

RELATÓRIO FINAL
(BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/CNPq)

Bolsista : **Roberto Rabelo Júnior**
Orientador : **Dr. Clóvis Angeli Sansigolo**
Título do Projeto : *Previsão estatística das precipitações diárias na cidade de São Paulo usando uma única radiossondagem.*
Período : *Agosto de 1996 à Junho de 1997*
Instituição : *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*
Departamento : *Divisão de Ciências Meteorológicas (DCM-INPE)*

I. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

As previsões estatísticas de precipitação têm sido objeto de pesquisa e desenvolvimento em várias partes do mundo, desde o final do século passado. Ultimamente, tiveram maior interesse devido à ampliação das atividades econômicas e sociais envolvendo riscos de chuvas.

Geralmente, essas previsões se baseiam em *índices de instabilidade*, que são parâmetros numéricos objetivos que visam relacionar a ocorrência de chuvas com a circulação atmosférica de grande escala (temperatura, umidade e vento). Os índices mais conhecidos são: *Showalter, K, Totals, Sweat, Druyan-Sant, Galway e Fawbush-Miller* (descritos a seguir).

No Brasil, os índices de instabilidades foram utilizados operacionalmente por alguns distritos do *Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET)*, porém, sem uma avaliação objetiva da sua real utilidade na previsão de tempestades. Os limites utilizados, a partir dos quais se prevê instabilidade, foram os mesmos daqueles utilizados em latitudes médias, sem adaptações às diversas situações locais. Apenas os índices desenvolvidos nas décadas de 50 e 60 foram implementados pelo *INEMET*, e os mais sofisticados, que incorporam mais processos físicos, nunca foram utilizados.

Schell (1946) propôs um método para previsão objetiva de precipitações locais, modificado por *Krown* (1953) e aprimorado por *Druyan e Sant* (1978), com bons resultados para Israel.

Solano e Yamazaki (1982) desenvolveram um modelo estatístico de 7 preditores, baseado em *Druyan* (1982), para previsão de um dia das precipitações para Natal, RN e obtiveram bons resultados no trimestre de inverno.

Segura (1987) aplicou o método de *Druyan e Sant* (1978) à estação de Ezeiza em Buenos Aires e, comparando os resultados com os de *Druyan e Sant* para Israel, encontrou diferenças significativas atribuídas à fatores geográficos e climáticos locais.

Beneti e Silva Dias (1986 e 1990) avaliaram o desempenho dos diversos índices de instabilidade como previsores de tempestades na região de São Paulo e Centro-Sul do Brasil.

Sandim et alii (1990) aplicaram o índice de *Druyan e Sant* para previsão quantitativa de precipitações no Estado do Rio de Janeiro, mas só obtiveram bons resultados sobre a ocorrência de precipitações.

O objetivo deste trabalho é o *desenvolvimento e a verificação de um método estatístico de previsão quantitativa das precipitações diárias na cidade de São Paulo, através de índices de instabilidade calculados a partir de uma única radiossondagem.*

II. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os dados utilizados neste estudo foram as radiossondagens diárias (temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento e geopotencial nos níveis padrões de pressão) no *Aeroporto de Congonhas* e as precipitações diárias do *Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP)*, e do *Mirante de Santana* (ambos na cidade de São Paulo) no período de 1970-91.

Foi desenvolvido um programa de computador para ler o arquivo das radiossondagens (74887 linhas x 80 colunas), selecionar a das 12 GMT e também os períodos com maior número de observações durante a estação chuvosa (outubro-março) e, finalmente, gerar um arquivo de trabalho com as mesmas. Baseado nesse arquivo de trabalho, foi elaborado um novo programa (que se encontra no *Apêndice 2*) para calcular os índices de instabilidade (*Apêndice 1*), como mostrado a seguir:

1) Índice SHOWALTER (Manual "Skew-T - Log P", 1969)

Um dos primeiros índices de instabilidade desenvolvidos foi o índice de Showalter (*IS*), uma função apenas de três parâmetros: a temperatura do ar em 500 mb, a temperatura do ar em 850 mb e a temperatura do ponto de orvalho em 850 mb. A parcela de ar em 850 mb é levantada até alcançar seu nível de condensação por levantamento e, a seguir, por uma adiabática saturada até alcançar o nível de 500 mb onde atinge a temperatura T'_{500} . Várias propostas apareceram para modificar o *IS* de maneira a apresentar uma melhor descrição da umidade nas camadas mais baixas. Entretanto, o *IS* é o de mais fácil determinação e tem sido usado extensivamente.

$$IS = T_{500} - T'_{500}$$

Deve-se interpretar o valor do *IS* da seguinte maneira:

| | |
|---------------------|------------------------------|
| +1 < <i>IS</i> < +5 | Algumas tempestades na área. |
| -2 < <i>IS</i> < +1 | Boa chance de trovoadas. |
| -6 < <i>IS</i> < -2 | Tempestades severas. |
| <i>IS</i> < -6 | Possibilidade de tornado. |

2) Índice K (Reap and Foster, 1975)

Sendo T_p a temperatura do ar no nível de pressão p , e Td_p a temperatura do ponto de orvalho no nível de pressão p , o índice K é dado por:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$$

O índice K atinge valores máximos quando a taxa de variação vertical de temperatura é instável e com umidade em abundância até 700 mb. Para valores maiores que 25, a relação entre o índice e a frequência de tempestades é aproximadamente linear, sendo considerados significativos.

