106
6.4 TRATAMENTO DE DADOS	108
6.4.1. Dados plani-altimétricos	109
6.4.2 Dados gravimétricos	110
6.4.2.1 Determinação da aceleração da gravidade (g)	110
6.4.2.2. Resultados finais	113
6.4.2.2.1 Estações de referência	113
6.4.2.2.2 Estações de densificação	115
7 ESTUDO DE CASO: SISTEMA GRAVIMÉTRICO DO EQUADOR	116
7.1 PREFÁCIO	116
7.2 COLETA DOS DADOS	116

7.3 COMPOSIÇÃO DOS CIRCUITOS	119
7.4 TRATAMENTO DOS DADOS	123
7.4.1 Cálculo das acelerações da gravidade	123
7.4.2 Valores médios das estações	125
7.4.3 Ajustamento das observações	129
7.4.4 Análise qualitativa dos resultados	132
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	134
ANEXO A: SISTEMA GRAVIMÉTRICO EQUATORIANO	137
ANEXO B: MODELOS DE CHAPAS PARA ESTAÇÕES GEODÉSICAS	139
ANEXO C: MODELO DE DESCRITIVO PARA ESTAÇÃO GRAVIMÉTRICA	141
ANEXO D: CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS EQUATORIANOS	143
ANEXO E: IDENTIFICAÇÃO DOS CÓDIGOS UTILIZADOS NO REDGRAV E NAS CADERNETAS GRAVIMÉTRICAS DE CAMPO	145
LISTA DE REFERÊNCIAS	155

1 INTRODUÇÃO

O ano de 1991 foi, sem dúvida, bastante significativo para a geodésia brasileira, envolvendo diversos segmentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Dois eventos relevantes ocorridos à época comprovam tal afirmação; são eles:

- A realização da primeira operação de campo com o uso de receptores do Sistema de Posicionamento Global (GPS), caracterizando o início de uma nova era no IBGE.^{1.1}
- O primeiro levantamento gravimétrico referente ao projeto anglo-brasileiro (ABGP), desenvolvido em conjunto pela Universidade de Leeds, IBGE e EPUSP.^{1.2}

É curioso mencionar que os princípios advindos de ambos acontecimentos nortearam as atividades concernentes à presente dissertação.

O interesse do homem pelo estudo da gravidade, remonta a um passado distante. A história aponta para o século IV, antes da era cristã, a ocorrência das primeiras considerações sobre o tema. De fato, a busca de um maior conhecimento voltado às influências da gravidade no cotidiano humano, atravessou os milênios e chega ao limiar do século XXI como indispensável à compreensão de diversos fenômenos, correlacionados com o próprio universo.

Não obstante às aplicações geofísicas e geológicas que a gravidade proporciona, cabe precipuamente à geodésia, ciência que estuda a forma,

^{1.1} A citada campanha transcorreu nos meses de janeiro e fevereiro de 1991 e fazia parte do projeto GIG 91, de âmbito internacional, com medições contínuas voltadas a estudos científicos.

^{1.2} Anglo-Brazilian Gravity Project (ABGP). Maiores detalhes sobre esses levantamentos serão delineados no capítulo 3, ao se focar as atividades conjuntas entre o IBGE e a EPUSP.

dimensões e o campo de gravidade terrestre, a nobre missão de ampliar as fronteiras do conhecimento humano sobre o planeta Terra. As determinações gravimétricas, essenciais nas investigações decorrentes, são as principais ferramentas para que o geodesta alcance tal objetivo.

A distribuição das estações gravimétricas em todo o mundo é bastante heterogênea. Isso não é ideal, pois quanto mais homogênea fosse essa distribuição, maior a clareza com que a superfície terrestre seria representada. Na realidade, ainda existem extensas regiões desprovidas de informações gravimétricas no planeta, incluindo, obviamente, o Brasil e alguns países da América do Sul.

Como não poderia deixar de ser, esses vazios gravimétricos estão situados, quase sempre, em áreas ermas, de difícil acesso e locomoção restrita como, por exemplo, a Amazônia. E, logicamente, a razão maior dessas regiões não terem sido, até hoje, contempladas com a cobertura gravimétrica desejável, fica por conta das dificuldades técnicas, logísticas e operacionais nos inerentes levantamentos de campo, acarretando a necessidade de técnicas específicas e procedimentos diferenciados. Por sua vez, as equipes de trabalho precisam estar suficientemente preparadas e adaptadas às atipicidades existentes.

É justamente nesse contexto, indo ao encontro de tais circunstâncias, que se enquadram os resultados conclusivos desta dissertação, cujo objetivo precípua consiste no estabelecimento de uma infra-estrutura gravimétrica mais adequada para a América do Sul, traduzida pela implantação de redes de referência e de densificação em diversos recantos do continente. Destarte, os países envolvidos terão suas respectivas redes de referência devidamente implantadas, medidas e ajustadas mediante uma moderna concepção de trabalho.

Em paralelo, importantes subsídios serão fornecidos à comunidade, destacando-se aqueles direcionados à elaboração de um modelo geoidal homogêneo e à adoção de um referencial altimétrico único, em âmbito sul-americano.

Quanto aos tópicos correlatos com o desenvolvimento da dissertação, apresentam-se, no segundo capítulo, informações básicas introdutórias, enfocando algumas características do campo de gravidade, erros na mensuração de grandezas e um breve resumo sobre o ajustamento de observações.

No terceiro capítulo, afiguram-se algumas considerações de cunho histórico sobre a gravimetria no Brasil e no mundo, com destaque para o feito dos principais cientistas e suas respectivas instituições, frente à evolução das técnicas e instrumentos utilizados. Enfatizam-se também, as atividades conjuntas entre o IBGE e a EPUSP.

No quarto capítulo, são mostrados alguns conceitos diferenciados referentes a um sistema gravimétrico, além de uma proposta otimizada sobre redes gravimétricas. Sugere-se, em paralelo, maior concatenação de iniciativas e esforços por parte das instituições que trabalham com o tema.

O quinto capítulo se atém às principais formas de obtenção da aceleração da gravidade além de discorrer sobre o instrumento gravimétrico utilizado em todos os levantamentos do projeto, o gravímetro LaCoste & Romberg – modelo G; aborda-se a questão segundo uma ótica mais prática, na tentativa de suprir as lacunas existentes na literatura afim.

No sexto capítulo, enfocam-se os aspectos metodológicos concernentes com o trabalho, sugerindo-se procedimentos técnicos e operacionais voltados ao

planejamento, à implantação da rede de referência, à densificação gravimétrica, ao cálculo e ao ajustamento das observações.

O capítulo sete oferece, como estudo de caso, uma explicação minuciosa do que foi efetivamente empreendido nas atividades desenvolvidas em solo equatoriano, desde o encontro técnico que originou o processo até os resultados finais das estações de referência, devidamente ajustados.

Concluindo, são expressas no capítulo oitavo, opiniões e recomendações adicionais, com especial atenção à capacitação técnica dos profissionais envolvidos.

2 CONCEITOS INTRODUTÓRIOS

2.1 TÓPICOS SOBRE O CAMPO DE GRAVIDADE ^{2.1}

As considerações proferidas por Newton (1687), através da Lei da Gravitação Universal, preconizam que todos os corpos se atraem mutuamente com uma força que é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

A gravidade é um fenômeno natural presente em todo planeta, isto é, no interior da crosta, na superfície e até na atmosfera circundante. Por conseguinte, pode-se afirmar que os seres vivos estão totalmente envolvidos pela gravidade e, mesmo que não se perceba, ela exerce influência significativa no cotidiano humano. Afazeres corriqueiros como o uso de um prumo de pedreiro, a execução de qualquer obra de engenharia, ou mesmo quando alguém utiliza despretensiosamente uma balança, envolvem direta ou indiretamente o campo de gravidade terrestre.

Paralelamente às mencionadas aplicações práticas, por vezes imperceptíveis, existem diversas outras implicações, tanto científicas quanto econômicas, voltadas ao melhor conhecimento do nosso planeta. Destacam-se aquelas relacionadas à geologia, geofísica, geodinâmica, e, sobretudo, à geodésia. Complementando, o campo de gravidade da Terra é objeto de estudo da gravimetria.

^{2.1} Maiores considerações teóricas sobre o campo de gravidade, podem ser obtidas em (TORGE, W., 1989) e (MORITZ, H. ; HEISKANEN W., 1985)

2.2 GRAVIMETRIA E ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

Etimologicamente, gravimetria significa medida de um peso; (*gravis* é peso em latim e *metron* é medida, em grego). Uma outra forma de enfocar a questão, considera a gravimetria como sendo o conjunto de técnicas e procedimentos voltados ao estudo das variações da aceleração da gravidade ponto a ponto sobre toda a superfície terrestre. Isso implica dizer que, quando o geodesta vai ao campo efetuar alguma medição gravimétrica, está, na verdade, determinando a aceleração da gravidade.

Conceitua-se aceleração da gravidade, doravante designada por “g”, como sendo a resultante da aceleração gravitacional (devido à atração das massas terrestres) com a aceleração centrífuga (motivada pela rotação da Terra). Em geodésia, a unidade usualmente empregada para representar g é o gal, em deferência a Galileu Galilei, e seus submúltiplos, conforme mostra o quadro constante na figura 2.1.

nome	símbolo	Equivalência
gal	Gal	cm / s ²
miligal	mGal	0,001 Gal
microgal	μGal	0,000001 Gal

Figura 2.1 - Unidades de medida de g

O valor de g na superfície terrestre não é constante, podendo variar desde 978 Gal aproximadamente, nas cercanias do equador, até cerca de 983 Gal, nas regiões polares. A razão maior dessa variação prende-se à ação da componente

centrífuga da aceleração, cuja intensidade vai de aproximadamente $0,034 \text{ m/s}^2$ no equador, até zero, nos pólos.

Influenciam também na variação do valor de g :

- o achatamento do planeta;
- a atração de corpos celestes (sobretudo a lua e o sol);
- a altitude;
- a rotação da Terra;
- o relevo;
- as massas no interior da crosta.

Rosier (1979), fez comentários interessantes e esclarecedores sobre algumas características decorrentes das mudanças de g :

- Uma variação de 1 mGal no módulo da componente vertical da gravidade corresponde a um desnível de três metros.
- A diminuição secular da velocidade de rotação da Terra modifica, de alguma maneira, o valor da gravidade.
- Vários processos geológicos, geofísicos e geoquímicos, modificam a distribuição das massas no interior do globo e alteram localmente o campo gravitacional terrestre. Tais processos são normalmente lentos, exceto quando envolvidas atividades vulcânicas ou sísmicas.
- As variações lentas (seculares) da gravidade são difíceis de serem observadas através de medidas puramente gravimétricas. Muitas vezes, as diferenças entre valores de g num mesmo ponto são simplesmente resultado da inexatidão das medidas primitivas.

Adicionalmente, Gemael (1985), um dos maiores incentivadores das atividades gravimétricas no Brasil, assevera que as determinações da gravidade, no que tange à ciência geodésica, destinam-se às seguintes aplicações:

- anomalias da gravidade;
- ondulações do geóide;
- desvios da vertical;
- achatamento terrestre;
- altitudes;
- movimentos da crosta.

2.3 ERROS NA MENSURAÇÃO DE GRANDEZAS GEODÉSICAS

Não existe medida perfeita. Algum erro, por menor que seja, está sempre presente em qualquer medição. No caso da geodésia não poderia deixar de ser diferente; adequou-se apenas à terminologia clássica, denotada por erro de observação. Assim, um erro de observação pode ser definido como sendo a diferença entre o valor verdadeiro desconhecido, e o valor medido ou observado.

Para os efeitos práticos desta dissertação, os erros de observação serão enfocados segundo a classificação tradicional que se segue: ^{2.2}

- erros grosseiros;
- erros sistemáticos;
- erros aleatórios.

^{2.2} Outras classificações podem ser vistas em (NETTO, 1989).

2.3.1 Erros grosseiros

São aqueles ocasionados por desatenções, descuidos ou enganos dos operadores, ou ainda, por eventuais falhas instrumentais. Normalmente são bastante destoantes dos demais valores obtidos e, então, são facilmente identificados. Contudo, existem casos em que fica difícil detectar tais erros, devido à similaridade com os outros resultados; nessas circunstâncias, recorre-se a testes estatísticos para rejeitar alguma observação suspeita.

Netto (1989), explica que um erro grosseiro pode ser evitado a partir dos seguintes procedimentos por parte dos profissionais envolvidos:

- operações de controle;
- comparação com medidas já conhecidas;
- cuidados nas anotações;
- conhecimento do instrumental;
- repetição das operações.

Uma simples inversão de sinal, a anotação trocada de algum algarismo ou a calagem incorreta de uma bolha são exemplos corriqueiros de erros grosseiros em geodésia.

2.3.2 Erros sistemáticos

Oliveira (1983), cita em seu dicionário cartográfico, que os erros sistemáticos, também conhecidos como erros regulares, sempre seguem alguma lei matemática ou física. São eles produzidos por causas conhecidas e podem estar associados às condições ambientais, ao equipamento empregado ou às falhas

humanas, menciona (GEMAEL, 1994). As características inerentes a tais erros fazem com que haja a possibilidade dos mesmos serem evitados ou mesmo corrigidos posteriormente.

Praticamente todas as determinações geodésicas levam em conta erros sistemáticos; em termos gravimétricos, são bastantes conhecidas as influências sistemáticas da deriva instrumental e de atração luni-solar que serão oportunamente analisadas nesta dissertação.

2.3.3 Erros aleatórios

Erros aleatórios, acidentais ou fortuitos, ao contrário dos anteriores, não estão correlacionados com causas conhecidas. De acordo com Netto (1989), a teoria da distribuição dos erros acidentais é baseada em postulados sugeridos pela experiência, conforme as seguintes constatações:

- Uma análise estatística permite determinar o valor da grandeza e sua margem de erro.
- As medidas tendem a agrupar-se em torno de um valor.
- A probabilidade de ocorrência é máxima próximo ao valor médio e diminui com o afastamento.
- Existe simetria nas probabilidades de ocorrência em relação à média.
- Os erros pequenos são mais numerosos do que os grandes.
- Quando existe superabundância de observações, a todo erro em um sentido corresponde outro em sentido contrário.

As observações geodésicas, depuradas primeiramente dos erros grosseiros e sistemáticos, levam em conta os inevitáveis erros acidentais para, através de um tratamento matemático, encontrarem os valores mais prováveis para as suas determinações.

2.4 PRECISÃO E ACURÁCIA

Os dois vocábulos, precisão e acurácia, são empregados para avaliar o grau de certeza de uma grandeza. São, às vezes, usados como se fossem sinônimos, todavia, existem distinções entre eles.

A precisão, por exemplo, quantifica a dispersão de uma observação em relação a um valor médio. Segundo Gemael (1994), a precisão está ligada à repetitividade de medidas sucessivas, feitas em condições semelhantes por um mesmo observador, sobre a mesma quantidade física. Influenciam na precisão de uma medida apenas os erros aleatórios.

Por outro lado, o termo acurácia está correlacionado à dispersão de uma observação em referência ao seu valor verdadeiro que, como já mencionado, é desconhecido. Incidem na acurácia os erros aleatórios e sistemáticos.

Um exemplo já consagrado e apresentado na figura 2.1 mostra um alvo com perfurações advindas de um atirador, disparadas com uma única arma e de um mesmo local. Nessa figura, a questão é elucidada ao mostrar as relações existentes entre precisão e acurácia. No caso, a cruz e o círculo representam a posição verdadeira e cada ponto cinza corresponde a um disparo, isto é, em termos geodésicos, a uma observação.

Figura 2.2 - Precisão X acurácia
Fonte: Costa, 1999

2.5 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS ^{2.3}

Um levantamento geodésico é caracterizado pela existência de medições, chamadas também de observações, que podem ser classificadas em diretas e indiretas. Nas observações diretas, mensura-se diretamente a grandeza avaliada, como no caso da determinação de uma distância através de uma trena. Por sua vez, nas observações indiretas, os resultados são deduzidos, por meio de um modelo matemático, a partir das medições de grandezas correlacionadas. Exemplos dessa modalidade são as leituras de unidades instrumentais de um gravímetro que permitem a dedução da aceleração da gravidade.

Já se mencionou anteriormente que a presença de erros em qualquer observação geodésica é inevitável. São erros motivados por imperfeições do

^{2.3} Esclarecimentos adicionais sobre o assunto podem ser obtidos em (GEMAEL, 1994), (TRABANCO, 1995) e (VASCONCELLOS, 2003)

instrumental utilizado, ou por descuidos dos profissionais envolvidos, ou ainda, devido às influências das condições ambientais durante as medições.

Uma sistemática adotada nos levantamentos geodésicos para amenizar a influência dos tais erros é a pluralidade de observações, gerando uma superabundância de resultados. Em consequência da diversidade de resultados, torna-se difícil apontar qual deles melhor representa a grandeza medida; para dirimir tal dúvida é necessário ajustar as observações por alguma modelagem matemática, através do método dos mínimos quadrados (MMQ).

O MMQ foi concebido pelo matemático K.F. Gauss, no final do século XVIII, para estimar o movimento orbital dos planetas. Conceitualmente, o método estabelece que o resultado que melhor representa uma grandeza medida é aquele que torna mínimo o somatório dos quadrados dos resíduos. Explicando melhor: imagina-se, na medição de uma determinada grandeza X , que as diversas observações sejam representadas por $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$.

As diferenças entre uma determinada estimativa (L_i) e as observações, geram os chamados resíduos (v_i).

Assim, para o resultado estimado L_1 , ocorre:

$$\begin{array}{l} m_1 + v_1 = L_1 \\ m_2 + v_2 = L_1 \\ m_3 + v_3 = L_1 \\ \dots\dots\dots \\ m_n + v_n = L_1 \end{array}$$

No caso de um outro valor estimado L_2 , surgem novos resíduos (v'_i) para as mesmas observações:

$$\begin{array}{l} m_1 + v'_1 = L_2 \\ m_2 + v'_2 = L_2 \\ m_3 + v'_3 = L_2 \\ \dots\dots\dots \\ m_n + v'_n = L_2 \end{array}$$

Ou seja, cada valor estimado (L_i) proporciona um conjunto de resíduos diferentes. Preceitua, então, o MMQ que o resultado mais apropriado à grandeza medida é aquele em que o somatório dos quadrados dos resíduos correspondentes é mínimo.

$$\sum_{i=1}^n (v_i)^2 = \min$$

No caso de se ter observações com diferentes graus de confiança, existe a necessidade de se fazer uma ponderação, atribuindo pesos (p_i) às mesmas.

$$\sum_{i=1}^n (p_i) (v_i)^2 = \min$$

Ao se realizar um ajustamento, três são as opções de modelagem matemática. Assim, quando as observações puderem ser explicitadas em função dos parâmetros, isto é, no caso de observações indiretas, usa-se o modelo das equações de observações, mais conhecido por modelo paramétrico, descrito pela equação:

$$L_a = F(X_a)$$

Onde,

L_a = vetor das observações ajustadas

X_a = vetor dos parâmetros ajustados

F = função matemática não linear

No caso de observações diretas, ou seja, sem se levar em conta os parâmetros, utiliza-se o modelo das equações de condição, também chamado de modelo condicionado, ou ainda, de modelo correlato. Pode ser expresso por:

$$F(L_a) = 0$$

O terceiro modelo envolve parâmetros ajustados e valores observados ajustados, correlacionados por uma função matemática não explícita. Trata-se do modelo combinado, cuja modelagem é representada por:

$$F(L_a, X_a) = 0$$

3 RESENHA HISTÓRICA

3.1 EVOLUÇÃO DE CONCEITOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Os primeiros fundamentos sobre a aceleração da gravidade foram descritos por Aristóteles (384 – 322 a.C.), ao considerar que a velocidade da queda de um corpo era proporcional ao peso do mesmo. Somente dezoito séculos depois, Galileo Galilei (1564 – 1642) e Dutchman Stevin (1548 – 1620), confirmaram a teoria de Aristóteles, através de experimentos envolvendo também a queda livre de corpos. Entretanto, foi em 1673 que ocorreram as primeiras medições da aceleração da gravidade conduzidas por Christian Huygens (1629 – 1695), que construiu o primeiro relógio pendular. Huygens desenvolveu a teoria de que o valor absoluto da gravidade poderia ser obtido a partir da oscilação de um pêndulo.

Nessa mesma época, Newton (1643 – 1727) e o próprio Huygens, estabeleceram importantes conceitos vinculados à forma da Terra como sendo um corpo fluido homogêneo em rotação e achatado nos pólos (TORGE, 1989).

É interessante citar a contribuição de P. Bouguer (1698 – 1758) que apresentou ao mundo a noção de uma superfície de nível e considerou suas influências em um corpo rotacional em equilíbrio.

Destacam-se também as considerações de A.C. Clairaut (1713 – 1783), voltadas à utilização de medidas da gravidade para fins geodésicos. Em seu trabalho “Théorie de la Figure de la Terre”, publicado em 1743, Clairaut apresenta um teorema que permite calcular o achatamento de um elipsóide a partir da medição

da aceleração da gravidade em duas latitudes diferentes, definindo assim um método geodésico que permite a determinação dos parâmetros geométricos da figura elipsoidal da Terra.

A correlação existente entre a variação da aceleração da gravidade e a mudança de latitude é confirmada pelas relevantes missões francesas, levadas a efeito no século dezoito, tendo como um dos objetivos a confirmação da forma achatada da Terra. Nesse sentido, foram medidos arcos de meridiano na Lapônia, em 1736 e 1737, por P. L. Maupertuis e no Peru, através de uma expedição conduzida por Bouguer e La Condamini, que durou cerca de 10 anos, entre 1735 e 1744.

No início do século XIX, mais precisamente em 1811, foi idealizado um novo aparelho voltado à determinação da gravidade, pelo alemão J. Bohnenberger: o pêndulo reversível. Graças ao desenvolvimento desses dispositivos pendulares reversíveis foi possível a determinação diferencial da gravidade por diversas expedições, conduzidas por ingleses, franceses e russos, até o ano de 1831.

Com a existência de uma maior quantidade de dados de gravidade espalhados pelo planeta, cálculos iniciais do achatamento são realizados, empregando-se o teorema de Clairaut. Como exemplo, Laplace em 1799, chegou a um achatamento de 1:330 para o elipsóide, a partir de quinze valores de aceleração da gravidade.

Nesse contexto histórico, a Geodésia Física ganha relevância com a idéia de determinação da forma da Terra e do seu campo gravífico, a partir de valores de gravidade obtidos na superfície. Surge então uma formulação específica para resolver o problema de valor de contorno da terra, advinda de Green (1793 – 1841)

e Gauss (1777 – 1855). Coube ainda a este último, em 1826, a sugestão de considerar como forma matemática da Terra, uma superfície equipotencial coincidente com o nível médio dos mares. Mais tarde, no ano de 1873, J.B. Listing veio a chamar o corpo limitado por esta superfície de Geóide.

Outra contribuição inquestionável ao tema é apresentada pelo matemático e físico inglês, G.G. Stokes (1819 – 1903), ao desenvolver uma fórmula que possibilitaria o cálculo do potencial perturbador, usando-se valores de anomalias de gravidade. Entretanto, a integral de Stokes como é conhecida, só pôde ser usada cerca de cem anos depois, a partir de uma distribuição mais conveniente de dados gravimétricos no planeta.

