

NOTAS SÔBRE NIVELAMENTOS BAROMÉTRICOS

por Allyrio Huguenev de Mattos.

I - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em 1.951 publicamos na "Revista Brasileira de Fotogrametria" um artigo intitulado "Barômetros, Aneróides e Altímetros com o objetivo de alertar os profissionais a respeito da possível confusão sôbre a natureza dos instrumentos ali citados, como também esclarecer certos pontos, que, não levados em consideração, podem desmoralizar o método de nivelamento barométrico.

Como êsse tipo de nivelamento é hoje em dia, cada vez mais usado, não só nos reconhecimentos geográficos e topográficos, mas principalmente nos trabalhos de contrôle fotogramétrico, onde se exige a precisão de um metro, parecia-me necessário voltar ao assunto.

Considerando que muitos leitores desta Revista não terão lido a Revista Brasileira de Fotogrametria, julgamos de bom alvitre repetir aqui, pelo menos, os conceitos fundamentais expendidos naquele artigo. Em seguida desenvolveremos mais o assunto, a fim de mostrar o grande partido que se pode tirar do método, principalmente quando se dispõe de aneróides ou altímetros modernos, de grande sensibilidade.

Voltando, pois, ao artigo acima citado, resumiremos os pontos fundamentais.

Em primeiro lugar, nele chamamos a atenção do leitor para o fato que, barômetros, aneróides e altímetros são afinal de contas instrumentos destinados simplesmente à medida

da pressão atmosférica, diferindo o primeiro dos outros dois somente pelo modo de construção (barómetros usam mercúrio e aneróides ou altímetros baseiam-se em uma caixa ou capsula metálica, em cujo interior se faz vácuo) e diferindo os altímetros dos aneróides somente pelo mostrador que nêstes indica a pressão atmosférica em milibars ou milímetros de mercúrio e naqueles indica a altitude baseada em uma relação teórica tirada da fórmula clássica, chamada simplesmente fórmula barométrica.

Passamos em seguida à análise do fenômeno, mostrando que a rigor não existe uma relação constante entre pressão e altitude, como fazem crer todos os altímetros.

Com efeito, em qualquer altímetro a uma dada pressão corresponde sempre a mesma altitude, o que contraria a natureza do fenômeno.

Para corrigir o erro, os fabricantes mandam introduzir uma correção de temperatura, o que não basta, porque chegariam por êsse artifício à conclusão que para uma dada pressão sob dada temperatura, corresponde uma única altitude e que ainda não é verdade.

Sabemos que em um dado lugar a pressão atmosférica apresenta variações diurnas, estacionais e ocasionais ou acidentais, devidas as condições meteorológicas.

Assim, por exemplo aqui, a pressão oscila diariamente em média 4 milímetros, apresentando dois máximos (por volta de 11 horas e 23 horas) e dois mínimos (por volta de 4 horas e 15 horas) enquanto a temperatura apresenta um máximo nas voltas de 15 horas e um mínimo nas voltas de 4 horas.

Esta observação é suficiente para por em evidência a falta de correspondência entre a pressão e a temperatura. A variação estacional é mais fácil de explicar porque sendo a temperatura mais baixa no inverno que no verão, a atmosfera, obedecendo

às leis de Boyle Mariotte e Gay Lussac, será mais densa no inverno, e a pressão consequentemente maior.

As variações ocasionais devidas às condições meteorológicas produzidas pelas chamadas altas ou baixas, (anti-ciclones e ciclones) presentes nas proximidades de tempestades ou mesmo durante estas, são muito mais pronunciadas, podendo exceder de 10 milímetros de mercúrio.

Quando se considera que cada variação de 1 mm de mercúrio corresponde aproximadamente a 11 metros em altitude, vê-se imediatamente que podemos cometer erros que vão de 40 a 100 metros ou às vezes mais.

Há aneroides que trazem a dupla graduação, isto é: em milímetros de mercúrio e em metros. Estes parecem-nos mais fáceis de controlar e pôr em evidência a falsa correspondência. Si a correspondência fôr uniforme, isto é: se a cada de crêscimo de pressão apresentar êle um mesmo acréscimo de altitudes há um erro evidente. Já temos visto instrumentos com graduações nessas condições. (Veja adiante grão barométrico). Si o altímetro traz somente a graduação altimétrica, não podemos tirar qualquer conclusão, a não ser percorrendo trajetos onde se possa atingir altitudes conhecidas por outra espécie de nivelamento e comparando as altitudes determinadas barométricamente com aquelas.

Mostramos em seguida que a fórmula barométrica é baseada nas 2 seguintes hipóteses:

a - a atmosfera obedece às leis de Boyle-Mariotte e Gay Lussac (o que é apenas aproximativo em vista de não ser a atmosfera um gaz perfeito);

b - a atmosfera está em equilíbrio estático (isto é: cada elemento de atmosfera está equilibrado por duas pressões iguais e opostas, a saber: a pressão produzida pelo peso da coluna atmosférica superior e pressão da coluna inferior).

A fórmula barométrica exprime na realidade a di

ferença de altitude de 2 pontos em função das pressões atmosféricas nesses mesmos pontos, suposto que: os dois pontos estão na mesma vertical e que as pressões foram medidas no mesmo instante. As condições exigidas pela fórmula não são satisfeitas na prática. Tratando-se de determinação de altitudes de 2 pontos não situados na mesma vertical é necessário que os pontos não sejam, muito afastados entre si, e que as condições atmosféricas sejam iguais nos dois pontos, para que a hipótese do equilíbrio estático possa ser aceita.

Damos a seguir a fórmula clássica, para proceder a uma análise mais completa. Consideremos dois pontos M e N. Em N conhece-se a sua altitude e chama-lo-emos ponto fixo ou de referência, em M quer-se determinar a altitude.

Sejam:

- B e b as pressões em M e N
- H e h as altitudes em M e N
- t = média das temperaturas  $t_1$  e  $t_2$  do ar em M e N
- e = média das tensões do vapor d'água nos dois pontos
- L = latitude geográfica dos dois pontos, supostos situados na mesma coluna (ou muito próximas)
- p = média das pressões B e b
- $H_m$  = a média das altitudes obtidas com uma ligeira aproximação
- $r$  = o raio da terra

Seja  $a_1$  a primeira aproximação da diferença de altitudes, dada pela primeira parte da fórmula:

$$a_1 = 18.400 \log. \frac{B}{b} \quad \text{ou:} \quad 300 \times 30,5/1.000 = 2,3 \text{ m}$$

$$a_1 = 18.400 \log. B - 18.400 \log. b \quad (1)$$

Valôr este, que pode ser obtido por meio de tabelas ou pela simples leitura da graduação existente no altímetro (tábua 1).

