

# A EVOLUÇÃO DA GEODÉSIA

Prof<sup>o</sup> Camil Gemacl

## 1 - INTRODUÇÃO

Estação: Com. Robert

Coordenadas aproximadas:

$\varphi = 48^{\circ} 41' N$

$\lambda = 2^{\circ} 39' L$

Região: poucos quilômetros ao norte de Paris.

Equipamento: câmaras balísticas

Instituição: Institut Géographique National St. Mandé, Paris

Satélite: ECHO II

Objetivo: triangulação celeste fotografando o Echo II contra o céu estrelado

Estávamos então, abril de 1968, fazendo Geodésia de "ponta", revolucionária, substituindo os sinais luminosos de "VAISALA", por satélites artificiais. Primeiros e bem sucedidos passos da nascente Geodésia Espacial.

Decorreram duas décadas e meia; apenas 27 anos de uma ciência que tem suas raízes em ERATÓSTENES, dois séculos antes da era Cristã! E o que aconteceu neste curto intervalo de tempo?

As câmaras balísticas são agora peças de museu; foram substituídas pelo posicionamento via rastreamento DOPPLER de satélites passivos; técnica que se espalhou por todos os quadrantes com velocidade e sucesso incríveis. E com a mesma velocidade se tornou obsoleta, já substituída pelo GPS que hoje reina absoluto, responsável pela maior revolução em navegação e posicionamento geodésico!

E nessa marcha é provável que na virada do milênio tenhamos outra vez novidades... (a menos que você acredite que a Ciência vai estacionar...)

Como será a Geodésia do século XXI, já tão próximo?

Como não temos bola de cristal, e é temerário arriscar previsões face a rapidez com que avança a tecnologia de nossos dias, nos propomos a fazer o contrário: remontar às origens e acompanhar a evolução da Geodésia através dos tempos; dos filósofos gregos aos satélites artificiais.

## 2 - FORMA DA TERRA

O problema da forma e das dimensões da Terra é milenar; logo, por definição, também o é a Geodésia.

Costumamos considerar a evolução da Geodésia em duas etapas principais:

### a) Pré-história

De ERATÓSTENES (século II AC) às expedições francesas (1870)

### b) História

1º período: das expedições francesas a 1900.

2º período: no presente século até o lançamento do 1º Sputnik.

3º período: o que estamos vivendo.

## 3 - PRÉ-HISTÓRIA

As primeiras especulações sobre a forma da Terra, evidentemente revestidas de roupagens místicas, devem remontar aos primórdios da civilização, talvez aos primeiros seres inteligentes que ousaram levantar os olhos e o pensamento para o universo no qual estamos mergulhados procurando, em sua inata curiosidade, correlacionar o nosso planeta com os demais corpos celestes.

Ignoramos a que época remontam as primeiras idéias sobre a esfericidade terrestre. Sabemos, contudo, que há dois

milênios e meio PITÁGORAS se recusava a aceitar a concepção simplista de uma Terra plana; enquanto SÓCRATES, segundo revela PLATÃO em seus "Diálogos", esposava as mesmas idéias não obstante a sua incapacidade em prová-las [24].

No século IV AC, entretanto, a teoria da esfericidade ganharia força com os argumentos colhidos por ARISTÓTELES, notáveis para sua época: 1) o contorno circular da sombra projetada pela Terra nos eclipses da Lua; 2) a variação do aspecto do céu estrelado com a latitude; 3) a diferença de horário na observação de um mesmo eclipse para observadores situados em meridianos afastados.

Mas a grande proeza estava reservada a ERATÓSTENES que através de operações rústicas e até curiosas, mas de fundo astronômico-geodésico, **determinou o raio da Terra** dois séculos antes do nascimento de Cristo [03], [04], [07].

Um século mais tarde, em Rodes, POSIDÔNIO determinou também o raio terrestre por um método similar ao de ERATÓSTENES, aplicado, não ao sol, mas à estrela Canopus ( $\theta$  Carinae) [07].