3) TOTALS (Miller and Maddox, 1975)

O índice TOTALS (TOT) é usado para o cálculo do índice Sweat. A grande fraqueza deste índice e do índice K é a dependência da umidade em 850 mb (a umidade pode existir, porém pode não atingir 850 mb). Quando a massa de ar é úmida e quente, esses índices dão interpretação semelhantes mas, quando o ar é mais frio e seco, o TOTALS tem melhores resultados por dar um peso maior à presença do ar frio em 500 mb. O índice TOT indica tempestades quando ≥ 50 .

$$TOT = T_{850} + Td_{850} - 2*T_{500}$$

4) SWEAT (Miller and Maddox, 1975)

O índice *Sweat* (Severe Weather Threat: ameaça de tempestades severas), descrito por Miller e Maddox (1975), combina parâmetros importantes como indicadores de potencial de tempestades severas. Os parâmetros incluídos descrevem: a estabilidade da coluna atmosférica, o jato de baixos níveis, o jato de níveis médios e o cisalhamento direcional entre os ventos de níveis baixos e médios. Para o índice *Sweat* (SW), apenas os valores maiores de 250 são considerados significativos.

$$SW = 12 * Td_{850} + 2 * V_{850} + V_{500} + 20 * (TOT - 49) + 125 * f(\alpha)$$

5) DRUYAN-SANT (Druyan and Sant, 1978)

Druyan e Sant (1978) desenvolveram previsores de precipitação para um período de 12 horas usando uma única radiossondagem. O índice de Druyan-Sant (*IDS*) leva em consideração a razão de mistura (*w*) de cada observação e a distância vertical (*Dz*) entre o nível da radiossondagem e o nível de condensação por levantamento (*ncl*). Esse índice é calculado em intervalos de 50 mb na vertical, a partir da superfície até o nível de 600 mb. No caso de São Paulo, consideram-se a Superfície (805m de altitude), 900, 850, 800, 750, 700, 650 e 600 mb e tomou-se um valor médio desses 8 níveis.

$$IDS = \frac{w}{Dz} \text{ (g / (Kg . 100m))}$$

6) GALWAY (Manual "Skew-T - Log P", 1969)

Devido a escolha arbitrária do nível de 850 mb no índice de Showalter, Galway propôs o Índice Levantado (*IL*), uma modificação do *IS* onde se considera a razão de mistura média da camada entre superfícies e 850 mb de sondagem. Usualmente os valores deste índice são menores que os de Showalter.

$$IL = T_{500} - T''_{500}$$

7) FAWBUSH-MILLER (Manual "Skew-T - Log P", 1969)

Em geral, os valores do índice de Fawbush-Miller (*IFM*) e do *IS* são semelhantes. Entretanto, pode ocorrer diferenças significativas no *IS*, quando o valor da umidade a 850 mb não é representativo da camada abaixo desta pressão, ou quando uma inversão de subsidência está localizada logo abaixo de 850 mb. Assim, o *IFM* considera mais informações acerca dos valores de umidade.

$$IFM = T_{500} - T'''_{500}$$

III. RESULTADOS OBTIDOS

Feita a análise do arquivo de dados meteorológicos de altitude (radiossondagens nos níveis padronizados) do *Aeroporto de Congonhas*, na cidade de São Paulo, no período de 1970 até 1991, e, utilizado os dados de precipitação do *Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP)* e do *Mirante de Santana*, ambos na cidade de São Paulo, três períodos foram selecionados com as radiossondagens das 12 GMT:

- Outubro/1984-Março/1985 (com 182 radiossondagens),
- Outubro/1989-Março/1990 (com 177 radiossondagens) e
- Outubro/1990-Março/1991 (com 181 radiossondagens).

