



AUTORES AUTHORS	PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS	AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY
	ANÁLISE OBJETIVA DADOS DE ALTITUDE CONSISTÊNCIA VERTICAL	 Marco Antonio Raupp # Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR	DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION	REVISADA POR / REVISED BY
 Carlos Ho Shih Ning	<input type="checkbox"/> INTERNA / INTERNAL <input checked="" type="checkbox"/> EXTERNA / EXTERNAL <input type="checkbox"/> RESTRITA / RESTRICTED	 Yoshihiro Yamazaki

CDU/UDC	DATA / DATE
	Julho, 1987

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO	ORIGEM ORIGIN
	INPE-4223-RPE/546	DME
AUTORES/AUTHORSHIP	CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS CONVENCIONAIS DE AR SUPERIOR (TEMP E PILOT)	PROJETO PROJECT
		MODNUM
		Nº DE PAG. NO OF PAGES
		ULTIMA PAG. LAST PAGE
	VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS
	Carlos Ho Shih Ning Marco Antonio Maringolo Lemes Eiichi Terauchi*	

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES
<p>Foi desenvolvido um programa de computador específico para o processamento de dados convencionais de altitude com vistas no seu uso em previsão numérica de tempo. O programa, denominado "VERCONS", tem a função de testar dados de radiossondagens com respeito a sua consistência vertical. São aplicados testes de valores absolutos, verificação de formação de gelo, estabilidade estática, consistência entre níveis padrões e significativos, balanço hidrosférico e finalmente cisalhamento vertical do vento. Futuras modificações serão eventualmente necessárias para adaptar os valores numéricos dos limites dos algoritmos corretivos à região da América do Sul e oceanos adjacentes. Estas modificações serão feitas com base em um levantamento estatístico sistemático do desempenho do "VERCONS".</p>
OBSERVAÇÕES/REMARKS

* Japan Meteorological Agency - JMA (Japão)

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos aos Dr. Pedro Leite da Silva Dias e Sr. Yoshihiro Yamazaki por suas valiosas sugestões e também ao Sr. Emmanuel da Silva e Araujo pelas discussões referentes ao banco de dados. Agradecem também à Sra. Sueli A.F.V. Camargo Pinto e Maria de Fátima Santana Massunaga pelo serviço de datilografia e à Srta. Neusa Bicudo pela pronta revisão de linguagem.

ABSTRACT

A specific software to process conventional upper-air data was developed to be used in numerical weather prediction. The software known as "VERCONS" has the function of testing radiosonde data with respect to its vertical consistency. The following tests are applied: absolute values, icing, static stability, consistency between mandatory and significant data, hydrostatic balance and finally, vertical wind shear. Eventually modification will have to be made in the program so to adapt the numerical values of the limits used in the correction algorithms to the region of South America and adjacent oceans. These modifications will be implemented on basis of a systematic statistical evaluation of the performance of "VERCONS".

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>vii</i>
LISTA DE TABELAS	<i>ix</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. DESCRIÇÃO DAS MENSAGENS TEMP E PILOT	3
3. TESTES DE CONSISTÊNCIA VERTICAL	9
3.1 - Teste de valores absolutos	9
3.2 - Teste de formação de gelo	10
3.3 - Teste de estabilidade estática	11
3.4 - Consistência entre as partes AA, BB, CC e DD	12
3.5 - Teste hidrostático	15
3.6 - Teste do cisalhamento vertical do vento	16
4. ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA E EXEMPLOS	18
4.1 - Teste de valores absolutos (sub-rotina LIMITS)	18
4.2 - Teste de formação de gelo (sub-rotina ICING)	18
4.3 - Teste de estabilidade estática (sub-rotina LAPSER)	18
4.4 - Consistência entre níveis padrões e significativos (sub-rotina MANSIG)	20
4.5 - Teste hidrostático (sub-rotina HYDROS)	20
4.6 - Teste do cisalhamento vertical do vento (sub-rotina SHEAR) ..	20
4.7 - Exemplos	20
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
APÊNDICE A - TESTE DE VALORES ABSOLUTOS	
APÊNDICE B - TESTE DE ESTABILIDADE ESTÁTICA	
APÊNDICE C - TESTE DE CONSISTÊNCIA ENTRE AS PARTES DA MENSAGEM	
APÊNDICE D - TESTE HIDROSTÁTICO	
APÊNDICE E - TESTE DO CISALHAMENTO VERTICAL	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Representação esquemática da interpolação linear em P_n P de uma variável arbitrária F, dada em dois níveis significativos para um nível padrão	13
3.2 - Construção dos perfis extremos de temperatura para o teste hidrostático. As linhas tracejadas indicam as adiabáticas secas	15
4.1 - Diagrama de blocos do programa "VERCONS", mostrando a disposição geral das sub-rotinas de testes de consistência vertical	19
4.2 - Diagrama de blocos para a fase de consistência entre as partes AA, BB, CC e DD da mensagem TEMP	21
4.3 - Perfil da temperatura inicial, porém com observação simulada (linha sólida), e o mesmo perfil após a sua reconstrução usando valores dos níveis significativos (linhas tracejadas)	23
4.4 - Perfil de temperatura original isento de erros (linha sólida) e o perfil final após a aplicação de "VERCONS" (linha tracejada)	24
5.1 - Configuração parcial de um possível esquema de previsão numérica de tempo, mostrando a inserção do programa "VERCONS". (Para significado das linhas, referir-se ao texto)	28

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
4.1 - Alturas geopotências no segundo experimento	25
A.1 - Valores climatológicos para os limites dos campos das variáveis de ar superior	A.1
C.1 - Valores de tolerância para os desvios	C.1
E.1 - Valores máximos de $(f_1 + f_2)$	E.1

1 - INTRODUÇÃO

O processamento de informações meteorológicas é uma etapa importante no ciclo de elaboração das previsões de tempo. Isto se aplica à previsão subjetiva, mas é no caso das previsões dinâmicas, feitas com base na solução numérica das equações fundamentais da física da atmosfera, que esta etapa se faz obrigatória, sob o risco de comprometer irremediavelmente toda a validade da previsão. As observações meteorológicas caracterizam-se, em termos de processamento de dados, por sua complexidade devido à diversidade de tipos e codificações, aliadas ao grande volume de mensagens que trafegam presentemente pelo Sistema Global de Telecomunicações. Com vistas no aproveitamento total das mensagens meteorológicas, sobretudo na elaboração de previsões dentro de prazos hábeis, torna-se imperativo que o processamento delas seja ao máximo automatizado.

Este processamento inclui uma fase preliminar, onde as mensagens são decodificadas e os erros, de fácil detecção como, por exemplo, erros de transmissão que envolvem trocas de caracteres alfanuméricos, e são, se possível, eliminados com a consequente recuperação da mensagem. Em uma fase posterior, os dados decodificados são submetidos a testes de controle de qualidade, fazendo-os através de uma depuração mais refinada, adequados à sua utilização em práticas operacionais ou para propósitos de pesquisa em Meteorologia. Assim, por exemplo, através deste processamento, conseguem-se dados de maior confiabilidade para a preparação de cartas analisadas como campos horizontais visualizados por isolinhas, seções verticais da atmosfera etc, de uso em estudos sinóticos e em previsão subjetiva. Este processamento garante, por outro lado, uma consistência interna nos dados meteorológicos, a qual é essencial na fase de iniciação, i.e. na preparação de campos de variáveis dinamicamente ajustadas entre si, que servem de dados de entrada aos modelos numéricos de previsão. Paralelamente à detecção de erros, procura-se sempre que possível recuperar valores errôneos ou que faltam na mensagem original. Os tipos de erros aqui referidos excluem os erros de transmissão e codificação, que devem ser corrigidos ou eliminados no processo de decodificação das mensagens (Oliveira e Nakaya, 1977).

Entre as características desejáveis de um esquema de processamento de mensagens meteorológicas, deve-se mencionar a modularidade do software que permita eventuais expansões ou modificações localizadas exigidas, por exemplo, por mudanças de regras de codificação. Esta modularidade deve refletir a estrutura organizacional da geração de arquivos de dados de acordo com tipo, nível e outras especificações estabelecidas pelos diferentes usuários do sistema. Outra característica igualmente desejável é a uniformização na formatação de arquivos assegurando compatibilidade interna entre os subsistemas componentes do ciclo completo de previsão. Um esquema de processamento deve ainda, através de levantamento estatístico, fornecer um índice que avalie a qualidade dos dados processados, permitindo que possíveis medidas corretivas sejam adotadas.

Neste relatório são considerados apenas os aspectos pertinentes ao processamento de controle de qualidade de dados convencionais de ar superior. Mais especificamente, é abordado um método de correção para mensagens tipo TEMP e PILOT (dados de altura geopotencial, pressão, temperatura, umidade e ventos). Vários testes que verificam a consistência vertical destes dados são utilizados e, dependendo da situação em particular, fórmulas corretivas são aplicadas. A fonte principal destas informações é certamente o Sistema Global de Telecomunicações (GTS - Global Telecommunications System), através do qual trafegam outras mensagens de ar superior como as SATOB, SATEM, AIREPS, GRID etc. Em princípio, esquemas de processamento para estas mensagens similares ao aqui proposto poderiam ser desenvolvidos.