Temos agora os chamados termos corretivos que tomam em consideração a temperatura, tensão do vapor d'água latitude e altitude. São êles:

$$0,00366 a_1 t + 0,377 a_1 e/p + 0,00265 a_1 \cos 2L + \frac{2 a_1 H}{r} \quad (2)$$

As grandezas B, b, e e p podem ser expressas em milímetros ou milibars. O milibar (mb) vale 3/4 de milímetro de Hg e o mm Hg vale 4/3 de mb. O primeiro termo da fórmula (2) considera a temperatura do ar. Como a variação da temperatura altera a densidade do ar, esta por sua vez altera a pressão e por conseguinte afeta o resultado obtido pela fórmula (1). Este termo pode também ser tabelado (tabua II).

O segundo termo, geralmente descurado, por ser mais difícil de observar, deve ser responsabilizado por uma parte considerável dos erros cometidos no nivelamento barométrico. A sua falta anula de princípio qualquer veleidade de precisão que se pense atribuir no nivelamento barométrico.

Para mostrar a sua importância, basta examinar alguns números. No Rio de Janeiro, a tensão do vapor d'água oscila entre os valores médios de 18 a 25 mb (milibar) ou de 13,5 e 18,7 mmHg (milímetros de mercúrio). Consideremos a média desses 2 valores: 21,5 mb ou 16,1 mm. Para uma pressão média de 1 000 mb = 750 mmHg e uma diferença de altitudes de 200 metros, a correção de unidade será:

$$\begin{aligned} 0,377 \times 200 \times 21,5/1\ 000 \text{ (mb)} &= 1,6 \text{ m} \\ 0,377 \times 200 \times 16,1/750 \text{ (mm)} & \end{aligned}$$

Em Sena Madureira, Acre, onde a tensão do vapor d'água vai de 28 a 33 mb, para os mesmos valores dados acima e adotando a média 30,5 mb, teríamos:

$$0,377 \times 200 \times 30,5/1\ 000 = 2,3 \text{ m}$$

Não precisamos mais exemplos para mostrar o erro que produz no nivelamento barométrico a simples ausência da correção de unidade.

O terceiro termo, dependente da latitude geográfica só atinge valores apreciáveis em diferenças de nível superiores a 250 m. No Brasil, pode se dar a este termo com muito pequeno erro

o valor aproximado:

$$0,002 a_1 \text{ em lugar de } 0,00265 a_1 \cos 2L$$

Como exemplo teríamos para uma diferença de 250 metros

$$0,002 \times 250 = 0,5 \text{ m}$$

O último termo raramente ultrapassará 0,1 m.

Antes de prosseguir, queremos ainda fazer algumas considerações sobre os altímetros, todos eles de fabricação europeia ou americana.

A fim de simplificar as operações, esses altímetros procuram estabelecer a relação entre as altitudes e pressões, baseados em condições médias.

Jordan, no seu famoso livro "Vermessungskunde 2º volume, 2ª parte, diz que na Alemanha o valor médio da tensão de vapor d'agua é 7,2 mm. Nos nossos climas tropicais ou semitropicais tal valor existe somente no alto do Itatiaia em 2 meses de inverno e no Nordeste por ocasião das secas. Geralmente os valores mais baixos são encontrados nas maiores altitudes e climas mais frios como Lajes (SC), Caxias (RGS), São Lourenço (MG), etc. onde podem atingir as vezes o valor dado por Jordan ao passo que nos lugares baixos e climas quentes os menores valores já são da ordem de 13 mm e os máximos podem atingir 25 mm.

Baseado nas médias admitidas por Jordan para Alemanha:

Latitude 50º, Hm = 500m,  $e/p = \frac{7,2}{720} = 0,01$ , o coeficiente da fórmula barométrica passa a ser 18.464 em lugar de 18.400.

Os altímetros Paulin, muito usados entre nós e recomendáveis por sua alta sensibilidade tem a sua graduação altimétrica, baseada, na temperatura de 10ºC,  $e/p = 0,01$  e H = 500m resultando para o coeficiente da fórmula um acréscimo da ordem de 4% isto é: passando de 18.400 a 19.136. m 19138

Nessas condições, o uso dos altímetros Paulin no Brasil, necessita correções suplementares relativas a temperatura

cuja origem é 10°C, à umidade, cuja relação origem é e/p = 0,01 e à latitude 50°.

Portanto, podemos escrever a fórmula adaptável ao uso do altímetro Paulin, convenientemente corrigida e aceitando a graduação altimétrica, tal como ela se apresenta e observando ainda que a pressão adotada para o nível médio do mar é de 762 mm Hg ao en vés de 760.

Assim teremos na graduação altimétrica a expressão:

$$a_1 = 19.136 \log. \left( \frac{B}{762} \right)$$

As correções a acrescentar serão:

a - Para a temperatura:  $0,00366 h_1 (t-10)$  (tabela da no folheto fornecido pela fábrica).

b - Para a umidade: (negligenciada pelo fabricante):

$$0,377 (e/p - 0,01)$$

c - Para a latitude:

$$(0,002 + 0,00045) a_1 = 0,0025 a_1$$

Vê-se que a correção de umidade para o menor valor do Rio de Janeiro, por exemplo será em média:

$$e = 16\text{mm e } p = 750 \text{ mm}$$

$$0,377 \left( \frac{16}{750} - 0,01 \right) a_1 = 0,0043 a_1$$

o que daria para uma diferença de nível de 250 metros uma correção de 1,08 metros.

Parece-nos ficar bastante esclarecido que não se pode abandonar a correção de umidade, quando se quer obter altitudes com erro inferior a 1 metro como é o caso do controle fotogramétrico.