Os índices de instabilidade calculados a partir das radiossondagens das 9h do dia D foram comparadas com as precipitações observadas às 9h do dia $D+1$, e os resultados obtidos foram:

- ⇒ O Índice de *SHOWALTER (IS)* teve como média 4,0 e desvio-padrão 6,0 para os dias *chuvosos* e média 15,7 e desvio-padrão 7,7 para os dias *secos*. Quanto menores os resultados para *IS*, maior a possibilidade de precipitações na área mencionada. Esse índice apresentou grandes diferenças entre os dias secos e chuvosos (v. Gráfico 1) e também apresentou uma destreza de 40,63% para a ausência de chuvas e de 76,39% para os dias com precipitação (v. Tabela 1).
- ⇒ O Índice *K*, por sua vez, teve como média 30,7 e desvio-padrão 6,3 para os dias *chuvosos* e média 18,9 e desvio-padrão 13,5 para os dias *secos*. Quanto mais altos esses valores (maiores de 25), maior a possibilidade de tempestades (v. Gráfico 2). O índice *K* apresentou uma destreza de 26,72% para a ausência de chuvas e de 87,27% para os dias com precipitação (v. Tabela 2).
- ⇒ O Índice *TOTALS (TOT)* apresentou como média 42,9 e desvio-padrão 3,5 para os dias *chuvosos* e média 39,4 e desvio-padrão 7,4 para os dias *secos*. Esse índice não teve um bom desempenho pois não permitiu uma boa distinção entre os dias secos e chuvosos (v. Gráfico 3). Quanto mais altos os valores obtidos para esse índice, maior a possibilidade de chuvas, ou seja, valores maiores ou iguais a 50 indicam tempestades localizadas. O índice *TOT* apresentou uma destreza média de 96,98% para a ausência de chuvas e de 3,33% para os dias com precipitação (v. Tabela 3).

- ⇒ O Índice *SWEAT (SW)* teve como média 77,2 e desvio-padrão 86,8 para os dias *chuvosos* e média -17,5 e desvio-padrão 152,1 para os dias *secos*. Quanto mais altos os valores obtidos, maior a ameaça de tempestades, ou seja, somente os valores maiores que 250 são considerados significativos para a previsão específica de tempestades severas, que não se observaram no período escolhido (v. Gráfico 4). O índice *SW* apresentou uma destreza média de 98,55% para a ausência de chuvas e de 1,67% para os dias com precipitação (v. Tabela 4).
- ⇒ O Índice de *DRUYAN-SANT (IDS)* teve como média 2,9 e desvio-padrão 2,2 para os dias *chuvosos* e média 1,4 e desvio-padrão 1,0 para os dias *secos*. Os valores maiores que 2 indicaram precipitações em 75% dos casos. Esse índice provou ser eficaz na maioria dos casos que houve precipitação (v. Gráfico 5). O índice *IDS* apresentou uma destreza de 66.56% para a ausência de chuvas e de 43.29% para os dias com precipitação (v. Tabela 5).
- ⇒ O Índice *GALWAY (IL)* teve como média 5,7 e desvio-padrão 9,2 para os dias *chuvosos* e média 20,1 e desvio-padrão 9,6 para os dias *secos*. Quanto menores os resultados para *IL*, maior a possibilidade de precipitações. Esse índice apresenta valores menores que os de *Showalter* (v. Gráfico 6) e também apresentou uma destreza de 36,80% para a ausência de chuvas e de 71,06% para os dias com precipitação (v. Tabela 6).
- ⇒ O Índice *FAWBUSH-MILLER (IFM)* teve como média 3,5 e desvio-padrão 7,1 para os dias *chuvosos* e média 13,8 e desvio-padrão 7,0 para os dias *secos*. Quanto menores os resultados para *IFM*, maior a possibilidade de precipitações. Esse índice apresenta valores semelhantes aos de *Showalter* (v. Gráfico 7) e também apresentou uma destreza de 39,92% para a ausência de chuvas e de 77,55% para os dias com precipitação (v. Tabela 7).

As Tabelas mencionadas encontram-se no *Apêndice 3* e os Gráficos em questão, no *Apêndice 4*.

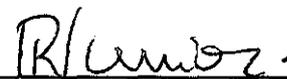
IV. CONCLUSÃO

Analisando os resultados apresentados nas Tabelas 1-7 (*Apêndice 3*) e nos Histogramas 1-7 (*Apêndice 4*), chegou-se a conclusão que os Índices de Instabilidade *SHOWALTER*, *K*, *DRUYAN-SANT*, *GALWAY* e *FAWBUSH-MILLER* apresentaram boa destreza na previsão de chuvas, da ordem de 70%, bastante superior à climatologia, 25,23% (ver: III - Resultados Obtidos) e tiveram comportamentos bastante semelhantes no período analisado.

Esses mesmos índices não tiveram boas destrezas na previsão de dias sem chuvas (42%) em relação à climatologia (74,8%) pois são índices de instabilidade e, portanto, indicativos de precipitações.

Os dois outros índices analisados, *TOTALS* e *SWEAT*, para previsão de tempestades severas, não apresentaram bons resultados (ver: III - Resultados Obtidos).

São José dos Campos, 20 de Junho de 1997.