Em 1889 vem à tona a teoria da Isostasia, concebida pelo geólogo americano C.E. Dutton, a partir de observações das direções da linha de prumo e dos distúrbios da gravidade obtidas nas imediações de montanhas.

Já no final do século XIX, H. Mohn (1899), realiza experimentos com um hipsômetro e com um barômetro de mercúrio para derivar o valor da gravidade.

Exatamente no início do século XX, em 1900, surge o *datum* gravimétrico de Viena, a primeira tentativa que se tem notícia de um ponto de referência da gravidade a nível mundial.

Em 1902, o barão húngaro R. Von Eötvös (1848 – 1919), empregou um instrumento desenvolvido por ele com vistas à prospecção geofísica. Esse equipamento, denominado balança de torção, media as componentes horizontais do gradiente da aceleração da gravidade. De acordo com (LAFEHR, 1980 apud LUIZ, 1995), “[...] medidas da gravidade efetuadas com a balança de torção possibilitaram

a descoberta do Demo Nash, no Texas, provavelmente a primeira descoberta de estrutura acumuladora de petróleo por meio de um método geofísico”.

Surge na Alemanha, em 1909, o *datum* mundial de Potsdam, instalado na Universidade de mesmo nome na chamada “sala dos pêndulos”, visualizada na figura 3.1. Mesmo não tendo sido o primeiro ponto gravimétrico de referência do mundo, foi sem dúvida o mais importante da época.

Figura 3.1 - Sala dos pêndulos, em Potsdam

Fonte: Blitzkow, 2003

As medições conduzidas com instrumentos pendulares e balanças de torção caracterizavam-se por alocarem um tempo considerável em cada estação que podia chegar a seis horas de observação. Com isso, os levantamentos conduzidos com esse instrumental, além de dispendiosos e demorados, não podiam se estender a terrenos instáveis ou de topografia irregular (TORGE, 1989).

Surgem então os gravímetros mecânicos, desenvolvidos para uso em levantamentos de extensas áreas, empregando um pequeno intervalo de tempo nas

medições. Esses gravímetros suplantaram os instrumentos até então existentes e revelaram novas perspectivas nas técnicas voltadas à obtenção da gravidade.

Eis o que (GEMAEL, 1999), menciona a respeito:

“Até aproximadamente 1920 o geodesta realizava os seus levantamentos gravimétricos, obviamente em pequena escala e restrito às áreas continentais, utilizando pêndulos. As dificuldades inerentes ao método pendular exigiram um operador especializado e o rendimento mal alcançava uma estação por dia. Os gravímetros surgiram na terceira década deste século. Pequenos, leves e de manejo simples, não obstante a delicadeza de sua constituição interna, produziram, em termos de gravimetria, o mesmo impacto que os distanciômetros eletrônicos na geodésia geométrica. Cinco minutos bastavam para levantar uma estação com precisão dez vezes superior a do método pendular.”

Os primeiros gravímetros produzidos em série foram construídos em 1934 por A. Schleusener. Posteriormente, novos instrumentos foram sendo concebidos, destacando-se os gravímetros Worden, Western, Askânia e, sobretudo, o LaCoste & Romberg. Este último pode ser visto através da figura 3.2.

Figura 3.2 - Gravímetro mecânico LaCoste & Romberg

Fonte: Castro Júnior, 2002 e IBGE, Manual do Gravímetro

Paralelamente à construção dos gravímetros mecânicos, foram desenvolvidos, em 1921, pelo holandês Vening Meinesz, dispositivos bi-pendulares que permitiram medições em plataformas móveis e, em seguida, tri-pendulares, os quais expandiam o uso aos oceanos. Em decorrência, inúmeras expedições gravimétricas cruzaram os mares utilizando os métodos preconizados por Meinesz.

Com o expressivo apoio dos gravímetros mecânicos, viabilizando levantamentos nas superfícies de ilhas e continentes, aliado aos dispositivos pendulares dinâmicos que conquistaram os oceanos, pôde a geodésia física experimentar um significativo desenvolvimento a partir do início do último século. Entretanto, esse progresso nas técnicas e medições gravimétricas, trouxe à tona alguns inconvenientes advindos da profusão de dados coletados em várias partes do mundo. Em sua grande maioria, os levantamentos eram executados segundo origens e sistemas diferentes, acarretando considerável heterogeneidade nos valores resultantes.

Surtem então esforços da comunidade geodésica internacional, no sentido de dotar o planeta de um único referencial gravimétrico. Destacam-se nesse cenário, as atividades do grupo coordenado por G. P. Woollard, que teve um papel preponderante ao efetuar inúmeras medições em todo o mundo, entre os anos de 1948 e 1963.

A ausência de um mesmo referencial global só foi resolvida a partir das recomendações oriundas da Assembléia Geral da *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG), reunida em Moscou, no ano de 1971, com a aprovação da *International Gravity Standardization Net* (IGSN). A IGSN71, como é mais conhecida, composta originariamente por 1854 estações gravimétricas de alta precisão

inseridas em um único ajustamento, definiu um novo sistema mundial que interligava estações absolutas e relativas distribuídas pelo planeta. Além disso, seus resultados modificaram o valor da estação Potsdam em 14 miligals negativos^{3.1}.

Desde então, a evolução do instrumental caminha a passos largos. Gravímetros acoplados primeiramente em helicópteros e posteriormente em aeronaves, facilitaram sobremodo os trabalhos em áreas inacessíveis. Determinações absolutas da gravidade foram obtidas a partir de gravímetros ditos de “queda-livre”, que agilizaram, em muito, a execução desses levantamentos absolutos e criaram melhores condições para homogeneizar as redes de referência existentes. Modernos instrumentos denominados gradiômetros são capazes de medir gradientes da gravidade. Estes montados em plataformas inerciais a bordo de veículos, aviões e satélites, ampliaram, sobremaneira, os horizontes da geodésia física.

Em paralelo, recentes missões espaciais, surgidas ao longo dos últimos anos, denotam o enorme interesse da comunidade científica mundial em desvendar mais ainda os mistérios geodésicos de nosso planeta. São elas: CHAMP, voltada à análise do campo magnético terrestre e suas variações no tempo; GRACE, destinada a pesquisar o campo gravitacional da Terra bem como a sua variação temporal; e ainda, GOCE, com previsão de lançamento em 2006, cujos objetivos precípuos prendem-se aos estudos oceanográficos.

Complementando esse breve histórico, cita-se a inovadora contribuição dos gravímetros supercondutores. Tais instrumentos revestem-se de um mecanismo bastante complexo que funciona a uma temperatura aproximada de 250 graus

^{3.1} Detalhamento minucioso referente à IGSN71, pode ser constatado em Morelli (1971)

centígrados negativos. São eles empregados para avaliar os deslocamentos verticais da crosta terrestre, permitindo assim ao geodesta moderno, no alvorecer do século XXI, conhecer e modelar a forma da Terra com exatidão. A figura 3.3 mostra o gravímetro supercondutor instalado na estação TIGO, na cidade de Concepcion, Sul do Chile.

Figura 3.3 - Gravímetro supercondutor

Fonte: Castro Júnior, 2004

3.2 A GRAVIMETRIA NO BRASIL

Provavelmente, o início da gravimetria em território brasileiro pode ser considerado pelas determinações pendulares efetuadas na Paraíba, no ano de

1697, por Couplet. Tal levantamento é citado por Newton, ao descrever em suas publicações o “*System of the World*” (GEMAEL, 1999).

A partir desse marco pioneiro, existem notícias de medições gravimétricas com o pêndulo de Foucault, na antiga sede do Observatório Imperial que existia no alto do Morro do Castelo, centro do Rio de Janeiro, em meados do século XIX. Desde então, apenas nos primeiros anos do século XX, novas medições são realizadas com um dispositivo tripendular de Sterneck, na atual sede do Observatório Nacional (ON), também no Rio de Janeiro. Em 1948, Shelton efetuou determinações no mesmo local com um pêndulo Brown. Em seguida, inúmeras medidas foram conduzidas pelo Grupo Woollard, contemplando a mesma estação com valores absolutos e vinculando-a ao sistema mundial de Potsdam. Em decorrência dessas determinações, a citada estação do ON foi considerada, na prática, como sendo o *datum* gravimétrico brasileiro por um bom período.

Pelo exposto depreende-se que a equipe de Woollard teve um papel importante no contexto gravimétrico nacional. Na verdade, o legado que eles deixaram no Brasil vai mais além, pois cerca de uma centena de estações foram implantadas em nosso território por conta desse grupo, entre os anos de 1949 e 1963.

Em 1964, o *Air Photographic and Charting Service* (APCS), iniciou o estabelecimento de uma série de conexões gravimétricas em aeroportos brasileiros, utilizando equipamento LaCoste & Romberg, fixando 55 referências. Essas estações são apresentadas englobadas à rede Woollard, no entanto, achamos conveniente separá-las já que foram executadas em programas e com precisões diferentes (MELLO, 1973).

Com a inserção da IGSN71, nosso país passou a estar vinculado a esse importante sistema mundial, através de vinte estações distribuídas segundo o cartograma constante da figura 3.4.

Diante da necessidade refletida pela comunidade geodésica de se executar levantamentos gravimétricos no Brasil, algumas instituições avocaram para si essa responsabilidade. Observa-se a interessante reflexão sobre o tema mencionada por (MELLO, 1973):

“No Brasil não existe uma organização encarregada do planejamento, execução e controle de levantamentos gravimétricos com objetivo geodésico. Os trabalhos realizados por alguns organismos governamentais, o foram por esforços individuais de tecnólogos interessados na matéria, sem seguir um plano gravimétrico nacional”.

Figura 3.4 - Distribuição das estações IGSN71 no Brasil

Fonte: Gemaël, 1999

Mesmo que as considerações anteriores não espelhem totalmente o quadro vigente nos dias atuais, pode-se dizer que ainda não existe em nosso país uma política gravimétrica nacional. Isso fez com que os organismos que pioneiramente se dedicaram à fatigosa tarefa de medir a gravidade tenham sido impelidos por suas próprias necessidades e sem nenhuma ação concatenada.

Nesse contexto, destacam-se o Observatório Nacional (ON), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Petróleo do Brasil S.A (PETROBRAS), a Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Universidade de Brasília (UNB) e a Universidade de São Paulo (USP). Dar-se-á maior enfoque às atividades empreendidas conjuntamente entre o IBGE e a USP, pela estreita relação existente com o conteúdo desta dissertação.

Os trabalhos gravimétricos do ON iniciaram-se no ano de 1955, tendo à frente o Dr. Lélío Gama. Desde então essa instituição executa sistematicamente levantamentos congêneres e hoje é responsável pela implantação e manutenção da rede gravimétrica fundamental brasileira (RGFB), com cerca de 560 estações materializadas^{3.2}.

As outras instituições envolvidas atuam paralelamente ao ON, dando origem a diversas redes regionais que, por não estarem inseridas em um único ajustamento com as estações do ON, são denominadas redes gravimétricas secundárias brasileiras (RGSB).

A PETROBRAS desempenhou importante papel no panorama gravimétrico brasileiro, com a execução de levantamentos destinados à prospecção petrolífera ao longo das principais bacias sedimentares do país desde meados do último século.

^{3.2} Resultados e considerações referentes à RGFB podem ser obtidos em Escobar (1980)

Em seus arquivos existem cerca de quatrocentas mil estações continentais e algo em torno de sessenta mil pontos medidos na plataforma continental.

A UFPR, em que pese suas atividades acadêmicas, tem se dedicado, nas últimas décadas, aos trabalhos gravimétricos, sob a pioneira coordenação do professor Camil Gemael. Destaca-se nesse contexto, a rede paranaense de alta precisão, coincidente com as vinte estações da rede planimétrica estadual medida pelo IBGE.

Da mesma forma, cita-se a UNB, com atuação prioritária no Centro-Oeste brasileiro, efetuando levantamentos conjuntos com a unidade do IBGE situada na capital federal.

O IBGE, gestor do sistema geodésico brasileiro, começou seu envolvimento com a gravimetria em 1956, com a implantação de circuitos destinados à calibração de gravímetros, nas regiões Sul e Sudeste. A partir daí, as atenções do IBGE foram voltadas à região do *datum* Chuá, no Triângulo Mineiro, onde inúmeros levantamentos ocorreram por cerca de vinte anos, desde a última década de sessenta.

3.3 ATIVIDADES CONJUNTAS ENTRE O IBGE E A USP EM TERRITÓRIO BRASILEIRO

Em 1981, houve uma reunião nas dependências da Diretoria de Geodésia e Cartografia com a participação do próprio diretor da época, engenheiro Mauro Pereira de Mello e do professor Denizar Blitzkow, representando a USP. Esse

evento foi o primeiro passo de uma grande e significativa parceria entre as duas instituições. Curioso mencionar que, a partir de então, fica difícil separar as atividades gravimétricas do IBGE e da USP, tal o grau de envolvimento e interdependência entre os citados parceiros. O objetivo precípua comum referia-se à confecção de um modelo geoidal mais preciso para o Brasil.

A primeira campanha conjunta ocorreu no ano seguinte, em 1982, em terras do Mato Grosso do Sul, com a participação do professor Nelsi Côgo de Sá. Neste e nos trabalhos de campo subsequentes até 1989, media-se a aceleração da gravidade em marcos altimétricos do sistema geodésico brasileiro. Entretanto, com o correr dos anos, sentiu-se a necessidade de expandir tais medições com vistas a permitir uma distribuição mais homogênea das estações. Obviamente, as referências de nível (RRNN) não foram suficientes para essa distribuição e então a componente altimétrica passou a ser fornecida por nivelamento barométrico.

Ocorre, no entanto, que constantes restrições orçamentárias começaram a inibir as campanhas, antes sistemáticas. Paralelamente, o único gravímetro disponível era literalmente pouco para as necessidades. Surge então, a prestimosa colaboração da Universidade de Leeds, na Inglaterra, originada através de uma convergência de interesses com a USP. A idéia nessa nova fase era preencher os vazios gravimétricos ainda existentes no Brasil, independentemente das linhas altimétricas, para melhorar a distribuição espacial das estações. O *Defense Mapping Agency* (DMA), hoje *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), auxiliou na empreitada com o empréstimo de gravímetros e apoio financeiro.

Em julho de 1991, transcorreu a campanha que iniciou esse novo período, com a calibração do instrumental envolvido e a densificação da rede de referência

do Mato Grosso do Sul. Para este trabalho, foi designada a Unidade de Geodésia e Cartografia do IBGE, sediada em Goiânia. Desde então, inúmeras operações de campo foram conduzidas nas regiões mais ermas do Brasil. Diga-se de passagem que as altitudes, antes fornecidas pela barometria, passaram a ser medidas com GPS diferencial associado ao modelo do geopotencial EGM96, a partir de meados dos anos noventa.

Muitas lições foram aprendidas com as atividades no interior de nosso imenso país e, por conseguinte, as equipes de campo tiveram que ter desenvoltura suficiente para se adaptarem às condições atípicas existentes. Enfatiza-se o que foi realizado em terras Amazônicas, sobretudo pelas fantásticas campanhas na bacia do rio Negro. A conquista do Pantanal Matogrossense também merece ser destacada por sua engenhosidade e pela quebra de alguns paradigmas, sendo o principal deles, o conceito de que seria inviável trabalhar nas áreas alagadas com o uso de viaturas. As figuras 3.5 e 3.6 mostram medições gravimétricas na Amazônia e no Pantanal; a figura 3.7 resume os resultados auferidos em solo brasileiro.

Figura 3.5 - Gravimetria na Amazônia

Fonte: Castro Júnior, 1998

Figura 3.6 - Gravimetria no Pantanal

Fonte: Castro Júnior, 1997

Figura 3.7 - Cartograma com a densificação gravimétrica no Brasil

Fonte: Lobianco, 2004

Mais uma vez, com o passar dos anos de trabalho contínuo, os objetivos das instituições envolvidas foram sendo ampliados. As razões foram inúmeras, mas a maior delas foi a necessária obtenção de informações em áreas próximas ao nosso país, com vistas a melhorar a qualidade do modelo geoidal brasileiro e, ao mesmo tempo, alimentar o desejo comum de se conceber um único modelo para o continente sul-americano. Em decorrência, o palco de operações deixou de ficar restrito ao Brasil e passou a focar outros países que eram carentes de informações gravimétricas. Enfatizar-se-á o que foi realizado no Paraguai, Chile e Equador, devido à participação do autor.

3.4 ATIVIDADES CONJUNTAS ENTRE O IBGE E A USP NA AMÉRICA DO SUL

As atividades mencionadas foram conduzidas com a anuência da *International Association of Geodesy* (IAG), através da então *Sub-commission for the Geoid and Gravity in South America* (SCGGSA).

3.4.1 Levantamentos no Paraguai

Em 1999, houve a primeira ação fora do Brasil, através de uma reunião em território paraguaio, nas dependências da *Dirección del Servicio Geográfico Militar* (DISERGEMIL); estavam presentes representantes dos dois países. De imediato, ficou evidenciada a inexistência de estações gravimétricas de referência naquele

país, problema que foi resolvido com conexões à rede brasileira. Ao mesmo tempo, buscou-se, na ocasião, alternativas consensuais na elaboração de um plano de trabalho que contemplasse as necessidades técnicas e operacionais decorrentes. As figuras 3.8 e 3.9 ilustram medições gravimétricas em terras paraguaias.

Figura 3.8 – Levantamentos gravimétricos no Paraguai

Fonte: Castro Júnior, 2003

Figura 3.9 - Levantamentos gravimétricos no Paraguai

Fonte: Castro Júnior, 2003

Exatamente sete campanhas foram desenvolvidas no Paraguai desde o início dos trabalhos, permitindo um conhecimento bastante conveniente em uma região que até pouco tempo era um imenso vazio em termos gravimétricos. Os resultados são apresentados na figura 3.10: cinquenta estações de referência e quase 2200 pontos de densificação.

Figura 3.10 - Distribuição dos dados gravimétricos no Paraguai

Fonte: Castro Júnior, 2003

3.4.2 Levantamentos no Chile

O segundo país a ser contemplado foi o Chile. A estratégia foi a mesma: reunião preliminar nas instalações do Instituto Geográfico Militar (IGM). Como de praxe, detalhes técnicos e operacionais foram esmiuçados para que em setembro de 2000 a primeira campanha viesse a acontecer. Cenas de medições são apresentadas nas figuras 3.11 e 3.12.

Figura 3.11 - Levantamentos gravimétricos no Chile

Fonte: Castro Júnior, 2003

Figura 3.12 - Levantamentos gravimétricos no Chile

Fonte: Castro Júnior, 2003

Não se encontrou marco antigo de referência em solo chileno. Entretanto, as condições para se implantar a nova rede básica foram bastante facilitadas pela existência, à época, de quatro estações gravimétricas absolutas dispostas longitudinalmente no país.

Foram ao todo seis campanhas conjuntas, totalizando 56 estações da rede de referência e mais 1035 estações densificadas, visualizadas na figura 3.13. Hoje se pode dizer que o Chile possui um arcabouço gravimétrico que abarca praticamente todo o seu território, graças ao esforço empreendido nesse projeto.

Figura 3.13 - Distribuição dos dados gravimétricos no Chile

Fonte: Rocha, 2003

3.4.3 Levantamentos no Equador^{3.3}

As atividades em terras equatorianas aconteceram mediante um empenho notável das instituições que trabalham com geodésia naquele país, o Instituto Geográfico Militar (IGM) e o Instituto de Cartografia Naval (INOCAR).

A consagrada reunião preliminar ocorreu às vésperas da primeira campanha, em abril de 2002. Uma segunda campanha foi conduzida em cerca de vinte dias, no mês de setembro do mesmo ano, envolvendo intensa estrutura operacional, compreendendo deslocamentos terrestres, aéreos, marítimos e fluviais. Apenas essas duas campanhas foram suficientes para implantar e medir o novo arcabouço gravimétrico de referência equatoriana.

Um terceiro período de trabalho foi conduzido em outubro de 2003, voltado ao estabelecimento de um sistema altimétrico único para o continente, composto de dois perfis gravimétricos sobre referências de nível. Um dos perfis cruzou o país de norte a sul, ligando a fronteira com a Colômbia às proximidades do Peru. O outro perfil, transversal ao anterior, originou-se às margens do oceano pacífico em direção leste, até o começo da floresta amazônica. Os resultados são sintetizados pela figura 3.14 e detalhados no cartograma que consta do anexo A.

^{3.3} O assunto será convenientemente detalhado no capítulo sete, referente ao estudo de caso.

Figura 3.14 - Distribuição de dados gravimétricos no Equador

Fonte: Rocha, 2004

4 SISTEMA GRAVIMÉTRICO

Mesmo não sendo uma forma costumeira de abordagem, pode-se, a partir da conceituação moderna de Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), enunciar a proposta de um “Sistema Gravimétrico Brasileiro” (SISGRAB) como sendo um conjunto de conceitos e elementos definidores do campo de gravidade terrestre. No Brasil, tal sistema seria composto por todas as estações gravimétricas (EEGG), dispostas em rede e medidas através de procedimentos geodésicos, absolutos ou relativos. Conceitualmente, em termos mais amplos, o objetivo do Sistema Gravimétrico seria a determinação sobre toda a Terra, de acelerações da gravidade e de um modelo digital ou analítico que representasse a separação entre uma das superfícies equipotenciais do campo de gravidade e a superfície elipsoidal. A superfície equipotencial, tradicionalmente tomada como referência, seria a superfície geoidal, limitante do corpo chamado geóide, traduzida pelo nível médio não perturbado dos mares. A separação entre essas duas superfícies tem o nome de ondulação geoidal e é representada por (N).

Reitera-se, nesse contexto, a sugestão de uma necessária e desejável concatenação das ações gravimétricas em território brasileiro, com maior envolvimento das instituições que trabalham com o tema, dando seqüência às conversações iniciadas no passado e já mencionadas no capítulo três. Quiçá possa existir, no porvir, uma Comissão Gravimétrica Brasileira (COMGRAB), algo semelhante ao que ocorre com a Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). Por incrível que possa parecer, tal entrosamento já existe no continente americano por conta do grupo vinculado ao Sistema de Referência para as Américas (SIRGAS), o qual deveria ser tomado como exemplo.

4.1 CIRCUITOS GRAVIMÉTRICOS

As determinações de novas estações gravimétricas com o uso de gravímetros relativos ocorrem através de medições em circuitos. Existem, basicamente, duas modalidades de circuito. A primeira pressupõe que as estações de partida e chegada sejam coincidentes. Nesses casos, bastaria que ao menos uma EG conhecida fizesse parte do circuito, com vistas ao cálculo das diferenças de g para as novas estações. Contudo, o que normalmente acontece é que a estação conhecida seja a inicial. A outra modalidade prevê EEGG diferentes, com valor de g conhecidos, para o início e término dos circuitos. .

O tempo de duração de cada circuito não deve exceder a 48 horas, pois após esse período a deriva instrumental deixa de ser linear^{4.1}. Normalmente, os fatores condicionantes à operacionalização dos circuitos referem-se às restrições impostas pelo tipo de terreno, disponibilidade de meios e do tempo previsto para a realização dos levantamentos. Por motivos econômicos e facilidade operacional, quase sempre se utiliza a rede viária nas medições de circuitos gravimétricos.

Existem várias configurações para os circuitos, sem limitação no número de estações ou restrição de distância entre elas. Entretanto, qualquer que seja esse desenho, é desejável, para melhorar a qualidade dos resultados, que haja eventuais reocupações de estações em circuitos diferentes, e ainda, algumas conexões interligando diversos circuitos.