Finalmente, o método de controle de qualidade aqui apresentado deve ser parte integrante de um esquema completo de previsão numérica de curto prazo, com futura aplicação operacional.

2 - DESCRIÇÃO DAS MENSAGENS TEMP E PILOT

As condições da atmosfera dentro da troposfera e baixa es-
tratosfera são observadas principalmente com radiossondas (mensagens
TEMP) e balões-piloto (mensagens PILOT). As primeiras consistem em ob-
servações de temperatura, pressão e umidade em vários níveis, enquanto
as últimas fornecem informações de direção e magnitude de vento, obti-
das através do rastreamento de balões.

Uma tabulação completa de todos códigos, símbolos, gru-
pos e mensagens usadas pela Organização Mundial de Meteorologia pode
ser encontrada na publicação "Manual on Codes" ("World Meteorological
Organization, 1985). Uma versão mais compacta, mas ainda contendo toda
a formatação, especificação e codificação das mensagens mais rotinei-
ras, é apresentada em Fortune (1979).

As mensagens TEMP são referentes aos chamados níveis pa-
drões, que, além da superfície, são em número de 10 até 100mb (1000,
850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 e 100mb) e mais outros 5 (70,
50, 30, 20 e 10mb). Incluem-se também os níveis significativos para per-
mitir uma reconstrução dos detalhes da radiossondagem. Estes são defi-
nidos como aqueles onde se registram mudanças perceptíveis nos perfis
de temperatura e umidade (por exemplo, bases e topos de inversões tēr-
micas, camadas isotērmicas), incluindo também o nível mais alto da ra-
diossondagem.

Segue-se agora uma descrição sucinta destas duas mensa-
gens de ar superior:

- TEMP: Esta mensagem fornece dados meteorolōgicos obtidos atra-
vés de radiossondagens convencionais. Medições diretas de
pressão, temperatura e umidade relativa permitem calcular
a depressão do ponto de orvalho e a altura geopotencial
de superfícies isobāricas, que irão constar da mensagem.
Ventos (direção e magnitude) também são medidos nos nī-
veis padrões. Incluem-se ainda os níveis de vento māximo

(entendendo-se aqueles no qual a magnitude do vento é maior que nos níveis imediatamente superiores e inferiores) e o nível da tropopausa, com observações de vento e temperatura. A mensagem TEMP divide-se em 4 partes:

TTAA: níveis padrões da superfície até 100mb mais a tropopausa e os níveis de vento máximo;

TTCC: níveis padrões acima de 100mb;

TTBB: níveis significativos da superfície até 100mb, mais informações de nuvens observadas na hora do lançamento;

TTDD: níveis significativos acima de 100mb.

As partes A e C da mensagem são codificadas da seguinte maneira:

(Seção 1) TTAA YYGGI_d IIiii,

onde:

TTAA - identificador de mensagem,

YY - o dia do mês,

GG - hora Greenwich da observação,

I_d - dígito indicativo do último nível padrão,

IIiii - indicativo do número da estação.

(Seção 2)	99	$P_o P_o P_o$	$T_o T_o T_{ao} D_o D_o$	$d_o d_o f_o f_o f_o$	(superfície)
		$P_1 P_1 h_1 h_1 h_1$	$T_1 T_1 T_{a1} D_1 D_1$	$d_1 d_1 f_1 f_1 f_1$	}
		-----	-----	-----	
		$P_n P_n h_n h_n h_n$	$T_n T_n T_{an} D_n D_n$	$d_n d_n f_n f_n f_n$	
					(níveis padrões)

onde:

99 - indica o nível da superfície,

$P_o P_o P_o$ - pressão da superfície em milibares,

$T_o T_o T_o$ - temperatura da superfície,

$D_o D_o$ - depressão do ponto de orvalho na superfície,

$d_o d_o$ - direção e

$f_o f_o f_o$ - magnitude do vento na superfície.

Para os blocos referentes ao primeiro nível padrão, têm-se:

$P_1 P_1$ - pressão do nível em dezenas de milibares,

$h_1 h_1 h_1$ - altura geopotencial do nível padrão,

$T_1 T_1$ - temperatura do nível padrão, em graus inteiros,

T_{a1} - indicativo dos décimos de °C da temperatura,

$D_1 D_1$ - diferença entre a temperatura $T_1 T_1 T_{a1}$ e a temperatura do ponto de orvalho, do nível padrão,

$d_1 d_1$ - direção e

$f_1 f_1 f_1$ - magnitude do vento,

e similarmente para os n outros níveis padrões.

(Seção 3) $88P_t P_t P_t T_t T_t T_{at} D_t D_t d_{tt} f_t f_t f_t$,

onde:

88 - indicativo da tropopausa. Os demais grupos são idênticos aos já descritos, porém referenciados (subíndice t) à tropopausa.

(Seção 4) $77P_m P_m P_m$ }
 ou } $d_m d_m f_m f_m f_m$
 $66P_m P_m P_m$ }
 ou }
 77999

onde:

77 - indicativo do vento máximo durante a subida da radiossonda,

66 - indicativo do vento máximo no topo da radiossondagem,

77999 - nenhum vento máximo é observado.

Obviamente, a Seção (4) pode ser repetida para eventuais níveis múltiplos de vento máximo.

Para as partes B e C têm-se:

(Seção 1): Idêntica à parte A, exceto que a palavra TTBB identifica a parte B e o dígito I_d não aparece.

(Seção 5) $n_o n_o P_o P_o P_o$ $T_o T_o T_{ao} D_o D_o$
 $n_1 n_1 P_1 P_1 P_1$ $T_1 T_1 T_{a1} D_1 D_1$
 - - - - - - - - - -
 - - - - - - - - - -
 $n_n n_n P_n P_n P_n$ $T_n T_n T_{an} D_n D_n$

onde:

nn - indicativo do nível significativo. O identificador de superfície é 00, enquanto os demais níveis são enumerados 11,22, 33 ... 99, repetindo-se a sequência se necessário.

- PILOT: Esta mensagem fornece informações de vento (direção e magnitude) em função da pressão, utilizando balões de vários tipos (balão de radiossonda ou balão passivo) rastreados por radar, radioteodolito, ou mesmo por técnicas visuais. Como a mensagem TEMP, esta também consiste em 4 partes:

PPAA: refere-se aos níveis padrões acima de 850mb até 100mb, mais os níveis de vento máximo nesta região;

PPCC: idem, entre 100 e 10mb;

PPBB: refere-se comumente aos níveis fixos de altitude, abaixo de 100mb;

PPDD: idem ao PPBB, porém acima de 100mb.

As partes A e C da mensagem são codificadas da seguinte forma:

(Seção 1) PPAA YGGa₄ Iiiii

com o mesmo significado que a parte TTAA, exceto o dígito a₄ que é indicativo do equipamento utilizado (teodolito ótico (1), radioteodolito (2), radar (3)).

(Seção 2) $\left. \begin{array}{l} 44_n P_1 P_1 \\ \text{ou} \\ 55_n P_1 P_1 \end{array} \right\}$ seguido de n repetições (n=1,2 ou 3) do bloco dd fff

onde:

44 ou 55 - indica se os níveis foram determinados por um instrumento ou aproximados por valores preestabelecidos em tabelas, respectivamente;

P_1P_1 - representa a superfície do nível $n = 1$

(Seção 3) $\left. \begin{array}{l} 77P_m P_m P_m \text{ ou} \\ 66P_m P_m P_m \text{ ou} \\ 7H_m H_m H_m H_m \text{ ou} \\ 6H_m H_m H_m H_m \end{array} \right\} \begin{array}{l} d_m d_m f_m f_m f_m \end{array}$

com os conjuntos de dois dígitos indicando um nível de pressão ($P_m P_m P_m$), determinado por instrumento, onde ocorre um vento máximo dentro (77) ou no topo (66) da sondagem. Os dígitos isolados 7 ou 6 aceitam idêntica interpretação, porém quando os níveis são referenciados por altura geopotencial.

As partes PPBB e PPDD não são descritas neste relatório, mas podem ser encontradas na referência básica WMO (1985), juntamente com as demais mensagens de ar superior (SATO, SATEM, AIREPS etc.) e notadamente a mensagem GRID (valores em pontos de grade) de especial importância na análise objetiva de campos meteorológicos.

3 - TESTES DE CONSISTÊNCIA VERTICAL

Como as mensagens de ar superior essencialmente contêm informações em diferentes níveis na vertical, feitas independentemente e, portanto, sujeita a erros instrumentais, de codificação e de transmissão, torna-se necessária a verificação da consistência vertical destes dados. Este controle de qualidade é imprescindível dentro de um sistema operacional de previsão de tempo, mesmo porque certas variáveis como a altura geopotencial são derivadas, i.e., geradas a partir de variáveis diretamente medidas através de fórmulas. Ainda, para propósitos de previsões numéricas, as variáveis de ar superior devem satisfazer certas restrições impostas por considerações de equilíbrio estático.