Roberto Rabelo Júnior

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENETI, C. A. A.; SILVA DIAS, M. A. Análise da performance dos índices de instabilidade como previsores de tempestades na região de São Paulo. Anais IV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 1986, v. II, p. 65-70.
- BENETI, C. A. A.; SILVA DIAS, M. A. Análise do desempenho de índices de instabilidade como previsores de tempestades na região Centro-Sul do Brasil. Anais VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador, 1990, v. II, p. 467-471.
- BETTS, A. K.; DUGAN, F. J. Empirical formula for saturation pseudo-adiabats and saturation equivalent potential temperature. *Journal of Applied Meteorology*, v.12:73-732, Jan 1973.
- BETTS, A. K.; GROVER, R. W.; MONCRIEFF, M. W. Structure and motion of tropical squall-lines over Venezuela. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society*, 102:395-404, Jan 1976.
- BOLTON, D. Computation of Equivalent Potential Temperature. *Mon. Wea. Rev.*, 108:1046-1053, Jul 1980.
- DRUYAN, L. M.; SANT, Y. Objective 12h precipitation forecasts using a single radiosonde. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 59(11):1438-1441, Nov 1978.
- DRUYAN, L. M. Automated precipitation forecasts using a single-station radiosonde profile. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(5):499-502, May 1982.
- KROWN, L. Detailed radiosonde analysis in local 12h forecasting of precipitation at Lydda Airport. State of Israel Meteorological Service, Series A Meteorological Notes No. 8, 8p.
- MILLER, R. C.; MADDOX, R. A. Use of the Sweat and Spot Indices in operational severe storm forecasting. Ninth Conference on Severe Local Storms, Oklahoma, USA, Oct 1975, p. 1-6.
- MINISTÉRIO DA AERONÁUTICA. Manual de análise do diagrama "Skew-T - Log P". MMA-DR-105-7, 1969, p. 56-61.
- REAP, R. M.; FOSTER, D. S. New operational thunderstorm and severe storm probability forecasts based on Model Output Statistics (MOS). Ninth Conference on Severe Local Storms, Oklahoma, USA, Oct 1975, p. 58-63.

SANDIM, M. D.; MARQUES, J.; CAVALCANTE, D. R.; ALOISE, E. D.; FERREIRA, A. V.

Aplicação do índice de Druyan e Sant (1978) para a previsão quantitativa de precipitação para o Estado do Rio de Janeiro. Anais VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador, 1990, v. II, p. 190-194.

SCHELL, I. I. Single radiosonde analysis in local 8h forecasting of precipitation. Bulletin of the American Meteorological Society, 27(4):164-168, Apr 1946.

SEGURA, M. E. Prognóstico estadístico de precipitación. Anales II Congr. Interam. Meteor. e V Congr. Argentino Meteor. Buenos Aires, 1987, p. 3.1.1. - 3.1.5..

SHOWALTER, A. K. A Stability Index for Thunderstorm Forecasting. Bulletin of the American Meteorological Society, 34(6):250-252, Jun 1953.

SOLANO, C. P.; YAMAZAKI, Y. Previsão estatística de precipitação a partir de uma única radiossondagem. Publicação interna, INPE, 1982.

STACKPOLE, J. D. Numerical Analysis of Atmospheric Soundings. Journal of Applied Meteorology, v.6:464-467, Jun 1967.

APÊNDICE 1. TABELA RESUMIDA DOS ÍNDICES DE INSTABILIDADE:

| Índice | Descrição Sumária | Referência |
|----------------|---|-----------------------------|
| SHOWALTER | $IS = T_{500} - T'_{500}$ | Manual Skew-T - Log P |
| K | $K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$ | Reap and Foster (1975) |
| TOTALS | $TOT = T_{850} + Td_{850} - 2*T_{500}$ | Miller and Maddox (1975) |
| SWEAT | $SW = 12 * Td_{850} + 2 * V_{850} + V_{500} +$ $+ 20 * (TOT - 49) + 125 * f(\alpha)$ | Miller and Maddox (1975) |
| DRUYAN-SANT | $IDS = \frac{w}{Dz}$ (g / (Kg . 100m)) | Druyan and Sant (1978) |
| GALWAY | $IL = T_{500} - T''_{500}$ | Manual Skew-T - Log P |
| FAWBUSH-MILLER | $IFM = T_{500} - T'''_{500}$ | Manual Skew-T - Log P |

onde:

T_p = Temperatura do ar em °C no nível de pressão p.

Td_p = Temperatura de ponto de orvalho no nível de pressão p,
obtida pela seguinte expressão:

$$Td \approx T - \{(14,55 + 0,114 * T) * X + [(2,5 + 0,007 * T) * X]^3 + (15,9 + 0,117 * T) * X^{14}\}$$

onde: $X = 1,00 - f/100$ e

f = umidade relativa em percentagem.