Algumas instituições, incluindo o IBGE, consideram a terminologia “linha gravimétrica” como sendo o mesmo que “circuito gravimétrico”. Um conjunto de circuitos forma uma rede gravimétrica.

^{4.1} O conceito de deriva instrumental será esmiuçado posteriormente, na abordagem dedicada ao gravímetro Lacoste & Romberg.

4.2 REDES GRAVIMÉTRICAS - CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

A idéia expressa por Mello (1973), retrata de maneira clara, a razão de ser de uma rede de referência:

“Analogamente ao que ocorre na geodésia geométrica, quanto ao estabelecimento de redes de referência, nos levantamentos gravimétricos necessitamos de referências básicas que facilitem o desenvolvimento dos trabalhos regionais e locais [...]”.

De fato, as redes gravimétricas de referência, também denominadas redes básicas ou fundamentais, propiciam uma desejável infra-estrutura aos levantamentos de gravimetria. Isso implica em dizer que uma região a ser levantada com objetivos geodésicos, ou seja, segundo uma distribuição homogênea de estações gravimétricas, necessita contar com uma estrutura de referência suficiente, que suporte os trabalhos de densificação.

Existem diversas denominações para as redes de referência. Mesmo com alguma convergência, estudiosos do assunto consideram distintas classificações. Por exemplo, o próprio Mello sugere a ordenação que se segue:

- rede absoluta;
- rede internacional;
- rede nacional de 1ª ordem;
- rede nacional de 2ª ordem ;
- rede de detalhes.

Por sua vez, Rosier (1979), propõe a existência dos seguintes tipos de rede:

- *datum* internacional;
- rede básica;
- rede de densificação.

Trabanco (1995), apresenta a idéia de redes regionais e opina, adicionalmente, que sejam consideradas mais quatro classes de rede, a saber:

- rede internacional;
- rede nacional;
- rede regional;
- rede de densificação.

Em contrapartida, Gemael (1999), aborda o tema sugerindo a classificação abaixo:

- rede internacional;
- rede nacional;
- rede estadual;
- rede absoluta;
- rede de densificação.

4.3 REDES GRAVIMÉTRICAS - UMA PROPOSTA OTIMIZADA

Como já citado nos capítulos anteriores desta dissertação, as primeiras medições da gravidade foram conduzidas com instrumentos absolutos. Surgiram, posteriormente, dispositivos ditos relativos, mais precisos que os absolutos, que forneciam a diferença de aceleração entre duas ou mais estações e, por conseguinte, requeriam na região trabalhada a existência de ao menos uma estação com o valor de g conhecido.

Entretanto, esses equipamentos antigos, tanto absolutos quanto relativos, eram pouco precisos e não atendiam plenamente às necessidades requeridas pela geodésia física; conseqüentemente, os diversos levantamentos espalhados pelo

mundo, à época, não eram homogêneos. Tal quadro propiciou a adoção de referenciais únicos para o planeta, dos quais já se destacou a rede Woollard e a IGSN71, sendo esta considerada, ainda hoje, como *datum* gravimétrico mundial.

Com a expressiva e recente evolução dos instrumentos absolutos, viabilizando medições cada vez mais rápidas e resultados na casa do microgal, tem havido uma considerável disseminação de estações absolutas pelo mundo. Assim sendo, a adoção de uma estação absoluta, antes bastante difícil e onerosa, é atualmente a alternativa mais viável para servir de referência aos novos levantamentos gravimétricos. Imagina-se um desvio padrão de cinco microgals em cada estação absoluta.

À parte do quesito qualidade, sem dúvida o aspecto mais relevante a ser considerado nas estações absolutas, existiria ainda a conveniência de não se precisar contar com a atual rede de referência internacional. Diga-se de passagem que no Brasil e nos países em que se teve a oportunidade de trabalhar, a IGSN71, além de escassa, encontra-se comprometida pela grande destruição de suas estações. Depreende-se então, que atualmente fica sem sentido designar apenas a IGSN71 como *data* mundial, já que as estações absolutas possuem qualidade superior às relativas e assim podem vir a apoiar, com relativa facilidade, o preenchimento dos vazios gravimétricos ainda existentes.

Com base nas circunstâncias aventadas, apresenta-se uma proposta alternativa de classificação para as redes gravimétricas, possivelmente mais adequada aos dias atuais, contendo as seguintes componentes:

- rede absoluta de referência;
- rede relativa de referência;
- rede de densificação.

4.3.1 Rede absoluta de referência

Considerar-se-ia esta como sendo o referencial maior para a gravimetria.

Algo similar a uma rede de alta precisão, cujas funções mais importantes seriam:

- colocar em escala as redes pré-existent;
- servir de referência única para todas as novas redes relativas;
- atender à calibração de gravímetros relativos;
- auxiliar nos estudos e pesquisas que exijam altíssima precisão, como marés terrestres e variações seculares da gravidade.

À luz da atual realidade, sabe-se que a idéia de um único modelo geoidal sul-americano, torna-se cada dia mais almejado. Por tal razão, o ideal seria que, em última análise, a rede absoluta proposta tivesse abrangência continental, ou até mesmo mundial, sem ficar restrita a uma ou outra nação. No intuito de melhor viabilizar a implantação, cada país ficaria incumbido de estabelecer suas respectivas estações. Para tanto, poder-se-ia pedir auxílio aos organismos internacionais e instituições que possuíssem tecnologia e instrumental apropriado. Assim sendo, as diversas redes absolutas nacionais fariam parte de uma rede continental, no caso idealizado pela presente dissertação, uma rede sul-americana. Em decorrência, as redes continentais propostas fariam parte de um *data* mundial. Cita-se, mais uma vez, o SIRGAS, como um bom exemplo de vinculação entre diferentes nações.

Todas as estações absolutas seriam materializadas por chapas ou pinos, preferencialmente em locais abrigados, estáveis, seguros e duráveis. Teriam ainda códigos internacionais e descritivos padronizados.^{4.2}

^{4.2} Exemplos de chapas geodésicas e de descritivo são apresentados, respectivamente, nos anexos B e C

O Brasil, como já comentado, possui a RENEGA. Poderia esta rede, servir de base ao arcabouço gravimétrico de alta precisão que o Brasil necessita. O próprio ON, que recentemente adquiriu dois gravímetros absolutos, daria prosseguimento à RENEGA, com a implantação de mais estações distribuídas convenientemente pelo país. Em princípio, sugere-se que cada Unidade da Federação venha a ser contemplada com uma estação.

4.3.2 Rede relativa de referência

Com qualidade inferior à rede absoluta, esta outra classe de rede teria uma precisão associada de aproximadamente 0,05 miligal. Afora a precisão, o grande diferencial em relação ao referencial absoluto seria quanto ao instrumental empregado, no mínimo três gravímetros relativos atuando conjuntamente. No Brasil, tal rede nada mais seria do que a atual malha de referência implantada, ao longo dos últimos anos, pelas instituições já mencionadas anteriormente, com justificável destaque ao ON. Estima-se que, hoje em dia, existam por volta de mil estações de referência em terras brasileiras. Igualmente ao proposto para a rede absoluta, as EEGG relativas deveriam ser convenientemente materializadas e descritas.

Mesmo com diferentes realidades, advindas das várias metodologias empregadas nas medições, considerar-se-ia ideal a adoção no Brasil de uma única rede relativa de referência. Para tanto, seria indispensável um ajustamento conjunto de todas as EEGG de referência existentes tendo como injunção a rede absoluta. Enquanto isso não ocorre, talvez a melhor alternativa fosse que cada instituição se responsabilizasse pela manutenção e ajustamento de suas respectivas estações já

implantadas. Em uma etapa posterior, informações referentes à precisão de cada uma das estações poderiam ser fornecidas aos usuários, adicionalmente aos valores de g .

Para o futuro, na implantação de novas estações de referência, poder-se-ia buscar uma desejável padronização, tanto na materialização quanto na medição, e ainda, adotar procedimentos semelhantes ao que hoje ocorre no Sistema Geodésico Brasileiro, onde Instituições competentes podem estabelecer estações geodésicas, vinculando-as ao SGB, desde que sigam a metodologia preconizada e remetam ao órgão responsável, no caso, o IBGE, os correspondentes arquivos das observações empreendidas durante as medições, incluindo os descritivos padronizados. Em assim procedendo, ter-se-ia no Brasil, com o passar dos anos, uma nova concepção de rede gravimétrica relativa, mais moderna, integrada e homogênea.

Como não poderia deixar de ser, a exemplo do preconizado para as redes absolutas, existe o propósito de integração das redes relativas de referência entre os países do continente. Por iniciativa da EPUSP, IBGE e ON, isso de fato já vem ocorrendo com algumas pátrias contíguas ao Brasil, mas deve ser incentivado e sugerido formalmente às outras nações sul-americanas.

4.3.3 Rede de densificação

Em termos conceituais, a proposta para uma rede de densificação não difere muito do que já existe no Brasil, por isso, não seriam necessárias mudanças significativas. Muito mais densa do que as anteriores, essa referida rede é que traduz para o geodesta, o conhecimento do campo de gravidade. Suas estações

continuariam estabelecidas em circuitos, a partir das redes de referência existentes, utilizando-se, via de regra, apenas um gravímetro. O espaçamento entre as estações deveria variar desde cinco a dez quilômetros, pois, quanto mais densa e homogênea for a sua distribuição, melhor será retratada a superfície geoidal.

Atualmente, estima-se que a precisão de cada estação densificada seja superior a 0,1 mGal, isto é, cerca de dez vezes melhor do que o prescrito por (SHOKIN,1963 apud MELLO, 1973), para atender a maioria dos problemas geodésicos e geológicos. Quase a totalidade das estações que compõem a rede de densificação no Brasil, não está materializada no terreno. Entretanto, a partir de 2004, o IBGE, instituição brasileira que mais executou levantamentos gravimétricos na última década, preconiza experimentalmente a implantação e a decorrente descrição das estações gravimétricas densificadas, sempre que possível. Com efeito, somente no primeiro ano de vigência dessa sistemática, 617 estações com respectivos descritivos, foram efetivamente implantadas pelo IBGE.

Diferentemente das redes de referência, existe a necessidade de que cada estação componente da rede de densificação, tenha agregada a si uma informação altimétrica. Tal procedimento é que permite à citada rede atingir os seus reais objetivos de caracterização do geóide. Assim sendo, passa a ser conveniente a utilização do maior número possível de referências de nível como estações gravimétricas. Convém realçar o que apregoa ROSIER (1979), sobre a questão altimétrica na densificação gravimétrica:

“A localização de estações em referências de nível (RN), ou pelo menos em locais cuja altitude seja determinada com algum rigor (nivelamentos geométricos ou trigonométricos) constitui um fator preponderante ao planejamento de redes [...] Cumpre salientar aqui que, sendo o valor do gradiente médio aproximado da gravidade igual a $-0,31$ mGal / metro, a altitude de uma estação onde se pretende determinar a anomalia da gravidade deve ser conhecida com aproximação de cerca de 1 metro [...] “

Até o início da década de noventa, as altitudes das EEGG densificadas eram obtidas, quase sempre, através de nivelamento barométrico; exceto quando medidas diretamente sobre as RRNN. Com a inserção da tecnologia GPS nos levantamentos, o IBGE, atuando sempre em parceria com a EPUSP, passou a medir altitudes geométricas por meio de receptores com precisão submétrica.^{4.3}

^{4.3} Maiores detalhes sobre a sistemática adotada nos levantamentos serão tecidos no capítulo referente aos procedimentos metodológicos.

5 DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

O valor de g pode ser obtido de várias maneiras, dependendo do método e instrumental utilizados. Mello (1973), esclarece o assunto com a abordagem que se segue:

“A determinação da aceleração de gravidade processa-se mediante análise de fenômenos físicos que estejam em sua dependência direta ou indireta, tais como: o movimento de queda livre dos corpos no vácuo, num líquido, ou no ar; a oscilação de um pêndulo; a elongação de uma mola sujeita à ação de uma carga; a ascensão de um líquido num tubo capilar; a frequência de oscilação de uma mola e outros. Entretanto, somente alguns desses fenômenos possibilitam determinações precisas, compatíveis com o objetivo da geodésia ou de outras ciências aplicadas que utilizem medidas gravimétricas na consecução de seus objetivos”.

Qualquer que seja o processo que se empregue na determinação de g , considera-se apenas duas categorias de medidas: absolutas e relativas. Nas medições absolutas, os resultados fornecem diretamente o valor da gravidade na própria estação. O instrumental utilizado oferece maior precisão, porém é mais complexo, de difícil manuseio e com um custo de aquisição bastante elevado. O princípio de funcionamento dos atuais gravímetros absolutos está relacionado à queda livre de um corpo.

Em contrapartida, nas determinações relativas, encontra-se como resposta a diferença de g entre duas ou mais estações; por isso, no mínimo uma estação deve possuir, necessariamente, um valor da gravidade previamente conhecido na região de trabalho. O instrumento relativo, em que pese a complexidade envolvida em sua construção, propicia quase sempre operações mais rápidas e simplificadas. Exceções à regra, ficam por conta dos gravímetros supercondutores que, mesmo relativos, possuem grande complexidade operacional e alta precisão.

Via de regra, o princípio de funcionamento de um gravímetro relativo, consiste em contrapor à gravidade, uma força que lhe é sensivelmente igual,

registrando-se a posição em equilíbrio. Essa afirmação de (ESCOBAR, 1985), relaciona-se com o tipo de gravímetro utilizado nos levantamentos inerentes à dissertação.

5.1 O GRAVÍMETRO LACOSTE & ROMBERG – MODELO G

Justifica-se o enfoque pormenorizado da versão geodésica – daí a denominação de modelo G – do gravímetro LaCoste & Romberg^{5.1}, por dois motivos relevantes:

- Há décadas, é o instrumento mais propagado no Brasil, e possivelmente no mundo, para medir a aceleração da gravidade.
- Foi efetivamente o equipamento gravimétrico empregado em todos os levantamentos vinculados a esta dissertação.

Por motivos óbvios, não existe o intuito de se fazer menção a todos os detalhes referentes à constituição e operação do L & R; pretende-se apenas enfatizar os aspectos julgados mais importantes e acrescentar informações de cunho prático, auferidas do convívio com o instrumental, não disponíveis na literatura afim.^{5.2}

5.1.1 Características gerais

Construído pela empresa americana LaCoste & Romberg INC, o L & R é um gravímetro estático-mecânico, projetado para efetuar medidas relativas de g , com

^{5.1} Por conveniência, o gravímetro LaCoste & Romberg será denominado, doravante, por suas letras iniciais L & R.

^{5.2} Para o leitor desejoso de maiores informações, sugere-se recorrer ao manual do L & R editado pelo fabricante.

diferenças de até sete mil miligals. Em consequência, pode ser empregado em qualquer ponto do planeta desde que devidamente protegido dos raios solares, da chuva e dos ventos fortes. Levantamentos efetuados sob condições extremas de temperatura, desde calor intenso e úmido de cinquenta graus centígrados, na Amazônia, até o frio cortante do continente Antártico, na casa dos dez graus negativos, provam que o L & R está apto a operar em praticamente todos os locais em que o ser humano tenha condições de interagir com o meio ambiente. O equipamento possui precisão nominal de leitura de 0,01 mGal, o que possibilita resultados melhores do que 0,05 mGal em cada estação gravimétrica.

5.1.2 Alimentação

Para funcionar adequadamente, o L & R precisa estar com parte de seus circuitos e componentes convenientemente aquecidos. Isso é conseguido mediante um controle térmico da temperatura interna, cujo valor é indicado pela fábrica e varia de acordo com cada instrumento. Inicialmente, são necessárias quatro horas de conexão permanente à corrente contínua para que se alcance a temperatura operacional. Porém, o ideal é que esse período de aquecimento, como é chamado, seja de 24 horas.

Depois de aquecido, o instrumento deve permanecer conectado a uma fonte de energia externa, para manter o controle termostático e acionar as lâmpadas dos níveis e de leitura. Em nenhuma hipótese, a alimentação deverá ser cortada; caso isso ocorra, o gravímetro “esfriará” e um novo período de aquecimento deverá ser conduzido. Durante as jornadas de trabalho, a alimentação é feita por meio de uma bateria de doze volts, tipo GEL/CEL que, se estiver devidamente carregada, atende

normalmente a uma etapa diária de medições. Houve casos em que uma mesma bateria suportou medir, sem recarga, cerca de cinquenta estações gravimétricas.

Nos períodos que antecedem e sucedem os levantamentos propriamente ditos, conecta-se o gravímetro a um transformador ligado à corrente alternada que, além de manter o aquecimento interno, faz a recarga das citadas baterias. O tempo de carga de uma bateria é função do estado da mesma e pode variar de oito até vinte horas ininterruptas, para deixá-la totalmente abastecida. Salienta-se que a bateria deve ser recarregada após o uso, tão logo seja possível; tal procedimento aumenta sua vida útil. Tanto o transformador quanto as baterias, são fornecidas pelo fabricante junto ao instrumento.

5.1.3 Princípio de funcionamento

Gemael (1999), explana com concisão sobre o princípio de funcionamento de um gravímetro relativo:

“Em essência, num gravímetro o peso de um corpo é equilibrado por uma força antagônica geralmente elástica. A variação da posição de equilíbrio do sistema em função da variação da gravidade permite a avaliação desta última”.

Escobar (1995), amplia e particulariza as considerações de Gemael, ao mencionar que o gravímetro LaCoste & Romberg baseia-se no princípio de um sismógrafo vertical, idealizado por LaCoste. Para facilitar a compreensão, o funcionamento do L & R é mostrado, de forma esquematizada, pelo próprio fabricante, através da figura 5.1 e do texto subsequente.

Figura 5.1 - Mecanismo do gravímetro L & R
Fonte: Manual do L & R - 1996

“O sistema sensor da gravidade consiste numa massa (1) presa à extremidade de uma barra horizontal (2) sustentada pela mola de comprimento nulo(3). A mola de amortecimento(4) forma um pivô flutuante, eliminando, com isso, qualquer fricção no sistema móvel.”

Para se proceder à medição, o sistema precisa ser colocado em equilíbrio, de tal forma que o somatório das forças externas seja compensado internamente por um deslocamento da massa(1) através da rotação, pelo operador, do parafuso micrométrico (5).

É voz corrente que o grande segredo do L & R reside na elaboração da sua mola de comprimento nulo. Escobar (1985), apud GEMAEL (1974), menciona que tal mola é construída condicionando as espiras a uma tensão prévia, de modo que seu comprimento equivalente seja zero quando livre de carga.

Uma inconveniência do mecanismo sensor do L & R fica por conta da chamada deriva instrumental, (ROSIER, 1979). Tal fator, atribuído às alterações do sistema elástico do gravímetro, faz com que haja uma lenta e progressiva variação da leitura instrumental com o decorrer do tempo, sem que a gravidade tenha sido modificada; esse efeito é relativamente pequeno no L & R. Existem basicamente dois tipos de deriva: estática e dinâmica. Ocorre a deriva estática, quando o

instrumento fica imóvel por um determinado intervalo de tempo; ela passa a ser significativa e precisa ser corrigida, quando, em um circuito, esse tempo excede a duas horas. Em contraposição, a deriva dinâmica acontece devido ao movimento do gravímetro; para que a mesma possa ser modelada e considerada linear, o período máximo de cada circuito não deve exceder a 48 horas.^{5.3}

Uma outra característica importante a ser considerada no L & R, diz respeito ao fato de ele ser astático. Novamente, Gemael (1999), explica que o vocábulo astatização provém do grego *astatos*, que significa “instável”. Isso indica que o mecanismo elástico do L & R trabalha próximo ao estado de equilíbrio instável, tornando-o mais sensível às variações de *g*.

5.1.4 Sugestões de manuseio

Ao contrário do que sugere a sua aparência um tanto simplificada, o L & R é um instrumento extremamente sensível e requer um manuseio seguro e especializado. Por esses motivos, aqueles profissionais que aspiram trabalhar com o L & R precisam estar totalmente inteirados das técnicas de operação e, sobretudo, ter paciência e dedicação, pois o aprendizado costuma ser lento e gradativo. Ao mesmo tempo, não é raro que, mesmo os técnicos experientes, se deparem com particularidades inusitadas no trato com o instrumento.

^{5.3} Recomenda-se recorrer à Rosier (1979) e Gemael (1999) para complementar as informações sobre a deriva instrumental do L & R

5.1.4.1 Ajustes preliminares à operação

Alguns dias antes de se iniciar um levantamento gravimétrico, ainda distante da região de trabalho, é imprescindível que o gravímetro seja convenientemente revisado e ajustado para a campanha. Para que isso seja procedido, o gravímetro deverá estar em uma superfície plana e estável e convenientemente nivelado. Essa revisão deve ser executada pelo próprio operador, contemplando os seguintes ajustes:

- focalização da ocular;
- posição de leitura;
- nível longitudinal ou sensibilidade;
- nível transversal.

5.1.4.1.1 Focalização da ocular

Tal procedimento visa à adaptação do sistema de lentes da ocular ao operador, para que o mesmo possa efetuar leituras nítidas e corretas. Isso é feito através do anel rosqueado existente na parte superior da ocular, da seguinte maneira:

- i. Com o gravímetro travado, se rota o anel no sentido anti-horário para liberar o cilindro com o conjunto de lentes, tomando-se a precaução de manter firme o gravímetro bem firme.
- ii. Em seguida, levanta-se o cilindro da ocular o máximo possível.
- iii. Acendem-se as luzes e, enquanto se observa o limbo graduado, através da lente da ocular, retrai-se lentamente o cilindro com as pontas dos dedos, até

que se encontre a maior nitidez possível. Essa operação pode ser repetida algumas vezes para se encontrar uma melhor focalização.

- iv. Definida a posição exata do sistema de lentes, o anel rosqueado deve ser girado no sentido horário até prender novamente o cilindro da ocular.
- v. Caso haja embaciamento ou sujeira que atrapalhe a observação, deverá ser procedida uma limpeza no sistema de lentes.

5.1.4.1.2 Posição de leitura

As respostas que um gravímetro fornece, em termos de aceleração da gravidade, são traduzidos por um retículo que se desloca acima do limbo graduado do L & R. Este retículo, também apelidado de “fiel”, ou “cursor”, é, na realidade, a imagem ampliada de um fio muito fino, projetada sobre o limbo. Sua visualização é possível através do conjunto de lentes que forma a ocular e o seu movimento é controlado pelo parafuso micrométrico ou, simplesmente, micrômetro.

Quando se coloca o fiel na posição exata de leitura, o mecanismo interno do gravímetro alcança o equilíbrio. Isso permite, em última análise, que diminutas variações na posição central das bolhas dos níveis não tragam prejuízo às medições. Essa posição é também chamada de posição zero, ponto de equilíbrio do sistema sensor ou, simplesmente, “linha de leitura”. Gemael (1999), expõe sucintamente o que ocorre: “No instante da medição, o gravímetro acha-se em equilíbrio. A soma das forças externas que sobre ele atuam, deformando o sistema elástico, é igual à soma das forças internas geradas pela deformação”.

