

REDUÇÃO

TOPO-ISOSTÁTICA PARA AS ZONAS NUMERADAS DE HAYFORD

CAMIL GEMAEI

Professor de Geodésia e Astronomia de Campo da Escola de Engenharia da Universidade do Paraná

Após um silêncio por demais prolongado que converteu o nosso país no maior "vácuo gravimétrico" do mundo, a Gravimetria nacional parece ter encontrado seu lugar ao Sol seja como instrumento geofísico seja como instrumento geodésico; pelo menos é o que se desprende das atividades que vêm sendo desenvolvidas em diferentes regiões do Brasil pela Petrobrás, Conselho Nacional de Geografia e Observatório Nacional.

Cremos, entretanto, que do ponto de vista geodésico impõe-se não somente a intensificação dos trabalhos de campo visando a ampliação da rede gravimétrica nacional mas, e principalmente, a redução dos elementos já levantados.

A Geodésia é uma ciência por excelência internacional; a aplicação do teorema de STOKES, p.ex., pressupõe o conhecimento do campo de gravidade em todo o globo o que implica automaticamente na necessidade, pelo menos por parte das nações filiadas à A.G.I., da liberação de seus dados gravimétricos. Urge, pois, em nosso modesto entender, que as instituições ligadas ao assunto complementem a parte experimental com as respectivas reduções para seu posterior aproveitamento seja no âmbito doméstico, seja num plano internacional.

Tais razões, aliadas ao labor exaustivo que as reduções isostáticas demandam, levaram o Centro de Estudos e Pesquisas de Geodésia da Escola de Engenharia da Universidade do Paraná a iniciar suas atividades no setor da Geodésia Física ensaiando um mapa estadual com curvas de iso-correção topo - isostática reunindo o efeito de tôdas as zonas numeradas de HAYFORD.

Os mapas mundiais de HEISKANEN proporcionam os efeitos das zonas 10,9 e 8 separadamente, englobando os das zonas 7 a 1; o sistema adotado é o de PRATT-HAYFORD. Já os mapas de NISKANEN dão o efeito conjunto das dez zonas e para os dois sistemas de redução isostática usuais. No segundo caso os pontos básicos para o traçado das linhas de iso-correção foram entre si afastados de 10° e de 20° no primeiro.

Neste nosso ensaio, que abrange apenas o território paranaense com seus duzentos mil quilômetros qua-

drados, reunimos o efeito de tôdas as zonas com espaçamento normal de 1°. A quota de correção correspondente à compensação diz respeito ao sistema PRATT-HAYFORD com a clássica profundidade de 113,7 km.

Numa segunda etapa de nossos trabalhos pretendemos cobrir tôda a região sul brasileira, inclusive para o sistema de AIRY.

A determinação das altitudes médias das zonas 18 e 11 — justamente a parte mais laboriosa do processo — baseou-se em cartas de variadas escalas, de 1:500.00 a 1:5.000,00 diversos testes foram realizados confrontando as informações altimétricas de tais cartas com outras de escala maior, sempre com resultados satisfatórios. As zonas 18 e 14, para melhor precisão do trabalho, foram divididas em 16 comportamentos, conservando as demais a divisão tradicional de Hayford.

ZONAS DE HAYFORD

zona	raio maior	compar- timentos
0 ₂	1° 29' 58"	16
18	1 41 13	16
17	1 54 52	16
16	2 11 53	16
15	2 33 46	16
14'	3 03 05	16
13	4 19 13	16
12	5 46 34	10
11	7 51 30	8

Obtivemos o efeito topo-isostático, em décimos de miligal, mediante a seguinte adaptação das conhecidas fórmula de HAYFORD e BOWIE.

zbnas 18 a 14

$$205 \times 10^{-5} h \dots\dots(a)$$

$$126 \times 10^{-5} p$$

sendo h e p respectivamente a altitude e a profundidade média de cada zona.

Zonas 13 a 11

$$3281 \times 10^{-6} \dots\dots(b)$$

$$2015 \times 10^{-6}$$

Para as demais zonas utilizamos os mapas mundiais de HEISKANEN.