V_p = Velocidade do vento (em nós) no nível de pressão p.

$f(\alpha)$ = Função de cisalhamento do vento.

w = Razão de mistura calculada a partir da pressão de vapor:

$$w = 0,622 * e / (p - e)$$

onde: $e = 10^{(9,4 - 2353/Td)}$

Dz = Distância vertical entre o nível da radiossondagem e o nível de condensação por levantamento (ncl):

$$Dz = 1,25 * (T_p - Td_p)$$

APÊNDICE 2. PROGRAMA EM FORTRAN 77: INDICES.FOR

```

c Programa: indices.for
c Calcula os índices de instabilidades para as radiossondagens !!!
c Autor: Roberto Rabelo Júnior (Bolsista do INPE - Computação)

integer ano,mes,dia,nc
real IS,TOT,K,SW,IDS,IL,IFM,VP(9),W(9),DZ(8),RI(8)
open (4,file='res80-90',status='old')
open (5,file='result3',status='unknown')
write (*,*) ' ==> Arquivo de Saida: result3'
somat=0
do 150 i=1,7210
c Leitura da Altitude, Temperatura(oC), Umidade Relativa(mb),
c Direção do Vento, Velocidade do Vento (nós) de uma Radiossondagem.
  read (4,100) ano,mes,dia,nc,
  * alt1,tem1,ur1,dir1,vel1,alt2,tem2,ur2,dir2,vel2,
  * alt3,tem3,ur3,dir3,vel3,alt4,tem4,ur4,dir4,vel4
100 format (i2,1x,i2,1x,i2,5x,i1,5x,f7.0,f6.1,f5.0,
  * f6.0,f4.0,5x,f7.0,f6.1,f5.0,f6.0,f4.0,5x,f7.0,
  * f6.1,f5.0,f6.0,f4.0,5x,f7.0,f6.1,f5.0,f6.0,f4.0)
  if (nc.eq.1) then
    Tsup=tem1
    xsup=1.-ur1/100
    Psup=alt1
    Tdsup=Tsup-((14.55+0.114*Tsup)*xsup+((2.5+0.007*Tsup)*xsup)**3+
  * (15.9+0.117*Tsup)*xsup**14)
    T900=tem4
    x900=1.-ur4/100
    Td900=T900-((14.55+0.114*T900)*x900+((2.5+0.007*T900)*x900)**3+
  * (15.9+0.117*T900)*x900**14)
  else
    if (nc.eq.2) then
      T850=tem1
      x850=1.-ur1/100.
      vel850=vel1*1.94
      dir850=dir1
      Td850=T850-((14.55+0.114*T850)*x850+((2.5+0.007*T850)*x850)**3+
  * (15.9+0.117*T850)*x850**14)
      T800=tem2
      x800=1.-ur2/100
      Td800=T800-((14.55+0.114*T800)*x800+((2.5+0.007*T800)*x800)**3+
  * (15.9+0.117*T800)*x800**14)
      T750=tem3
      x750=1.-ur3/100
      Td750=T750-((14.55+0.114*T750)*x750+((2.5+0.007*T750)*x750)**3+
  * (15.9+0.117*T750)*x750**14)
      T700=tem4
      x700=1.-ur4/100.
      Td700=T700-((14.55+0.114*T700)*x700+((2.5+0.007*T700)*x700)**3+
  * (15.9+0.117*T700)*x700**14)
    else
      if (nc.eq.3) then
        T650=tem1
        x650=1.-ur1/100.
        Td650=T650-((14.55+0.114*T650)*x650+((2.5+0.007*T650)*x650)**3+
  * (15.9+0.117*T650)*x650**14)
        T600=tem2
        x600=1.-ur2/100
        Td600=T600-((14.55+0.114*T600)*x600+((2.5+0.007*T600)*x600)**3+
  * (15.9+0.117*T600)*x600**14)