Ato contínuo deve-se destravar o gravímetro, girando-se o pino da trava no sentido anti-horário até o fim de seu curso. Três situações podem, então, ocorrer. No

primeiro caso, o fiel encontra-se na extremidade direita do limbo; deve-se então, girar o parafuso micrométrico no sentido anti-horário, até que o mesmo se desloque para a esquerda e atinja uma posição próxima à extremidade oposta. Na segunda situação, se o retículo estiver posicionado do lado esquerdo, o parafuso micrométrico deve ser rotado no sentido horário, até que o cursor se dirija para o centro do limbo. Existe ainda a terceira possibilidade, quando há pequenas variações do valor de g entre estações, em que o fiel fica totalmente liberado na parte central do limbo, assim que o sistema é destravado.

O próximo passo é deslocar o cursor para a exata posição de equilíbrio, isto é, sobre a denominada “linha de leitura”. Ressalta-se que o deslocamento do retículo rumo à posição de leitura deverá ser sempre no mesmo sentido, a fim de eliminar eventuais folgas existentes no parafuso micrométrico. Em razão disso, convencionou-se que, todas as vezes que o fiel for colocado na linha de leitura, será desde uma menor graduação para uma maior, isto é, num sentido ascendente.

Supõe-se, à guisa de exemplo, que o gravímetro seja o G146, cuja posição de leitura está entre 3,3 e 3,4. Destarte, após a destrava do sistema, deve-se, primeiramente, mover o fiel, segundo uma das três hipóteses já indicadas. Em seguida, independentemente da posição do fiel, leva-se o mesmo a aproximadamente três unidades abaixo da linha de leitura, no caso, próximo à graduação 3.0. Finalmente, desloca-se, bem devagar, o retículo em direção à posição correta, entre 3.3 e 3.4, movendo-se o parafuso micrométrico no sentido horário.

Caso o operador perceba que o fiel se encontra um pouco mais à direita do posicionamento pretendido, mesmo que esse deslocamento seja mínimo, ele deve

retroceder o fiel àquelas três unidades sugeridas, para que a aproximação seja refeita corretamente, da esquerda para a direita.

Cada gravímetro possui a respectiva linha de leitura que reflete a posição de equilíbrio e é fornecida pelo fabricante juntamente com indicação da temperatura operacional e a tabela de calibração (GEMAEL, 1999). Ocorre, todavia, que a linha de leitura sofre pequenas variações com o passar do tempo. Cabe assim, ao operador, efetuar aferições freqüentes para confirmar se o posicionamento daquela linha está correto. Para tanto, o seguinte procedimento é recomendável:

- i. Após o devido posicionamento do fiel na suposta posição de leitura informada pelo fabricante e assinalada na tampa, verificar se os níveis estão centrados.
- ii. Movimentar o parafuso de nivelamento do gravímetro, que fica isolado à direita, de tal sorte que a bolha do nível longitudinal venha a se deslocar, por exemplo, cerca de meia unidade para a esquerda.
- iii. Centralizar, se preciso for, a bolha do nível transversal.
- iv. Observar o deslocamento do fiel: se este for mínimo ou se não houver movimento aparente, a posição de leitura pode estar bem perto do local correto. Caso contrário, deve-se optar por uma outra posição do fiel, contígua à anterior, sempre com movimento ascendente do micrômetro e, assim, repetir os passos ii, iii e iv.
- v. Deslocar, novamente, a bolha do nível longitudinal, só que agora para a direita, aproveitando-se as indicações do item ii.
- vi. Repetir o descrito nos passos iii e iv, tantas vezes quanto necessário, até que se encontre a posição ideal do fiel, citada no item iv.

5.1.4.1.3 Nível longitudinal

Como mencionado anteriormente, o movimento do fiel é acionado pelo operador, ao girar o parafuso micrométrico cuja face superior é dividida em dez partes iguais. Cada uma destas partes, por sua vez, divide-se em dez traços ou unidades. A cada volta completa do micrômetro, que corresponde a aproximadamente um milígal, o fiel deveria se deslocar algo em torno de dez unidades sobre o limbo. Quando o retículo, caminha menos que nove unidades, diz-se que o gravímetro está com baixa sensibilidade; por outro lado, nos casos em que ele se desloca acima de onze unidades do limbo, a sensibilidade encontra-se alta. Por isso, a regulação do nível longitudinal é chamada de ajuste da sensibilidade do gravímetro.

Para avaliar se é inevitável tal ajuste, é conveniente que o operador faça, vez por outra, o teste de sensibilidade, verificando se o fiel está dentro do intervalo preconizado, entre nove e onze unidades. Segundo o fabricante, as melhores respostas do L & R ocorrem quando a sensibilidade é ajustada em dez e meio. É usual proceder ao teste pela manhã, antes de se iniciar as primeiras medições, ou quando há variação acentuada de ambiente entre duas estações. Entretanto, existem correntes que preconizam a realização do teste de sensibilidade em todas as estações, o que não é necessário. O teste em si é singelo e compreende os seguintes procedimentos:

- i. Com as luzes acesas, identifica-se, pela ocular, qual a menor graduação do limbo atingida pelo fiel. Isso é feito girando-se o micrômetro no sentido anti-horário. Leva-se o fiel para a esquerda até aproximadamente meia divisão desta menor graduação.

- ii. Ainda atuando no micrômetro, agora no sentido horário, posiciona-se lentamente o fiel, cerca de uma divisão à direita daquela menor graduação identificada no passo anterior. Com este procedimento, automaticamente, a folga existente no micrômetro é compensada.
- iii. Gira-se o parafuso micrométrico exatamente dez unidades, ou uma volta completa, ainda no sentido horário.
- iv. Observa-se a quantidade de traços que o fiel se desloca no limbo graduado.

Quando, através do teste, detecta-se que a sensibilidade está alterada, é preciso ajustar o nível longitudinal da seguinte maneira:

a) Sensibilidade baixa

- i. Com o gravímetro nivelado, destravado e as luzes acesas, desloca-se a bolha do nível longitudinal para a esquerda, cerca de meia divisão, através do parafuso nivelador que fica no lado direito.
- ii. Centraliza-se a bolha do nível transversal, se necessário for.
- iii. Verifica-se a sensibilidade por meio do respectivo teste.
- iv. Caso não se encontre um valor próximo a dez, sendo o ideal o valor dez e meio, busca-se uma outra posição para a bolha do nível longitudinal, próxima à anterior, pouco mais à direita ou à esquerda, e refaz-se o teste da sensibilidade. Esses procedimentos devem ser refeitos, até que se chegue o mais próximo possível do valor dez e meio.
- v. Abre-se a espia que dá acesso ao mecanismo de regulação do nível longitudinal.

- vi. Introduz-se a chave *allen* na parte superior do parafuso de regulagem e rota-se o mínimo possível para a esquerda, até centralizar a bolha que estava deslocada.
- vii. Repete-se, então, o teste de sensibilidade, para confirmar se o ajuste foi efetuado corretamente. É comum haver necessidade de mais de uma tentativa até se conseguir a sensibilidade apropriada.

b) **Sensibilidade alta**

O processo de ajuste quando a sensibilidade está elevada, é similar ao que se executa nos casos de fraca sensibilidade. As diferenças ficam por conta das direções contrárias da bolha (item i) e do movimento de rotação do parafuso de regulagem (item vi).

5.1.4.1.4 Nível transversal

O objetivo maior em se almejar o melhor ajustamento possível do nível transversal é fazer com que o fiel não sofra deslocamentos, se houver pequenas inclinações transversais do gravímetro.

A aferição deste nível é semelhante à que se faz com o nível longitudinal para se determinar a posição de leitura:

- i. Com o fiel na linha de leitura, desloca-se a bolha transversal cerca de meio traço, numa e noutra direção, através de um dos dois parafusos niveladores, que ficam do lado esquerdo.
- ii. Ajusta-se a bolha do nível longitudinal com o terceiro parafuso nivelador e observa-se a posição do fiel.

- iii. Quando o nível estiver ajustado, o fiel fica praticamente imóvel ou se desloca, minimamente e na mesma direção, para cada uma das direções a que a bolha foi submetida.

Apesar de ser menos comum e um pouco mais difícil de se executar do que no nível longitudinal, um eventual ajuste no nível transversal pode ser feito da seguinte maneira:

- i. Com o instrumento nivelado, luzes acesas, destravado e na linha de leitura, desloca-se a bolha do nível transversal cerca de meia divisão em uma direção qualquer. Para tanto, se usa o mesmo parafuso nivelador usado na aferição.
- ii. Ajusta-se a bolha do nível longitudinal, caso seja necessário.
- iii. Com a chave *allen* apropriada, centraliza-se a bolha do nível transversal, com movimentos suaves no respectivo parafuso de ajuste.
- iv. Faz-se novamente o teste de nível transversal, verificando se houve alguma melhoria em relação à aferição. Caso positivo, pode-se, por tentativa, refinar ainda mais o ajuste, através de deslocamentos mínimos da bolha;
- v. No entanto, se o movimento do fiel ficou maior que o verificado no teste, indica que a direção escolhida para o movimento da bolha estava equivocada. Nesses casos, deve-se fazer um novo ajuste, colocando-se a bolha na direção contrária à escolhida no passo i. Dificilmente um operador, por mais experiente que seja, consegue ajustar o nível transversal na primeira investida; o posicionamento ideal vem gradativamente.

Cabe aqui, uma observação adicional realçando a idéia de que todo movimento de ajuste de níveis deve ser feito em doses mínimas. Um deslocamento

mais acentuado no ajuste, pode tornar o gravímetro instável acarretando grande dificuldade para se retomar o equilíbrio.

5.1.4.2 Sistemática de operação

Recomenda-se que os procedimentos de operação sejam observados, na sequência correta, em todas as estações. As etapas sugeridas são as seguintes:

- preparo para operação;
- escolha adequada do local da estação;
- retirada do instrumento da caixa de transporte;
- nivelamento do aparelho;
- destravamento do mecanismo interno;
- aferição da sensibilidade;
- colocação na linha de leitura;
- estabilização do sistema;
- série de leituras;
- travamento do mecanismo interno;
- posicionamento do instrumento na caixa de transporte.

5.1.4.2.1 Preparo para operação

No início de uma campanha gravimétrica e durante o seu transcorrer, o gravímetro precisa estar em plenas condições de funcionamento para enfrentar as jornadas diárias de trabalho. Em função disso, aconselha-se ao operador, antes de

realizar as primeiras observações em cada dia, revisar preventivamente os seguintes itens:

- carga da bateria a ser usada;
- estado da bateria reserva;
- focalização da ocular;
- sensibilidade.

5.1.4.2.2 Escolha adequada do local da estação

Ao chegar na estação, o operador deve confirmar o ponto exato para estacionar o instrumento, antes mesmo de retirá-lo da caixa de transporte. Esse local deve ser firme e estável o bastante para receber diretamente o gravímetro ou a sua base auxiliar de sustentação mais conhecida como “prato de apoio”. Na maioria dos casos, é comum uma inspeção com as mãos para confirmar se o local atende e não é demasiadamente macio ou oco. Caso seja viável, deve-se optar por sítios abrigados dos raios solares e das intempéries.

Quando não se ocupa um marco geodésico, a instalação do gravímetro é feita próxima ao nível do piso, em uma base de concreto preexistente. Nos casos em que se usa o solo natural, o prato de apoio deve ser preliminarmente firmado. Em solos arenosos, é comum a retirada da camada superficial de terra, antes de se assentar o prato. Todavia, qualquer que seja o local escolhido para se pousar o gravímetro, deve-se dar especial atenção à eventual medição da componente vertical, normalmente avaliada com GPS, necessária na maior parte das estações

gravimétricas; para tanto, o local elegido deve também estar livre de obstruções, a fim de atender aos critérios requeridos para as medições GPS.^{5.4}

5.1.4.2.3 Retirada do instrumento da caixa de transporte

Definido o exato local da estação, deve-se posicionar a caixa de transporte contígua à mesma. Antes de o operador sacar o gravímetro, é preciso verificar a necessidade de se usar um guarda-sol para protegê-lo. Ato contínuo, o L & R deve ser empunhado, preferencialmente com as duas mãos, retirado de sua caixa e colocado suavemente sobre a estação ou em cima do prato de apoio. Eventuais descuidos acerca desses pequenos detalhes podem ocasionar baques desnecessários e inconvenientes.

5.1.4.2.4 Nivelamento do aparelho

O instrumento é nivelado a partir de seus três parafusos niveladores, de forma a centralizar as bolhas dos níveis transversal e longitudinal. É um procedimento extremamente simples; mesmo assim, para facilitar, sugere-se que todos os parafusos sejam previamente posicionados próximos à metade de seu curso. Nos gravímetros mais antigos, o movimento dos parafusos niveladores é feito na parte inferior do aparelho, enquanto nos modelos mais recentes, os ajustes são efetuados mais facilmente, com a extensão dos parafusos até o topo. É recomendável o acendimento das luzes para permitir uma melhor visualização dos níveis. A calagem das bolhas é verificada constantemente durante as medições e

^{5.4} Informações adicionais são prestadas no capítulo quatro, sistema gravimétrico, no tocante às redes de densificação.

ajustada quantas vezes for preciso. Nenhuma leitura deve ser feita com o aparelho desnivelado.

5.1.4.2.5 Destravamento do mecanismo interno

Após a realização desse procedimento, já esmiuçado no item 5.4.1.2, os cuidados devem ser redobrados, pois qualquer solavanco, por menor que seja, pode trazer prejuízo às medições e ao próprio aparelho.

5.1.4.2.6 Aferição da sensibilidade

Como já mencionado no item anterior, esta etapa passa a ser opcional, pois raramente existe variação da sensibilidade entre duas estações. Um profissional experiente, já percebe quando o nível longitudinal está alterado, pela velocidade com que o fiel se move; no entanto, nem todos têm tal perspicácia. Em razão do exposto, é habitual o teste da sensibilidade, por parte de alguns operadores, em todas as estações. Entretanto, em geral, trata-se de um cuidado excessivo.

5.1.4.2.7 Colocação na posição de leitura

Com este procedimento, busca-se o necessário equilíbrio do sistema sensor. Caso o conjunto de lâmpadas já esteja aceso, deve o operador observar através da ocular e posicionar corretamente o cursor na posição, de acordo com os procedimentos mencionados no item 5.4.1.2. Acrescenta-se, neste ponto, mais uma reflexão sobre uma leitura bem feita, ao se enfocar as eventuais variações de uma mesma “posição de leitura”. Isto sucede por que os diversos operadores, devido às

suas respectivas acuidades visuais, acabam adotando referências diferentes para uma única posição de leitura. Pelo exposto, fica clara a necessidade de que um único profissional se encarregue das medições de um mesmo circuito. Mesmo assim, esse operador deve adotar um só critério de referência do fiel, durante todas as medições a fim de evitar erros. A figura 5.2 elucida o assunto, ao mostrar, esquematicamente, distintas situações do fiel dentro da mesma situação de equilíbrio.

Figura 5.2 – Eventuais variações de uma mesma posição de leitura

Fonte: Rocha, 2005

5.1.4.2.8 Estabilização do sistema

Com a destrava do instrumento, o fiel na linha de leitura e as luzes apagadas, deve-se esperar algum tempo para que seja alcançada uma adaptação total do sistema sensor às condições ambientes. Embora o IBGE preconize um

intervalo padrão de dez minutos^{5.5}, a prática denota que este tempo pode variar consideravelmente e, em geral, é menor. Existem, basicamente, duas maneiras de se descobrir se o instrumento alcançou a acomodação desejada:

1ª. Pela variação de leituras subseqüentes.

A série de três observações, dentro do intervalo de dois minutos, serve para confirmar se as mesmas foram bem executadas, mas também indica se o gravímetro está, ou não, estável. Por isso, ao perceber que existem variações maiores que cinco unidades entre duas observações, o operador deve concluir que o instrumento não está totalmente pronto. Aguarda-se um pouco e repete-se a primeira leitura.

2ª. Através de alterações da sensibilidade.

Quando há mudança brusca nas condições do ambiente entre duas estações, como uma variação da altitude ou da temperatura, a sensibilidade do nível longitudinal pode apresentar alguma variação. Em alguns casos, um maior tempo de espera com o instrumento destravado faz com que a sensibilidade volte a ficar normal. Entretanto, se no decurso de meia hora isso não ocorrer, o ajuste do nível longitudinal se torna imprescindível.

5.1.4.2.9 Série de leituras

Em cada estação gravimétrica, deve-se efetuar uma série de três leituras, preferencialmente, dentro do intervalo máximo de dois minutos. Isso implica dizer que o fiel deve ser colocado três vezes consecutivas na posição exata de leitura, de acordo com os critérios já descritos, anotando-se os três valores. A hora legal deve ser anotada assim que se efetua a leitura intermediária. Aconselha-se ajustar o

^{5.5} Critério citado nas Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos do IBGE, 1983.

relógio com um receptor GPS, devido à sua exatidão. O anotador deve, também, conferir se as três leituras são convergentes, segundo um desvio máximo de cinco unidades na última casa. Assim que as três leituras forem proferidas, as luzes devem ser apagadas, para a economia de energia. Como opinião adicional, sobretudo para as estações de referência, deve haver uma revisão no instrumento, por outro componente da equipe, para confirmar se a leitura está correta, a fim de se evitar fortuitos equívocos de operação.

A leitura é expressa pelos quatro primeiros dígitos do contador digital existente sobre a tampa do instrumento, acrescido dos três últimos algarismos obtidos diretamente na parte superior graduada do parafuso micrométrico. Como ilustração, mostra-se a figura 5.3, cuja leitura seria **3767** (contador digital) **429** (parafuso micrométrico); este último dígito é estimado.

Figura 5.3 - Exemplo de leitura do L&R-G

Fonte: Rocha, 2005

5.1.4.2.10 Travamento do mecanismo interno

Depois das leituras realizadas e as luzes apagadas, o gravímetro precisa ser devidamente travado. Para tanto se aciona o parafuso da trava no sentido horário, até que este chegue ao final de seu curso. O operador tem que adquirir o reflexo de travar o instrumento assim que a última leitura é efetuada e o anotador, por sua vez, deve confirmar se houve, de fato, o travamento. Profissionais experientes costumam, intuitivamente, verificar várias vezes se o gravímetro foi travado, antes de removê-lo. Nunca é demais recordar que uma pequena pancada ou mesmo um movimento com o gravímetro destravado pode comprometer seu mecanismo e fazer com que o instrumento tenha que ser remetido à fábrica, para reparos.

5.1.4.2.11 Posicionamento do instrumento na caixa de transporte

Depois de verificado se houve, de fato, a trava do sistema sensor, o operador deve colocar o instrumento na caixa com o máximo de cuidado, sem movimentos bruscos. Tão logo isso ocorra, sugere-se que as luzes sejam verificadas para confirmar se não houve rompimento ou desconexão do cabo alimentador, antes que se feche a caixa de transporte.

5.1.5 Calibração

Os valores de leitura que o L & R fornece, são expressos em unidade instrumental, traduzida pelos dispositivos graduados do próprio instrumento. Para transformá-la em miligal, basta recorrer a uma tabela enviada pelo fabricante que é

específica para cada gravímetro. A tabela mostra os valores em miligal correspondentes às leituras instrumentais, dispostos em setenta intervalos de cem unidades; além disso, apresenta constantes de conversão para cada um dos intervalos^{5.6}. Depreende-se então, que o L & R não possui uma linearidade na conversão de leituras, ao longo de toda a faixa de operação.

À medida que o tempo passa, devido aos desgastes e alterações do sistema elástico do instrumento, a calibração procedida na fábrica sofre mudanças que comprometem os resultados dos levantamentos. Isso acarreta a necessidade de que, periodicamente, novas calibrações sejam realizadas. Os resultados dessas calibrações podem ser representados por uma nova tabela de conversão ou então, como é preferível, através de um fator multiplicativo único que corrige toda a tabela original mais conhecido como fator de escala.

O processo de calibração mais usual no Brasil possibilita a comparação das leituras instrumentais com valores acurados de g, advindos de duas ou mais estações gravimétricas. Essas comparações são feitas entre pares de estações, até que os intervalos da tabela contemplados com a calibração sejam os mesmos da faixa de operação da região a ser trabalhada. Isso requer uma análise preliminar de quais estações conhecidas devem ser ocupadas. No Brasil, existem algumas linhas destinadas à calibração instrumental, sendo que a RENEGA é a principal. Segundo (SHOKIN 1963, apud MELLO, 1973), o fator de escala K é obtido pela razão entre as diferenças dos valores conhecidos ($g_2 - g_1$) e as leituras instrumentais nas mesmas estações ($L_2 - L_1$), em miligals, devidamente corrigidas dos efeitos de deriva e atração luni-solar.

^{5.6} Exemplo de uma transformação entre unidades instrumentais e miligal é apresentado no próximo capítulo.

Tal relação é expressa por:

$$K = g_2 - g_1 / L_2 - L_1$$

5.1.6 Leituras em áreas de instabilidade

Um dos pressupostos básicos para uma boa medição, diz respeito às condições estruturais das estações gravimétricas. Quando existe a desejável estabilidade, o fiel fica perfeitamente equilibrado e sem oscilações indesejáveis. No entanto, efeitos advindos da natureza do terreno adjacente ou de movimentos causados por algum tipo de sismo, produzem alguma interferência no mecanismo interno, que é traduzido por oscilações atípicas do fiel. Muitas vezes, dependendo da intensidade, a instabilidade do fiel é tão intensa que inviabiliza totalmente as medidas.

Quando o problema for de natureza local, isto é, nas circunvizinhanças das estações, percebe-se que a movimentação de veículos, ou mesmo de pessoas, coincide com as oscilações do fiel. A causa quase sempre aponta para alguma instabilidade do terreno contíguo ou das cercanias. Na maior parte dos casos, a melhor opção é buscar um outro lugar, mais conveniente às medições.

Nas situações em que a origem da instabilidade for aparentemente inexplicável, pode-se estar diante de algum sismo que nem sempre está próximo. Há casos em que terremotos ocorridos a milhares de quilômetros de distância, dificultam bastante a medição de estações em consequência da propagação de ondas subsuperficiais. Nessas circunstâncias, o fiel fica oscilando, de um lado para o outro, com amplitude variada. Quando isso acontece, as atividades devem ser suspensas

até que as condições se normalizem. No entanto, existem momentos em que se deve tentar efetuar alguma medição, mesmo que as condições não estejam totalmente propícias. Em tais circunstâncias pode ser deveras complicado efetuar medições com o retículo se movimentando. Nessas circunstâncias, a proposta é que se gaste um tempo maior em cada estação, observando os deslocamentos do retículo, até que o mesmo adquira movimentos mais regulares ou lentos. Se necessário, o operador deve efetuar várias leituras, anotando a hora em cada uma delas e escolhendo sempre uma mesma posição do fiel. É óbvio que não se pode esperar a mesma precisão para os trabalhos em áreas instáveis. A solução não é simples, visto que as condições variam com o tempo e podem ser diferentes para cada estação. Mesmo assim, salvo se a instabilidade for muito acentuada, vale a pena qualquer tentativa para se trazer algum resultado e, assim, minimizar as perdas.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS SUGERIDOS NAS OPERAÇÕES GRAVIMÉTRICAS

Por correlacionar diversas técnicas e procedimentos, a complexidade presente em uma operação gravimétrica é bastante acentuada. Pretende-se, sem a intenção de esgotar o assunto, discorrer sobre a metodologia empregada durante tais atividades e, ao mesmo tempo, disponibilizar informações que possam subsidiar os eventuais interessados.