Ptolomeu [07], [25], já no século II de nossa era, no seu **sistema geocêntrico**, afirmava a esfericidade (e a imobilidade) da Terra.

E não há mais registros, até que no final do primeiro milênio os árabes (única luz a brilhar nas trevas da Idade Média) realizaram na planície de Sindjar, na Mesopotâmia, medidas conducentes ao comprimento do arco de meridiano e, assim, ao valor do raio terrestre.

E finalmente, após decorridos mais 700 anos (!), SNELIUS, na Holanda e PICARD, na França, usaram uma cadeia de triangulação para calcular o raio do planeta suposto esférico.

COPÉRNICO, esfacelando as esferas do sistema geocêntrico destruiu duplamente o mito da imobilidade da Terra, conferindo-lhe um movimento roto-translatório. Talvez o genial polonês compreendesse estar lançando as bases da Astronomia Moderna, mas certamente ignorava as conseqüências de suas idéias no desenvolvimento da Geodésia. Com efeito, as especulações teóricas de NEWTON não toleravam harmonização entre o movimento de rotação e a forma perfeitamente esférica do planeta; ao contrário, postulavam, como conseqüência da força centrífuga, um eixo polar mais curto, abrindo caminho para a **era elipsoidal**. Aliás NEWTON, em abono de suas conclusões teóricas, aludia às observações pendulares de RICHTER (em Paris e em Caiena, 1672), de HALLEY, HAYES e outros, revelando todas o **aumento do período com a diminuição da latitude** [23].

Em 1718 surgiu o trabalho de CASSINI, "De la grandeur et de la figure de la terre", que tanta celeuma despertou na Europa. CASSINI, prosseguindo na triangulação iniciada por PICARD, acabou concluindo que o comprimento de um arco de meridiano de um grau decresce quando a latitude aumenta, resultando um eixo polar maior que o diâmetro equatorial.

Tais resultados, em franca contradição com as conclusões newtonianas, deram origem à tão conhecida e então acirrada polêmica entre as duas facções que se formaram na Europa: adeptos de uma Terra achatada (NEWTON) e adeptos de uma Terra "alongada" (CASSINI).

Não cremos estar infringindo a verdade ao afirmar que tal controvérsia, pelas conseqüências que determinou, demarca o início da moderna Geodésia. Com efeito, para dirimir tal dúvida a Academia de Ciências de Paris decidiu patrocinar a medida de um arco de meridiano de um grau próximo ao equador (BOUGUER, GODIN, LA CONDAMINE) e de outro junto ao círculo polar ártico

(LEMONIER, CAMUS, CLAIRAUT). Resultado: arco equatorial 110.614m; arco polar 111.949m, com a conseqüente vitória das idéias newtonianas de uma Terra achatada [07].

## 5 - GEODÉSIA MODERNA : 1º PERÍODO

Com a adoção do modelo elipsoidal tem início a Geodésia Moderna; em outras palavras, nos dois séculos e meio que se seguiram às "aventuras" de CLAIRAUT e BOUGUER, a Geodésia se erigiu, paulatina mas definitivamente, em uma ciência independente.

O primeiro período caracterizou-se por um desenvolvimento lento mas contínuo da Geodésia com as triangulações espalhando-se por todos os continentes. A tônica da grande maioria das pesquisas: dimensões do "melhor" elipsóide.

O postulado newtoniano do achatamento terrestre foi demonstrado sucessivamente por HUYGENS (1690), MACLAURIN (1742) e CLAIRAUT (1743). Aliás o trabalho de CLAIRAUT, considerado uma autêntica obra prima, estendeu as demonstrações anteriores ao caso de uma elipsóide não homogêneo.

LAPLACE, LEGENDRE, LIAPOUNOFF, POINCARÉ, DARWIN, HAMY, VERONET ligaram seus nomes às especulações teóricas sobre a forma de equilíbrio de uma massa fluida isolada no espaço e submetida à ação da gravidade. JACOBI demonstrou que o elipsóide escaleno também é figura de equilíbrio.