```

cont. Apêndice 2.

```
T550=tem3
x550=1.-ur3/100
Td550=T550-((14.55+0.114*T550)*x550+((2.5+0.007*T550)*x550)**3+
* (15.9+0.117*T550)*x550**14)
T500=tem4
x500=1.-ur4/100.
vel500=vel4*1.94
dir500=dir4
Td500=T500-((14.55+0.114*T500)*x500+((2.5+0.007*T500)*x500)**3+
* (15.9+0.117*T500)*x500**14)
else
if (nc.eq.4) then
else
endif
endif
endif
endif

c Índice TOTALS: TOT = T850 + Td850 - 2*T500

TOT=T850+Td850-(2*T500)

c Índice K: K = (T850 - T500) + Td850 - (T700 - Td700)

K=(T850-T500)+Td850-(T700-Td700)

c Índice SWEAT: SW = 12*Td850+2*V850+V500+20*(TOT-49)+125*func(a)

if (dir850.eq.360.) dir850 = 0.0
if (dir500.eq.360.) dir500 = 0.0
c Se a velocidade do vento (850mb) for maior que 15 nós,
c calcule a func ... caso contrário: func = 0.0
if (vel850.ge.15.and.vel500.ge.15.and.dir500.ge.210.and.
* dir500.le.310.and.dir850.ge.130.and.dir850.le.250) then
func=sin((dir500-dir850)*3.14159/180.)
else
func=0.0
endif
SW=12*Td850+2*vel850+vel500+20*(TOT-49)+125*func

c Índice DRUYAN-SANT: IDS = W / DZ

c Cálculo da Pressão de Vapor (VP) => usado no cálculo de W
VP(1)=10.**(9.405-2353./(Tdsup+273.2))
VP(2)=10.**(9.405-2353./(Td900+273.2))
VP(3)=10.**(9.405-2353./(Td850+273.2))
VP(4)=10.**(9.405-2353./(Td800+273.2))
VP(5)=10.**(9.405-2353./(Td750+273.2))
VP(6)=10.**(9.405-2353./(Td700+273.2))
VP(7)=10.**(9.405-2353./(Td650+273.2))
VP(8)=10.**(9.405-2353./(Td600+273.2))

c Cálculo da Razão de Mistura (W) => Psup, P900, P850 .. P600mb
W(1)=622.*VP(1)/(Psup-VP(1))
W(2)=622.*VP(2)/(900-VP(2))
W(3)=622.*VP(3)/(850-VP(3))
W(4)=622.*VP(4)/(800-VP(4))
W(5)=622.*VP(5)/(750-VP(5))
W(6)=622.*VP(6)/(700-VP(6))
W(7)=622.*VP(7)/(650-VP(7))
W(8)=622.*VP(8)/(600-VP(8))
```

cont. Apêndice 2.

```
DZ(1)=1.25*(Tsup-Tdsup)
DZ(2)=1.25*(T900-Td900)
DZ(3)=1.25*(T850-Td850)
DZ(4)=1.25*(T800-Td800)
DZ(5)=1.25*(T750-Td750)
DZ(6)=1.25*(T700-Td700)
DZ(7)=1.25*(T650-Td650)
DZ(8)=1.25*(T600-Td600)

if (nc.eq.3) then
  somat=0
  do 110 j=1,8
    if (DZ(j).lt.1.) DZ(j)=1
    RI(j)=W(j) / DZ(j)
    somat=somat+RI(j)
110  continue
  else
  endif

  IDS=somat/8

c Índice SHOWALTER: IS = T500 - T'500

  TK=T850+273.2
  TdK=Td850+273.2
c Cálculo da Temperat. Potencial Equivalente (Te850) (Bolton, 1980)
  TH=TK*(1000./850.)**0.2854
  TL=56.+1./(1./(TdK-56.)+ALOG(TK/TdK)/800.)
  R=W(3)
  Te850=TH*EXP((3.376/TL - 0.00254)*R*(1.+0.00081*R))
c Cálculo da Temperatura do ar em 500mb (TEMPAR) (Stackpole(1967))
  VP(9)=10.** (9.405-2353./(T500+273.2))
  W(9)=622.*VP(9)/(500-VP(9))
  L=0
  TX=T500
112  S=TX+1
  L=L+1
  R=W(9)
  TK=TX+273.2
  TH=TK*(1000./500.)**0.2854
  TES=TH*EXP(2.625*R/TK)
  TK=S+273.2
  TH=TK*(1000./500.)**0.2854
  SES=TH*EXP(2.625*R/TK)
  DJ=SES - TES
  SST=Te850 - TES
  TSS=ABS(SST)
  TL500=TX
  if (TSS .gt. 0.002) then
    DIF=SST/DJ
    TX=TX+DIF
    if (L .eq. 100) go to 113
    go to 112
  else
  endif
113  continue

  IS=T500 - TL500

c Índice Levantado GALWAY: IL = T500 - T''500

  DIMENSION RL(100)
  INTEGER*2 NNIVEL
  IC = 1
```