Um projeto de gravimetria abarca diversas etapas relacionadas com a finalidade do mesmo. Assim, serão evidenciadas as características inerentes a um trabalho com objetivos geodésicos. Sob este foco, as etapas principais que serão objeto de análise compreendem:

- planejamento;
- rede de referência;
- rede de densificação;
- tratamento dos dados.

6.1 PLANEJAMENTO

A ocorrência de um planejamento bem estruturado, além de nortear as ações a serem desenvolvidas ao longo do processo evolutivo de uma operação gravimétrica, permite antever qual a sistemática a ser empregada e, conseqüentemente, dimensionar esforços, custos e prazos. Um bom planejamento é denotado por seu dinamismo e se inicia com as primeiras especulações sobre o projeto a ser realizado. Por conseguinte, discussões preliminares entre os

participantes devem ser incentivadas, visando uma desejável concatenação de idéias e ações. Por outro lado, o andamento dos trabalhos deve ser avaliado a cada etapa e, se for o caso, adaptado às novas circunstâncias surgidas.

Torna-se imprescindível, durante o planejamento, a participação de profissionais que conheçam as principais peculiaridades da área a ser levantada. Ao mesmo tempo, com vistas à continuidade de ações, é desejável que os mesmos participantes dessas discussões possam estar presentes nas campanhas decorrentes. Os aspectos considerados num planejamento deverão ser validados e complementados *in loco*, sobretudo durante a implantação da rede de referência. São eles, basicamente, de natureza técnica e operacional.

6.1.1 Aspectos técnicos

O detalhamento técnico prende-se, essencialmente, aos seguintes itens:

- configuração da rede de referência;
- possibilidade de densificação futura;
- informações sobre o arcabouço geodésico preexistente;
- instrumental e sistemática de trabalho;

6.1.1.1 Configuração da rede de referência

Com base na abrangência espacial e diante dos objetivos e características que norteiam as diversas metas de um projeto gravimétrico, deve-se escolher preliminarmente, com a ajuda de documentos cartográficos, as localidades que, em princípio, seriam contempladas com as estações de referência. Essa escolha é importante para a configuração prévia dos circuitos e serve, adicionalmente, como

subsídio à definição dos diversos procedimentos necessários à consecução das etapas subseqüentes.

Já se comentou sobre a imprescindibilidade, num circuito gravimétrico, da existência de estações com valores de g conhecidos; teoricamente, tais estações deveriam pertencer a redes preestabelecidas. Entretanto, nem sempre existem EEGG antigas disponíveis em toda a área trabalhada, fazendo com que as próprias estações da nova rede de referência forneçam o suporte requerido. Deduz-se, assim, que há várias configurações possíveis para os circuitos gravimétricos. As especificidades do projeto, aliadas às características da região e aos meios disponíveis é que apontam as melhores alternativas.

6.1.1.2 Possibilidade de densificação futura

É sempre oportuno imaginar que haverá necessidade de se realizar alguma densificação gravimétrica em uma etapa posterior à implantação da rede de referência. Para o geodesta, a densificação é considerada como sendo o ápice dos esforços gravimétricos em uma região, pois possibilita o ansiado conhecimento da superfície geoidal, objetivo maior da geodésia física. Destarte, todas as ações gravimétricas devem ser efetuadas visando essa possível meta, mesmo que seja em uma ocasião futura e remota.

6.1.1.3 Informações sobre o arcabouço geodésico preexistente

No planejamento deve-se levar em conta a distribuição de estações geodésicas preexistentes no território a ser trabalhado. As componentes dos três sistemas, planimétrico, altimétrico e gravimétrico devem ser consideradas, pois

poderão ser úteis aos novos levantamentos gravimétricos. Sob uma ótica mais ampla, seria bastante proveitosa a associação das três componentes, sendo ideal a concomitância das mesmas em estações integradas. Entretanto, a realidade mostra que, quase sempre, as estações geodésicas representativas desses três sistemas estão dissociadas umas das outras e, em boa parte, destruídas. As atenções devem ser voltadas, inicialmente, à localização e ao estado de conservação; os descritivos devem ser disponibilizados e analisados, pois certamente algumas estações serão ocupadas em etapas posteriores. Se houver possibilidade, recomenda-se um reconhecimento antecipado na região de trabalho.

Um outro fator que merece destaque, diz respeito à homogeneidade dos novos dados gravimétricos. Por esse motivo, é fundamental uma análise criteriosa dos *data* das estações. O ideal, para evitar desigualdades inconvenientes, seria a adoção de um único sistema de referência para cada componente, planimétrica, altimétrica e gravimétrica, mesmo que se trabalhe em países distintos. No entanto, sabe-se que isso é de veras difícil, sobretudo no que concerne à altimetria.

Atenta-se às oportunas considerações de Criollo (2003), ao manifestar preocupação sobre a questão de referenciais em países distintos:

“Outro problema existe quando se quer determinar o geóide local de um país, pois são necessárias observações dos países vizinhos, mas estas estão em diferentes referenciais tanto verticais quanto horizontais. Para minimizar os efeitos causados, as observações são reduzidas ao mesmo referencial que no caso deste trabalho será o WGS84”.

Assim, no sistema planimétrico, é notória a tendência em se considerar o WGS84 como a melhor opção, por ser um sistema geocêntrico, com parâmetros de transformação conhecidos e de ampla utilização pelo GPS.

A gravimetria deve ter sua rede de referência respaldada, preferencialmente, em estações absolutas. Quando isso não for possível, alguma EG da IGSN71 pode servir como opção, desde que se conheça o respectivo desvio padrão. No caso do

Brasil, as redes de referência implantadas, RGFB e RGSB, podem ser utilizadas caso a ocupação de alguma EG absoluta seja inviável.

A componente altimétrica é a que traz maiores preocupações, pois cada país tem o seu sistema com origens distintas, e, nem sempre existe a devida vinculação entre as mesmas. Para se garantir um referencial altimétrico único no apoio às atividades gravimétricas, pode-se recorrer à medição de altitudes geométricas, isto é, referenciadas a um elipsóide, através de receptores GPS. Nesses casos, tais altitudes devem ser reduzidas ao geóide por um mesmo modelo do geopotencial. Por outro lado, as referências de nível (RRNN), pela precisão com que foram determinadas, devem ser ocupadas pela gravimetria mesmo que haja diferenças entre as origens dos diversos sistemas altimétricos. Imagina-se que em algum momento, os países da América do Sul terão seus *data* verticais devidamente correlacionados; enquanto isso não acontece, as valiosas informações gravimétricas advindas das RRNN devem ser aproveitadas diferencialmente, restritas aos respectivos países, tanto na definição da superfície geoidal quanto na unificação de uma rede altimétrica no continente.

6.1.1.4 Instrumental e sistemática de trabalho

Ainda na fase de planejamento, devem ficar definidos os diversos instrumentos e a sistemática de trabalho a ser empregada nas atividades decorrentes. Isso é feito, normalmente, com base nas estimativas de precisão que o projeto requer. Isto posto, deve-se envidar esforços no sentido de se manter os mesmos critérios durante toda a vigência do projeto em determinada região. Tal iniciativa é sugerida, tendo em vista a necessidade de se dispor de dados padronizados. Diferentes métodos e instrumentos, nas diversas etapas de um

mesmo projeto, podem acarretar resultados com precisões distintas e trazer erros sistemáticos indesejáveis na determinação da superfície geoidal.

6.1.2 Aspectos operacionais

Quanto à operacionalidade, sugere-se, num planejamento, maior enfoque aos quesitos que se seguem:

- características da região;
- meios de transporte;
- condições climáticas e épocas propícias;
- meios de comunicação;
- estratégia de atuação.

6.1.2.1 Características da região

Conhecer as características da região a ser trabalhada acaba sendo extremamente proveitoso, pois facilita sobremaneira as coordenações logísticas e conseqüentes tomadas de decisão. Nesse sentido, vale a pena colher informações sobre os principais aspectos físicos, demográficos, culturais e sócio-econômicos da área do projeto.

6.1.2.2 Meios de transporte

Por força das circunstâncias, sobretudo as de cunho financeiro, os deslocamentos empreendidos em uma operação gravimétrica são comumente

realizados em viaturas. Contudo, outros tipos de transporte podem ser empregados para se alcançar, homogeneamente, toda a região de trabalho.

Em razão disso, é fundamental um conhecimento prévio de todo o sistema viário existente bem como as melhores opções de transporte. Na Amazônia, por exemplo, é usual se transitar por vias fluviais; os rios são as principais “estradas” daquela área. Contudo, uma boa parte da região só é acessada por via aérea. Isso implica em dizer que, por vezes, pode ser laboriosa a escolha adequada das melhores alternativas de transporte para se atingir os objetivos de recobrimento espacial requeridos pela gravimetria.

6.1.2.3 Condições climáticas e épocas propícias

Trabalhar em campo durante períodos chuvosos ou com grande incidência de frio ou calor, é desaconselhável. As tentativas acabam sendo contraproducentes, quando não são totalmente inviáveis, e podem trazer sérios riscos à integridade da equipe e do instrumental. Nos casos de chuva constante, a trafegabilidade é sensivelmente prejudicada e as viaturas, muito exigidas, ficam mais susceptíveis a quebras. Além disso, é importante lembrar que o gravímetro não é à prova d’água e que a incidência de ventos fortes sobre o mesmo produz alguma instabilidade, dificultando, assim, o seu uso nas intempéries. Temperaturas extremas acarretam desgastes adicionais aos integrantes das equipes que normalmente já trabalham em condições acentuadas de desconforto. Muito frio, quase sempre acompanhado de umidade, inibe as atividades externas e traz a necessidade de pesados agasalhos que dificultam os movimentos e o manuseio do instrumental. Em contrapartida, situações de forte calor produzem um cansaço exacerbado nos técnicos e aumentam as chances de desidratação e insolação.

As épocas mais adequadas para a realização dos levantamentos, devem ser identificadas e aproveitadas da melhor maneira possível, mesmo que haja diversas campanhas seguidas, com pequeno intervalo entre as mesmas. Oportunamente, acrescenta-se a sugestão de que o período de cada operação de campo não seja muito extenso. Sempre que for possível, campanhas com mais de vinte dias de duração devem ser evitadas, pois acentuam o desgaste físico e emocional dos profissionais envolvidos.

6.1.2.4 Meios de comunicação

O ideal seria que as equipes tivessem condições permanentes de se comunicar entre si e com as bases de apoio situadas dentro e fora da região de trabalho. No entanto, ante o dinamismo das operações gravimétricas, isso não é tão simples de se viabilizar, pois os equipamentos de comunicação disponíveis no mercado têm alcance limitado ou exigem investimentos elevados. Paralelamente, a telefonia satelital, que é uma excelente alternativa, ainda é pouco utilizada devido aos custos operacionais extremamente altos. É sabido que diversos profissionais possuem telefone celular que, eventualmente, poderiam ser usados em casos emergenciais. O problema é que ainda existem muitas áreas rurais desprovidas de sinal, tornando esta opção meramente paliativa. O fato é que algum meio de comunicação deve existir, até mesmo por questões de segurança. Se não houver disponibilidade de telefonia pública ou satelital, rádios transceptores de longo alcance acabam sendo uma alternativa viável e relativamente econômica, para contatos ordinários e extraordinários com as demais equipes e bases de apoio.

6.1.2.5 Medidas profiláticas

Um dos aspectos que mais tranqüiliza os grupos de trabalho, aumentando assim a qualidade dos dados coletados, diz respeito à segurança. É sabido que os riscos presentes em um levantamento são consideravelmente altos; isso está diretamente correlacionado com as características da região de trabalho. Regiões ermas, com difícil acesso e poucos recursos de infra-estrutura, são sensivelmente mais arriscadas do que aquelas onde há algumas opções de apoio.

É interessante colher informações sobre a existência de postos hospitalares e eventuais alternativas para atendimentos emergenciais. Em paralelo, deve-se averiguar se há endemias e doenças predominantes, para definir quais medidas profiláticas precisam ser tomadas. Se, na região, houver incidência de animais peçonhentos, soros antiofídicos liofilizados deverão também ser disponibilizados. Dependendo das respostas, é bom prever a participação de, ao menos, um integrante em cada grupo de trabalho com conhecimentos de primeiros socorros.

6.1.2.6 Estratégia de atuação

Com base nas diversas informações adquiridas e aqui mencionadas, pode-se, antecipadamente e de maneira mais eficaz, definir as melhores alternativas operacionais para se realizar os levantamentos. A quantidade de tempo disponível para a realização de cada fase, aliada às disponibilidades de recursos humanos, materiais e de infra-estrutura, são fatores relevantes que, por vezes, fazem com que opções, em princípio, mais vantajosas, sejam descartadas em função de alternativas possíveis. Em suma, é essencial que todas as atividades em campo possam ser

executadas com o objetivo de se fazer o melhor possível com os meios disponíveis, mesmo que não sejam os ideais.

6.2 REDE DE REFERÊNCIA

6.2.1 Sistemática proposta

Conforme mencionado no capítulo quarto, uma rede de referência, relativa ou absoluta, proporciona o arcabouço necessário ao desenvolvimento das atividades gravimétricas de densificação, pois é a partir de estações de referência que os circuitos gravimétricos começam e terminam.

Durante a etapa de implantação da rede de referência, recomenda-se que, em paralelo, se faça um reconhecimento da região a ser trabalhada, a fim de consolidar e ampliar as informações esmiuçadas no planejamento. Em situações aonde haja recursos disponíveis, uma missão precursora pode ser efetuada, preliminarmente, com tal finalidade.

A equipe incumbida de estabelecer a rede de referência normalmente é diminuta; dois ou três técnicos são suficientes. Propõe-se, no entanto, que ao menos um profissional esteja presente nas diversas fases ou campanhas, para facilitar a concatenação das atividades.

A rigor, apenas uma viatura é suficiente nesta etapa, desde que abrigue adequadamente toda a equipe e o instrumental. No entanto, se houver disponibilidade, a presença de um segundo veículo é desejável, para aumentar a segurança e melhor garantir a conclusão dos circuitos gravimétricos.

Na tentativa de se obter maior consistência nos resultados, no mínimo três gravímetros devidamente calibrados e com os respectivos fatores de escala

atualizados, devem ser empregados concomitantemente na medição dos circuitos de referência; se for possível dispor de mais instrumentos, melhor ainda. Para uma avaliação preliminar da qualidade dos trabalhos, ainda em campo, é desejável que o resultado de cada instrumento tenha um desvio máximo, em relação à média aritmética geral, menor ou igual a 0,05 mGal. Satisfeita esta condição, há indícios de uma boa consistência na precisão da rede.

6.2.2 Escolha das estações

Como também já foi visto, a escolha preliminar dos locais das estações de referência é procedida em gabinete, durante a etapa de planejamento. Posteriormente, por ocasião da implantação, à luz da realidade existente *in loco*, é que a localização detalhada é realmente definida.

Os sítios das estações de referência são escolhidos de acordo com alguns critérios, dos quais destacam-se os seguintes:

- abrangência espacial;
- cercania das redes geodésicas;
- estabilidade da estação e do solo;
- segurança e preservação;
- infra-estrutura adequada.

6.2.2.1 Abrangência espacial

Não existem limites rígidos para o espaçamento entre as estações que compõem uma rede de referência; isso é definido em função das circunstâncias encontradas na região. No entanto, a prática mostra que distâncias não superiores a

cem quilômetros entre as referidas estações se mostram favoráveis, pois atendem às exigências da densificação e facilitam a execução das jornadas diárias de trabalho.

Dependendo das características e dimensões da área a ser contemplada com as novas medições gravimétricas, a materialização de uma rede de referência pode ter abrangência regional ou nacional.

A abrangência regional de uma rede acontece quando a área a ser levantada é restrita a uma determinada região. A rede materializada no Pantanal Mato-Grossense ou aquela implantada ao longo do Rio Negro são bons exemplos de redes regionais. Em tais situações, a quantidade de estações de referência varia conforme a necessidade e o tamanho de cada projeto.

A rede de referência nacional, por sua vez, como a própria denominação sugere, é composta por estações que se estendem em uma determinada nação. Independente do número de estações de uma rede nacional é essencial que haja uma conveniente distribuição espacial das mesmas, de tal sorte que todos os recantos do território, aonde haja condições de acesso, possam ser contemplados com referência gravimétrica.

6.2.2.2 Cercania das redes geodésicas

A presença de estações geodésicas altimétricas e planimétricas nas proximidades das estações gravimétricas de referência é, de fato, importante e desejável, pois facilita bastante a operacionalização da densificação^{6.1}. Todavia, nem sempre será possível conciliar a existência de estações das três redes em um

^{6.1} Já se fez referência à questão no item 6.1.1.3. Paralelamente, na próxima seção, concernente à metodologia sugerida na densificação gravimétrica, enfocar-se-á o assunto com mais detalhes.

mesmo local, tendo em vista que ainda existem muitos recantos ermos e desprovidos de arcabouço geodésico. Para ajudar no reconhecimento é indispensável que se tenha em mãos os *canevás* e descritivos de tais estações.

6.2.2.3 Estabilidade da estação e do solo

Já se comentou a esse respeito ao se fazer alusão à escolha adequada do local de uma estação gravimétrica. Entretanto, nunca é demais mencionar como é importante haver tal estabilidade, tanto no local da estação, como na circunvizinhança. Ao contrário dos demais critérios propostos que, de uma forma ou de outra, são prescindíveis, este é um requisito preponderante. Não há como se efetuar uma medição gravimétrica bem feita, sem a devida estabilidade da estação e do gravímetro.

Propõe-se então, a observação preliminar do comportamento do fiel, com o gravímetro destravado, antes de se implantar a chapa ou construir um marco. Em assim procedendo, torna-se improvável a ocorrência, naquele sítio, de oscilações indesejáveis no mecanismo interno do gravímetro, motivadas por instabilidade, seja da crosta, seja da estrutura (piso) onde o gravímetro é instalado.

6.2.2.4 Segurança e preservação

Tanto a equipe quanto o instrumental envolvido precisam ter suas integridades devidamente resguardadas. Isso implica em dizer que um mínimo de segurança deve existir nas imediações das estações. Lugares suspeitos, periferias de grandes cidades ou mesmo áreas conturbadas, aonde existam litígios ou movimentos de ocupação de terras, devem ser evitados.

Paralelamente, uma EG necessita ser preservada pelo maior tempo possível, para que estudos e análises temporais possam ser empreendidos no decorrer de décadas e, se possível, de séculos. Por tais motivos, sugere-se a escolha de sítios perenes, preferencialmente abrigados das intempéries, como grandes monumentos, escolas, hospitais, igrejas e tantos outros congêneres. Em contraposição, locais fechados, mas com acesso restrito ao usuário, como organizações militares e algumas instalações públicas, podem e devem ser substituídos por outros de acesso liberado. A busca de uma melhor localização deve ser constante e sempre nortear as atividades das equipes em campo.

Atenção especial deve ser dada às soleiras e pisos de prédios públicos, via de regra, escolhidos para a implantação de chapas. Não é rara a colocação de revestimento em pisos cimentados ou mesmo a substituição de soleiras já desgastadas, descaracterizando, assim, as estações. Recomenda-se especular sobre essa questão com os responsáveis pelos prédios, ao se pedir autorização para se ocupar a área e efetuar as medições.

À parte da escolha de um local adequado, sugere-se a materialização da estação por meio de uma chapa metálica e ainda a elaboração de um descritivo correspondente, conforme os exemplos apresentados nos anexos B e C.

6.2.2.5 Infra-estrutura adequada

Além das particularidades até aqui comentadas, de caráter técnico ou operacional, apresenta-se este quesito, voltado prioritariamente ao bem-estar da equipe e à funcionalidade das operações em campo.

A infra-estrutura desejável junto a uma estação de referência engloba inúmeros itens, comumente encontrados em cidades ou núcleos populacionais.

Todavia, há muitas situações em que não existe praticamente nada nas cercanias das estações. Nesses casos, uma estrutura mínima tem que ser viabilizada pela própria equipe, e, se isso não for bem engenhado, existem riscos de insucesso na missão. Por ser um local onde a equipe deverá permanecer alguns dias, sobretudo por ocasião da densificação, um hotel ou alojamento, dotado de relativo conforto, deve existir; barracas montadas junto a uma pequena edificação com cozinha e água pode ser uma opção interessante em regiões mais afastadas. Mesmo que haja algum hospital ou posto de saúde, um kit de medicamentos e primeiros socorros, deve estar sempre à mão dos grupos de trabalho.

Como a locomoção das equipes quase sempre é feita com viaturas, precauções quanto ao estado das mesmas se fazem essenciais. A ocorrência de oficinas mecânicas, lojas de autopeças e postos de combustível, é sempre requerida. Se ficar evidenciada a inexistência de qualquer desses estabelecimentos, o apoio logístico deverá ser reforçado com recipientes apropriados para combustível, em quantidade suficiente para atender à demanda. Além disso, algum membro da equipe deverá ter experiência em proceder à manutenção preventiva e corretiva das viaturas envolvidas na campanha. Jogos de ferramentas, pneus adicionais, lubrificantes, kits para conserto de pneus e algumas peças de reposição mais propensas à troca, devem igualmente fazer parte do equipamento.

Complementando, nunca é demais recordar que, para fazer funcionar um rádio, carregar as baterias dos gravímetros, alimentar *notebooks* e tantas outras facilidades que o mundo moderno proporciona, é indispensável haver energia elétrica. Caso isso não ocorra, o que não é incomum, um gerador de corrente alternada deverá ser providenciado.

6.3 Densificação gravimétrica

A etapa de densificação gravimétrica é a que congrega maior quantidade de meios, realçando sobremaneira as dificuldades que lhe são peculiares. É nesta fase que o geodesta de campo precisa trazer à tona a sua engenhosidade, ao concatenar vários procedimentos, técnicas e equipamentos, aliando produtividade à imprescindível qualidade, na obtenção dos dados.

6.3.1 Composição das equipes

Na densificação, via de regra, um grupo de trabalho é composto por dois profissionais. A equipe toda é formada pelos diversos grupos, uns itinerantes, que se deslocam em viaturas efetuando as medições, e um outro, que fica na base de operações dando o suporte e efetuando o tratamento dos dados coletados. É interessante haver um rodízio entre os participantes de forma que, a cada dia, um grupo diferente fique na base.

O número de técnicos e, conseqüentemente, de grupos de trabalho em uma campanha de densificação, está diretamente correlacionado à disponibilidade de caminhos por onde se possa trafegar, à densidade de estações que se deseja medir e ao tempo disponível. Não existe, portanto, uma regra exata para se estipular esse quantitativo. O ideal é que se encontre um meio termo entre as condicionantes citadas, de tal sorte que não haja ociosidade e tampouco correria, por parte da equipe, nas atividades de campo. Normalmente, como já foi citado, se estabelecem bases de apoio junto às estações gravimétricas de referência e o tempo de permanência em cada base depende da quantidade de caminhos existentes em seus arredores. Mudanças constantes de base são improdutivas e trazem

desgastes ao pessoal; por outro lado, não se deve perder muito tempo com deslocamentos nas jornadas diárias de trabalho.

6.3.2 Viaturas

Cada grupo de trabalho precisa ter um veículo ao seu dispor; por isso, a quantidade de viaturas em uma campanha é função do número de grupos. Se houver possibilidade, um veículo deve ficar disponível para o pessoal que atua na base de apoio. Acaba sendo este, uma espécie de carro reserva, que substituirá algum itinerante em caso de eventual manutenção. Dessa maneira, possíveis problemas com os veículos não trarão descontinuidades aos levantamentos.