Nesta seção são abordados os testes de consistência vertical apropriados para os dados convencionais de altitude. Neste ponto, supõe-se que erros grosseiros associados às fases de aquisição e transmissão dos dados já tenham sido removidos durante a fase de recepção das mensagens correspondentes. Supõe-se ainda que os dados de entrada no programa de teste de consistência vertical estejam disponíveis, já decodificados, em arquivos de dados a serem lidos. A interface entre o software aqui desenvolvido e o banco local de dados meteorológicos do Departamento de Meteorologia e Oceanografia do INPE/MCT é discutida em maior profundidade no Seção 5 deste relatório técnico.

São agora discutidos os testes de consistência vertical.

3.1 - TESTE DE VALORES ABSOLUTOS

Todas as variáveis são testadas com respeito a seus valores permissíveis, i.e., se eles estão dentro de certos limites preestabelecidos. O critério de escolha destes limites consiste primeiramente em usar valores climatológicos, mas valores determinados com base em restrições dadas pelas equações governantes da atmosfera são, quando possíveis, igualmente adequados. Os limites dos intervalos ou janelas

de aceitação de uma variável depende fortemente da posição geográfica da medida (trópicos versus latitudes médias, topografia, por exemplo) e da instrumentação utilizada. Assim perfis verticais de temperatura, obtidas convencionalmente por radiossondagens e por sensores a bordo de satélites, devem ser considerados como observações distintas no que diz respeito ao teste de valores absolutos.

Apesar de ser de fácil implementação, uma dificuldade seria a especificação dos valores limites para regiões nas quais não se dispõem de registros climatológicos suficientemente longos. Os valores numéricos utilizados neste software, que constam da Tabela 3.1 do Apêndice A, são idênticos aos do Serviço Meteorológico da Suécia; assim sendo, devem ser considerados provisórios e sujeitos às eventuais alterações ditadas pelo uso sistemático e rotineiro deste algoritmo.

3.2 - TESTE DE FORMAÇÃO DE GELO

Seja T_i a temperatura do i -ésimo nível padrão. A aplicação do teste consiste primeiramente em verificar se:

$$-10^{\circ}\text{C} < T_{i-1} < 0.$$

Em caso afirmativo, computam-se as seguintes diferenças:

$$(\Delta T)_{i-1} = | T_{i-1} - T_i |$$

$$(\Delta T)_i = | T_i - T_{i+1} |$$

(os índices são crescente da superfície para cima). Se estas diferenças forem ambas menores que $1,5^{\circ}\text{C}$, então ocorreu formação de gelo a partir do i -ésimo nível e todas as temperaturas $T_i, T_{i+1} \dots$ deverão ser rejeitadas.

3.3 - TESTE DE ESTABILIDADE ESTÁTICA

Este teste consiste em verificar se as condições de estabilidade estática das camadas formadas pelos vários níveis padrões são satisfeitas. O teste inicia-se com uma varredura de camada em camada, a partir da superfície, fazendo a comparação da taxa de variação vertical de temperatura (TVVT) observada $\gamma \equiv \partial T / \partial z$, com a TVVT adiabática seca, definida por:

$$\gamma_d = \frac{g}{C_p} \sim 9.8 \text{ } ^\circ\text{C/km},$$

onde g é a aceleração da gravidade e C_p o calor específico à pressão constante para o ar seco.

Extrapolando a temperatura T_i corresponde à pressão p_i do i -ésimo nível, uma nova temperatura NT_{i+1} , no próximo nível padrão superior, é obtida usando a TVVT adiabática seca. O processo é regido pela equação de Poisson (Peterssen, 1956):

$$\frac{p^\chi}{T} = \text{constante}, \quad (1)$$

onde $\chi = R/C_p = 0,287$, e R , a constante específica do gás para a atmosfera seca. Assim:

$$NT_{i+1} = T_i \left(\frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^\chi \quad (2)$$

com T_i em $^\circ\text{K}$.

Dois casos podem acontecer, como discutidos a seguir.

No primeiro caso, o perfil observado de temperatura mostra uma TVVT inferior à TVVT adiabática seca; esta configuração é estaticamente estável, com ar mais leve (já levando em conta o efeito de compressibilidade do ar, implícito na definição de NT_{i+1}) em cima do ar mais pesado. Neste caso, o algoritmo de consistência vertical proposto exige que a diferença $\Delta T = T_{i+1} - T_i > 0$, o que caracteriza uma inversão térmica, não exceda a um limite máximo de 10°C . Se isto acontecer, pelo menos uma das duas temperaturas apresenta-se com erro.

No segundo caso, tem-se um perfil observado superadiabático e, portanto, estaticamente instável. Uma pequena tolerância de $0,5^{\circ}\text{C}$ (i.e. $NT_{i+1} - T_{i+1} \leq 0,5^{\circ}\text{C}$) pode ser permitida, e se excedida, como no caso anterior, pelo menos uma das duas temperaturas apresenta-se com erro.

O programa desenvolvido para realizar os testes de consistência vertical inclui algoritmos que tentam determinar qual temperatura está com erro e se é possível corrigi-la usando informações de outros níveis. Os algoritmos classificam os dados como suspeitos ou errados e não cobrem todas as situações possíveis, o que implicaria programas de enorme complexidade do ponto de vista computacional e de custo, sem, no entanto, ser acompanhado de benefícios práticos. Os algoritmos usados no programa são descritos no Apêndice B.

3.4 - CONSISTÊNCIA ENTRE AS PARTES AA, BB, CC E DD

Este teste verifica a consistência entre as várias partes da mensagem, recalculando os dados dos níveis padrões (AA e CC) a partir dos dados dos níveis significativos (BB e DD). Os seguintes passos são executados:

- a) A temperatura e a temperatura do ponto de orvalho são interpoladas para os níveis padrões, supondo-se uma variação linear em $\ln p$ entre os níveis significativos (Figura 3.1). A obtenção

da fórmula de interpolação é indicada a seguir:

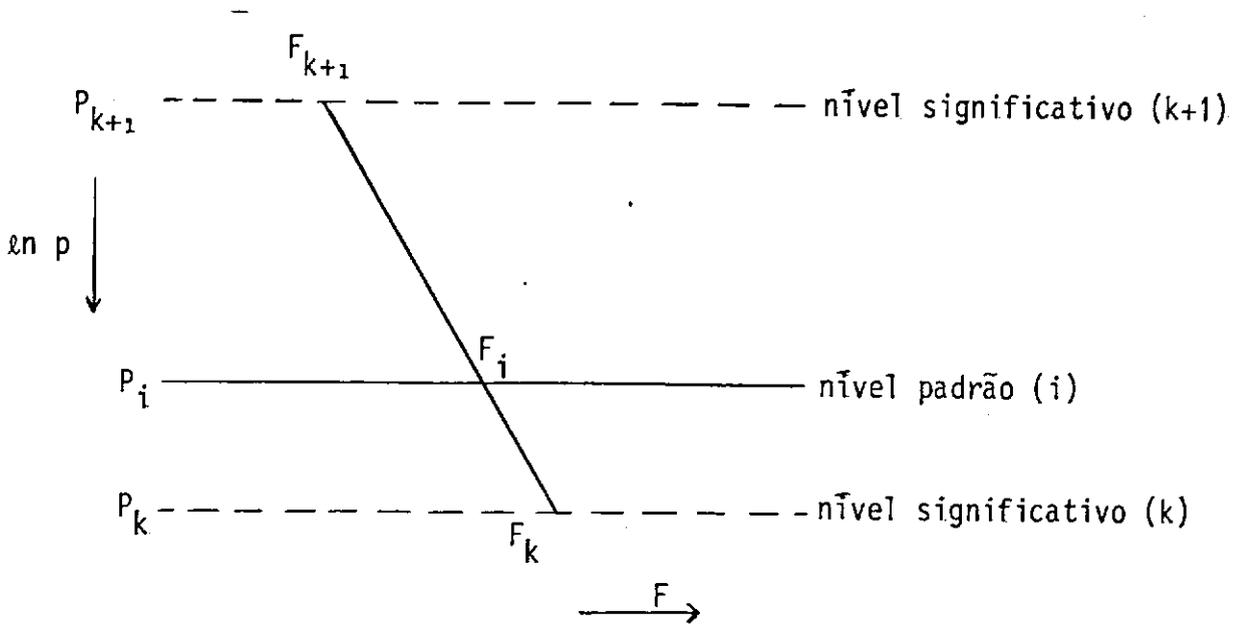


Fig. 3.1 - Representação esquemática da interpolação linear em $P_n p$ de uma variável arbitraria F dada em dois níveis significativos para um nível padrão.