A expressão (b) mostra que um erro de 200 metros na altitude média de uma zona continental de 13 a 11 conduz a um erro de apenas seis centésimos de miligal; nos restantes casos, a situação é ainda mais favorável.

As correções retiradas do mapa vêm expressas em miligal e devem ser somadas algebricamente ao valor observado de g.

Com base nas altitudes médias das zonas, o efeito indireto pode ser calculado com relativa facilidade através as tabelas de LAMBERT ou LEJAY. Salvo, entretanto, o caso de regiões de topografia excessivamente movimentada, a variação do efeito BOWIE é muito lenta; bem por isso adotamos no presente ensaio as cartas mundiais de HEISKANEN e NISKANEN que propiciam, para a região em foco, a correção constante + 2,6 mgal, não incorporado ao mapa, e que deve ser somado ao valor observado.

A fórmula de STOKES para a determinação gravimétrica do geóide, estabelecida em 1849, somente em nosso século encontrou condições práticas de aplicabilidade. Para tanto contribuíram:

a) os notáveis melhoramentos que a tecnologia moderna introduziu nos gravímetros, possibilitando determinações relativas com grande facilidade e rapidez;

b) o dispositivo tripendular de VENING MEINESZ, para determinações gravimétricas oceânicas a bordo de submarinos, hoje superado pelos modernos gravímetros com plataforma estabilizadora usados em barcos de superfície.

Graças aos fatores apontados a fórmula de STOKES perdeu o seu aspecto acadêmico e ganhou atualidade mercê da possibilidade de pronunciar a distância geóide-elipsóide em qualquer ponto do planeta, ao contrário do que ocorre com o método astrogeodésico, confinado à parte acessível dos continentes, ou seja, a menos de um quarto da superfície terrestre.

Explica-se assim o papel relevante desempenhado em nossos dias pela Geodésia Física que tem no teorema de STOKES a sua base matemática e nas anomalias da gravidade o seu instrumento.

A anomalia de FAYE ou "free-air" obtém-se facilmente a partir da altitude da estação gravimétrica, razão pela qual sempre que possível tais estações coincidem com referências de nível da rede altimétrica de precisão.

A anomalia de BOUGER, a menos da "Gelandereduktion", é também de fácil obtenção; em países como o nosso, de topografia relativamente acidentada, a "Gelandereduktion" cujo cálculo, além de trabalhoso, exige boas cartas altimétricas, em especial nas vizinhanças da estação, pode ser negligenciada. Em Curitiba e Ponta Grossa, únicas regiões do Estado nas quais dispúnhamos de cartas em escala 1:10.000 e 1:25.000, obtive-

mos para a citada correção valores não superiores a 0,5 mgal.

O mesmo, entretanto, não se pode dizer em relação às anomalias isostáticas uma vez que nesse caso a redução de g demanda considerável labor pela fato de exigir a consideração das massas topográficas e das massas de compensação da Terra íoda. E é precisamente a anomalia que recomendamos porque:

1) a circunstância de serem as anomalias de BOUGER sistematicamente negativas nas regiões continentais e sistematicamente positivas nas zonas oceânicas, constitui indício bastante persuasivo de que o equilíbrio isostático é uma realidade;

2) a anomalia isostática é a mais representativa, fato que assume grande importância em nosso país, infelizmente ainda detentor do título de maior "vazio gravimétrico do mundo".

Muitos geodestas, seja pela carência de cartas hipsométricas e batimétricas cobrindo todo planeta, seja pelo volume e monotonia do trabalho de estimar altitudes médias, têm se afastado das reduções isostáticas. Todavia o método dito cartográfico permite superar tais dificuldades uma vez que circunscreve a ação do calculista às zonas literais de Hayford que se estendem apenas até 166 km do ponto em estudo.