As viaturas devem ser apropriadas para trafegar em condições desfavoráveis, sendo ideal a existência de tração nas quatro rodas. Nos casos em que se faz necessária a montagem de acampamento, um veículo específico, com carroceria, deve ser alocado para o transporte do material.

6.3.3 Características das estações de densificação

A rigor, a distribuição das estações de densificação deveria representar integralmente a região levantada, tanto em termos quantitativos, através de uma cobertura espacial homogênea, quanto qualitativos, traduzindo as diversas formas de relevo existentes.

Numa operação gravimétrica com fins geodésicos, não existe um limite rigoroso para o espaçamento entre as estações que compõem a rede de densificação. A resolução que se deseja para a determinação das alturas geoidais está diretamente relacionada à densidade da cobertura gravimétrica. A meta

precípua deve ser sempre o estabelecimento de uma malha mais regular e homogênea possível. Num país de características continentais como o Brasil, seria apropriado que, em cada quadrícula de cinco minutos, houvesse de três a quatro EEGG densificadas. Esse objetivo parece plausível, mas praticamente inexecutável.

As observações de CRIOLLO (2003), resumem o que acaba ocorrendo com a distribuição das estações:

“O uso da integral de Stokes pressupõe a determinação do valor da gravidade na totalidade da superfície terrestre. Na prática, os valores de gravidade são obtidos em uma determinada área, em forma discreta, geralmente ao longo de estradas e em intervalos irregulares. Conseqüentemente, a existência de grandes áreas sem dados é comum, especialmente naquelas de muita vegetação ou nas altas montanhas onde a acessibilidade é difícil”.

Embora o IBGE, como gestor do sistema geodésico brasileiro, incentive a materialização das suas estações de densificação, questiona-se tal procedimento, tendo em vista que as estações resultantes não possuem os requisitos de precisão que justifiquem eventuais reocupações. Depreende-se, então, que, ao contrário do proposto para as redes de referência, não existe a necessidade de se materializar as estações densificadas.

6.3.4 Instrumental empregado e sistemática de medição

Além dos gravímetros voltados às medidas da aceleração da gravidade, são utilizados outros instrumentos, destinados à determinação da posição tridimensional, isto é, latitude, longitude e altitude das estações densificadas.

As coordenadas planimétricas podem ser determinadas por técnica absoluta, através de receptores autônomos, cujas precisões de poucos metros são compatíveis com a demanda. A maior preocupação, portanto, prende-se à componente vertical, diante da inevitável necessidade de agregação de informações

altimétricas precisas às acelerações da gravidade. Ocorre que as reduções gravimétricas, necessárias às aplicações geodésicas, pressupõem altitudes referenciadas ao geóide. Isso acarreta, de fato, um processo gradativo de refinamento da componente vertical. Expondo melhor, quanto mais acuradas forem as altitudes utilizadas nas reduções gravimétricas, mais preciso será o modelo matemático resultante. O processo deve ser reiterado com o passar dos anos, até que se tenha um geóide que possua a qualidade exigida pela comunidade científica.

O ideal seria a utilização de altitudes ortométricas, ou seja, referenciadas ao geóide. Entretanto, no Brasil e em grande parte da América do Sul a distribuição de referências de nível, onde teoricamente aquelas altitudes estão disponíveis, é bastante irregular. Assim, recorre-se ao posicionamento diferencial, através do sistema GPS, para resolver essa questão altimétrica. A sistemática decorrente da utilização diferencial do GPS acarreta a necessária ocupação de estações geodésicas para servirem de base de rastreo às medições itinerantes. Isso requer atenção adicional, pois nem sempre existem vértices geodésicos nas proximidades das estações gravimétricas de referência; a alternativa para esses casos é o estabelecimento de novas estações de alta-precisão para apoiar às atividades gravimétricas de densificação.

É importante que os grupos itinerantes tenham suas respectivas áreas de ação, desde as bases de rastreo, predeterminadas e bem definidas. O intuito é que não haja superposição de esforços. Nesse tocante, o uso de cartas topográficas é fundamental, não só para orientar o posicionamento, mas também para avaliar a conveniente distribuição homogênea das estações. O rendimento de cada grupo depende basicamente das condições dos caminhos utilizados e das distâncias a serem percorridas; a busca de uma produção mínima deve ser incentivada, tendo em vista os altos custos que uma campanha geodésica acarreta.

6.4 Tratamento de dados

O tratamento dos dados coletados em uma campanha começa por uma criteriosa revisão dos formulários, preenchidos diariamente pelos grupos de trabalho. Mesmo que haja alguma forma automática dos instrumentos arquivarem os dados medidos e demais informações adicionais, como altura de antena, temperatura ambiente etc, recomenda-se a utilização de cadernetas de campo para todas as medições. Se não houver um anotador específico, o próprio operador pode se incumbir do preenchimento, desde que haja atenção redobrada. As informações devem ser registradas com caneta preta ou azul e com tinta não solúvel em água. Além disso, os formulários originais não devem ser passados a limpo. Todos os itens merecem ser verificados, a princípio pelo próprio anotador e, em seguida, por algum outro membro da equipe.

Depois de examinadas as cadernetas, ainda na região de trabalho, passa-se aos cálculos propriamente ditos, conduzidos por computadores portáteis. A vantagem de se fazer algum processamento, mesmo que de forma preliminar, no local dos levantamentos fica por conta da possibilidade de se deixar a área com a certeza de que os dados foram bem coletados. Nunca é demais lembrar que todas as fases inerentes ao tratamento de dados devem ser concluídas com a correspondente conferência.

Como o volume de dados é consideravelmente grande, aconselha-se especial cuidado com a organização e armazenamento dos mesmos. Os formulários devem ser arquivados em pastas destinadas a cada tipo de instrumento utilizado, mesmo depois de se passar as informações para o meio digital.

6.4.1 Dados plani-altimétricos

O maior volume de informações concernente às coordenadas horizontais e vertical são provenientes de receptores GPS; exceção à regra, fica por conta das mensurações sobre referências de nível, de onde se obtém diretamente as altitudes ortométricas. Esta etapa termina quando se atribui a cada uma das estações gravimétricas de densificação os respectivos dados posicionais, isto é, latitude, longitude e altitude ortométrica.

A rigor, é prescindível a utilização dos valores de latitude e longitude calculados diferencialmente; basta anotar as coordenadas fornecidas pelos receptores de navegação. Todavia, como é necessário efetuar um pós-processamento com vistas às determinações altimétricas, pode-se aproveitar o ensejo e se fazer uso de coordenadas planimétricas mais precisas. Nos casos de materialização das estações densificadas, como o IBGE atualmente procede, aconselha-se este procedimento.

Os *softwares* destinados aos cálculos da posição podem ser aqueles comercializados pelos representantes das fábricas. A grande vantagem é a rapidez e facilidade de manuseio, ao contrário dos programas ditos científicos que se revestem de maior complexidade operacional. Sempre que possível um mesmo software deve ser usado durante todo o decurso de um projeto.

Após o processamento diferencial, as altitudes geométricas, fornecidas pelo GPS, devem ser transformadas em altitudes ortométricas, referenciadas ao geóide. Ou seja, é preciso calcular as ondulações geoidais para todas as estações densificadas. O mesmo critério de se utilizar um único software, deve ser observado. Nunca é demais lembrar que a EG de referência não necessita da informação altimétrica para cumprir a sua finalidade.

6.4.2 Dados gravimétricos

6.4.2.1 Determinação da aceleração da gravidade (g)^{6.2}

As leituras advindas do gravímetro, acrescidas da data, hora, coordenadas, denominação da estação e demais informações pertinentes, são registradas na caderneta no momento da medição. É praxe se fazer três leituras e tomar a média aritmética; a hora anotada corresponde à leitura intermediária. Após as decorrentes conferências das cadernetas, os dados de cada circuito são inseridos em um programa de cálculo para a obtenção dos valores de aceleração da gravidade. Tal programa precisa efetuar as três correções sistemáticas que incidem nas observações da gravidade: conversão da leitura instrumental em unidades de miligal, correção da atração luni-solar e correção das derivas.

a) Conversão da leitura instrumental em miligals

Esse é um procedimento bastante simples e pode ser resolvido com a ajuda singular da tabela que acompanha cada gravímetro, fornecida pelo fabricante, e apresentada a seguir na figura 6.1. Nela estão contidos os diversos fatores de conversão, dentro de faixas de leituras. É usual que as tabelas dos gravímetros em uso façam parte dos programas de cálculo, inseridas em algum arquivo pertinente.

^{6.2} O assunto pode ser melhor compreendido pela abordagem feita em Gemaél (1999), no capítulo correspondente à determinação da gravidade.

Valores em miligal para o gravímetro Lacoste & Romberg G-674

Leitura Contador	Valor em Miligals	Fator para Intervalo	Leitura Contador	Valor em Miligals	Fator para Intervalo
000	000.00	1.01199	3600	3645.14	1.01434
100	101.20	1.01187	3700	3746.58	1.01444
200	202.39	1.01178	3800	3848.02	1.01453
300	303.56	1.01173	3900	3949.47	1.01462
400	404.74	1.01170	4000	4050.94	1.01470
500	505.91	1.01168	4100	4152.41	1.01478
600	607.08	1.01168	4200	4253.88	1.01487
700	708.24	1.01170	4300	4355.37	1.01493
800	809.41	1.01172	4400	4456.86	1.01498
900	910.59	1.01175	4500	4558.36	1.01503
1000	1011.76	1.01178	4600	4659.86	1.01508
1100	1112.94	1.01183	4700	4761.37	1.01511
1200	1214.12	1.01188	4800	4862.88	1.01514
1300	1315.31	1.01193	4900	4964.40	1.01517
1400	1416.50	1.01200	5000	5065.91	1.01517
1500	1517.70	1.01207	5100	5167.43	1.01518
1600	1618.91	1.01214	5200	5268.95	1.01517
1700	1720.12	1.01222	5300	5370.47	1.01516
1800	1821.35	1.01231	5400	5471.98	1.01513
1900	1922.58	1.01240	5500	5573.50	1.01508
2000	2023.82	1.01249	5600	5675.00	1.01503
2100	2125.07	1.01257	5700	5776.51	1.01498
2200	2226.32	1.01266	5800	5878.00	1.01490
2300	2327.59	1.01276	5900	5979.49	1.01481
2400	2428.86	1.01287	6000	6080.93	1.01470
2500	2529.15	1.01299	6100	6182.45	1.01456
2600	2631.45	1.01311	6200	6283.90	1.01440
2700	2732.76	1.01322	6300	6385.34	1.01421
2800	2834.08	1.01335	6400	6486.76	1.01399
2900	2935.42	1.01349	6500	6588.16	1.01376
3000	3036.77	1.01363	6600	6689.54	1.01350
3100	3138.13	1.01376	6700	6790.89	1.01323
3200	3239.51	1.01390	6800	6892.21	1.01297
3300	3340.90	1.01404	6900	6993.51	1.01245
3400	3442.30	1.01416	7000	7094.75	
3500	3543.72	1.01426			

Figura 6.1 – Correspondência entre leituras instrumentais e miligals

Fonte: Manual do L & R

Objetivando a melhor compreensão do assunto, um exemplo esquemático de conversão para uma leitura instrumental hipotética do gravímetro G674, é apresentado a seguir, com base na tabela anterior:

- i. leitura feita no instrumento.....2664,360
- ii. leitura inferior constante na tabela.....2600,000
- iii. valor correspondente em miligal da leitura inferior.....2631,450
- iv. fator correspondente à leitura inferior.....1,01311
- v. diferença entre i e ii64,360
- vi. produto de v por iv.....55.070
- vii. soma de vi com i = leitura convertida em miligal.....2686,520

b) Correção da atração luni-solar

Conforme a própria denominação específica, o fenômeno é advindo da atração da lua e do sol. Por conseguinte, a correção correspondente leva em consideração o efeito de atração conjugado de ambos os astros e pode atingir um valor significativo de 0,25 mGal.

Gemael (1999), explica que a correção de maré a ser aplicada ao valor de g obtido com o gravímetro, é dada pela componente vertical da atração do sol e da lua, através da seguinte fórmula:

$$C_g = g P_L^3 M_L^T (3 \cos^2 Z_L - 1) + g P_S^3 M_S^T (3 \cos^2 Z_S - 1) \delta$$

Onde, o índice (L) diz respeito à lua e (S) representa o sol; (g) é um valor médio para a gravidade; (P) é a paralaxe horizontal obtida das efemérides do sol e da lua; (M) a massa do astro perturbador em relação à Terra (T); (Z) é a distância zenital geocêntrica da lua e do sol e (δ) um fator gravimétrico regionalizado.

c) Correção das derivas

No capítulo quinto, fez-se menção às chamadas derivas instrumentais, de natureza estática e dinâmica, como sendo características inerentes ao mecanismo sensor do gravímetro L & R. Embora diminutas, as correções decorrentes desses efeitos se fazem imprescindíveis, devido ao nível de acurácia pretendido ao se trabalhar com esses instrumentos.

A deriva estática deve ser considerada quando o gravímetro fica imóvel por mais de duas horas seguidas. Por tal razão, evita-se perder muito tempo com

refeições e outras paradas no transcorrer de uma jornada. Via de regra, a correção é feita quando existe pernoite no meio de um circuito. Assim, costuma-se efetuar duas medições específicas para a determinação da deriva estática, uma imediatamente antes e outra logo após o gravímetro ficar em repouso, em um mesmo local. A diferença dessas leituras, corrigidas dos efeitos da maré, deve ser acrescida algebricamente em todas as medições posteriores à parada.

No caso da deriva dinâmica, deve-se recorrer à diferença entre o valor de g da estação de fechamento do circuito e o valor medido pelo instrumento, já corrigido da atração luni-solar e da deriva estática. Tal diferença, considerada como a deriva dinâmica total, deve ser distribuída proporcionalmente ao tempo de duração, desde o início do circuito até a leitura em cada estação, deduzidos os períodos de deriva estática.

6.4.2.2 Resultados finais

Definidos os valores das acelerações de todas as estações gravimétricas, há que ser dar um tratamento diferenciado às mesmas, e isso depende, exclusivamente, se diz respeito ao estabelecimento de uma rede de referência ou de densificação.

6.4.2.2.1 Estações de referência

Uma rede de referência precisa ser traduzida por resultados condizentes com os padrões de qualidade esperados para uma infra-estrutura gravimétrica; nesse sentido, a convergência advinda dos valores fornecidos pelos gravímetros L & R, situa-se dentro de uma faixa de precisão compatível com as expectativas. No

entanto, tais resultados precisam ter tratamento matemático adequado através de um ajustamento pelo MMQ.

Em contrapartida, a prática denota que uma simples média aritmética dos valores das estações de referência pode acarretar, em termos preliminares, resultados aceitáveis para fins geodésicos. Isso ocorre devido às características singulares dos gravímetros L & R, que disponibilizam excelentes respostas, desde que bem ajustados e calibrados convenientemente. Tal quadro pode induzir o leitor a uma pergunta interessante: se as determinações das acelerações médias de uma rede atendem à qualidade requerida para as aplicações geodésicas, porquê há necessidade de ajustamento?

A razão de se ajustar uma série de observações geodésicas, quaisquer que sejam elas, prendem-se à necessidade de se eliminar ou mesmo atenuar os efeitos causados pelos diversos erros acidentais presentes nas respectivas medições e definir os valores que representem, com maior confiança possível, a grandeza medida. O ajustamento de uma rede gravimétrica relativa de referência permite homogeneizar as observações efetuadas, fazendo com que fiquem evidenciados os respectivos padrões de precisão em todas as estações. O valor advindo desse ajustamento representa o melhor resultado que a estação pode ter. Em função disso, os critérios adotados nas medições e a sistemática empregada na configuração dos circuitos têm que levar em conta a técnica definida para um ajustamento futuro.

Há casos específicos, em que uma rede de referência é estabelecida em regiões ermas como a Amazônia. Nessas circunstâncias empregam-se diversas soluções logísticas para o desenvolvimento dos trabalhos e o estabelecimento dos circuitos é procedido de acordo com as condições possíveis, por vezes, distantes das ideais. Isso pode acarretar em alguma dificuldade posterior para se efetuar o

devido ajustamento. Excepcionalmente, nesses casos, uma EG de referência pode ser caracterizada pelo seu valor médio e a estimativa de precisão de cada EG dada pelo desvio padrão em relação à média.

Em suma, conclui-se que, mesmo diante de dificuldades, recomenda-se a adoção de algum tipo de ajuste das redes de referência que vierem a ser implantadas, utilizando-se para tanto o método dos mínimos quadrados. Acrescenta-se, adicionalmente, que não existe sentido em se ajustar uma rede de densificação, ou seja, apenas uma rede de referência merece ser contemplada.

6.4.2.2.2 Estações de densificação

No caso da rede de densificação, a situação é um pouco mais cômoda, porém, não menos laboriosa. Se por um lado, não existem preocupações com modelos matemáticos de ajustamento, por outro, a quantidade de dados e informações é muito mais expressiva. Esses valores servem de subsídio à elaboração de um modelo geoidal, que, como já foi dito, é o objetivo mais relevante das atividades gravimétricas no âmbito da geodésia.

O produto final correspondente a cada estação densificada é composto pelos seguintes dados:

- denominação da estação;
- latitude e longitude;
- altitude ortométrica;
- aceleração da gravidade.

7 ESTUDO DE CASO: SISTEMA GRAVIMÉTRICO DO EQUADOR

7.1 PREFÁCIO

Inúmeros projetos gravimétricos, dentro e fora do Brasil, poderiam servir de exemplo a este estudo de caso. Optou-se pelo trabalho realizado no Equador, pois, devido às características atípicas da região, os levantamentos foram empreendidos segundo distintas soluções técnicas e operacionais.

7.2 COLETA DE DADOS

Em termos geográficos, o Equador é dividido em três regiões distintas. A região ocidental, situada entre o Oceano Pacífico e a Cordilheira dos Andes; a região Andina, compreendida pela própria cordilheira, disposta longitudinalmente no centro do país; e ainda, a Amazônia Equatoriana, localizada a leste dos Andes. Essa diversidade de ambientes físicos fez com que os traçados de vias de acesso existentes sejam bastante sinuosos. Conseqüentemente, os acessos são difíceis e a progressão dos veículos é bastante dificultada e morosa, fazendo com que não se possa avaliar os percursos apenas pelas distâncias rodoviárias, mas sim pelo tempo que se leva para percorrê-los. Tais fatores foram preponderantes na montagem e articulação dos circuitos gravimétricos.

Conforme informado no capítulo três, a rede de referência foi respaldada em apenas uma estação antiga, a IGSN71 / 33208A, encontrada no subsolo do Observatório Astronômico de Quito; ver Figura 7.1.

Figura 7.1 – Observatório Astronômico de Quito
Fonte: Castro Júnior, 2002

Foram ao todo 39 estações principais e mais duas excêntricas, reconhecidas e medidas em território equatoriano. As estações excêntricas ou auxiliares foram inseridas em locais de maior relevância, nas cercanias de estações principais; uma delas está situada em um vértice geodésico na base militar em Shell e, a outra, no aeroporto do arquipélago de Galápagos. Uma síntese dos principais elementos caracterizadores das três campanhas empreendidas pode ser visualizada através do resumo inserido na figura 7.2. Adicionalmente, a figura 7.3 apresenta cenas de atividades empreendidas em campo: uma delas na estação Lita, situada na Cordilheira dos Andes, e a outra, na Ilha de Baltra, Arquipélago de Galápagos.

ANO	MÊS	Nº DE DIAS	REGIÃO	REC.HUMANOS		GRAVÍMETROS	EG MEDIDAS	
				BR	EQ		BÁSICAS	DENSIFIC
2002	ABR	10	CENTRO NORTE	2	11	114, 143, 145, 146, 720	11	0
2002	SET	21	TODO O PAÍS	2	9	111, 143, 145, 146, 720	24	0
2003	OUT	15	TODO O PAÍS	2	9	23, 145, 146, 720	6	428
							41	428

Figura 7.2 - Síntese das campanhas
Fonte: Rocha, 2005

Figura 7.3 - Medições no Equador
Fonte: Castro Júnior, 2002

7. 3 COMPOSIÇÃO DOS CIRCUITOS

Partindo-se da premissa de que são as circunstâncias advindas do terreno, aliadas à disponibilidade de meios e ao tempo de execução, que, efetivamente, apontam as melhores alternativas para a configuração dos circuitos, pode-se inferir que a tarefa de medir circuitos gravimétricos no Equador, não foi fácil. As melhores alternativas para que a rede de referência ficasse implantada no curto prazo disponível, conduziram a soluções atípicas que foram viabilizadas pela excelente atuação das instituições envolvidas, o IGM e o INOCAR. Assim, em função das opções exeqüíveis, foram utilizados diversos tipos de transporte na composição dos circuitos, envolvendo ônibus, camionetas, embarcações, aviões a jato e pequenas aeronaves. Paralelamente, na conformação dos circuitos, levou-se em conta o decorrente ajustamento das observações pelo método paramétrico.

Ao todo, foram estabelecidos 31 circuitos para a composição da rede de referência, apresentados na íntegra através do anexo D e articulados entre si através de três configurações distintas, conforme se mostra nas figuras 7.4, 7.5 e 7.6. Observa-se que, na terceira configuração, isto é, aqueles que se iniciaram e terminaram em EEGG diferentes, a determinação das derivas foi feita com base nos valores médios preliminares, não ajustados, das acelerações da gravidade nas EEGG de partida e chegada.

- 1º. Circuitos começando e terminando na estação IGSN 33208A (figura 7.4).
- 2º. Circuitos que partiram e regressaram a uma mesma estação de referência não originalmente existente (figura 7.5).
- 3º. Circuitos que se iniciaram em alguma estação e terminaram em outra estação diferente, em ambos os casos, não originalmente existentes (figura 7.6).

Figura 7.4 - 1ª modalidade de configuração dos circuitos
Fonte: Freitas Filho, 2004

Figura 7.5 - 2ª modalidade de configuração dos circuitos
 Fonte: Freitas Filho, 2004

Figura 7.6 - 3ª modalidade de configuração dos circuitos
 Fonte: Freitas Filho, 2004

7.4 TRATAMENTO DE DADOS

7.4.1 Cálculo das acelerações da gravidade

O programa utilizado para processar as observações, foi o GRAVI96. Este aplicativo, ainda montado em ambiente DOS, foi concebido conjuntamente pela EPUSP e o IBGE. Ele é composto de dois módulos principais: entrada de dados e processamento. A entrada de dados reflete o que consta nas cadernetas de campo. Cada linha, representando um gravímetro em um determinado circuito, como considera o IBGE, possui um código específico. Por sua vez, cada estação também possui uma denominação. As informações referentes às linhas ou circuitos são digitadas apenas na primeira página. Os demais dados, correspondentes a cada estação, são inseridos, um a um, até que se completem todos os campos do formulário. A figura 7. 7, mostra a tela correspondente à entrada das informações.