Seja F uma variável qualquer (temperatura, componentes do vento etc.) dada em dois níveis significativos, (k) e $(k+1)$, que cercam um nível padrão (i) para o qual se deseja obter um valor interpolado de F , digamos F_i . Supondo uma variação logaritmicamente linear com a pressão, tem-se:

$$F(p) = A \ln p + B, \quad (3)$$

onde A e B são constantes a serem determinadas usando os valores nos níveis significativos. Assim, tem-se:

$$F(p_i) = F_i = F_k + \frac{\ln p_i - \ln p_k}{\ln p_{k+1} - \ln p_k} (F_{k+1} - F_k), \quad (4)$$

que é a fórmula interpoladora procurada.

b) Iniciando-se pela superfície, computam-se as alturas geopotenciais de todos os níveis padrões (z_i) e significativos (z_k), supondo mais uma vez uma variação linear em $\ln p$ para a temperatura. Para isto, utiliza-se a chamada equação hipsométrica, facilmente derivada das equações do gás perfeito e da hidrostática (Dutton, 1976),

$$z_2 - z_1 = \frac{R}{g} \int_{p_2}^{p_1} T \partial(\ln p)$$

que fornece a espessura da camada limitada pelos níveis z_1 e z_2 ($z_2 > z_1$) ou pela altura da superfície isobárica p_2 quando z_1 e p_1 referirem-se a valores de superfície. Para o caso em que $z_2 = z_i$ e $z_1 = z_k$ (ver Figura 3.2), supondo a variação linear em $\ln p$ para T , tem-se:

$$z_i = z_k + \frac{R}{g} \frac{T_i + T_k}{2} \ln \left(\frac{p_k}{p_i} \right). \quad (5)$$

Sempre que possível deve-se utilizar na Equação 5 a temperatura virtual

$$T_v = T(1 + .622q)$$

onde q é a razão de mistura do vapor d'água.

c) Como no item a, repete-se o procedimento de interpolação de níveis significativos para níveis padrões para as componentes u (zonal) e v (meridional) do vento.

d) Os valores interpolados nos níveis padrões são então comparados com os respectivos observados (partes TTAA e TTCC), e certos limites de tolerância são impostos para as diferenças entre eles. Os valores destes limites são dados no Apêndice C, mas valores definitivos deverão ser estabelecidos com base em levantamentos estatísticos.

3.5 - TESTE HIDROSTÁTICO

Neste teste, a equação hipsométrica, que introduz implicitamente a hipótese de balanço hidrostático, é usada novamente para assegurar este balanço entre os campos de temperatura e altura geopotencial. No processo de elaboração de uma mensagem TEMP, a altura geopotencial é uma variável calculada a partir de dados de radiossondagem e, assim sendo, mais susceptível a erros (erros de cálculo, por exemplo).

O teste hidrostático consiste em recalcular, usando a equação hipsométrica, as espessuras de camadas delimitadas pelos níveis padrões, a partir do perfil de temperatura resultante da aplicação dos vários algoritmos até aqui mencionados. Em seguida são computadas as diferenças entre as espessuras calculadas e as correspondentes observadas, i.e., como recebidas nas mensagens. Os desvios são então verificados com relação a uma tolerância determinada usando os perfis extremos de temperatura na camada em consideração, como ilustrado na Figura 3.2.

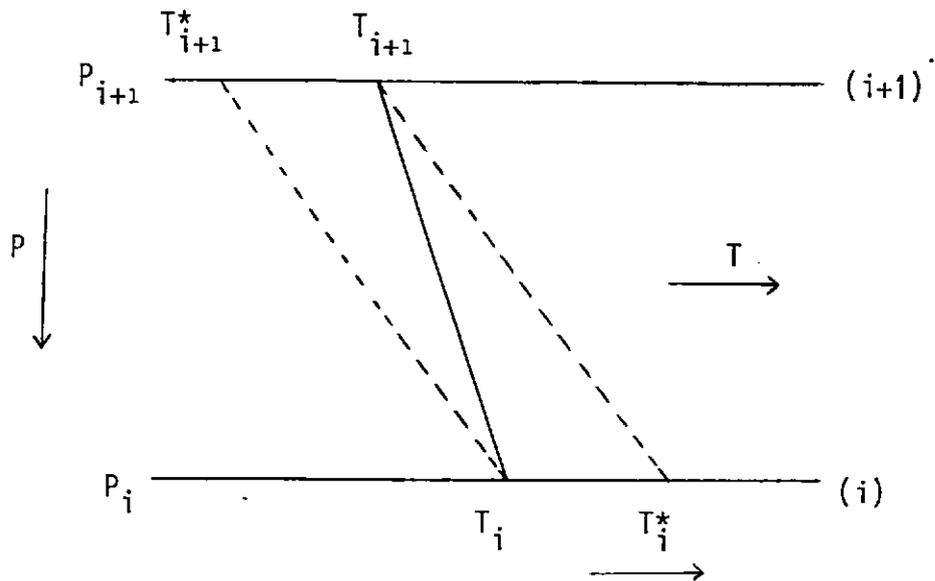


Fig. 3.2 - Construção dos perfis extremos de temperatura para o teste hidrostático. As linhas tracejadas indicam as adiabáticas secas.

O perfil (T_i, T_{i+1}^*) é o mais frio permitido pelo teste de estabilidade estática, é obtido pela TVVT adiabática seca que passa pelo ponto (T_i, p_i) e corresponde a uma inversão no nível $(i+1)$. Correspondente a este perfil, e mais uma vez supondo uma variação da temperatura linear em $\ln p$, tem-se uma espessura:

$$D_f = \frac{R}{g} \frac{T_i + T_{i+1}^*}{2} \ln \left(\frac{p_i}{p_{i+1}} \right). \quad (6)$$

De maneira similar, a espessura correspondente ao perfil mais quente permitindo (T_i^*, T_{i+1}) é:

$$D_q = \frac{R}{g} \frac{T_i^* + T_{i+1}}{2} \ln \left(\frac{p_i}{p_{i+1}} \right). \quad (7)$$

Verifica-se então a seguinte condição:

$$| D_{obs} - D_{comp} | < K \frac{1}{2} | D_q - D_f | = Tol, \quad (8)$$

onde D_{obs} e D_{comp} são as espessuras observada e computada, respectivamente, e K uma constante a ser ajustada, mas no presente feita igual a 0,75. Restrições adicionais podem ser feitas para especificar os valores mínimo e máximo de Tol (tolerância), como mostra o Apêndice D.

Quando a Equação 8 não é satisfeita, pelo menos uma das quatro variáveis $T_i, T_{i+1}, Z_i, Z_{i+1}$ apresenta erro e pode ser eventualmente recuperada com a aplicação de vários algoritmos de correção, descritos também no Apêndice D.

3.6 - TESTE DO CISALHAMENTO VERTICAL DO VENTO

Testes de consistência para o cisalhamento vertical do vento implicam, pela teoria do vento térmico (Dutton, 1976), verificar a legitimidade de gradientes horizontais de temperatura. O teste, como implantado, é executado em duas etapas:

a) Teste para o cisalhamento vertical da magnitude do vento. Aqui verifica-se se $a = ||\mathbf{V}_1| - |\mathbf{V}_2||$ é

a.1) $a \leq 0,8 a_{\max}$,

a.2) $0,8a_{\max} \leq a \leq a_{\max}$,

a.3) $a > a_{\max}$,

onde $a_{\max} \equiv 20,6 + 0,275 (|\mathbf{V}_1| + |\mathbf{V}_2|)$, com a magnitude do vento em s^{-1} . No caso da hipótese a.3) o dado de vento apresenta-se com erro e é classificado como tal ou simplesmente rejeitado. No segundo caso, o dado é suspeito e poderá receber um tratamento diferenciado na fase de análise objetiva. Tanto nos casos (a.1) e (a.2), procede-se à segunda etapa, onde são feitas considerações sobre a direção do vento.

b) Verificação combinada direção e magnitude: Aqui a soma máxima permitida das magnitudes $|\mathbf{V}_1|$ e $|\mathbf{V}_2|$ é relacionada por níveis à variação vertical da direção do vento. Uma tabela de entrada dupla (nível vertical e cisalhamento na direção) mostra valores máximos admitidos para $|\mathbf{V}_1| + |\mathbf{V}_2|$. O vento é classificado correto, suspeito ou com erro de acordo com critérios idênticos ao mostrado na primeira fase. Essa tabela encontra-se no Apêndice E.

4 - ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA E EXEMPLOS

Nesta seção é descrita de modo geral a estruturação básica do programa "VERCONS", desenvolvido especificamente para testar a consistência vertical de dados de ar superior. O diagrama de blocos da Figura 4.1 mostra o arranjo das várias sub-rotinas que executam os testes mencionados na seção anterior. Estas sub-rotinas são, por sua vez, detalhadas individualmente no restante desta seção. Informações adicionais sobre o programa "VERCONS" são encontradas nos vários apêndices deste relatório, bem como comentadas no próprio programa. A fase de leitura e preparação de dados é discutida na Seção 5.

4.1 - TESTE DE VALORES ABSOLUTOS (SUB-ROTINA LIMITS)

Este teste é de relativa simplicidade e consiste em, durante uma varredura dos níveis padrões, desde a superfície até o último nível da mensagem, verificar se os campos de temperatura, a altura geopotencial, o vento (direção e magnitude) e a depressão de ponto de orvalho estão dentro de limites previamente estabelecidos. Este procedimento é feito sequencialmente.

4.2 - TESTE DE FORMAÇÃO DE GELO (SUB-ROTINA ICING)

Essencialmente já descrito na Seção 3.

4.3 - TESTE DE ESTABILIDADE ESTÁTICA (SUB-ROTINA LAPSER)

O teste de estabilidade estática ou teste da TVVT verifica, durante uma varredura dos níveis padrões, se a TVVT não é superadiabática ou se a inversão está dentro de limites de intensidade permitidos. Inclui também algoritmos corretivos, descritos no Apêndice B, para o caso de temperaturas classificadas errada ou suspeita.