O Método dos Mínimos Quadrados, desenvolvido independentemente por GAUSS e LEGENDRE no início do século XIX, passou a se constituir na mais importante ferramenta matemática da Geodésia.

Gradativamente as triangulações foram se estendendo por todos os continentes; o constante aperfeiçoamento dos teodolitos e dos basímetros, estes evoluindo das réguas

bimetálicas rígidas para os fios de invar, aliado a métodos de cálculo cada vez mais eficientes, possibilitaram a determinação dos parâmetros elipsoidais com precisão sempre crescente.

Nos meados do século passado discussões em torno do desvio da vertical em vértices da triangulação inglesa na Índia, próximos ao Himalaia, conduziram às teorias isostáticas de PRATT e de AYRY [09], [20], [21].

Mas até o fim do século XIX predominaram os trabalhos de natureza astro-geodésica, característicos da Geodésia Geométrica, a medida de arcos de meridiano se constituindo no ingrediente fundamental das pesquisas.

## 6 - 2º PERÍODO

A primeira metade do presente século caracterizou-se, principalmente, pelo desenvolvimento da Geodésia Física, pela maior ênfase na determinação do geóide e, no após guerra, pela introdução dos distanciômetros eletrônicos, terrestres e aerotransportados. Paralelamente a Geodésia ampliou os seus objetivos passando a empenhar-se na determinação dos parâmetros definidores do campo da gravidade. Finalmente o 2º período culminou com as idéias revolucionárias de MOLODENSKI resolvendo o principal problema de contorno da Geodésia Física.

A fórmula de STOKES [31] para a determinação gravimétrica das ondulações do geóide, deduzida em 1849, por exigir o conhecimento do campo da gravidade na total superfície terrestre oferecia um interesse puramente teórico. Mas o extraordinário aperfeiçoamento sofrido pelos gravímetros, possibilitando a medida relativa da gravidade com grande rapidez e a invenção do dispositivo tripendular de VENING-MEINEZ [34] que abriu os oceanos às determinações gravimétricas, imprimiram à Geodésia Física um vigoroso impulso.

Sucederam-se os trabalhos pioneiros de HIRVONEN [11] e TANNI [32] que culminaram com o geóide de Columbus, calculado por HEISKAEN [10] (coincidentemente finlandês como os dois anteriores).

Na Rússia ZHONGOLOVICH procurou compensar a insuficiência e má distribuição geográfica dos levantamentos gravimétricos desenvolvendo as anomalias da gravidade em série de harmônicos esféricos, prática hoje bastante utilizada.

Também as fórmulas de VENING-MEINESZ, que derivam da de STOKES, para a obtenção gravimétrica das componentes principais do desvio da vertical, passaram a ser bastante utilizadas.

Ainda na Rússia MOLODENSKI e KRASSOWSKI [16] desenvolveram a interessante técnica do nivelamento astronômico-gravimétrico para a determinação do desvio da vertical, com o que o método astro-geodésico e o gravimétrico deixaram de ser competitivos para se tornarem complementares (origem dos métodos combinados, hoje tão em voga).

Caberia ainda a MOLODENSKI a proeza mais significativa desse 2º período em termos de Geodésia Física: erigiu uma nova teoria gravimétrica que dispensa, ao contrário da clássica, as precárias "aproximações" que são feitas sobre a densidade do material que compõe a crosta terrestre. Abandonando o geóide (!), substituído pelo quase geóide e pelo teluróide, MOLODENSKI resolveu, após não simples trabalho matemático, o principal problema de contorno da Geodésia Física: a determinação gravimétrica direta da superfície física da Terra. [19].