cont. Apêndice 2.

```
1 IF ( P(IC) .GE. 850. ) THEN
    RL(IC) = F_RM(P(IC),Td(IC))
    IC = IC + 1
    GO TO 1
END IF
c Razão de mistura média na camada Superfície-850mb
DO I=1, IC-2
    SUM = SUM + VINTEGP(RL(I),RL(I+1),P(I),P(I+1))
END DO
RMM = SUM / ALOG(P(1)/850)
CALL CCL(RMM,PCC,TCC,IER)
IF ( IER .EQ. 99 ) THEN
    VLIF = -99.9
    GO TO 99
END IF
TECCL = F_THES(PCC,TCC)
CALL TEMPAR(500.,T500,TECCL,TLL500)
VLIF = T500 - TLL500
99 CONTINUE

c Índice FAWBUSH-MILLER: IFM = T500 - T''500

EXTERNAL TEMPAR
DIMENSION W(100),WS(100),UR(100),TW(100)
c NNIVEL = Numero de níveis de pressão
DO 1 I = 1,NNIVEL
    W(I) = RM(P(I),TD(I))
    WS(I) = RM(P(I),T(I))
    UR(I) = 100. * W(I) / WS(I)
    IF ( UR(I) .LE. 65.) GO TO 2
1 CONTINUE

c Cálculo de TW(i) e TWmedio
2 DO 3 N = 1,I-1
    TE = THETAE(P(N),T(N),TD(N))
    CALL TEMPAR(P(N),T(N),TE,TW(N))
3 CONTINUE
LI = 1
LS = N-1
TWM = INTEGP(TW,P,LI,LS,P(N))

c Cálculo da pressão no nível de TWM
DO 4 J = 1,N
    IF ( (TW(J)-.1) .LT. TWM .AND. TWM .LT. (TW(J)+.1) ) THEN
        PWM = P(J)
        GO TO 9
    END IF
    IF (TW(J) .LT. TWM .AND. TWM .LT. TW(J+1) .OR. TW(J+1) .LT. TWM .AND. TWM .LT. TW(J) )
    THEN
        K = I+1
        PWM = P_RETA(TW,TWM,P,J,K)
        GO TO 9
    END IF
4 CONTINUE
9 TWME = THES(PWM,TWM)
CALL TEMPAR(500.,T500,TWME,TL500)
TR500 = T500
VIFM = TR500 - TL500
```

cont. *Apêndice 2.*

```
c Escrita do arquivo em disco
  if (nc.eq.3) then
    write (5,130) ano,mes,dia,IS,TOT,K,SW,IDS,IL,IFM
130  format (i2,'/',i2,'/',i2,3x,'IS: ',f6.2,3x,'TOT: ',f6.2,3x,'K: ',
  * f6.2,3x,'SW: ',f8.2,3x,'IDS: ',f6.2,3x,'IL: ',f6.2,3x,'IFM: ',f6.2)
    else
    endif

150  continue
    stop
    end

c *****
c *   FIM DO PROGRAMA   *
c *****
```

APÊNDICE 3. RESULTADOS DOS ÍNDICES DE INSTABILIDADE:

Tabela 1. Índice de Showalter
Precipitação Média entre Santana e IAG

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 1 | p >= 1 | TOTAL | DESTREZA |
|-----------|--------|-------|--------|-------|----------|
| Precipit. | p < 1 | | 760 | 1280 | 40.63% |
| Observ. | p >= 1 | 102 | | 432 | 76.39% |
| (mm/dia) | TOTAL | 622 | 1090 | 1712 | |

No conjunto das 1712 observações, 1280 dias foram sem chuvas ($p < 1$ mm) e 432 dias foram chuvosos ($p \geq 1$ mm). O Índice de Showalter previu 622 dias secos e 1090 dias chuvosos. Dos 1280 dias sem chuva, o *IS* previu 520, logo, obteve um acerto de 40.63%. Quanto aos dias chuvosos, ele previu 330 dos 432 dias, com um acerto de 76.39%, bem acima da climatologia (chance de dia chuvoso: $432 / 1712 = 25,23\%$).

Tabela 2. Índice K
Precipitação Média entre Santana e IAG

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 1 | p >= 1 | TOTAL | DESTREZA |
|-----------|--------|-------|--------|-------|----------|
| Precipit. | p < 1 | | 938 | 1280 | 26.72% |
| Observ. | p >= 1 | 55 | | 432 | 87.27% |
| (mm/dia) | TOTAL | 397 | 1315 | 1712 | |

O Índice K previu 397 dias secos e 1315 dias chuvosos. Dos 1280 dias sem chuva, o *K* previu 342, logo, obteve um acerto de 26.72%. Quanto aos dias chuvosos, ele previu 377 dos 432 dias, com um acerto de 87.27%, também superior à climatologia (25,23%).

Tabela 3.1. Índice Totals
(Mirante de Santana)

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 30 | p >= 30 | TOTAL | DESTREZA |
|------------------|---------|--------|---------|-------|----------|
| Precipit. | p < 30 | | 50 | 1622 | 96.92% |
| Observ. | p >= 30 | 88 | | 90 | 2.22% |
| (mm/dia) | TOTAL | 1660 | 52 | 1712 | |

No conjunto das 1712 observações, foram observadas tempestades em 90 dias (p >= 30mm). O Índice Totals previu 52 dias com tempestades mas com acerto de apenas 2.22% (2/90).