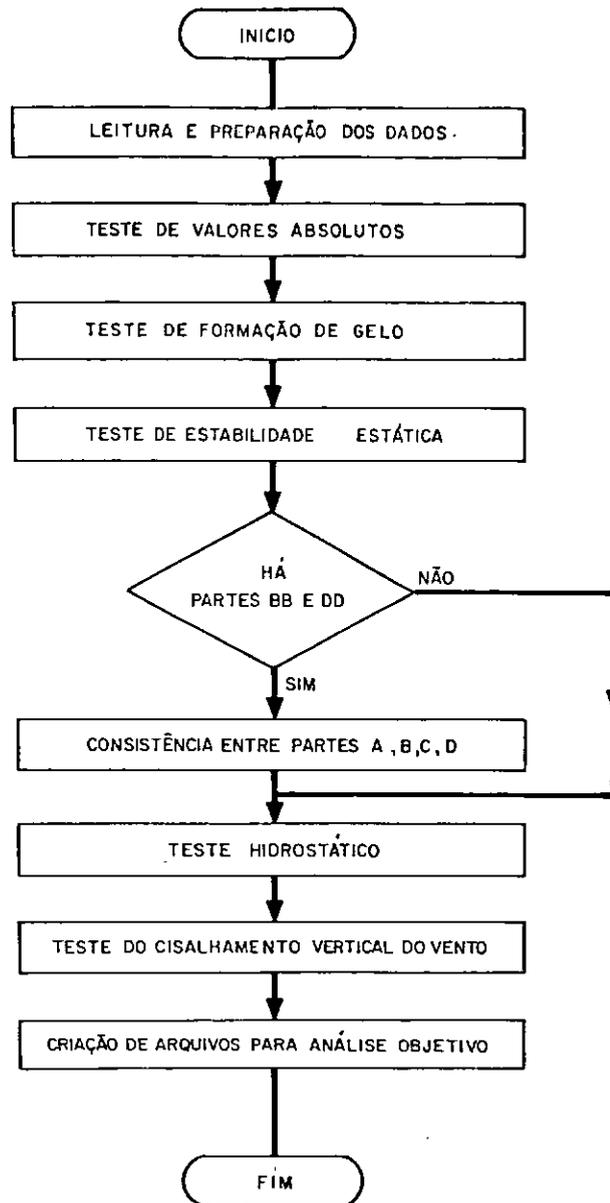


Fig. 4.1 - Diagrama de blocos do programa "VERCONS", mostrando a disposição geral das sub-rotinas de testes de consistência vertical.

4.4 - CONSISTÊNCIA ENTRE NÍVEIS PADRÕES E SIGNIFICATIVOS (SUB-ROTINA MANSING)

Esta consistência está ilustrada na Figura 4.2.

4.5 - TESTE HIDROSTÁTICO (SUB-ROTINA HYDROS)

O uso da equação hipsométrica permite testar a consistência entre os dados de temperatura e espessura, impondo a restrição do vínculo hidrostático. Um diagrama de blocos para o teste hidrostático é similar a aquele da Figura 4.2, exceto que as diferenças referem-se a discrepâncias entre valores de espessuras recomputados com a equação hipsométrica e aqueles transmitidos. Algoritmos corretivos são dados no Apêndice D.

4.6 - TESTE DE CISALHAMENTO VERTICAL DO VENTO (SUB-ROTINA SHEAR)

Este teste está detalhado na Seção 3 e no Apêndice E.

4.7 - EXEMPLOS

O programa "VERCONS" acusa dados ausentes ou errôneos, emitindo mensagens exemplificadas para os casos de uma temperatura em 1000mb que não consta da radiossondagem,

"NO NÍVEL DE PRESSÃO 1000.0 TEMPER ESTÁ AUSENTE"

ou

"NO NÍVEL DE PRESSÃO 850.0 GEOPOT = 5640 ESTÁ ERRADO"

no caso de uma altura geopotencial fora dos limites permitidos pelo teste de valores absolutos.

Além da emissão de mensagens, cada dado dependendo da situação receberá um "flag" (marca) que tem por finalidade sinalizá-lo internamente com respeito à aplicação dos vários testes e identificá-lo em termos de credibilidade na fase de análise objetiva através de atribuição de pesos especificados.

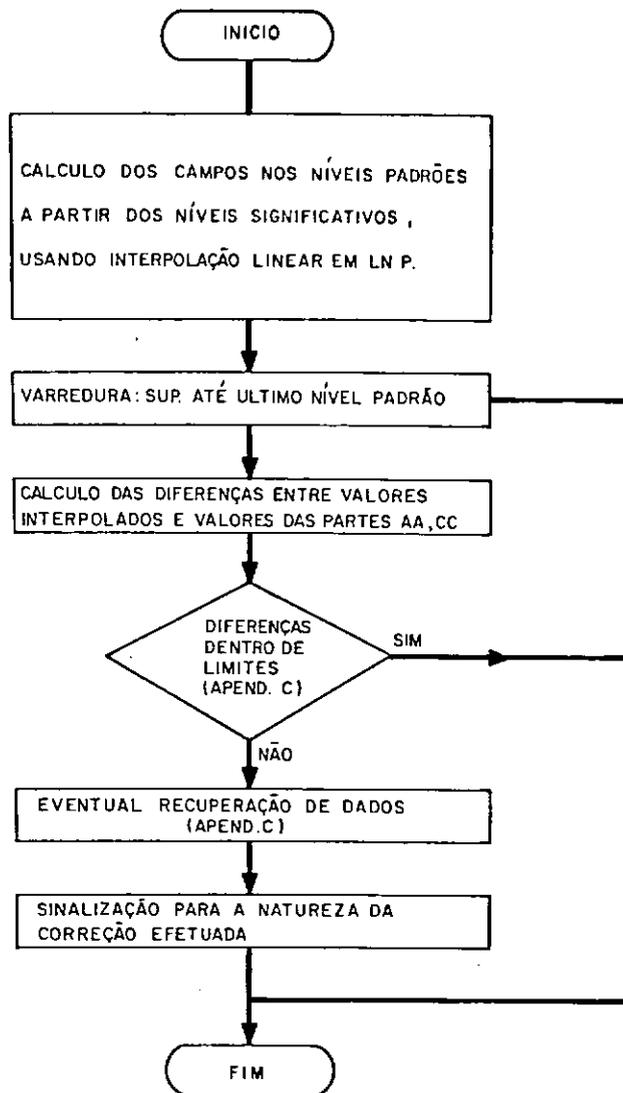


Fig. 4.2 - Diagrama de blocos para a fase de consistência entre as partes AA, BB, CC e DD da mensagem TEMP.

Os seguintes "flags" são associados aos dados em níveis padrões:

- 3: "errado"
- 2: "ausente"
- 1: "suspeito"
- 0: "correto"
- 1: "suspeito mas modificado"
- 2: "inicialmente ausente mas reconstruído"
- 3: "errado mas modificado"

Dados inicialmente ausentes são preenchidos com 99999, e recebem o "flag" - 2 somente no caso de ser possível uma reconstrução usando informações de níveis vizinhos.

Seguem-se agora dois exemplos de aplicação de "VERCONS". O primeiro exemplo é ilustrado com a radiossondagem de Porto Alegre do dia 09 de junho de 1987, para às 12:00 TMG. O último nível padrão da mensagem foi o de 250mb. Um erro foi introduzido no perfil de temperatura ao nível de 700mb, fazendo-a 10⁰C mais quente (16.2⁰C) que o valor original de 6,2⁰C da mensagem. A Figura 4.3 mostra o perfil original modificado, para o qual o teste de estabilidade estática acusa o valor errôneo de temperatura (não só para o nível de 700, mas também para 500mb) e o perfil referente aos níveis padrões, como reconstruído pela interpolação dos valores em níveis significativos. O algoritmo corretivo (sub-rotina MANSIG) conseguiu recuperar uma temperatura (ainda provisória) de 6,7⁰C (8% com erro). A temperatura em 700mb não foi, no entanto, substituída e o algoritmo seguinte (sub-rotina HYDROS) novamente acusou o valor errôneo e gerou um valor definitivo em 700mb de 5,7⁰C (ainda 8% com erro), porém alternando também o nível de 500mb, de -11,5⁰C a -6.6⁰C, como mostrado na Figura 4.4. Em um segundo exemplo, um erro de 140gpm foi somado à altura geopotencial original de 5880gpm do nível de 500mb, na radiossondagem do dia 9 de junho de 1987, 12:00 TMG para Antofagasta, Chile. Os resultados são mostrados na Tabela 4.1.