Cumpre-nos ainda alertar os leitores para a ilusão a que podem ser levados pelo bom erro de fechamento que possa apresentar um circuito fechado barométricamente nivelado. As considerações acima mostram claramente que, quaisquer que sejam os coeficientes ado

tados pelas graduações altimétricas, em um circuito fechado cuidadosamente nivelado, com um barometro fixo de comparação (que é o método mais recomendável), o erro de fechamento poderá ser nulo mesmo, apesar das altitudes intermediárias estarem tanto mais erradas quanto maiores forem as diferenças de altitudes observadas. O erro de um circuito fechado revela apenas as variações de pressão devidas as alterações atmosféricas locais, a imprecisão das medidas e a imprecisão intrínseca da própria fórmula.

A única prova eficaz da precisão de um nivelamento barométrico é a que fôr obtida em circuitos abertos ou fechados nos quais se encontrem referências de nível (RN) estabelecidas por nivelamento geométrico (e em certas condições por nivelamentos taqueométricos).

Devemos ainda fazer algumas considerações sobre os altímetros americanos.

Há dois tipos de graduação, um baseado nas tábuas da Smithsonian Meteorological Tables, Fifth Edition revised e outra é da NACA Standard Atmosphere (NACA = National Advisory Committee for Aeronautics).

A primeira baseia-se na temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  e pressão normal de 759,5 mmHg.

A segunda, mais adaptada à navegação aérea, adota uma temperatura variável com a altitude e baseado no grão hipsoométrico ( $0,0065^{\circ}\text{C}$  de diminuição de temperatura para cada metro de elevação ou  $1^{\circ}\text{C}$  para 154m).

Dêste modo, a temperatura correspondente a cada altitude é visinha da temperatura normal, o que é muito conveniente na determinação da altitude do avião, porque pela simples leitura do altímetro já se obtém uma precisão satisfatória, sem qualquer correção de temperatura.

Vê-se imediatamente que tal graduação não é con-

veniente as determinações topográficas, a menos que se faça a redução das leituras obtidas nesses altímetros a leitura correspondente à temperatura constante.

Os aneróides Wallace Tierman usam a graduação do primeiro tipo acima descrito, enquanto os altímetros destinados à navegação aérea usam a graduação da NACA.

## 2 - MÉTODOS DE NIVELAMENTOS BAROMÉTRICOS

Na prática, procura-se sempre percorrer um dado circuito, no qual se fazem muitas determinações. É conveniente por conseguinte estabelecer um método de trabalho, que aumente o rendimento de serviço.

Qualquer que seja o método adotado, é sempre muito importante ter em vista as seguintes condições:

- 1 - Os vários aneróides ou altímetros devem ser comparados entre si com a maior frequência possível (no mínimo todos os dias).
- 2 - Deve ser conhecido o tipo de graduação altimétrica de cada instrumento, para que os resultados possam ser comparáveis. Tratando-se de altímetros de fabricantes diferentes, será necessário submetê-los a um teste em camara de vácuo.
- 3 - Os pontos a determinar não devem estar afastados entre si de mais de 50 Km., sendo desejável não ultrapassar 30 Km.
- 4 - Nunca expôr o instrumento demoradamente ao sol, esperar sempre alguns minutos até que êle se ambiente por que há sempre um retardamento e evitar que as observações sejam feitas embaixo de matas fechadas. A umida

de nessas condições é mais elevada que a normal e pode produzir resultados erroneos, Em picos elevados onde reina vento muito forte, a pressão é mais baixa, ocasionando excesso de altitude no cálculo.

5 - Observar visualmente que o estado atmosférico seja uniforme em toda a região e recusar observações em tempo perturbado (tempo rai, ventanias, aguaceiros, etc.). Tempo encoberto não prejudica as observações desde que toda a região nivelada esteja sob as mesmas condições.

6 - A temperatura deve ser observada à sombra. Mais adiante voltaremos a este tópico quando tratarmos da umidade.

7 - O termometro costuma ser o de funda isto é: susceptível de ser pendurado por um cordel. Na ocasião da observação deve-se girar o termometro com auxílio do cordel, pelo menos um minuto e então fazer a leitura.

8 - Quanto à umidade, pode ela ser medida de dois modos: pelo psicrometro ou pelo higrometro.

O psicrometro consiste em dois termometros, um, chamado sêco, que geralmente é um termômetro de funda e o outro úmido, cujo bulbo é envolvido por um tubo de musselina ou algodão, que por sua vez é mergulhado em um pequeno vaso contendo água. Esta sobe por capilaridade pela musselina e evapora-se fazendo baixar a temperatura do termometro.

Chamemos  $t$  e  $t'$  as temperaturas do termometro sêco e úmido. Com o valor da temperatura  $t'$  (úmida), entra-se na táboa III, no fim dêste artigo e d'ali se tira a tensão máxima de

de nessas condições é mais elevada que normal e pode produzir resultados errôneos.

Podemos calcular a humidade relativa

com os dados acima

$t = 22,5$

$t' = 20,3$

Obs: Observar visualmente que a humidade relativa seja uniforme em todas as partes da amostra.

Obs: Observar visualmente que a humidade relativa seja uniforme em todas as partes da amostra.

A tabela III fornece para  $t = 22,5$  a tensão de saturação  $e = 16,3 = e$

de salmestria  $e = 20,4 = e'$

$$h = \frac{e}{e'} = \frac{16,3}{20,4} = 0,80$$

Mais adiante voltaremos a este tópico quando tratarmos da umidade.

$$\text{Para } e = 16,3 \quad f' = 16,3 \times \frac{1,058}{1 + 0,075} = 16,0$$

$$\text{Para } e' = 20,4 \quad f = 20,4 \times \frac{1,058}{1 + 0,082} = 20,0$$

$$f = \frac{16,0}{20,0} = 0,80$$

Quando a umidade, pode ser medida de

20,3  
0,00367  
1101  
7342  
1074501

20,4  
367  
1835  
734  
734  
82575

$f$  é a humidade absoluta, isto é, a quantidade em gramas de vapor d'água contida em um  $\text{cm}^3$  de ar.

$$f = \frac{1,058 \cdot e}{1 + 0,00367t} \quad (\text{numericamente } f \neq e)$$

A humidade relativa (ou grau de saturação,  $h$ ) é a relação entre a quantidade de vapor d'água realmente existente no ar ( $1 \text{ cm}^3 = f$ ) e a quantidade correspondente saturar o ar

$$e = 0,945 f (1 + 0,0037t)$$

Com o valor da temperatura  $t$  (unidade), entra-se na tabela III, no fim deste artigo e daí se tira a tensão máxima de

vapor d'água em função dessa temperatura. Chamemos e' essa tensão.