Mas os progressos registrados no 2º período não se limitaram à Geodésia Física; também a Geodésia Geométrica foi beneficiada. Ao término da 2ª Guerra Mundial o interesse pela aplicação de certas "armas secretas" como, p.ex., o equipamento eletrônico utilizado nos "bombardeios cegos",

conduziu aos distanciômetros eletrônicos de imediato emprego em navegação, e que rapidamente evoluíram para técnicas mais sofisticadas de levantamentos terrestres. Foi o caso do SHORAN, do HIRAN e do SHIRAN, que utilizando distanciômetros aero-transportados para medida de grandes distâncias terrestres introduziram em Geodésia uma nova técnica: **trilateração** de lados longos, possibilitando, inclusive, as primeiras conexões de sistemas geodésicos. [00], [26], [27].

O aparecimento dos distanciômetros portáteis utilizando microondas, luz ordinária, infravermelho ou laser, revolucionou o secular problema da **medida da base geodésica** e tornou comum a **poligonação geodésica de precisão**; esta teve conseqüências imediatas no problema da densificação do apoio visando o mapeamento sistemático, assunto de palpitante interesse para o nosso país, face à extensão das regiões não cartografadas.

Finalmente a década 50-60, a última deste período, registrou dois eventos espetaculares que iriam proporcionar à Geodésia de nossos dias dimensões jamais sonhadas: 1) a vulgarização dos computadores; 2) o lançamento do primeiro Sputnik.

### 7 - 3º PERÍODO (ERA ESPACIAL)

O 3º período, coincidente com a era espacial, é o mais curto: mal completou 35 anos; entretanto, face aos extraordinários recursos que a tecnologia nos oferece a cada dia, é o mais fecundo e mais revolucionário. Os progressos naturalmente lentos que a Geodésia registrou nos dois primeiros séculos de sua existência, e que sofreram uma aceleração nas décadas de 1930 a 1960, nos últimos anos passaram a ser medidos numa escala "astronômica".

As raízes dessa arrancada prodigiosa se localizam, conforme acentuamos anteriormente, em dois acontecimentos registrados nos anos 50: o aparecimento e a

rápida disseminação dos computadores e a colocação em órbita, na histórica data de 4 de outubro de 1957, do primeiro satélite artificial da Terra.

O geodesta de ontem consumia meses para reunir algumas observações com seus teodolitos, basímetros e níveis. Hoje em alguns métodos de Geodésia Celeste poucos minutos de trabalho bastam para soterrá-lo sob uma avalanche de observações. E também para inibi-lo de qualquer processo de análise, se não dispuser de uma organização estruturada, no sentido de arquivar, reduzir e manipular, racional e automaticamente, os dados tão rapidamente acumulados.

Não cremos estar incorrendo em erro ao afirmar que o cientista moderno coleta informes numa escala que supera a sua habilidade em manipulá-los. O que torna ainda mais vivo o velho aforismo de que a Ciência não morre porque cria mais problemas do que resolve...

Como se trata de um período contemporâneo, que todos estamos vivendo, nos limitaremos a um breve resumo, desde já enfatizando as suas principais características: a) Geodésia tridimensional; b) sistema geodésico mundial (geocêntrico); c) posicionamento automático; d) Geodésia extraterrestre; e) estrutura do campo da gravidade.

Triangulação Celeste - A Geodésia Celeste ou Espacial teve como primeira ferramenta as chamadas câmaras balísticas; em verdade "nada de novo"; conceitualmente, mera substituição dos alvos luminosos da "triangulação estelar de VAISALA" [33] por uma baliza espacial: o satélite artificial. Este era fotografado simultaneamente, a partir de duas estações terrestres não intervisíveis, contra o firmamento estrelado. Em 1966, com o lançamento do PAGEOS I, o antigo Coast and Geodetic Survey deu início ao seu "World Geometric Satellite Triangulation Program". As observações, realizadas com 16 câmaras Wild BC-4 e duas PC-1000, consubstanciadas

em 3670 fotos, conduziram a um sistema geodésico que cobriu todo o planeta [29].

O Smithsonian Astrophysical Observatory [28] utilizando a mais sofisticada câmara, a BAKER-NUUN, valeu-se do "método orbital" que exige o conhecimento da órbita do satélite (em sua essência é similar ao método da "câmara lunar de MARKOWITZ" [17].