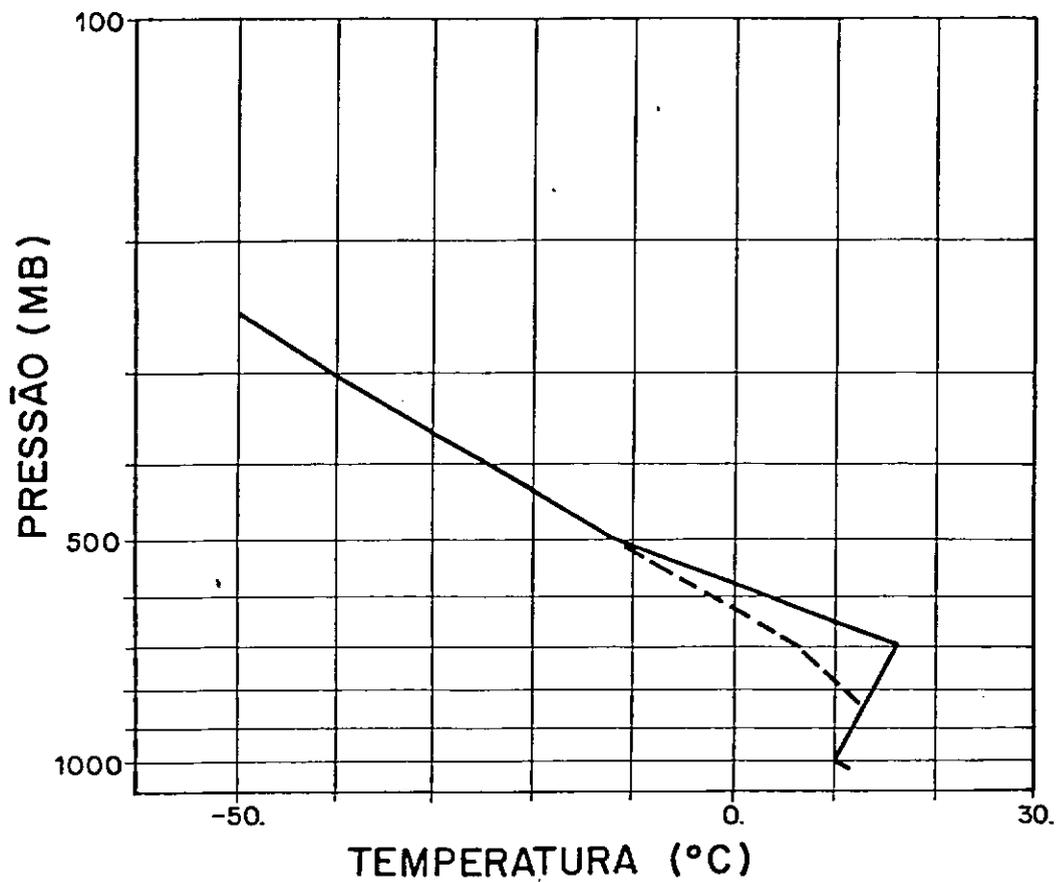


Fig. 4.3 - Perfil da temperatura inicial, porém com observação simulada (linha sólida), e o mesmo perfil após a sua reconstrução usando valores dos níveis significativos (linhas tracejadas).

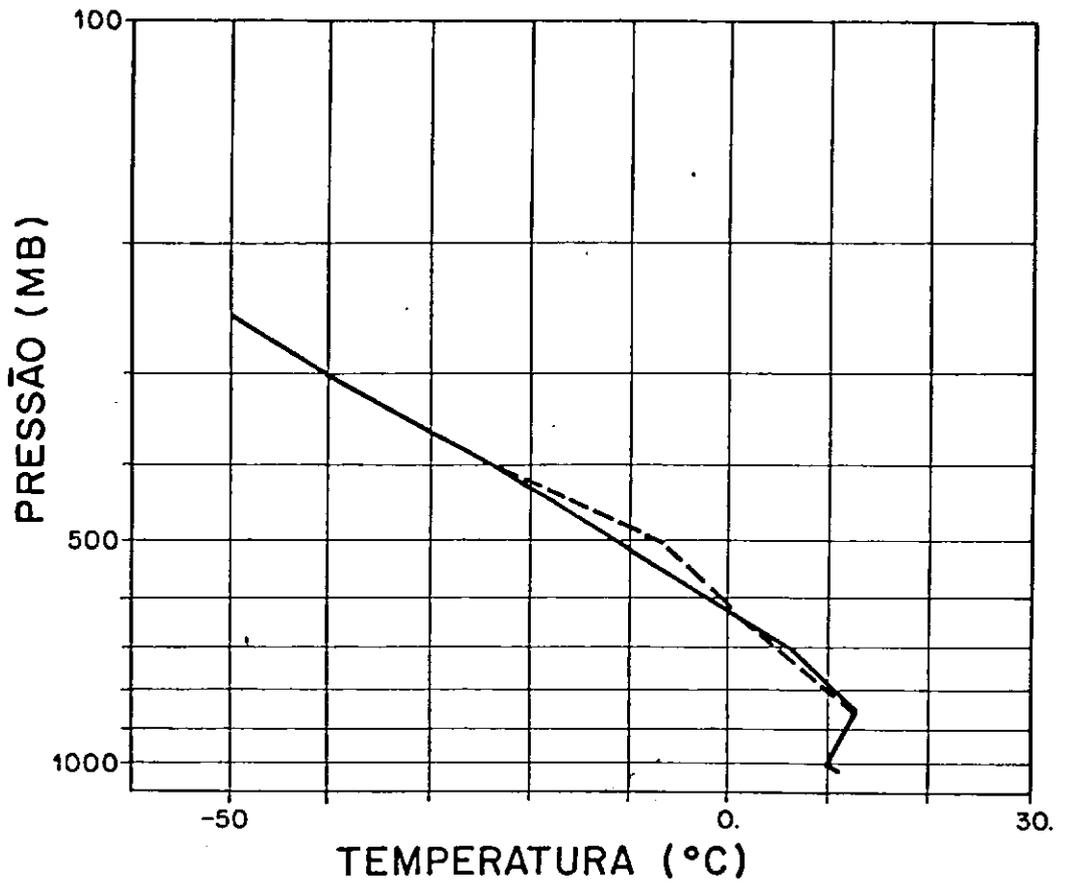


Fig. 4.4 - Perfil de temperatura original isento de erros (linha sôli da) e o perfil final apôs a aplicação de "VERCONS" (linha tracejada).

TABELA 4.1

ALTURAS GEOPOTENCIAIS NO SEGUNDO EXPERIMENTO

Pressão (mb) níveis padrões	Altura geopotencial (gpm) original e sem erros	Altura geopotencial (gpm) final, após correções
1001	-	122
1000	123	123
850	1503	1503
700	3160	3155
500	5880 (+140)*	5882
400	7580	7580
300	9640	9640
250	10880	10880

*(ver texto para explicação)

Testado em apenas dois casos, onde erros nas observações foram simulados, o "VERCONS" detetou e reproduziu valores corrigidos de modo a garantir a consistência vertical dos dados. Somente uma fase de uso intensivo deste software permitirá uma avaliação definitiva de seu desempenho e conseqüentes alterações visando a sua otimização em termos de processamento de dados.

5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Foi desenvolvido um software específico para o processamento de dados convencionais de altitude, o qual verifica a consistência vertical deles. O programa denominado "VERCONS" consiste em 6 sub-rotinas principais, que, sequencialmente, testam os dados com respeito a valores máximos permissíveis, formação de gelo, estabilidade estática, consistência interna entre níveis padrões e significativos, balanço hidrostático e, finalmente, cisalhamento vertical do vento.

Na elaboração do código, teve-se em mente seu eventual uso em caráter operacional em um centro de previsão, onde a recepção de informações meteorológicas é feita através de canais de comunicação conectados a computadores eletrônicos. Assim, o "VERCONS" apresenta certas características bastante desejáveis, quando se consideram propósitos operacionais. Uma delas certamente é a modularidade que permite facilmente adições e ou modificações no programa originalmente desenvolvido.

Um aspecto de fundamental importância dentro da área de desenvolvimento de software a ser integrado a um esquema completo de previsão numérica de tempo é a compatibilidade dos módulos constituintes, sobretudo no que diz respeito à leitura e criação de arquivos de dados, com um padrão adotado de formatação. A versão atual do "VERCONS" não está interfaciada com o banco de dados do Departamento de Meteorologia e Oceanografia (DME), no sentido de ter acesso automático a informações em tempo real, mas pode-se vislumbrar a configuração parcial de um esquema de previsão pela Figura 5.1.

Nesta Figura 5.1 os blocos dentro do espaço limitado por contornos sólidos indicam, sem detalhamento, os componentes principais do banco de dados do DME/INPE (Nakaya et alii, 1983). As linhas sólidas e finas que conectam os vários blocos representam a configuração presente, enquanto as tracejadas, a configuração pretendida (as linhas entre os blocos "VERCONS", ANÁLISE OBJETIVA e MODELOS significam que as devidas interfaces ainda estão faltando e só serão implantadas após um consenso na adoção de formatação a ser utilizada em caráter permanente).

A etapa de DECODIFICAÇÃO aparece repetida duas vezes, mas não se trata de redundância. A configuração associada à linha sólida já está implantada e permite, no presente, a decodificação em tempo real das mensagens TEMP e PILOT que chegam via telex. Futuramente, é desejável que o "VERCONS" seja alimentado diretamente do banco de dados, pois a etapa de RECUPERAÇÃO a ser implantada prevê, em adição aos algoritmos corretivos, a recuperação por inspeção visual dentro de um es

quema interativo homem/máquina e, conseqüentemente, maior número de dados aproveitáveis.