A tensão d'água na temperatura t (do ar) é obtida pela fórmula aproximada,

$$e = e' - 0,66 (t-t') (1+0,00115t')p/1000$$

Não há a rigor necessidade de 2 termômetros. Com um único, depois de tomar a temperatura a sêco, aplica-se a musseli na ao bulbo e após uma espera de alguns minutos para a estabilização da temperatura pode-se lêr o termómetro.

*Pode-se determinar.*

*Nota* ~~⊗~~

Pode-se também usar o higrometro de cabelo que dá a umidade relativa. Nêste caso, precisa-se ainda o termómetro sêco, para calcular a tensão do vapor d'água. Procedê-se da seguinte forma: Chama-se umidade relativa a relação entre a tensão d'água atual e a tensão de saturação, relação esta fornecida pelo higrometro e que chamaremos n. Tira-se da táboa III em frente à temperatura lida no termómetro sêco a tensão de saturação e<sub>1</sub>. A tensão atual será:

$$e = n e_1 \quad (4)$$

Exemplos:

1 - Temperatura a seco: t = 22,5      A tabua III dá: e' = 17,8 mm  
"      úmida: t' = 20,3      para 20°, 3.  
t - t' = 2,2

A tabua IV dá para t - t' = 2,2 e t' = 20°: 1,5mm

A tensão pedida é pois e = 17,8 - 1,5 = 16,3 mm

*1,5    4/5  
0,75    1/2*

2 - Leitura de higrometro: 81% = 0,81

Temperatura a seco: 22,5

A tabela III dá para 22,5: e = 20,4 mm.

É imediatamente, da fórmula (4):

$$e = n e_1 = 0,81 \times 20,4 = 16,6 \text{ mm}$$

que é a tensão pedida.

*0,80  
22,5  
e = 20,4  
e = 0,80 x 20,4 = 16,3*

Em distâncias curtas e sendo a região uniforme pode-se admitir que a umidade se mantém constante em todos os lugares e as observações da umidade na base são suficientes.

## I - MÉTODO DE UMA BASE

Consiste êste método em fazer as determinações de altitudes referidas a um ponto de altitude conhecida e que por isso é chamado de BASE.

Nessa base fica estacionário um altímetro ou aneróide, enquanto o outro que chamaremos ambulante percorrerá os pontos a determinar.

É lógico que os altímetros devem ser aferidos entre si e verificados no fim do serviço de cada dia. Êsses instrumentos são muito delicados e sujeitos a desarranjos.

Durante todo o tempo de serviço o altímetro estacionário deverá ser lido cada quinze ou trinta minutos, assim como o termometro e a umidade, tudo convenientemente registrado.

É importante que o observador ambulante leia a hora do seu relógio, sempre que tirar os outros dados: pressão, temperatura e umidade, a fim de possibilitar a interpretação dos valores todos na base cada meia hora.

Terminado o serviço do dia, o ambulante deve voltar à base para comparar todos os instrumentos (os relógios inclusive).

## II - MÉTODO DE DUAS BASES

Êste método é recomendável, quando se dispuzer na região de duas altitudes, determinadas por um método mais rigoroso (nivelamento geométrico ou taqueométrico).

É necessário que as bases estejam no contorno da região, quer dizer que contenham entre elas toda a região a nivelar, de modo a evitar que as distâncias entre qualquer ponto interior e qualquer das bases ultrapasse o limite de 30 Km.

São necessários três altímetros ou aneróides e outros tantos psicrometros e relógios. Dois aneróides ficam fixos nas duas bases M e N. O terceiro será ambulante. Em cada base serão observadas: pressão, temperatura, umidade e hora cada 30 minutos previamente combinados.

Suponhamos agora que o ambulante a uma hora H faz suas observações em um ponto A.

Com os elementos obtidos e os interpolados em M e N para a hora H da observação, pode-se calcular a altitude do ponto A referida a cada uma das bases. Como serão naturalmente obtidas duas alturas um pouco diferentes, calcula-se uma correção proporcional a cada diferença de nível, que, aplicada a cada diferença obtida, dará uma altitude ajustada. O seguinte exemplo pode-se esclarecer melhor.

$$\begin{aligned} \text{Altitude de M} &= 382\text{m} = Mv \\ \text{" " N} &= 238\text{m} = Nv \\ \text{Diferença M - N} &= 144 = Dv \end{aligned}$$

De acôrdo com as observações foram obtidos os seguintes valores: Di

$$\begin{aligned} \text{Diferença de nível entre M e A isto é: } M-A &= 54\text{m} \\ \text{" " " " A e N isto é: } A-N &= 88\text{m} \\ \text{S O M A} = M - N &= 142\text{m} \\ \text{Verdadeira diferença (Dv = Mv-Nv)} &= 144\text{m} \\ \text{erro cometido} &= -2\text{m} \end{aligned}$$

Calculam-se pois as correções baseadas nas proporções:

$$\frac{x}{2} = \frac{54}{142} \quad \text{donde } x = \frac{2 \times 54}{142} = 0,76\text{m}$$

$$\frac{x'}{2} = \frac{88}{142} \quad \text{donde } x' = \frac{2 \times 88}{142} = 1,24\text{m}$$

Portanto as diferenças corrigidas serão:

$$\begin{array}{rcl} 54 + 0,76 & = & 54,76 \quad \text{Altitude de A} = 382 - 54,76 = 327,2 \\ 88 + 1,24 & = & 89,24 \quad \text{" " " " = } 238 + 89,24 = 327,2 \\ \text{S O M A} & - & 144,00 \end{array}$$

Este método é evidentemente melhor que o de uma base, porém é mais dispendioso pelo fato de exigir dois instrumentos

imobilizados e dois operadores ao envez de um:

### III - MÉTODO "SALTO DE RÃ"

Traduzimos por esta expressão o nome inglez leapfrog pelo qual é conhecido este método (Leapfrog e o jogo infantil conhecido entre nós pelo nome de carniça).

Este método é usado quando se deseja nivelar uma linha, dispondo de somente dois operadores e não podendo manter uma estação fixa.