O SECOR (Sequential Collation of Range) foi utilizado pelo exército norte americano na década 1960-70 no posicionamento; ao contrário dos casos anteriores, o satélite era ativo [13].

Rastreo a laser - No dia 09 de outubro de 1964 a NASA colocou em órbita o Explorer S-66, primeiro satélite munido de espelhos retro-refletores para devolver ao emissor os pulsos de laser que sobre eles incidem. Hoje tais satélites se multiplicaram. Exemplos de aplicações [01], [05], [08], [22].

a) O SLR (Satellite Laser Ranging).

b) O projeto LAGEOS (Laser Geodynamics Satellite): o Lageos é um pequeno satélite, com 60 cm de diâmetro, destinado a pesquisas na área da Geodinâmica.

c) LLR (Lunar Ranging Laser): Quando a Apollo 11 pousou na superfície da Lua em 21 de julho de 1969, na primeira grande aventura extraterrestre do homem, várias experiências, longamente preparadas, tiveram início; p.ex. ARMSTRONG e ALDRIN deixaram na desértica paisagem do nosso satélite natural um painel com apenas meio metro quadrado de superfície contendo 100 pequenos retro-refletores de sílica fundida. Nove dias depois o Observatório de Lick, da Universidade da Califórnia, captou os primeiros ecos laser. As medidas hoje efetuadas oferecem precisão da ordem do nanosegundo.

Parâmetros do campo da gravidade

- O geopotencial ou potencial da Terra pode ser representado por uma série de harmônicos esféricos de superfície de grau  $n$  no qual aparecem  $n$  zonais,  $2n-2$  sectoriais e  $n(n-1)$

tesserais num total de  $(n+1)^2 - 3$  coeficientes a determinar (!). No início da era espacial eram conhecidos poucos de tais parâmetros [08]. Hoje, graças a aplicação da Mecânica Celeste ao estudo das perturbações orbitais dos satélites artificiais esse número ascende, com maior ou menor precisão, a várias centenas ou a alguns milhares. São as "coleções de coeficientes" ou "modelos do geopotencial" como os do Goddard Space Flight Center designados com a sigla GEM (Goddard Earth Model): o GEM-7, fruto exclusivo de observações sobre satélites (rastreamento fotográfico, radar, laser, Doppler) reúne coeficientes até o grau  $n = 16$ ; a partir do GEM-10 os modelos passaram a incluir observações gravimétricas terrestres além de altimetria celeste; no GEM - 10C :  $n = 180$  (!).

Outras instituições têm investigado também nessa área como o Smithsonian Astrophysical Observatory (Standard Earth), o Groupe de Recherche de Géodesie Spatiale (GRIM), a Technische Universität München e a Ohio State University ( $n = 180$ ).

Convém lembrar que tais coeficientes têm sido utilizados nos métodos combinados para determinação do geóide.

Determinações gravimétricas - A determinação do módulo do vetor acelerado da gravidade apresentava um paralelo com o nivelamento no concernente à precisão: as medidas relativas eram mais precisas que as absolutas. Hoje o panorama é outro, pois os "gravímetros absolutos" propiciam  $g$  com precisão da ordem de 10 microgals. Exemplo é a Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas instituída pela UFPr, graças à colaboração da Universidade de Hannover [9A], [9B], [9C].

Marés terrestres - Em alguns casos pode ser necessário lembrar que "a Terra do geodesta moderno não é rígida"; as "marés terrestres", ao patamar de precisão de nossos dias, afetam as ondulações geoidais, as altitudes, etc. O fator gravimétrico, p.ex., necessário nas reduções gravimétricas não só

ao geodesta, mas também ao geofísico e ao geólogo, foi determinado para as diferentes regiões do Brasil pela UFPr [9D].

Gradiometria - É o setor da Geodésia Física que trata da determinação dos gradientes, horizontal e vertical, da gravidade. O primeiro "gradiômetro" foi a balança de torção de Eotvos. Os gradiômetros modernos, que operam com base em princípios dinâmicos, se fazem necessários face ao avanço das técnicas de navegação inercial que antes se baseavam apenas no campo da gravidade **normal**.