A interface entre o "VERCONS" e a fase de ANÁLISE OBJETIVA permitirá a confecção de cartas analisadas automaticamente (que poderiam substituir as feitas subjetivamente) e proporcionará produtos com qualidade testada a usuários, como o Grupo de Sinótica encarregado das previsões subjetivas emitidas em caráter interno.

O programa "VERCONS" fará, após sua implantação rotineira, um levantamento permanente de estatísticas das correções efetuadas, fornecendo subsídios para a tomada de possíveis medidas corretivas com respeito a estações que apresentam erros sistemáticos e para verificar a validade e/ou adaptar a região dos dados os limites numéricos usados nas várias sub-rotinas.

Finalmente, deve-se mencionar mais uma vez que esta versão do "VERCONS" não deve ser considerada definitiva e modificações e/ou adições de novas sub-rotinas (por exemplo, gráficas) poderão ser necessárias no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DUTTON, J.A. *The ceaseless wind*. An introduction to the theory of atmospheric motion. McGraw Hill Book Company, 1976.
- FORTUNE, M.A. *Manual de código sinótico*. São José dos Campos, INPE, nov. 1979. (INPE-1663-MD/003).
- NAKAYA, P.S.; CAPRETZ, L.F.; MOTTA, F.A.A.; TORSANI, J.A. *Banco de dados meteorológicos*. São José dos Campos, INPE, jun. 1983 (INPE-2790-PRE/353).
- OLIVEIRA, A.A.; NAKAYA, P.S. *Um sistema de recuperação de dados meteorológicos*. São José dos Campos, INPE, mar. 1977 (INPE-1002-TPT/048).
- PETERSSEN, S. *Weather analysis and forecasting*. McGraw Hill Book Company, Vol. I, 1956.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. *Manual on Codes nº 306*, Dez. 1985.

APÊNDICE A

TESTE DE VALORES ABSOLUTOS

A Tabela A.1 mostra os valores numéricos dos limites utilizados no programa "VERCONS".

TABELA A.1

VALORES CLIMATOLÓGICOS PARA OS LIMITES DOS CAMPOS DAS VARIÁVEIS DE AR SUPERIOR

	Nível Vertical		Valor Mínimo Permitido	Valor Máximo Permitido	
	p(mb)	altura(m)		lat. ≤ 45°	lat. > 45°
Geopotencial (gpm)	1000		-500	600	600
	850		500	2000	2000
	700		2200	3500	3500
	500		4500	6300	6300
	400		6100	8000	8000
	300		7300	9900	9900
	250		8500	11400	11400
	200		10000	13200	13200
	150		12000	15200	15200
	100		14000	18100	18100
	70		15500	21500	21500
	50		17700	23700	23700
	30		20500	26500	26500
20		23300	30300	30300	
10		26000	34000	34000	
Temperatura (°C)	1000		-90	+60	+50
	850		-90	+35	+28
	700		-90	+21	+15
	500		-90	+5	0
	400		-90	-3	-10
	300-100		-100	-10	-10
	70-10		-100	0	0
Velocidade do vento (m s ⁻¹)	1000	300		60	60
	850	1500		65	65
	700	3000		70	70
	500	5500		103	103
	400	7000		130	130
	300-200	9000-12000		160	160
	150-70	14000-20000		150	150
	50-20	22000-26000		90	90
	10	30000		75	75

APÊNDICE B

TESTE DE ESTABILIDADE ESTÁTICA

O teste de estabilidade estática procura detectar temperaturas errôneas e, se possível, recuperá-las utilizando os dados de camadas vizinhas. O seguinte algoritmo é utilizado:

- a) A temperatura do nível $(i+1)$ é considerada errada quando, pelo menos, uma das condições seguintes for verdadeira:
 - a.1) a TVVT na camada $(i-1, i)$ é aceitável e a TVVT na camada $(i-1, i+1)$ não é permitida, o mesmo acontece na camada $(i+1, i+2)$;
 - a.2) a TVVT na camada $(i-1, i)$ é considerada correta e a TVVT em $(i-1, i+1)$ é superadiabática, mas ao mesmo tempo, com a TVVT em $(i-1, i+2)$ correta;
 - a.3) a temperatura no nível $(i+1)$ resulta em uma inversão não permitida entre os níveis $(i+1)$ e $(i+2)$, mas com TVVTs aceitáveis nas camadas $(i+1, i+2)$ e $(i-1, i+2)$.
- b) A temperatura no nível $(i+1)$ é considerada suspeita quando a TVVT na camada $(i-1, i)$ está correta e aquela da camada $(i-1, i+1)$ não é permitida, porém com a TVVT da camada $(i+1, i+2)$ correta e as da $(i-1, i+2)$ e $(i, i+2)$ também não permitidas.
- c) A temperatura no nível (i) é classificada errada nos seguintes casos:
 - c.1) As TVVTs nas camadas $(i, i+2)$ e $(i-1, i)$ não são permitidas, apesar da TVVT na camada $(i-1, i+1)$ ser correta;

- c.2) A TVVT na camada $(i+1, i+2)$ não é permitida, mas as TVVTs nas camadas $(i-1, i)$, $(i-1, i+1)$ e $(i-1, i+2)$ são corretas.
- d) A temperatura no nível (i) é classificada suspeita quando as TVVTs nas camadas $(i-1, i)$ e $(i-1, i+1)$ são corretas, enquanto a TVVT na camada $(i, i+2)$ não é permitida.
- e) Nos casos não-cobertos acima, a programação do algoritmo torna-se complexa e interrompe o teste de estabilidade estática, simplesmente classificando T_i e T_{i+1} suspeitas.

Finalmente, se uma das temperaturas considerada errada ou suspeita tornar-se correta pela troca de sinal da TVVT, então esta medida corretiva é adotada.

APÊNDICE C

TESTE DE CONSISTÊNCIA ENTRE AS PARTES DA MENSAGEM

Comparam-se os valores interpolados e observados nos níveis padrões das variáveis altura geopotencial, temperatura, temperatura de ponto de orvalho e ventos (direção e magnitude) e verificam-se se os desvios (diferenças) são aceitáveis de acordo com a Tabela C.1.

TABELA C.1

VALORES DE TOLERÂNCIA PARA OS DESVIOS

Altura Geopotencial	menor que 6000 gpm	30 gpm
Altura Geopotencial	maior que 6000 gpm	15 gpm
Temperatura	abaixo da trp* e abaixo de 300mb	1.5 ^o C
Temperatura	acima da trp e acima de 300mb	3.0 ^o C
Temperatura Ponto Orvalho		1.5 ^o C
Vento (magnitude)		5m s ⁻¹
Vento (direção)		10 ^o

* trp = tropopausa

Se o desvio exceder o limite máximo permitido, a observação referente ao nível padrão é classificada suspeita. Para uma temperatura considerada suspeita, tenta-se uma correção por meio de mudança de sinal e se esta reproduzir uma nova temperatura que satisfaça este teste de consistência, então esta nova temperatura é mantida, porêmsob o "flag" de "observação errada porém corrigida". Caso contrã

rio, juntamente com as outras variáveis que não foram aprovadas no teste, adota-se o valor interpolado como integrante da mensagem e a ser verificado nos testes posteriores.

APÊNDICE D

TESTE HIDROSTÁTICO

O teste hidrostático é feito seguindo a sequência:

- a) As TVVTs entre os níveis padrões são verificadas pelo mesmo algoritmo do teste de estabilidade estática, permitindo que sejam levemente superadiabáticas, i.e., a temperatura extrapolada do nível padrão, imediatamente inferior, pode ser até $0,5^{\circ}\text{C}$ superior à temperatura do nível padrão considerado. Caso esta condição não seja satisfeita, a temperatura T_i é classificada "errada" e algoritmos corretivos, descritos a seguir, são aplicados.
- b) As espessuras das camadas entre níveis padrões $(D_{\text{comp}})_i$ são calculadas e comparadas com as observadas $(D_{\text{obs}})_i$ de acordo com o critério dado pela Equação 8. Os valores adotados em caráter provisório são:
- valor mínimo de TOL: 20 gpm,
 - valor máximo de TOL: 50 gpm (abaixo de 400mb),
 - valor máximo de TOL: 80 gpm (acima de 400mb).
- c) No caso da desigualdade expressa na Equação 8 não for satisfeita, pelo menos uma das variáveis $T_i, T_{i+1}, z_i, z_{i+1}$ apresenta-se com erro, e os métodos de identificação e correção são usados. Primeiramente, é calculado um índice de erro, definido por:

$$E = \frac{(D_{\text{obs}})_{i-1} - (D_{\text{comp}})_{i-1}}{(D_{\text{obs}})_i - (D_{\text{obs}})_i}, \quad (\text{D.1})$$

e com base neste índice são estabelecidos os seguintes critérios:

- se $0,5 \leq E \leq 2,0 \rightarrow T_i$ é um dado suspeito,
se $-2,0 \leq E \leq -0,5 \rightarrow Z_i$ é um dado suspeito,
se $|E| > 2,0 \rightarrow$ todas as alturas acima de z_i são suspeitas.

d) A variável considerada suspeita \bar{E} é recalculada a partir de da dos de níveis vizinhos, usando, de acordo com o caso, uma das formulas abaixo. A variável recalculada recebe "flag" dos tipos "valor original suspeito, porém corrigido posteriormente" ("flag": - 1), ou "valor original errado, porém corrigido posteriormente" ("flag": - 3).