O seu objetivo é de encurtar as distâncias entre as observações de modo a obter maior uniformidade de condições atmosféricas. Chamemos M a base de partida, com altitude conhecida. Temos dois operadores com dois aneróides ou altímetros com os respectivos termômetros, etc. Chamemos R o primeiro operador e S o segundo. Como eles operam geralmente separados, devem previamente combinar todo o programa, tendo em vista que o principal é sempre ter observações simultâneas. Na falta de comunicações haverá sempre o recurso de efetuar as observações em horas predeterminadas. Para começar R e S comparam e acertam seus instrumentos. Em seguida, S parte para a próxima estação A, enquanto R espera na primeira (M). À hora previamente combinada, ambos fazem e registram suas observações nas cadernetas, para obter a diferença A-M.

Em seguida R salta para a terceira estação B, adiante de A, enquanto S espera em A. A' nova hora previamente combinada farão novas observações para obter a diferença B - A.

Terminada esta observação S avança até juntar-se com R, comparam seus instrumentos e combinam novo programa. Em continuação, R segue para a nova estação C, enquanto S espera em B e fazem novas observações. Feitas estas, S salta para D, enquanto R espera em C;

Novas observações:

R agora avança para D para juntar-se a S e fazer nova comparação de instrumentos. Como os intervalos entre as observações são geralmente curtos, deve-se parar a locomoção 5 minutos antes da hora combinada, para dar tempo aos instrumentos de se ambientarem.

A unidade varia com a temperatura de modo que basta observar de manhã, ao meio dia e de tarde para se ter 3 valores suficientes. O uso de um higrometro será particularmente comodo e rapido. Infelizmente é um instrumento muito instável e frágil.

Este método é particularmente prático, quando se puder usar dois automóveis, porque assim se poderão percorrer mais rapidamente as distâncias em menor tempo.

A inclusão de pontos de marcos de nível (RN) porventura existentes no trajeto será da mais alta conveniência, porque permitirá conhecer os erros cometidos e compensá-los. Não temos experiência pessoal deste método, mas recomendamos-lo aos profissionais, pedindo-lhes que nos comuniquem os resultados obtidos.

Segundo um relatório, que temos em mão, de experiências feitas pelos laboratórios telefônicos Bell, nas viagens de Baltimore, U.S.A., os erros achados foram os seguintes:

MÉTODOS	Nº DE OBSERVAÇÕES	ERRO MÉDIO	ERRO MÁXIMO
Uma base	88	1,13	3,30
Duas bases	44	0,97	2,84
Salto de Rã	16	0,38	1,43

O relatório refere-se a altímetros de fabricação Wallace & Tierman, mas isso não impede que outros instrumentos, também acreditados, possam fornecer resultados comparáveis.

3 - NOTAS FINAIS

Não nos detivemos em descrições detalhadas de instrumentos por nos parecer isso desnecessário, uma vez que nos dirigimos a profissionais experimentados. Entretanto, queremos repisar certas particularidades:

1 - Correção de temperatura: A maioria dos aneróides trazem o aviso compensado. Isto significa que o instrumento é de tal modo construído, que as variações de temperatura não influam nas suas indicações, pela dilatação inevitável das diferentes peças metálicas. Isso não pode ser confundido com a correção de temperatura do ar que influe sobre a própria atmosfera, modificando-lhe a densidade e portanto, alterando a pressão. A compensação dos aneróides e altímetros não deve portanto ser compreendida ao extremo de se expor o instrumento aos raios diretos do sol, que poderão produzir aquecimento excessivos e desiguais entre as diferentes partes do instrumento e assim falsear as suas indicações.

2 - Os fabricantes costumam falar na temperatura de calibração do instrumento. Isto significa somente que a graduação foi escolhida introduzindo-se na fórmula barométrica essa temperatura. Já nos referimos atrás a essa particularidade nos altímetros Paulin, onde a temperatura de calibração é de 10°C. Nas observações feitas, deve-se evidentemente usar o termometro, mas as temperaturas lidas devem ser descontadas de 10°C para calcular a correção, isto é:

$$0,0036h_1 (t - 10^{\circ})$$

Providências análogas devem ser tomadas nos fatores relativos à umidade, latitude e altitude.

3 - Os altímetros Wallace & Tierman, igualmente bons instrumentos, baseiam nas taboas da Smithsonian Institution que adotam a tem

peratura de 15°C latitude 40°, supõem o ar seco e não tomam em consideração a umidade.

- 4 - Do que aqui ficou examinado, deve-se concluir que nos nivelamentos barométricos de maior precisão, isto é aqueles onde se requer um erro máximo de 1 metro, será preferível usar simplesmente aneróides muito sensíveis isto é, aneróides contendo a escala de pressões expressas em milímetros de mercúrio (mm Hg) ou milibar (mb). A escala altimétrica nesta espécie de trabalhos só pode complicar o trabalho. A coexistência de duas escalas evidentemente não prejudica, desde que se considere a escala altimétrica somente como simples aproximação.
- 5 - A fórmula barométrica pode ser diferenciada de modo a obter-se o que se chama GRAU BAROMÉTRICO, isto é: o acréscimo de altitude resultante para cada decréscimo de um milímetro na pressão. Considerando valores médios para a temperatura (20°C) e umidade (e = 20mm) encontra-se para a relação dh/dB os seguintes valores:

Valores de B mmHg	mb	Altitude aproximada	Gráu barométrico	Partindo de
760	1013	0m	11,6m	$h_1 = 18\ 400 \log. \frac{B}{b}$
730	973	320	12,1	
700	933	650	12,6	temos
670	892	1000	13,1	$dh = 18\ 400 M \frac{dB}{B}$
640	853	1350	13,7	
610	813	1750	14,4	
580	773	2150	15,2	

onde M = 0,434 é o módulo dos logaritmos neperianos. Entrando com os valores da temperatura e umidade dada acima, a fórmula dá:

$$dh = 8\ 811 \text{ dB/B}$$

Estes valores servem somente como elementos aproximados.

- 6 - Desejamos ainda fazer uma última observação sobre a medida de umidade. Esta operação, conquante seja um pouco incômoda em certas ocasiões, já se pode executar com relativa facilidade. Existe um tipo de psicrometro portátil e compacto pesando ape

nas 300 gramas composto dos termómetros sêco e úmido, uma seringa especial para produzir uma corrente de ar e um conta-gotas para melhar a musselina. Traz ainda uma régua especial para efetuar os cálculos necessários. É do fabricante Bendix-Fries da Bencix Aviation Corporation.