The figure displays two screenshots of the GRAVI 96 data entry form, which is a DOS-based application. The top screenshot shows the first page (FL - 0001) with a red background. It features a title bar with the text 'IBGE-DOC-DEGE-91067- GRAVIMETRIA - ENTRADA DE DADOS - DATA - 14/08/92'. The main form area is divided into several sections: 'IDENTIFICAÇÃO DA LINHA' with fields for 'Código' and 'Nome'; 'GRAVIDADE DE REFERÊNCIA' with fields for 'Estação Partida' (Número, Valor), 'Estação Chegada' (Número, Valor), and 'I S'; and a 'PRÓXIMO' button. At the bottom, there is a prompt 'ENTRE COM O CÓDIGO DA LINHA - ENTERO RETORNA' and 'F1 - AJUDA'. The bottom screenshot shows the second page (FL - 0002) with a blue background. It also has a title bar with the same text. The main form area includes: 'CÓDIGO DA LINHA' field; 'IDENTIFICAÇÃO DA ESTAÇÃO' with fields for 'Número', 'Nome', 'BH', and 'I M'; 'DATA E HORA' with fields for 'Dia', 'Mês', 'Ano', 'Dia', 'Mês', 'Ano'; 'LATITUDE' with fields for '1º', '2º', and '3º'; 'ALTITUDE' with fields for 'Metro', 'Erag', 'P', 'F', 'M'; and 'PROM. V.' with fields for 'S', 'N', and 'F'. At the bottom, there is a prompt 'ENTRE COM O CÓDIGO DA LINHA - ESC - ABANDONA' and 'F1 - AJUDA'.

Figura 7.7 - Entrada de dados do GRAVI 96
Fonte: IBGE

O arquivo resultante de cada linha, designado pelo código da mesma, é então remetido ao módulo de processamento, conhecido como REDGRAV que, em poucos segundos, transforma os dados constantes nas cadernetas em valores de aceleração da gravidade. Isso ocorre para todas as estações inseridas no programa. São diversas as respostas fornecidas pelo REDGRAV; ater-se-á àquelas que mais interessam ao geodesta de campo, isto é, os arquivos com extensões CAD e RED.

O arquivo CAD, nada mais é do que um espelho da caderneta de campo. Sua análise é sugerida com o intuito de conferir se não houve erro na digitação. A figura 7.8 mostra um exemplo de uma linha equatorial.

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO					INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA																
ESCOLA POLITECNICA					DEPARTAMENTO DE GEODESIA																
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES					DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES																
GRAVIMETRIA - CADERNETA DE OBSERVACOES																					
LINHA: LIBERTAD-GUAYAQUIL					CODIGO: IG0001				DATA : 10/ 3/2004				HORA: 10:36:15								
TOTAL DE PONTOS: 8					PROJETO: SIRGA				N.GRAVIMETRO: 23				IND. FECH.: 1								
ESTACAO PARTIDA: 8059944					VALOR P: 978096.05				F.ESC: .99962400				FUSO HOR.: 5								
ESTACAO CHEGADA: 8060593					VALOR C: 978091.68				TIP GRAVIMET: 47				SIST. REF.: 5								
DADOS DAS ESTACOES:																					
NUMERO	NOME				RN	TPO	PMT	ANO	MES	DIA	HOR	MIN	LEIT1	LEIT2	LEIT3	IDE	ALT	DESN	DAL	PAL	TNI
8059944	LIBERTAD					1	S	2003	9	27	11	41	1673.049	1673.048	1673.048	0	.00	.00	4	1	1
0000001	IG0001-01				L772A	0	S	2003	9	27	14	0	1659.122	1659.123	1659.122	0	43.83	.00	4	1	0
0000002	IG0001-02				G-S67	0	S	2003	9	27	14	49	1652.379	1652.378	1652.379	0	63.74	.00	4	1	0
0000003	IG0001-03				G-S60	0	S	2003	9	27	15	40	1650.450	1650.452	1650.451	0	45.77	.00	4	1	0
0000004	IG0001-04				G-S52	0	S	2003	9	27	16	39	1625.525	1625.526	1625.527	0	53.16	.00	4	1	0
0000005	IG0001-05				GS46A	0	S	2003	9	27	17	8	1582.711	1582.714	1582.715	0	54.60	.00	4	1	0
0000006	IG0001-06				GS41A	0	S	2003	9	27	17	46	1537.521	1537.522	1537.523	0	90.15	.00	4	1	0
8060593	GUAYAQUIL-B VISTA					1	S	2003	9	27	19	19	1669.185	1669.182	1669.185	0	.00	.00	4	1	0

Figura 7.8 - Arquivo CAD do REDGRAV
Fonte: IBGE

O outro arquivo de interesse que o REDGRAV fornece, é o RED. Nele aparecem os resultados finais em termos das acelerações da gravidade com as respectivas correções sistemáticas de atração luni-solar e derivas. Um exemplo do mesmo pode ser visualizado através da figura 7.9.

UNIVERSIDADE DE SAO PAULO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA
 ESCOLA POLITECNICA DEPARTAMENTO DE GEODESIA
 DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES DIVISAO DE PESQUISAS E ANALISES

GRAVIMETRIA - VALORES REDUZIDOS

LINHA: LIBERTAD-GUAYAQUIL CODIGO: IG0001 DATA : 10/ 3/2004 HORA: 10:36:15

TOTAL DE PONTOS: 8 PROJETO: SIRGA N.GRAVIMETRO: 23 IND. FECH.: 1
 ESTACAO PARTIDA: 8059944 VALOR P: 978096.05 F.ESC: .99962400 FUSO HOR.: 5
 ESTACAO CHEGADA: 8060593 VALOR C: 978091.68 TIP GRAVIMET: 47 SIST. REF.: 5

DADOS DAS ESTACOES:

NUMERO	NOME	RN	LAT	LON	UTM(N)	UTM(E)	MCE	PCO	MARE	DES	DIN	G. OBS.
8059944	LIBERTAD		- 2 13 10.73	- 80 54 15.89	9754659.88	510628.60	-81	1	.162	.000	.000	978096.05
0000001	IG0001-01	L772A	- 2 13 42.73	- 80 50 58.89	9753676.87	516713.20	-81	1	.198	.000	-.019	978081.48
0000002	IG0001-02	G-S67	- 2 16 3.73	- 80 45 21.89	9749346.28	527121.30	-81	1	.162	.000	-.025	978074.37
0000003	IG0001-03	G-S60	- 2 18 59.73	- 80 39 9.89	9743940.05	538609.63	-81	1	.104	.000	-.032	978072.29
0000004	IG0001-04	G-S52	- 2 20 4.73	- 80 31 49.89	9741940.36	552198.56	-81	1	.026	.000	-.040	978046.09
0000005	IG0001-05	GS46A	- 2 22 16.73	- 80 28 11.89	9737884.95	558930.05	-81	1	-.010	.000	-.044	978001.20
0000006	IG0001-06	GS41A	- 2 24 37.73	- 80 24 36.89	9733552.86	565568.46	-81	1	-.051	.000	-.049	977953.81
8060593	GUAYAQUIL-B VISTA		- 2 10 56.73	- 79 54 51.89	9758730.96	620719.08	-81	1	-.098	.000	-.062	978091.68

Figura 7.9 - Arquivo RED do REDGRAV
 Fonte: IBGE

O campo “MARE” informa os valores em miligals da correção de atração luni-solar; “DES” e “DIN” indicam correções das derivas estática e dinâmica e “G.OBS” apresenta os valores finais das acelerações da gravidade, em miligals, para cada estação. As demais siglas que figuram nos arquivos de saída demonstrados são apresentadas e explicadas no anexo E, servem também para o preenchimento das cadernetas de campo. A data e hora constante no cabeçalho dos citados arquivos, correspondem ao término do processamento com o *software* REDGRAV.

7.4.2 Valores médios das estações

Com base nos resultados fornecidos por cada linha gravimétrica, isto é, por cada um dos gravímetros presentes nas medições dos circuitos, calculou-se um valor médio para as estações de referência.

Para facilitar o cálculo, elaborou-se no âmbito da Gerência de Geodésia e Cartografia do IBGE situada em Goiânia, o aplicativo GRAVIMEDIA, desenvolvido em plataforma EXCEL pelo engenheiro Roberto Jorge de Freitas Filho.

O aplicativo é composto por dois quadros. No quadro superior são inseridos os valores de g correspondentes a cada um dos gravímetros utilizados na medição de uma determinada estação. A medida que os valores são introduzidos, é disponibilizada uma média aritmética geral e o respectivo desvio padrão daquela estação. Paralelamente, as médias e os desvios para cada gravímetro são calculados e aqueles valores que estrapolam a tolerância estipulada de 0,05 mGal são evidenciados na cor vermelha. Concomitantemente, no quadro inferior, aparecem as mesmas informações anteriores, desprezados os valores que estrapolaram à tolerância prescrita.

Através desta rotina computacional, pôde-se, ainda em campo, deduzir rapidamente a média aritmética de todas as EEGG de referência e, adicionalmente, avaliar o grau de dispersão da referida rede, por meio dos desvios-padrão de cada uma das estações. As figuras 7.10 e 7.11, apresentam exemplos do aplicativo GRAVIMEDIA para as estações QUITO-IGM e IBARRA.

Os resultados médios das estações gravimétricas de referência do Equador e os respectivos desvios-padrão mostram que existe uma desejável consistência da Rede. A figura 7.12 lista todas as 41 estações, seus desvios e o percentual de medidas aproveitadas para cada EG. Com base nestes resultados, denotados pelos desvios mínimos, pressupõe-se que a solução oferecida pela média aritmética atendeu ao nível de precisão esperado.

GRAVIMETRIA ECUADOR													
ESTAÇÃO		G114/111	DR. FIB. G-34	G-143	DR. FIB. G-30	G-145	DR. FIB. G-30	G-146	DR. FIB. G-30	G-720	DR. FIB. G-720		
EG-QUITO IGM 8059935		977245,68	-1,190	977245,66	-1,094	977245,64	-1,034	977245,71	-1,040	977245,70	-1,034	977245,6660	0,0302
		977245,68	-1,190	977245,65	-1,094	977245,65	-1,034	977245,62	-1,040	977245,70	-1,034		
		-	-	977245,64	-1,034	977245,68	-1,190	977245,71	-1,040	977245,64	-1,034		
		977245,63	-1,034	-	-	-	-	-	-	-	-		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M.A.		977245,66	-0,8027	977245,65	-0,8104	977245,66	-0,8092	977245,66	-0,8104	977245,66	-0,8104		D.P.
D.P.		0,8231		0,8229		0,8237		0,8147		0,8287			

ESTAÇÃO		G114/111		G-143		G-145		G-146		G-720			
EG-QUITO IGM 8059935		977245,68	-1,190	977245,66	-1,094	977245,64	-1,034	977245,71	-1,040	977245,70	-1,034	977245,6660	0,0302
		977245,68	-1,190	977245,65	-1,094	977245,65	-1,034	977245,62	-1,040	977245,70	-1,034		
		-	-	977245,64	-1,034	977245,68	-1,190	977245,71	-1,040	977245,64	-1,034		
		977245,63	-1,034	-	-	-	-	-	-	-	-		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M.A.		977245,66	-0,8027	977245,65	-0,8104	977245,66	-0,8092	977245,66	-0,8104	977245,66	-0,8104	15	15
D.P.		0,8231		0,8229		0,8237		0,8147		0,8287		100%	

Figura 7.10 - Exemplo do GRAVIMEDIA na EG QUITO
Fonte: Freitas Filho, 2003

GRAVIMETRIA ECUADOR													
ESTAÇÃO		G-114	DR. FIB. G-34	G-143	DR. FIB. G-30	G-145	DR. FIB. G-30	G-146	DR. FIB. G-30	G-720	DR. FIB. G-720		
E.G. IBARRA 8059936		977380,47	-1,4447	977380,37	-0,8153	977380,39	-1,0300	977380,46	-1,0347	977380,46	-1,0341	977380,4253	0,0453
		977380,50	-0,8147	977380,38	-1,4440	977380,41	-1,4400	977380,41	-1,4400	977380,41	-1,4400		
		977380,50	-0,8147	977380,37	-0,8153	977380,39	-1,0300	977380,40	-1,0320	977380,46	-1,0341		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M.A.	D.P.
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
M.A.		977380,49	-0,8147	977380,37	-0,8128	977380,40	-0,8237	977380,42	-0,8128	977380,44	-0,8118		
D.P.		0,0088		0,0633		0,0370		0,0322		0,0363			
ESTAÇÃO		G-114		G-143		G-145		G-146		G-720			
E.G. IBARRA 8059936	X	977380,47	-1,4440	X	-	977380,39	-1,0300	977380,46	-1,0340	977380,46	-1,0340	977380,4218	0,0337
	X	-	-	X	-0,8140	977380,41	-1,4400	977380,41	-1,4400	977380,41	-1,4400		
		-	-		-	977380,39	-1,0300	977380,40	-1,0320	977380,46	-1,0340		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	M.A.	D.P.
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
M.A.		977380,47	-0,8140	977380,38	-0,8140	977380,40	-0,8232	977380,42	-0,8120	977380,44	-0,8118	85	11
D.P.		-		-		0,0320		0,0322		0,0331		73%	

Figura 7.11 - Exemplo do GRAVIMEDIA na EG IBARRA
Fonte: Freitas Filho, 2003

GRAVIMETRIA EQUADOR - MEDIA DAS ESTAÇÕES			
ESTAÇÕES	MÉDIA (Desvio < 0.05mGal)		
	Acel. Grav. (mGal)	Desvio Padrao	Aproveit (%)
IGSN	977263,19	0,0295	Base
IGM QUITO	977245,67	0,0302	100
LA TOMA	977626,26	0,0311	80
CUENCA	977303,44	0,0295	100
SHELL	977675,99	0,0238	80
LAGO AGRIO	977918,68	0,0098	60
LATACUNGA	977211,19	0,0304	90
RIOBAMBA	977291,9	0,0189	80
BAEZA	977452,7	0,0223	70
TENA	977812,2	0,0457	80
COCA	977923,38	0,0243	84
PANACUCHA	977981,81	0,0214	89
PUYO REDE GPS	977676,43	0,027	100
LOROCACHI	977966,91	0,0152	100
MONTALVO	977916,63	0,0327	100
TAISHA	977869,57	0,0096	80
SANTIAGO	977882,37	0,0058	43
MACAS	977701,17	0,034	80
MACARA	977989,71	0,0361	60
HUALTA	977964,47	0,0406	70
IBARRA	977380,42	0,0337	73
TULCAN	977239,29	0,0293	90
LITA	977931,8	0,0225	67
FLAVIO ALFARO	977983,54	0,0447	60
ZAMORA	977707,35	0,0207	86
LOJA PARQUE	977442,77	0,0269	88
SAN LORENZO	978030,88	0,05	75
ESMERALDAS	978047,15	0,0443	57
STO DOMINGO	977932,48	0,03	35
QUININDE	977974,83	0,0344	80
GUAYAQUIL	978078,55	0,0277	28
QUEVEDO	977980,99	0,0269	73
BALZAR	978060,25	0,031	70
LA LIBERTAD	978096,14	0,0311	86
PROGRESSO	977936,47	0,0272	92
GUAYAQUIL B.VISTA	978091,79	0,0397	60
QUARTEL	977895,53	0,0294	70
PUNA ISLA	977912,83	0,0416	75
BABAHOYO	978064,55	0,0141	80
BALTRA	978050,85	0,0361	75
BALTRA FARO	978062,96	0,037	64
SANTA CRUZ	978080,14	0,0469	31

Média (Aproveit. %):	74,66
----------------------	-------

Figura 7.12 - Resultados médios da rede de referência equatoriana
Fonte: Freitas Filho, 2003

7.4.3 Ajustamento das observações

No intuito de melhor representar os levantamentos conduzidos no Equador, propiciando resultados mais consistentes possíveis, procurou-se elaborar um aplicativo destinado ao ajustamento de observações gravimétricas, através do método dos mínimos quadrados. A razão maior de se optar pela confecção de tal aplicativo, prendeu-se à dificuldade de se encontrar programas específicos para ajustamento de redes gravimétricas, disponíveis junto à comunidade científica brasileira. Deixa-se claro também que o objetivo imediato é contemplar os trabalhos efetuados fora do Brasil, visto que o IBGE e a EPUSP, pretendem, no futuro, ajustar todas as suas estações gravimétricas de referência em conjunto com a R.G.F.B.

O programa de ajustamento foi desenvolvido no âmbito do IBGE, em Goiânia, pelo engenheiro Alcides Ferreira da Silva Júnior, utilizando o aplicativo MATLAB; atualmente, o programa encontra-se em fase de otimização com vistas a sua adequação aos eventuais usuários. O modelo de ajustamento utilizado foi o paramétrico, considerado a melhor opção diante do modo como os circuitos foram configurados. Apenas uma estação, a 32.208A, pertencente à IGSN71, serviu de injeção ao ajustamento; sua estimativa de precisão, traduzida pelo desvio-padrão fornecido de $\pm 0,0293$ mGal, foi considerada na formação da modelagem matemática. A maior preocupação na elaboração do programa foi a definição da matriz dos pesos. Nesse tocante, foram examinadas, através da elaboração de testes de hipóteses, algumas ponderações diferentes e a que propiciou maior consistência nos resultados foi a ponderação pelos desvios de cada observação em relação à média. Assim, a matriz peso foi composta a partir da propagação dos desvios-padrão das equações utilizadas no ajustamento, fazendo com que, quanto maior a diferença para o valor médio, menor a influência daquela observação no

processamento. Uma vantagem incontestável desta ponderação foi a possibilidade de se utilizar todas as observações efetuadas, incluindo aquelas com desvios maiores do que 0,05 mGal, descartadas, inicialmente, na composição dos valores médios descrita no item anterior. Os resultados do ajustamento são apresentados no quadro que compõe a figura 7.13. As duas colunas correspondentes aos desvios-padrão expressam, respectivamente, a precisão interna da rede sem considerar o desvio informado pela IGSN71, e a precisão de cada estação levando-se em conta a propagação do desvio de 0,0293 mGal. No futuro, quando o Equador for contemplado com alguma EG absoluta, o ajustamento da rede poderá ser refeito utilizando como injeção a referida estação.

GRAVIMETRIA EQUADOR - MATRIZ PESO A PARTIR DOS DESVIOS			
ESTAÇÕES	AJUSTAMENTO (UTILIZACAO DE TODAS AS OBSERVAÇÕES)		
	Aceleração da Gravidade (mGal)	Desvio Padrão (mGal) (Precisão Interna)	Desvio Padrão (mGal) (Propag. de Variância - IGSN)
IGSN	977263,19	0,029	0,0293
IGM QUITO	977245,67	0,0302	0,051
LA TOMA	977626,25	0,0308	0,0514
CUENCA	977303,44	0,0308	0,0514
SHELL	977675,98	0,0306	0,0513
LAGO AGRIO	977918,68	0,0305	0,0512
LATACUNGA	977211,19	0,0304	0,0511
RIOBAMBA	977291,9	0,0312	0,0516
BAEZA	977452,7	0,0305	0,0512
TENA	977812,2	0,0333	0,053
COCA	977923,38	0,0308	0,0514
PANACOA	977981,8	0,0311	0,0516
PUYO REDE GPS	977676,44	0,0313	0,0516
LOROCACHI	977966,91	0,031	0,0515
MONTALVO	977916,63	0,031	0,0515
TAISHA	977869,58	0,031	0,0515
SANTIAGO	977882,37	0,0314	0,0518
MACAS	977701,17	0,0318	0,052
MACARA	977989,7	0,0318	0,052
HUALTA	977964,46	0,0318	0,052
IBARRA	977380,42	0,0324	0,0524
TULCAN	977239,3	0,033	0,0528
LITA	977931,8	0,033	0,0528
FLAVIO ALFARO	977983,54	0,0331	0,0529
ZAMORA	977707,35	0,0316	0,0519
LOJA PARQUE	977442,77	0,0318	0,052
SAN LORENZO	978030,89	0,0338	0,0534
ESMERALDAS	978047,16	0,0342	0,0536
STO DOMINGO	977932,48	0,031	0,0515
QUININDE	977974,83	0,0316	0,0519
GUAYAQUIL	978078,55	0,0305	0,0512
QUEVEDO	977980,99	0,0311	0,0515
BALZAR	978060,25	0,0311	0,0516
LA LIBERTAD	978096,15	0,0309	0,0514
PROGRESSO	977936,47	0,0308	0,0513
GUAYAQUIL B.VISTA	978091,8	0,0307	0,0513
QUARTEL	977895,52	0,0308	0,0514
PUNA ISLA	977912,84	0,0328	0,0527
BABAHOYO	978064,56	0,0314	0,0517
BALTRA	978050,86	0,0316	0,0519
BALTRA FARO	978062,97	0,0314	0,0517
SANTA CRUZ	978080,11	0,0343	0,0537

Observações:	100% Utilizadas
Sigma a Posteriori:	0,97
Hipótese Ho:	95% de Confiança

Figura 7.13 - Resultados ajustados da rede de referência equatoriana
Fonte: Silva Junior, 2005.

7.4.4 Análise qualitativa dos resultados

Quando, por razões diversas, não há condições de se efetuar o ajustamento pelo MMQ de alguma nova rede de referência, as instituições que trabalham com gravimetria, incluindo o IBGE, determinam o valor final das respectivas estações por meio das médias aritméticas, advindas dos vários gravímetros envolvidos nas medições, considerando uma tolerância para os desvios dessas médias. Embora tal procedimento tenha caráter preliminar, até que haja o devido ajustamento, reconhece-se que, para fins práticos, os resultados traduzidos pelas médias aritméticas vêm se mostrando satisfatórios.

Isso ocorre e é aceitável, por duas razões significativas: a primeira prende-se à contingência de não se dispor de um programa de ajustamento gravimétrico; a outra razão, é traduzida pela convergência entre os valores médios, dentro de um desvio máximo aceitável, e os correspondentes resultados depois de ajustados.

A situação no Equador não fugiu à regra. Os vários gravímetros utilizados nas medições dos circuitos, devidamente calibrados e manuseados com bastante atenção, disponibilizaram uma superabundância de observações para a determinação das médias de cada EG, e ainda, possibilitaram o ajustamento pelo MMQ.

O quadro inserido na figura 7.14 mostra a estreita convergência entre os valores médios e ajustados. Denota-se por esses resultados tabulares que, se uma rede de referência for bem determinada, isto é, de acordo com as sugestões preconizadas nesta dissertação, não haverá diferenças significativas entre os resultados ajustados e os correspondentes valores médios.