VLBI (Very Long Base Interferometry) - No início da era espacial os americanos estabeleceram uma rede de estações de rastreamento pelo método interferométrico. Em essência duas antenas situadas a uma distância conhecida (base) recebem os sinais emanados de um satélite artificial; a diferença de fase com que os sinais chegam às duas antenas permite determinar o ângulo que a base forma com a direção do satélite. O que hoje se conhece por VLBI é o método interferométrico com bases muito longas, de até milhares de quilômetros e com antenas independentes, isto é, não interligadas fisicamente. Os sinais provindos, não de satélites mas de rádio fontes extra galácticas, são registrados em fita magnética juntamente com a hora da recepção, esta fornecida por um relógio atômico. Posteriormente as fitas são correlacionadas obtendo-se a distância entre as antenas ao nível do centímetro. Aplicação: rede de estações permanentes para estudar movimentos da crosta, movimento do pólo, variação da velocidade de rotação da Terra, etc [30].

Altimetria Celeste - Na chamada altimetria celeste um satélite artificial de órbita conhecida transporta um distanciômetro a radar ou laser, mede a sua distância à superfície instantânea do oceano e a transmite a um receptor terrestre. Os primeiros passos experimentais foram dados com o SKYLAB colocado em órbita no dia 14 de maio de 1973 com altura média de 440 km e inclinação de

50º. O êxito obtido justificou novas missões, seguindo-se os satélites GEOS-3 e SEASAT. Este último, desativado em 106 dias apenas, quando a sua vida útil era prevista para no mínimo um ano; mesmo assim conseguiu realizar cerca de quatro milhões de medidas [14], [15], [18].

DOPPLER + GPS - São assuntos por demais atuais que o leitor domina amplamente, razão pela qual serão omitidos deste nosso rápido histórico.

## 8 - FINALIZANDO

Como mencionamos anteriormente, depois de dois séculos e meio de um desenvolvimento contínuo, porém lento, hoje as transformações se sucedem num crescendo espantoso que só nos traz uma certeza: deverão continuar, num ritmo ainda maior (a menos, como dissemos, que você acredite, na estagnação da Ciência....). De nossa parte apenas uma previsão a curto prazo: **um sistema geodésico mundial (geocêntrico).**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 00 - ALAKSON, C - The importance of Shoran in surveying Trans. Am Soc. of Civil Engineers, vol. 120, 1955.
- 01 - BENDER, P.L. et alii - The lunar ranging experiment Science, vol. 18; 229-238. 1973
- 02 - DELAMBRE, J.B.J. - Grandeur et figure de la terre. Paris, Gauthier - Villars, 1912, 401 p.
- 03 - DOUBLET, E. - Histoire de l'Astronomie. Librairie Paris, 1922, 572 p.
- 04 - DREYER, J.L.E. - A history of Astronomy from Thales to Kepler. 2nd. ed., Dover Publications, 1953, 438
- 05 - FAJEMIKORUM, F. A. - Application of laser ranging and VLBI observations for selenodetic control. OSU, Report nº 157, Columbus, 1971
- 06 - FUBARA, D. & MOORAD, A.G. - Impact of satellite altimetry on geodetic datum definition. Intern. Symposium on Redefinition of N.A. Geodetic Networks. UNB, 1974.
- 07 - GEMAEL, C.- Introdução à Geodésia Geométrica. UFPr, Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, 1987
- 08 - GEMAEL, C.- Introdução à Geodésia Celeste. UFPr, Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, 1991.
- 09 - GEMAEL, C.- Introdução à Geodésia Física. UFPr, Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, 1988.
- 9A - GEMAEL, C. et alii - Large-scale absolute gravity control in Brazil. General Meeting of the IAG. Edimburg, R. U., 1989.
- 9B - GEMAEL, C. et alii - Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas - RENEGA. XIV Congresso Brasileiro de Cartografia. Gramado, 1989.
- 9C - GEMAEL, C. & ROSIER, F. - Calibração de gravímetros usando a RENEGA. Anais do 2º Congresso Int. da SBGf. Salvador, 1991.
- 9D - GEMAEL, C. - O fator gravimétrico no Brasil. Anais do Congresso Int. da SBGf.
- 10 - HEISKANEN, W. - The Columbus geoid. Transaction, Am. Geoph. Union, December 1957.
- 11 - HIRVONEN, R. A. - The continental undulations of the geoid. Veroffentl. Finn. Inst (Helsinki) nº 19.
- 12 - I.H.B. - Radio aids to maritime navigation and hydrography. Publication nº 39, Mônaco, 1956.
- 13 - JENKINS, H. - SECOR for satellite Geodesy. In: Reseau géodésique européen par