7 - Como o operador não possua aparelhamento completo, pode em último recurso apelar para alguma estação meteorológica na vizinhança ou ainda consultar o atlas meteorológico do Ministério da Agricultura que dá valores médios mensais para o Brasil todo. As tabuas abaixo serão úteis na determinação da umidade.

8 - Em todo êste trabalho não fizemos qualquer referência aos barómetros de mercurio. É desnecessário dizer que diante da fragilidade de tais instrumentos, o seu uso tem sido cada vez mais restrito. Naturalmente devido a segurança de suas indicações eles são usados nas estações meteorológicas onde são os únicos recomendáveis. Os aneróides modernos podem ser tão sensíveis que possam com facilidade apreciar pequenas diferenças de nível com mais facilidade que os de mercurio. Mas êstes últimos jamais serão abandonados em virtude da segurança de suas indicações e serão sempre usados como padrões para comparação de aneróides.

#### 4 - TABUAS PARA CÁLCULOS DE ALTITUDES

As tabuas que se seguem podem ser usadas em qualquer circunstância no Brasil, para cujo território foram preparadas. A tábua I dá os valores das grandezas  $18\ 400 \log. B - 18\ 400 \log. 760$  ou  $18\ 400 \log. B - 53\ 007$ . Estas diferenças foram multiplicadas por  $-1$ , para se tornarem mais práticas.

A determinação de uma altitude constará sempre da medida de duas pressões: no ponto a determinar e no ponto de referência. Entrando com essas duas pressões na tabua I a diferença

dos números obtidos será a diferença de altitudes dos dois pontos em primeira aproximação (É o que chamamos  $a_1$ ). As pressões são dadas com intervalos de 5 mm. A interpolação pode ser linear bastando para isso multiplicar-se a diferença tabular de coluna Dif = diferença para 1 mm pelo número de milímetros excedentes. Por

exemplo: Quer-se o número que corresponde à pressão 724,3.

Na linha 720 encontramos 432,0; Dif. = -11,06  
 $- 4,3 \times 11,06 = - 4,76$  ou  $- 4,8$ . Portanto o número desejado é:

$$432,0 - 4,8 = 427,2 \text{ metros}$$

O erro a temer com a interpolação linear não atingirá a 0,1 m.

A tabua II dará rapidamente a correção devida a temperatura

$$0,003665 a_1 t$$

onde  $a_1$  é a diferença de nível em primeira aproximação, obtida pela tabua I e  $t$  é a média das temperaturas das duas estações em graus centígrados.

Exemplo:

Supondo que a temperatura média seja de  $25^{\circ}, 3$  e que a diferença de nível seja de 153,4 m a tabua II dará, decompondo os números dados em centenas, dezenas e unidades as frações de graus tiram-se das colunas dos graus, recuando a vírgula.

Tabua	20 <sup>o</sup>	5 <sup>o</sup>	0, <sup>o</sup> 3
100 m	7,33	1,84	0,10
50	3,67	0,92	0,05
3	0,22	0,06	-
0,4	<u>0,03</u>	<u>—</u>	<u>—</u>
SOMA	- 11,25	+ 2,82	+ 0,15 =
		14,22m	ou 14,2m

As tabuas III e IV permitem obter-se a tensão do vapor d'água em função das leituras dos termômetros seco e úmido, conforme foi explicado no § 1<sup>o</sup> item 8<sup>o</sup>.

Para obter a correção  $0,344 a_1 e/p$  relativa à unidade usa-se o ábaco no fim deste artigo, na forma seguinte: Sendo  $e$  e  $p$  a média das tensões de vapor d'água e das pressões barométricas das duas estações, calcule-se a relação  $e/p$ .

Entra-se com este valor no lado direito do gráfico. Segue-se a

EXEMPLO

gonal correspondente a e/p para a esquerda até encontrar a vertical correspondente à quantidade a<sub>1</sub> graduada na parte inferior do gráfico.

Partindo agora da intersecção da vertical a<sub>1</sub> com a diagonal e/p para a esquerda, acompanhando a horizontal correspondente encontra-se à esquerda a graduação das correções em metros.

As tabuas V e VI dão as correções relativas à latitude e altitude médias dos 2 pontos.

O exemplo abaixo esclarecerá os cálculos.

$$\begin{aligned}
 p &= 1/2 (759,3 + 720,8) = 740,1 \text{ m} \\
 v &= 1/2 (21,2 + 18,9) = 20,3 \text{ C} \\
 e &= 1/2 (11,2 + 12,3) = 14,3 \text{ mm} \\
 e/p &= 0,019
 \end{aligned}$$

A tábuas I dá com as interpolações necessárias:

$$\begin{aligned}
 \text{para } h: & 423,2 \\
 \text{para } h': & 430,6 \\
 \text{diferença} & = 7,4
 \end{aligned}$$

Correção de temperatura: tábuas II:

$$\text{Para } 20,3 \text{ e } a_1 = 430,6, \text{ correção} = 4,5 \text{ m}$$

Correção de humidade: (gráfico)

$$\text{Para } e/p = 0,019 \text{ e } a_1 = 430,6 \text{ correção} = 3,1 \text{ m}$$

Diferença de nível em 2ª aproximação:

$$+ 430,6 + 4,5 + 3,1 = 438,2 \text{ m}$$

Cálculo da altitude média:

$$h_m = h + 1/2 a_2 = 16 + 219 = 235$$

$$\begin{aligned}
 \text{Correção da latitude (tábua V)} &= 0,4 \\
 \text{Correção da altitude (tábua VI)} &= 0,0 \\
 \text{C.P.M.A.} &= 0,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Altitude procurada:

$$\begin{aligned}
 h_2 &= 438,2 \\
 \text{correção latitude} &= 0,4 \\
 \text{"} \text{ altitude} &= 0,0 \\
 h &= 16,0 \\
 h' &= 454,6
 \end{aligned}$$

EXEMPLO

Estação de referência

b = 759,3  
 t1 = 21,7 C  
 c1 = 16,2 mm  
 Latitude 23°Sul, altitude = 16m

Estação a determinar

B = 720,8  
 t2 = 18,9 C  
 c2 = 12,3 mm

Cálculo

$p = 1/2 (759,3 + 720,8) = 740,1 \text{ mm}$   
 $t = 1/2 (21,7 + 18,9) = 20,3 \text{ C}$   
 $e = 1/2 (16,2 + 12,3) = 14,3 \text{ mm}$   
 $c/p = 0,0194$