Valores em mGal			
Estações	Media	Aj_T_Media	Diferenças
IGSN	977263,19	977263,19	0
IGM QUITO	977245,67	977245,67	0,01
LA TOMA	977626,26	977626,25	0
CUENCA	977303,44	977303,44	0
SHELL	977675,99	977675,98	0
LAGO AGRIO	977918,68	977918,68	0
LATACUNGA	977211,19	977211,19	0
RIOBAMBA	977291,9	977291,9	0
BAEZA	977452,7	977452,7	0
TENA	977812,2	977812,2	0
COCA	977923,38	977923,38	0
PANACOA	977981,81	977981,8	-0,01
PUYO REDE GPS	977676,43	977676,44	0,01
LOROCACHI	977966,91	977966,91	0
MONTALVO	977916,63	977916,63	0
TAISHA	977869,57	977869,58	0,01
SANTIAGO	977882,37	977882,37	0
MACAS	977701,17	977701,17	0
MACARA	977989,71	977989,7	-0,01
HUALTA	977964,47	977964,46	-0,01
IBARRA	977380,42	977380,42	-0,01
TULCAN	977239,29	977239,3	0,01
LITA	977931,8	977931,8	0
FLAVIO ALFARO	977983,54	977983,54	0
ZAMORA	977707,35	977707,35	-0,01
LOJA PARQUE	977442,77	977442,77	0,01
SAN LORENZO	978030,88	978030,89	0,01
ESMERALDAS	978047,15	978047,16	0,02
STO DOMINGO	977932,48	977932,48	0
QUININDE	977974,83	977974,83	0
GUAYAQUIL	978078,55	978078,55	0
QUEVEDO	977980,99	977980,99	0
BALZAR	978060,25	978060,25	0
LA LIBERTAD	978096,14	978096,15	0,01
PROGRESSO	977936,47	977936,47	0
GUAYAQUIL B.VISTA	978091,79	978091,8	0
QUARTEL	977895,53	977895,52	-0,01
PUNA ISLA	977912,83	977912,84	0,02
BABAHOYO	978064,55	978064,56	0,01
BALTRA	978050,85	978050,86	0,01
BALTRA FARO	978062,96	978062,97	0,01
SANTA CRUZ	978080,14	978080,11	-0,03

Figura 7.14 - Comparação de valores médios e ajustados
Fonte: Silva Junior, 2005.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As atividades de levantamentos se revestem de uma importância fundamental no contexto de um projeto geodésico - cartográfico, pois envolvem uma considerável diversidade de recursos e requerem acentuada versatilidade em sua execução. Se as informações oriundas dos trabalhos de campo não forem fidedignas, o projeto como um todo pode ficar comprometido; em outras palavras, de pouco adianta o emprego de poderosas ferramentas computacionais e de complexos modelos matemáticos, se houver inconsistência na qualidade dos dados advindos dos levantamentos. Ao contrário do que deveria ocorrer, o que se configura, na prática, é a crescente valorização das atividades ditas “científicas”, voltadas ao estudo e tratamento de dados, em detrimento das tarefas típicas de campo. Talvez, em razão disso, o número de profissionais especializados em levantamentos seja cada vez menor. Uma prova incontestável dessa realidade é a quase inexistência de textos técnicos destinados à execução de levantamentos.

Dentre as idéias que motivaram este trabalho, destaca-se a proposta de uma sistematização de procedimentos técnicos e operacionais voltados ao estabelecimento de um sistema gravimétrico. No bojo dessa questão, torna-se nítida a validação da metodologia empregada durante as etapas já mencionadas, traduzida pelos resultados quantitativos e qualitativos encontrados. Desse modo, afigura-se como contribuição maior da presente dissertação, a implantação de estações gravimétricas integrantes das redes de referência nacionais do Paraguai, Chile e Equador. Isso implica em dizer que tais países possuem, atualmente, uma infraestrutura gravimétrica adequada às necessidades modernas de determinação do geóide, graças aos esforços empreendidos em estreita consonância com os

preceitos aqui contidos. Assim, inovadoras soluções foram concebidas, testadas e validadas no decorrer das atividades e a sistemática conduzida nas medições dos circuitos permitiu uma superabundância de observações de boa qualidade, fazendo com que as redes de referência pudessem ser ajustadas pelo método dos mínimos quadrados através do modelo paramétrico.

Em contrapartida, enfocando-se os resultados sob um outro ângulo, menciona-se que a contribuição advinda de uma atividade científica não pode ser mensurada apenas por valores numéricos. Outros ganhos subjetivos são auferidos ao longo do processo evolutivo de um projeto, extrapolando, inclusive, o lapso de tempo compreendido entre seu início e término. No caso deste trabalho, aliado às medições empreendidas, aponta-se para um aspecto importantíssimo, por vezes esquecido, que pode garantir a necessária continuidade de ações: a capacitação profissional. Nesse contexto, especial atenção foi dada ao treinamento durante todas as etapas do projeto. Em decorrência, os países envolvidos já podem caminhar com seus próprios meios e executar sozinhos as tarefas anteriormente feitas em conjunto.

Em alusão às inúmeras considerações apresentadas no decorrer do texto, são efetuadas as seguintes recomendações:

1. Que seja dada continuidade ao trabalho voltado à elaboração de um programa de ajustamento de observações gravimétricas, por parte do IBGE.
2. Que, na busca de um sistema sul-americano integrado, sejam envidados esforços para um ajustamento das redes de referência do Brasil e dos outros países aonde se trabalhou além do Equador: Chile e Paraguai.
3. Que a comunidade produtora e usuária de informações gravimétricas seja sensível à necessidade de se concatenar ações e padronizar procedimentos, tanto

na obtenção como no tratamento e armazenamento dos dados gravimétricos. Num país com as características do Brasil, é imprescindível a união de esforços, visando, sobretudo, a otimização de recursos e o encadeamento de iniciativas afins. Nesse sentido, torna-se premente a unificação dos diversos acervos existentes, sendo ideal a composição de um único banco de dados gravimétricos devidamente consolidado.

ANEXO A

SISTEMA GRAVIMÉTRICO EQUATORIANO

ANEXO B

MODELOS DE CHAPAS PARA ESTAÇÕES GEODÉSICAS

ANEXO C

MODELO DE DESCRITIVO PARA ESTAÇÃO GRAVIMETRICA

IBGE

IGM - INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

EPUSP

8059944

Número da Estação

ECUADOR

País

LIBERTAD

Nome da Estação

Província

GUAYAS

Estabelecida por

IGM / IBGE

Outra Designação

RED GRAVIMETRICA
LIBERTAD III-2

Estabelecida em

ABRIL 2002

Última Revisão

ABRIL 2002

DESCRIÇÃO

LOCALIZACION: SE ENCUENTRA AL PIE DE LAS OFICINAS ADMINISTRATIVAS DE LA SUPERINTENDENCIA DE LA LIBERTAD, ARMADA DEL ECUADOR.

DESCRIPCION: PLACA METALICA DEL IGM CON LA INSCRIPCION "RED GRAVIMETRICA LIBERTAD III -02".

ITINERARIO: LA SUPERINTENDENCIA DE LA LIBERTAD, QUEDA ENTRE LAS CIUDADES DE SALINAS Y SANTA ELENA, EXTREMO OESTE DEL ECUADOR.

ESQUEMA

ANEXO D

CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS EQUATORIANOS

REDE GRAVIMÉTRICA EQUADOR
CAMPANHA 2002/2003
USP/IBGE/IGM

GALÁPAGOS

LEGENDAS

CIRCUITO FECHADO

EG FUNDAMENTAL (IGSN)

CIRCUITO ABERTO

EG BÁSICA

ANEXO E

IDENTIFICAÇÃO DOS CÓDIGOS UTILIZADOS NO REDGRAV E NAS CADERNETAS GRAVIMÉTRICAS DE CAMPO

IDENTIFICAÇÃO DOS CÓDIGOS UTILIZADOS NO REDGRAV E NAS CADERNETAS GRAVIMÉTRICAS DE CAMPO

1. IDENTIFICAÇÃO DA LINHA

NOME DA LINHA	O nome da linha deve identificar, de preferência, as localidades ou algo que indique geograficamente o início e o término da linha.
CÓDIGO DA LINHA	O código da linha é composto pela sigla da Gerência de Geodésia e Cartografia (GGC) - (BA, CE, GO, RJ) seguida pelo número sequencial da linha. Esta numeração é exclusiva para cada GGC. Quando for o caso de remedição de linha, mesmo que seja com o mesmo gravímetro, usar numeração diferente da linha original. Ex.: GO001, que é a primeira linha medida pela GGC/GO.
NÚMERO GRAVÍMETRO	Número de fabricação do gravímetro. Ex.: G 111
TOTAL DE PONTOS	Número total de estações medidas na linha (incluindo partida, chegada, reocupações e derivas).
FUSO HORÁRIO (FUS. HOR)	Anotar o fuso em que os horários são registrados. Os fusos horários válidos no Brasil são 2,3,4 e 5.
FATOR DE ESCALA (F ESC)	Valor correspondente ao fator de escala do gravímetro utilizado. Este dado não precisa ser preenchido na caderneta.
TIPO GRAVÍMETRO (TIP. GRAVI)	No caso do L & R modelo G, será sempre 47. Este dado não precisa ser preenchido na caderneta.

2. GRAVIDADE DE REFERÊNCIA

ESTAÇÃO DE PARTIDA

NÚMERO (ESTAÇÃO PARTIDA)	Número da estação de partida
VALOR (VALOR P)	Valor da aceleração da gravidade (g) em mGal e 1/100 de mGal na estação de partida. Ex.: 978638,08mGal $\Rightarrow$ 97863808

ESTAÇÃO DE CHEGADA

NÚMERO (ESTAÇÃO CHEGADA)	Número da estação de chegada
VALOR (VALOR C)	Valor da aceleração da gravidade (g) em mGal e 1/100 de mGal na estação de chegada. Ex.: 978 638,08 mGal $\Rightarrow$ 97863808

ÍNDICE DE FECHAMENTO (IND. FECH)	0 $\Rightarrow$ No caso da linha fechar na estação de partida 1 $\Rightarrow$ No caso da linha fechar em outra estação
SISTEMA DE REFERÊNCIA (SIST. REF)	Sistema de referência das estações gravimétricas 0 $\Rightarrow$ Sem informação 1 $\Rightarrow$ Sem informação 2 $\Rightarrow$ Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira 3 $\Rightarrow$ Potsdam 4 $\Rightarrow$ Woolard 5 $\Rightarrow$ Regional 9 $\Rightarrow$ Sem amarração (arbitrário)
PROJETO	Cada projeto possui um código que o identifica

3. DADOS DAS ESTAÇÕES

NÚMERO	<p>As estações gravimétricas do IBGE, determinadas a partir de 1988, devem ter numeração sequencial de 8.050.000 a 8.999.999. Não atribuir nova numeração ao ponto quando a observação for feita para cálculo da deriva (Ex.: hotel) e quando se tratar de reocupação de estação gravimétrica do IBGE ou de outra instituição (Observatório Nacional, USP, UNB, etc), manter a numeração original.</p> <p>As estações gravimétricas do IBGE anteriores a 1988 devem Ter sua numeração de 8.000.000 a 8.049.999, obedecendo ao seguinte critério:</p> <p>Ex.: EG 1236 $\Rightarrow$ 8001236 EG 637 $\Rightarrow$ 8000637</p>
---------------	---

<p>NOME</p>	<p>Nome da estação ou código da linha seguido de numeração sequencial dentro da linha. Atentar para o fato de que uma estação reocupada deve possuir o mesmo nome dado a ela anteriormente. Todas as estações gravimétricas fundamentais (ON) ou básicas (IBGE) materializadas devem possuir identificação própria (nome).</p> <p>Ex.: GO0221-03 (O ponto pertence à linha GO0221 e é o terceiro ponto implantado).</p> <p>Se a estação for um SAT, VT ou EG antiga, sua identificação deve constar nesse campo. Quando for possível, preencher o campo de acordo com a instrução do primeiro parágrafo desse item seguido da identificação da estação SAT ou VT. Quando não houver espaço suficiente, deve ser dada prioridade à identificação da estação SAT, VT ou EG antiga.</p> <p>Ex.: GO0221-03/SAT94136 DF0021-08/EG1236</p>
<p>RN</p>	<p>Número da referência de nível, no caso da observação ser feita sobre uma referência de nível do IBGE. Esse campo só deve ser preenchido se a estação gravimétrica estiver afastada horizontalmente de até no máximo 1 (um) metro da RN.</p> <p>Ex.:1234C</p> <p>Se a estação for RN, deve ser batizada com uma numeração que a identifique como estação gravimétrica (série 8.000.000) e a identificação da RN do IBGE (quatro números e uma letra, 1243B, por exemplo, deve constar no campo RN. O preenchimento do campo NOME deve obedecer ao que está descrito no item NOME da estação, tanto para RN do IBGE quanto para RN de outra instituição. No caso de RN de outra instituição, não preencher o campo RN. Quando houver espaço suficiente, deve ser dada prioridade à identificação da RN.</p> <p>Ex.: RN GEONEX 2134-13</p> <p>No caso de RN com o pilar destruído, esse campo não deve ser preenchido, apenas deve ser anotado esse fato no campo OCORRÊNCIAS. Em alguns casos, porém, em que a destruição da RN não comprometeu a estabilidade do pilar, a altitude original da RN passa a ser mais confiável que uma obtida pela barometria. Os códigos para a altitude, nesse caso, serão: Classe de precisão: 2 Tipo de nivelamento: 9 Desnível: Anotar o desnível entre o topo do pilar da RN e a base do gravímetro.</p>

TIPO DE OBSERVAÇÃO (TIPO)	Tipo de levantamento gravimétrico que está sendo efetuado: 0⇒ Densificação 1⇒ Precisão 2⇒ Alta Precisão 3⇒ Calibração / Científica
PONTO MATERIALIZADO (PMT)	Ponto materializado no terreno (chapas ou marcos) S⇒ Sim N⇒ Não

4. DATA E HORA CORRESPONDENTES À LEITURA MÉDIA

ANO MÊS DIA HORA MINUTO	Ano da observação Mês da observação Dia da observação Hora da observação Minuto da observação
--	---

5. LEITURAS

PRIMEIRA (LEIT 1)	Primeira leitura do gravímetro
SEGUNDA (LEIT 2)	Segunda leitura do gravímetro
TERCEIRA (LEIT 3)	Terceira leitura do gravímetro
ÍNDICE DE DERIVA (IDE)	Preencher com o número 1 apenas na segunda ocupação das estações destinadas a determinação da deriva estática. Caso contrário, preencher com 0 (zero); preencher com 0 (zero) também a última estação. 0 ⇒ Não calcula a deriva 1 ⇒ Calcula a deriva na segunda observação

6. ALTITUDES DAS ESTAÇÕES

VALOR (ALT)	Altitude em metro e 1/10.000 do metro (com quatro casas decimais) do ponto de referência da altitude (normalmente uma RN). Ex.: 456.3456m $\Rightarrow$ 004563456
DATUM ALTIMÉTRICO (DAL)	Datum para referência da altitude 0 $\Rightarrow$ Sem informação 1 $\Rightarrow$ Torres /RS 2 $\Rightarrow$ Imbituba / SC 3 $\Rightarrow$ Porto de Santana / AP 4 $\Rightarrow$ Datum Local
CLASSE DE PRECISÃO (PAL)	Classe de Precisão da altitude, onde EH representa o erro máximo da altitude 0 $\Rightarrow$ Sem informação 1 $\Rightarrow$ EH < 0,1m 2 $\Rightarrow$ 0,1m < EH < 1 m 3 $\Rightarrow$ 1 m < EH < 2 m 4 $\Rightarrow$ 2 m < EH < 5m 5 $\Rightarrow$ 5 m < EH < 10 m 6 $\Rightarrow$ 10 m < EH < 20 m 7 $\Rightarrow$ 20 m < EH < 50 m 8 $\Rightarrow$ 50 m < EH < 100 m 9 $\Rightarrow$ 100m < EH
TIPO DE NIVELAMENTO (TNI)	Origem da altitude utilizada 0 $\Rightarrow$ Sem informação 1 $\Rightarrow$ Nivelamento geométrico 2 $\Rightarrow$ Nivelamento trigonométrico 3 $\Rightarrow$ Fotogrametria 4 $\Rightarrow$ Sistema inercial 5 $\Rightarrow$ Barometria 6 $\Rightarrow$ Carta topográfica 7 $\Rightarrow$ Satélite 9 $\Rightarrow$ Outros

<p>DESNÍVEL (DESN)</p>	<p>Desnível entre o ponto de medição da aceleração da gravidade e a superfície de referência da altitude.</p> <div data-bbox="550 451 1433 831"> <p>NESTE CASO, O DESNÍVEL SERÁ NEGATIVO</p> </div> <div data-bbox="532 879 1393 1283"> <p>NESTE CASO, O DESNÍVEL SERÁ POSITIVO.</p> </div>
-----------------------------------	--

7. COORDENADAS DAS ESTAÇÕES

<p>LATITUDE GEODÉSICA (LAT)</p>	<p>Latitude geodésica da estação em grau, minuto e segundo. A primeira coluna contém sinal: + norte do Equador - sul do equador Ex.: - 27° 42'30" ⇒ - 274230</p>
--	---

LONGITUDE GEODÉSICA (LONG)	<p>Longitude geodésica da estação em grau, minuto e segundo. A primeira coluna contém o sinal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - oeste do meridiano de Greenwich <p>Ex.: - 49° 42'30" ⇒ - 474230</p>
LATITUDE UTM (N)	Latitude UTM da estação em metro e 1/100 de metro (com 2 casas decimais), a transformação é feita automaticamente pelo REDGRAV.
LONGITUDE UTM (E)	Longitude UTM da estação em metro e 1/100 de metro (com 2 casas decimais), a transformação é feita automaticamente pelo REDGRAV.
SISTEMA GEODÉSICO (S)	<p>Sistema geodésico de referência das coordenadas:</p> <p>0 ⇒ Sem informação 1 ⇒ SAD69 / Chuá 2 ⇒ Córrego Alegre 3 ⇒ Aratu 4 ⇒ Itararé 5 ⇒ Torres 6 ⇒ WGS84 7 ⇒ PSAD56 / la Canoa 9 ⇒ Astronômico</p>
CLASSE DE PRECISÃO (PCO)	<p>Classe de precisão das coordenadas, onde E_c representa o erro máximo das coordenadas, admitindo-se um erro de 1mm na escala da carta.</p> <p>0 ⇒ Sem informação</p> <p>1 ⇒ $E_c \leq 20$ m entre 1: 1.000 e 1: 20.000 2 ⇒ $20\text{m} < E_c \leq 100$ m entre 1: 20.000 e 1: 100.000 3 ⇒ $100\text{m} < E_c \leq 200$ m entre 1: 100.000 e 1: 200.000 4 ⇒ $200\text{m} < E_c \leq 500$ m entre 1: 200.000 e 1: 500.000 5 ⇒ $500\text{m} < E_c \leq 1.000$ m entre 1: 500.000 e 1: 1.000.000 6 ⇒ $1000\text{m} < E_c \leq 2.000$ m entre 1: 1.000.000 e 1: 2.000.000 7 ⇒ $2.000\text{m} < E_c \leq 5.000$ m entre 1: 2.000.000 e 1: 3.000.000</p>

LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO (LO)	Código de Localização da estação:	
	Açude, sangradouro, represa, vertedouro, barragem	AC
	Aeroporto, aeródromo ou campo e pouso	AE
	Bueiro	BU
	Capela	CP
	Cemitério	CE
	Comércio (loja, armazém, hotel, posto de gasolina, etc.)	CM
	Fazenda , sítio	FZ
	Entroncamento, bifurcação	ET
	Escola, grupo escolar, faculdade, centros sociais, etc	ES
	Estação de estrada de ferro	EF
	Estação metereológica	EM
	Hospital, maternidade, posto de saúde e de vacinação	HO
	Igreja	IG
	Igreja matriz	IM
	Indústria (olaria, serraria, engenho, usina de leite)	ID
	Lâmina d`água	LG
	Linha de alta tensão, poste, cruzamento com estrada	AT
	Pasagem de nível	PN
	Perímetro urbano	PU
	Ponte	PT
	Porto	PO
	Praça	PC
	Prédio Público (DNER, Polícia Rodoviária, Posto Fiscal).	PP
	Prefeitura, câmara municipal	PF
	Quartel	QT
	Trevo	TV
	Túnel	TU
	Usina (hidrelétrica, termoelétrica, nuclear, subestação de energia	US
	Viaduto	VI
	Outros	OU

UNIDADE DA FEDERAÇÃO (UF)	Unidade da Federação em que a estação está localizada
TEMPERATURA	Anotar a temperatura do gravímetro após a medição. Cada gravímetro possui sua própria temperatura de operação. É essencial que o gravímetro mantenha sua temperatura inalterada durante toda a medição da linha gravimétrica. Caso isso não aconteça, indica que está ocorrendo algum problema no aparelho. Assim, a bateria deve ser verificada em primeiro lugar.
TRAVADO	Checar se o gravímetro está travado após a medição. A não observância dessa recomendação pode danificar irremediavelmente o aparelho com a consequente inutilização das informações observadas.
DESLIGADO	Checar se as luzes do gravímetro estão desligadas após a medição, caso contrário a bateria descarregará rapidamente.
OPERADOR	No caso de funcionário do IBGE, digitar o SIAPE do operador.
ANOTADOR	No caso de funcionário do IBGE, digitar o SIAPE do anotador.

LISTA DE REFERÊNCIAS

COSTA, S.M.A. **Integração da rede geodésica brasileira aos sistemas de referência terrestres**. 1999. 156 p. Tese (Doutorado) – Ciências Geodésicas – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

CRIOLLO, A.R.T.C. **Metodologia para a geração da malha de anomalias gravimétricas para obtenção de geóide gravimétrico local a partir de dados esparsos**. 2003. 140 p. Tese (Doutorado) – Ciências Geodésicas – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física**. Curitiba: Editora da UFPR, 1999. 302 p.

_____. **Introdução ao ajustamento de observações – aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319 p.

_____. **Determinação da gravidade em geodésia**. Curitiba: Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, 1985. 76 p.

ESCOBAR, I.P. **Injunções relativas em ajustamento gravimétrico**. 1985. 122p. Dissertação (Mestrado) – Ciências – Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1985.

_____. **Métodos de levantamento e ajustamento de observações gravimétricas visando a implantação da rede gravimétrica fundamental brasileira**. Rio de Janeiro: Publicação Especial (1) do Observatório Nacional, 1980.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. Departamento de Geodésia. **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos: coletânea das normas vigentes**. Rio de Janeiro: Gráfica do IBGE, 2003. 103 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. Departamento de Geodésia. **Manual de instrução do gravímetro LaCoste & Romberg modelo G**. Rio de Janeiro: Gráfica do IBGE, 1996. 26 p.

LUIZ, J.G. ; COSTA e SILVA, L.M. **Geofísica de prospecção**. Belém: Universidade Federal do Pará – Cejup, 1995.

MELLO, M.P. **Sistema Geodésico Brasileiro: ensaio para definição do vetor de orientação geocêntrica através da geodésia física.** 1973. 268p. Dissertação (Mestrado) – Ciências – Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1973.

MORELLI, C. et al. **The international gravity standardization network – IGSN 71.** Paris: Bureau Central de l'Association Internationale de Géodésie, 1971. 194 p.

MORITZ, H. ; HEISKANEN W.A. **Geodesia física.** Madrid: Instituto Geográfico Nacional - Instituto de Astronomía y Geodesia, 1985. 371 p.

NETTO, N.P. **Aplicações da teoria dos erros na topografia.** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. 57 p.

OLIVEIRA, C. **Dicionário cartográfico.** 2 ed. Rio de Janeiro: Gráfica do IBGE, 1983. 781 p.

ROSIER, F.A. **Medidas diferenciais da gravidade: ajustamento de uma sub-rede de estações gravimétricas e determinação de coeficientes de escala para os gravímetros La Coste & Romberg modelo G nº 41, 372 e 454.** 1979. 190 p. Dissertação (Mestrado) – Ciências – Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

TORGE, W. **Gravimetry.** New York, USA: Ed. Walter de Gruyter. 1989. 453 p.

TRABANCO, J.L.A. **Ajustamento e homogeneização de redes gravimétricas fundamentais regionais.** 1995. 109 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

VASCONCELLOS, J. C. P. **Estudo de metodologia para vinculação e homogeneização de redes geodésicas GPS: implementação de um programa de ajustamento.** 2003. 194 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.