observation de satellites Symposium de Paris, 1964.

14 - KAHN, W. D. et alii - Mean sea level determination from satellite altimetry. *Marine Geodesy*, vol 12 n° 2, 1979.

15 - KOCH, K. R. - Processing of altimetry data. B.G. n° 115, 1975.

16 - KRASSOWSKI, N. T. - Empleo de material astronomico-geodesico y gravimetrico para la determinacion de la forma del geoid. Buenos Aires, Inst. Geog. Mil., Folheto de divulgacion n° 11 (Tr. do russo), 1936

17 - MARKOWITZ, W. - Photographic determination of the moon's position and applications to the measure of time, rotation of the earth and Geodesy. *The Astron. J.*, 59 (2):69-73.

18 - MARSH, J. et alii - Mean sea surface computation using GEOS-3 altimeter data. *Marine Geodesy* (3), n° 1, 1980.

19 - MOLODENSKI, M. S. et alii- Methods for study of the external gravitational field and figure of the earth (Tradução do russo). Dep. of Commerce, Washington, 1960.

20 - MORITZ, H. & HEISKANEN, W. - *Physical Geodesy*. Freeman and Co., S. Francisco, 1967.

21 - MORITZ, H. - *Advanced physical geodesy*. Herbert W., Karlsruhe, 1980.

22 - MULHOLLAN, J. - Scientific achievements from ten years of lunar laser ranging. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, vol. 18, n° 3, 1980.

23 - NEWTON, I. - *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, In: Hutchins, R.M. ed: *Great books of the western world*. Londres, 1955.

24 - PLATÃO - *The dialogues of Plato*. In Hutchins, R.M. ed: *Great books of the western world*. Londres, 1955.

25 - PTOLOMEU, C. - *The almagest*.

26 - ROSS, J.E.R. - *Geodetic problems in Shoran*. Geodetic Survey of Canada, Publ. n° 76, Ottawa, 1950.

27 - ROSS, J.E.R. - *Shoran triangulation in Western Canada*. Geodetic Survey of Canada, Ottawa, 1951.

28 - S.A.O. - *Geodetic parameters for a 1966 Smithsonian Institution Standard Earth*. Edited by Lundquist, A Special Report 200 - 1966.

29 - SCHMID, H. - Status of data reduction and analysis method for the world-wide geometric satellite triangulation program. In: *The use of artificial satellites for Geodesy*. A.G.U., Geophysical Monograph n° 15, 1972.

30 - SHAPIRO, I. I. et alii - Transcontinental base lines and the rotation of the earth measured by radio interferometry. *Science* 186 (4167):920-1, 1974.

31 - STOKES, G. G. - On the variation of gravity on the surface of the earth. In: *Mathematical and Physical Papers*, vol. II p. 131-171, 1849.

32 - TANNI, L. On the continental undulations of the geoid as determined from the present gravity material. Publ. Isost. Inst. IAG (Helsinki) n° 18, 1948.

33 - VAISALA, Y. & OTERMA, L.- *Anwendung der astronomischen triangulation methode*. Veroffent. Finn, Geod. Inst. n° 53, Helsinki, 1960.

34 - WENING-MEINESZ, F. A. - *Gravity expeditions at sea*.