A tábua I dá com as interpolações necessárias:

para B: 423,2  
 " b: - 7,4  
 Dif. a1 = + 430,6

Correção de temperatura: tábua II:

Para 20,3 e a1 = 430,6, correção = 4,5m

Correção de humidade: (gráfico)

Para e/p = 0,019 e a1 = 430,6  
 correção = 3,1 m

Diferença de nível em 2ª aproximação:

+ 430,6 + 4,5 + 3,1 = 438,2m

Cálculo da altitude média:

$h_m = h + 1/2 a_2 = 16 + 219 = 235$

Correção de latitude (tábua V) = 0,4  
 " " altitude ( " VI) = 0,0  
S O M A : 0,4m

Altitude procurada:

a2 = 438,2  
 correção latitude 0,4  
 " altitude 0,0  
 h = 16,0  
 h' = 454,6

TÁBUA I

Valores de H = 53007,0 - 18400 log. B

B	h	Dif. lm	B	h	Dl mm	B	h	Dl m
500	3345,9	15,90	590	2023,4	13,50	680	888,8	11,70
05	3266,4	15,76	95	1955,9	13,38	85	830,3 <sup>88,5</sup>	11,62
510	3187,7	15,60	600	1889,0	13,26	690	772,2	11,54
15	3109,7	15,44	05	1822,7	13,16	95	714,5	11,46
520	3032,5	15,30	610	1756,9	12,04	700	657,2	11,38
25	2956,0	15,14	15	1691,7	12,94	05	600,3	11,30
530	2880,3	15,00	620	1627,0	12,82	710	543,8	11,22
35	2805,3	14,86	25	1562,9	12,74	15	487,7	11,14
540	2731,0	14,74	630	1499,2	12,64	720	432,0	11,06
45	2657,3	14,60	35	1436,0	12,54	25	376,7	10,98
550	2584,3	14,46	640	1373,3	12,44	730	321,8	10,90
55	2512,0	14,32	45	1311,1	12,34	35	267,3	10,84
560	2440,4	14,19	650	1249,4	12,24	740	213,1	10,76
65	2369,4	14,06	55	1188,2	12,16	45	159,3	10,70
570	2298,9	13,94	660	1127,4	12,06	750	105,8	10,62
75	2229,2	13,84	65	1067,1 <sup>80,3</sup>	11,98	55	52,7 <sup>58,1</sup>	10,54
580	2160,0	13,72	670	1007,2 <sup>59,9</sup>	11,88	760	00,0 <sup>52,7</sup>	10,48
85	2091,4	13,60	75	947,8 <sup>59,4</sup>	11,80	65	- 52,4 <sup>20</sup>	10,40
590	2023,4	13,50	680	888,8 <sup>59,0</sup>	11,70	770	-104,4 <sup>20</sup>	10,36
						775	-156,2 <sup>1,8</sup>	

TABUA II

Correções devidas à temperatura do ar

$$c = 0,003665 a_1 t$$

		TEMPERATURA											
$a_1$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30
1	m	-	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,11
2	2	0,01	2	2	3	4	4	05	06	07	07	15	22
3	3	01	2	3	4	6	9	08	09	10	11	22	33
4	4	01	3	4	6	7	9	10	12	13	15	29	44
5	5	0,02	4	0,05	7	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	0,37	0,55
6	6	02	4	6	9	11	13	15	0,18	20	22	44	66
7	7	03	5	7	0,10	13	15	18	21	23	26	51	77
8	8	03	6	8	12	15	18	21	23	26	29	59	88
9	9	03	7	9	13	17	20	0,23	0,26	30	33	66	99
10	10	0,04	0,07	0,10	0,15	0,18	0,22	0,26	0,29	0,33	0,37	0,73	1,10
20	20	0,07	15	21	29	37	44	0,51	0,59	0,66	0,73	1,47	2,20
30	30	0,11	22	31	44	55	66	0,77	0,88	0,99	1,10	2,20	3,30
40	40	0,15	29	42	59	73	88	1,03	1,17	1,32	1,46	2,94	4,40
50	50	0,18	37	52	73	92	1,10	1,28	1,46	1,65	1,83	3,65	5,50
60	60	0,22	0,44	0,62	0,88	1,10	1,32	1,54	1,76	1,98	2,20	4,40	6,60
70	70	26	51	73	1,03	1,28	1,54	1,79	2,05	2,31	2,56	5,13	7,70
80	80	29	59	83	1,17	1,47	1,76	2,05	2,34	2,64	2,93	5,87	8,80
90	90	33	66	94	1,32	1,65	1,98	2,30	2,64	2,97	3,29	6,60	9,90
100	100	0,37	0,73	1,04	1,47	1,84	2,20	2,57	2,93	3,30	3,67	7,33	11,00
200	200	73	1,47	2,08	2,93	3,67	4,40	5,13	5,86	6,60	7,33	14,66	21,99
300	300	1,10	2,20	3,12	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	9,90	11,00	21,99	32,99
400	400	1,47	2,93	4,16	5,86	7,33	8,80	10,26	11,73	13,20	14,66	29,32	43,98
500	500	1,83	3,67	5,20	7,33	9,17	11,00	12,83	14,66	16,50	18,33	36,65	54,98
600	600	3,67	7,35	11,01	14,66	18,33	21,99	25,66	29,32	32,99	36,65	73,30	109,95
700	700	7,33	14,70	20,79	20,32	36,66	43,98	51,51	58,64	65,97	73,30	146,60	
800	800	11,00	22,05	31,19	43,98	55,00	65,97	76,97	87,96	98,96	109,95		

TABUA III

Smithsonian Meteorological Tables

Tensão do vapor d'agua em função da temperatura (t') do termometro úmido em mm Hg e mb