As fórmulas seguintes são usadas para eventuais recupe ração (no caso de dados ausentes) ou correção (no caso de dados marcados "suspeito" ou "errado") somente de temperaturas. Toda vez que uma temperatura \bar{E} é recalculada, a TVVT da camada \bar{E} é nova mente testada. Nestas fórmulas, o lado direito da igualdade en volve somente valores corretos das variáveis usadas; já o lado esquerdo refere-se a valores ausentes ou mesmo suspeitos ou er rados, como \bar{E} é feito na presente versão deste software. As fór mulas D.2 a D.12 são usadas para o cálculo de T_i .

i) T_i ausente ou marcada

Calculam-se:

$$T_i^1 = \frac{2g (Z_{i+1} - Z_i)}{R \ln (P_i/P_{i+1})} - T_{i+1} \quad (D.2)$$

e

$$T_i^2 = \frac{2g (Z_i - Z_{i-1})}{R \ln (P_{i-1}/P_i)} - T_{i-1} \quad (D.3)$$

facilmente deduzidas da equação hipsométrica, as quais fornecem valores provisórios de T_i a partir dos níveis (i+1) e (i-1), respectivamente. O valor final de T_i \bar{E} é dado por:

$$T_i = 0,5 (T_i^1 + T_i^2) \text{ se ambos } T_i^1 \text{ e } T_i^2 \text{ forem corretos,}$$

ou

$$T_i = T_i^1 \text{ (ou } T_i^2) \text{ no caso de } T_i^2 \text{ (ou } T_i^1) \text{ não ser correta,}$$

ou

$$T_i = T_{i-1} + \frac{\ln(p_{i-1}/P_i)}{\ln(p_{i-1}/p_{i+1})} (T_{i+1} - T_{i-1}) \quad (D.4)$$

quando ambas T_i^1 e T_i^2 forem classificadas erradas de acordo com o teste da estabilidade estática. Em caso não coberto acima, a temperatura T_i não pode ser recuperada.

ii) T_i ausente ou marcada e z_i ausente.

Usa-se:

$$T_i = 2g \frac{(Z_{i+1} - Z_{i-1})}{R \ln(p_{i-1}/p_{i+1})} - \frac{T_{i-1} \ln(p_{i-1}/p_i) + T_{i+1} \ln(p_i/p_{i+1})}{\ln(p_{i-1}/p_{i+1})} \quad (D.5)$$

Obviamente a Equação D.4 poderia ser igualmente utilizada para fornecer T_i .

iii) T_i e z_i ausentes ou marcadas juntamente com z_{i-1} ou z_{i+1} ausentes.

Usa-se a Equação D.4 para computar T_i .

iv) T_i , Z_i e T_{i+1} ausentes ou marcadas.

A temperatura T_i , neste caso, é calculada em duas etapas. Na primeira, T_{i+1} é determinada por:

$$T_{i+1} = \frac{2g (z_{i+1} - z_{i-1})}{R \ln(p_{i-1}/p_{i+1})} - T_{i-1} \quad (D.6)$$

e na segunda, T_i é fornecida pela Equação D.5 com T_{i+1} dada acima.

v) T_i e T_{i-1} ausentes ou marcadas

A temperatura T_i é dada por:

$$T_i = \frac{2g}{R} \frac{(z_{i+1} - z_i)}{\ln(p_i/p_{i+1})} - T_{i+1}. \quad (D.7)$$

Em caso desta temperatura não satisfazer o teste de estabilidade es
tática, que é aplicado após seu cálculo, então pode-se tentar:

$$T_i = \frac{2g}{R} \frac{(z_i - z_{i-2})}{\ln(p_{i-2}/p_i)} - T_{i+1} \quad (D.8)$$

supondo, obviamente, que as informações do nível (i-2) estejam corretas e disponíveis

vi) T_i ausente ou marcada e z_{i-1} ausente.

Neste caso,

$$T_i = \frac{2g}{R} \frac{(z_{i+1} - z_i)}{\ln(p_i/p_{i+1})} - T_{i+1} \quad (D.9)$$

e usa-se a Equação D.4 para quando o teste de estabilidade não for satisfeito para T_i dada pela Equação D.9.

vii) T_i , z_{i-1} e z_{i+1} ausentes ou marcadas.

A temperatura T_i é simplesmente calculada usando a Equação D.4.

viii) T_i e z_{i+1} ausentes ou marcadas

A temperatura T_i é dada por:

$$T_i = \frac{2g}{R} \frac{(Z_i - Z_{i-1})}{\ln(p_{i-1}/p_i)} - T_{i-1}, \quad (D.10)$$

ou usa-se a Equação D.4 para o caso em que esta temperatura não satisfaz o teste da TVVT.

ix) T_i e T_{i+1} ausentes ou marcadas.

Em primeiro lugar usa-se:

$$T_i = \frac{2g}{R} \frac{(Z_i - Z_{i-1})}{\ln(p_{i-1}/p_i)} - T_{i-1}, \quad (D.11)$$

ou em caso de esta temperatura ser rejeitada pelo teste da TVVT e na disponibilidade de informações no nível (i+2), tem-se:

$$T_i = \frac{2g}{R} \frac{(Z_{i+2} - Z_i)}{\ln(p_i/p_{i+2})} \quad (D.12)$$

x) T_i , T_{i+1} e Z_{i+1} ausentes ou marcadas.

Aqui, usa-se a Equação D.11 para calcular T_i .

xi) T_i , T_{i-1} e Z_{i-1} ausentes ou marcadas.

Aqui, usa-se a Equação D.7 e, se necessário, a Equação D.8 para computar T_i .

Os testes acima apresentados cobrem alguns casos onde a Temperatura T_i , juntamente com outras variáveis, é ausente. A lista apesar de abrangente não é completa; casos não-considerados exigiriam mais complexidade no software, sem necessariamente ser acompanhados de benefícios. Seguem-se agora algumas fórmulas usadas para recuperar a formação da altura do nível (i), Z_i . São elas:

i) Z_i ausente ou marcada.

Calculam-se duas alturas Z_{ac} e Z_{ab} para o nível (i), usando informações do nível (i+1) e (i-1), respectivamente, ou se já:

$$Z_{ac} = Z_{i+1} - \frac{R}{g} \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \ln (p_i/p_{i+1})$$

e

$$Z_{ab} = Z_{i-1} + \frac{R}{g} \frac{T_i + T_{i-1}}{2} \ln (p_{i-1}/p_i)$$

usando, de preferência, a temperatura virtual. A altura Z_i é dada por uma das regras abaixo:

$$\text{se } |Z_{ac} - Z_{ab}| \leq 30 \text{ gpm então } Z_i = 0,5 (Z_{ac} + Z_{ab}),$$

se $|Z_{ac} - Z_{ab}| > 30$ gpm e ambas satisfazem a desigualdade da da na Seção 3, pela Equação 8 então:

$$Z_i = 0,5 (Z_{ac} + Z_{ab}),$$

se Z_{ab} (ou Z_{ac}) não satisfaz a mesma Equação 8, então:

$$Z_i = Z_{ac} \text{ (ou } Z_{ab}\text{)}.$$

ii) Z_i e dados do nível (i-1) ausentes

$$\text{Faz-se simplesmente } Z_i = Z_{ac}.$$

iii) Z_i e dados do nível (i+1) ausentes.

$$\text{Aqui, } Z_i = Z_{ab}.$$

APÊNDICE E

TESTE DO CISALHAMENTO VERTICAL

O máximo valor (em $m s^{-1}$) permitido para a soma das amplitudes f_1 e f_2 do vento em dois níveis padrões sucessivos, associado à variação vertical da direção (α) do vento, de acordo com diferentes intervalos de pressão, é dado na Tabela E.1.

TABELA E.1

VALORES MÁXIMOS DE ($f_1 + f_2$)

$\Delta\alpha$	<30	≥ 30	≥ 40	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 80	≥ 90
$\left. \begin{array}{l} 1000 - 700mb \\ p \leq 150mb \end{array} \right\}$	-	72	61	57	53	49	46	41
$150 \leq p \leq 700mb$	-	110	84	77	70	63	52	50

Como na fase (a) deste teste, o vento é classificado "suspeito" se $0.8(f_1+f_2)_{\max} \leq f_1+f_2 \leq (f_1+f_2)_{\max}$. Excedendo o valor máximo permitido, o vento é considerado "errado". Assim, por exemplo, para dois ventos em $700 \geq p \geq 150mb$.

Nível 1: magnitude f_1 : $15m s^{-1}$; direção α_1 : 100° .

Nível 2: magnitude f_2 : $25m s^{-1}$; direção α_2 : 145° .

Tem-se $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2 = 45^\circ$ e $(f_1+f_2)_{\max} = 84$, e neste caso os ventos estão corretos.