Bem por isso o Centro de Estudos e Pesquisas de Geodésia da Escola de Engenharia da Universidade do Paraná, objetivando iniciar uma campanha de desenvolvimento da Geodésia Física entre nós, fez publicar um mapa do Estado com curvas de iso-correção topo-isostática das zonas 18 a 1 no sistema PRATT-HAYFORD com profundidade de compensação 113,7 km; o mapa em aprêço foi apresentado na 3.ª Reunião Brasileira de Consulta sobre Cartografia realizada em Pôrto Alegre em julho de 1961. Naquela oportunidade dissemos de nossa intenção em calcular tais curvas para tôda a região sul-brasileira; entretanto, logo em seguida veio a lume a publicação n. 35 do Instituto Isostático da Associação Geodésica Internacional "Topographic - isostatic reduction maps for the world for the Hayford zones 18-1, Airy-Heiskanen system, T-30 km". Mas não abandonamos nosso projeto por uma razão significativa: aquêles mapas, no que concerne ao Brasil, estão apoiados num número relativamente pequeno de pontos o que não acontece com o nosso trabalho cujos pontos básicos acham-se intervalados de apenas 1.º e, às vèzes, de tão sòmente 30.

Como da vez anterior obtivemos o efeito das zonas 10 e 1 a partir dos mapas de HEISKANEN e NUOTIO; o efeito das zonas 13 e 11 foi calculado, após a avaliação das altitudes e profundidades médias em cartas de escala variável de 1:500.000 a 1:5.000,00, por meio de fórmula adaptada daquelas de HAYFORD e BOWIE, para uma profundidade de compensação de 113,7 km.

As reduções isostáticas propiciam, reduzidos ao geóide, os valores de g produzidos não pela Terra real, mas por uma terra fictícia resultante da eliminação das massas topográficas e das correspondentes massas de compensação; faz-se mister, pois, reduzir ainda g ao cogeóide ou seja, à superfície de nível de potencial igual ao do geóide, e limitante da terra fictícia. A correção correspondente — efeito indireto ou efeito Bowie — pode ser obtida facilmente das tabelas de LEJAY ou dos mapas de HEISKANEN, ambos fundamentados nas tabelas de LAMBERT e DARLING. Para a região em tela podemos aceitar a correção constante + 2, 6 mgal, não incorporada ao mapa, e que deve ser somada ao valor observado da gravidade.

No que concerne ao tipo de anomalia que deve ser introduzida na fórmula de STOKES, podemos resumir o assunto da seguinte maneira:

Anomalia "free-air"

$$\Delta g = g + 0,3086 h - Y$$

com h em metros e as demais grandezas em miligal; a gravidade normal deve ser calculada por meio da "fórmula internacional" recomendada na Assembléia Geral da U.G.G.I., reunida em Estocolmo em 1930.

$$Y = 978,049 (1 + 0,0052884$$

$$\text{sen}^2 \phi - 0,0000059 \text{sen}^2 2 \phi$$

2 — Anomalia de Bouguer:

$$\Delta g_b = \Delta g - 0,1118 h + B + C$$

O valor de B, em nosso país normalmente inferior a 1,2 mgal, é tabelado em função da altitude h da estação gravimétrica (veja p.ex., pág. 67). C representa a "correção do terreno" que já salientamos ser desprezível no caso topografia pouco acidentada; desde que necessária, pode ser calculada, por exemplo, com as tabelas de LEJAY.

3 — Anomalia isostática:

$$\Delta g = \Delta g_b + C_i + C_{r_i}$$

C, representa a correção isostática relativa às zonas literais de HAYFORD (A a O); a correção topo-isostática relativa às zonas numeradas 18 a 1 que se estendem do limite exterior da zona O (166 km de raio) até a antípoda da estação em estudo.

É precisamente o valor C que o nosso mapa proporciona, por simples interpolação entre as curvas de iso-correção, simplificando de maneira sensível os cálculos. A unidade é o miligal, e o sistema isostático o de PRATT-HAYFORD com profundidade de compensação igual a 113,7 km.

Já se acham em elaboração no Centro de Estudos e Pesquisas de Geodésia mapas da mesma região para o sistema AIRY-HEISKANEN com T respectivamente igual a 20,30 e 40 km, ao mesmo tempo que se cogita estendê-la a outras partes do país.