*de saturação*

Temp.	Tensão		t'	Tensão			Tensão			Tensão			Tensão	
t'	mb	mm		mb	mm	t'	mb	mm	t'	mb	mm	t'	mb	mm
-10	2,86	2,14	+ 0	6,11	4,6	+ 10	12,27	9,2	+ 20	23,37	17,5	+ 30	42,43	31,8
9	3,10	2,32	1	6,57	4,9	11	13,12	9,8 <sup>0,6</sup>	21	24,86	18,6 <sup>1,1</sup>	31	44,92	33,7 <sup>1,9</sup>
8	3,35	2,51	2	7,05	5,3	12	14,02	10,5 <sup>0,7</sup>	22	26,43	19,8 <sup>1,2</sup>	32	47,55	35,7 <sup>2,0</sup>
7	3,62	2,71	3	7,58	5,7	13	14,97	11,2 <sup>0,7</sup>	23	28,09	21,1 <sup>1,3</sup>	33	50,31	37,7 <sup>2,0</sup>
6	3,91	2,93	4	8,13	6,1	14	15,98	12,0 <sup>0,8</sup>	24	29,83	22,4 <sup>1,3</sup>	34	53,20	39,9 <sup>2,2</sup>
5	4,21	3,15	5	8,72	6,5	15	17,04	12,7 <sup>0,7</sup>	25	31,67	23,7 <sup>1,3</sup>	35	56,24	42,2 <sup>2,3</sup>
4	4,54	3,40	6	9,35	7,0	16	18,17	13,6 <sup>0,9</sup>	26	33,61	25,2 <sup>1,5</sup>	36	59,42	44,6 <sup>2,4</sup>
3	4,90	3,67	7	10,01	7,5	17	19,37	14,5 <sup>0,9</sup>	27	35,65	26,7 <sup>1,5</sup>	37	62,76	47,1 <sup>2,5</sup>
2	5,27	3,94	8	10,72	8,0	18	20,63	15,4 <sup>0,9</sup>	28	37,80	28,3 <sup>1,6</sup>	38	66,26	49,7 <sup>2,6</sup>
1	5,67	4,25	9	11,47	8,6	19	21,96	16,4 <sup>1,0</sup>	29	40,06	30,0 <sup>1,7</sup>	39	69,93	52,5 <sup>2,8</sup>
0	6,11	4,58	10	12,27	9,2	20	23,37	17,5 <sup>1,1</sup>	30	42,43	31,8 <sup>1,8</sup>	40	73,78	55,3 <sup>2,8</sup>

40 73,78 55,34  
 41 77,80 58,35  
 42 82,02 61,51  
 43 86,42 64,81  
 44 91,03 68,23  
 45 95,86 71,89

45 95,86 71,89  
 46 100,89 75,67  
 47 106,16 79,62  
 48 111,66 83,74  
 49 117,40 88,05  
 50 123,40 92,55

49-88,05  
 94x=852,20

°C	mb	mm
40	73,78	55,34
41	77,80	58,35
42	82,02	61,51
43	86,42	64,81
44	91,03	68,27
45	95,86	71,89
46	100,89	75,67
47	106,16	79,62
48	111,66	83,74
49	117,40	88,05
50	123,40	92,55
51		97,0
52		102,0
53		107,0
54		112,0
55		118,0
56		123,0
57		130,0
58		136,0
59		142,0
60		149,0

TABELA III

Collected

Temper

TABUA IV

Valores da expressão

$$e = e' -$$

$$\Delta e = 0,66 (1 + 0,00115 t') (t - t') p / 1\ 000 \text{ (mb ou mm Hg)}$$

para p = 1 000 (mb ou mmHg)

Termometro úmido (t'')

	- 10	0	10	20	30	40	50
t - t'							
0	0,0 <sub>0,65</sub>	0,0 <sub>62</sub>	0,00 <sub>67</sub>	0,00 <sub>68</sub>			
1	0,65 <sub>0,65</sub>	0,66 <sub>66</sub>	0,67 <sub>67</sub>	0,68 <sub>68</sub>	0,68	0,69	0,70
2	1,30 <sub>0,65</sub>	1,32 <sub>66</sub>	1,34 <sub>67</sub>	1,35 <sub>68</sub>	1,37	1,38	1,40
3	1,95 <sub>0,66</sub>	1,98 <sub>66</sub>	2,00 <sub>67</sub>	2,03 <sub>68</sub>	2,07	2,07	2,09
4	2,61 <sub>0,65</sub>	2,64 <sub>66</sub>	2,67 <sub>67</sub>	2,70 <sub>68</sub>	2,73	2,76	2,79
5	3,26 <sub>65</sub>	3,30 <sub>66</sub>	3,34 <sub>67</sub>	3,38 <sub>68</sub>	3,41	3,45	3,49
6	3,91 <sub>66</sub>	3,96 <sub>66</sub>	4,01 <sub>67</sub>	4,05 <sub>68</sub>	4,10	4,14	4,19
7	4,57 <sub>65</sub>	4,62 <sub>66</sub>	4,67 <sub>67</sub>	4,73 <sub>68</sub>	4,78	4,83	4,89
8	5,22 <sub>65</sub>	5,28 <sub>66</sub>	5,34 <sub>67</sub>	5,40 <sub>68</sub>	5,46	5,52	5,58
9	5,87 <sub>65</sub>	5,94 <sub>66</sub>	6,01 <sub>67</sub>	6,08 <sub>68</sub>	6,15	6,21	6,28
10		6,60	6,68	6,75	6,83	6,90	6,98

Esta tabua vale para p=1000

Si p é diferente de 1000, de ve-se multiplicar os valores tabelados por 0,001 p.

Exemplo:

para t' = 20°, t-t' = 5°, t<sub>í</sub> rames da ta bua 3,38.

Si p= 750, faz-se o produto 3,38 x 0,75 = 2,5mm para p= 1013 mb, temos: 3,38 x 1,013 = 3,42 mb, etc.

TABUA V

Valores das correções devidas à latitude =  $0,00265 a_1 \cos 2 L$

a	Latitude							
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
50	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
100	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
200	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
300	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
400	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4
500	1,3	1,3	1,3	1,1	1,0	0,9	0,7	0,5
1000	2,65	2,61	2,49	2,29	2,03	1,70	1,30	0,91
2000	5,30	5,22	4,98	4,58	4,06	3,40	2,60	1,82

TABUA VI

Valores das correções devidas à altitude média

$$\frac{a_1 H_m}{2r} \quad \frac{2 a_1 H_m}{R}$$

a <sub>1</sub>	Altitude média				
	500	1000	1500	2000	2500
250	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2
500	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
750	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
1000	0,15	0,31	0,47	0,62	0,78
1250		0,4	0,6	0,8	
1500		0,5	0,7		
1750		0,5			
2000		0,6			