Tabela 3.2. Índice Totals
(IAG/USP)

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 30 | p >= 30 | TOTAL | DESTREZA |
|------------------|---------|--------|---------|-------|----------|
| Precipit. | p < 30 | | 48 | 1622 | 97.04% |
| Observ. | p >= 30 | 86 | | 90 | 4.44% |
| (mm/dia) | TOTAL | 1660 | 52 | 1712 | |

No conjunto das 1712 observações, foram observadas tempestades em 90 dias (p >= 30mm). O Índice Totals previu 52 dias com tempestades mas com acerto de apenas 4.44% (4/90).

Tabela 4.1. Índice Sweat
(Mirante de Santana)

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 30 | p >= 30 | TOTAL | DESTREZA |
|-----------|---------|--------|---------|-------|----------|
| Precipit. | p < 30 | | 24 | 1622 | 98.52% |
| Observ. | p >= 30 | 89 | | 90 | 1.11% |
| (mm/dia) | TOTAL | 1687 | 25 | 1712 | |

No conjunto das 1712 observações, foram observadas tempestades em 90 dias (p >= 30mm). O Índice Sweat previu 25 dias com tempestades mas com acerto de apenas 1.11% (1/90).

Tabela 4.2. Índice Sweat
(IAG/USP)

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 30 | p >= 30 | TOTAL | DESTREZA |
|-----------|---------|--------|---------|-------|----------|
| Precipit. | p < 30 | | 23 | 1622 | 98.58% |
| Observ. | p >= 30 | 88 | | 90 | 2.22% |
| (mm/dia) | TOTAL | 1687 | 25 | 1712 | |

No conjunto das 1712 observações, foram observadas tempestades em 90 dias (p >= 30mm). O Índice Sweat previu 25 dias com tempestades mas com acerto de apenas 2.22% (2/90).

Tabela 5. Índice de Druyan-Sant
Precipitação Média entre Santana e IAG

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 1 | p >= 1 | TOTAL | DESTREZA |
|------------------|--------|-------|--------|-------|----------|
| Precipit. | p < 1 | | 428 | 1280 | 66.56% |
| Observ. | p >= 1 | 245 | | 432 | 43.29% |
| (mm/dia) | TOTAL | 1097 | 615 | 1712 | |

O Índice de Druyan-Sant previu 1097 dias secos e 615 dias chuvosos. Dos 1280 dias sem chuva, o *IDS* previu 852, logo, obteve um acerto de 66.56%. Quanto aos dias chuvosos, ele previu 187 dos 432 dias, com um acerto de 43.29%, superior à climatologia (25,23%).

Tabela 6. Índice Galway
Precipitação Média entre Santana e IAG

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 1 | p >= 1 | TOTAL | DESTREZA |
|------------------|--------|-------|--------|-------|----------|
| Precipit. | p < 1 | | 809 | 1280 | 36.80% |
| Observ. | p >= 1 | 125 | | 432 | 71.06% |
| (mm/dia) | TOTAL | 596 | 1116 | 1712 | |

O Índice Galway previu 596 dias secos e 1116 dias chuvosos. Dos 1280 dias sem chuva, o *IL* previu 471, logo, obteve um acerto de 36.80%. Quanto aos dias chuvosos, ele previu 307 dos 432 dias, com um acerto de 71.06%, também superior à climatologia (25,23%).

Tabela 7. Índice Fawbush-Miller
Precipitação Média entre Santana e IAG

Precipitação Estimada (mm/dia)

| | | p < 1 | p >= 1 | TOTAL | DESTREZA |
|-----------|--------|-------|--------|-------|----------|
| Precipit. | p < 1 | | 769 | 1280 | 39.92% |
| Observ. | p >= 1 | 97 | | 432 | 77.55% |
| (mm/dia) | TOTAL | 608 | 1104 | 1712 | |

O Índice Fawbush-Miller previu 608 dias secos e 1104 dias chuvosos. Dos 1280 dias sem chuva, o IFM previu 511, logo, obteve um acerto de 39.92%. Quanto aos dias chuvosos, ele previu 335 dos 432 dias, com um acerto de 77.55%, também superior à climatologia (25,23%).

OBS.: A destreza dos índices *SHOWALTER*, *K*, *DRUYAN-SANT*, *GALWAY* e *FAWBUSH-MILLER* (*IS*, *K*, *IDS*, *IL*, *IFM*, respectivamente) deve ser comparada com a climatologia dos dias secos ($p < 1\text{mm}$) e chuvosos ($p \geq 1\text{mm}$) do período. Assim:

$$\boxtimes \text{ Chance de dias secos} = \frac{N. \text{ de Dias Secos}}{\text{Total de Dias}} = \frac{1280}{1712} = 74,80\%$$

$$\boxtimes \text{ Chance de dias chuvosos} = \frac{N. \text{ de Dias Chuvosos}}{\text{Total de Dias}} = \frac{432}{1712} = 25,23\%$$

APÊNDICE 4. HISTOGRAMAS DOS ÍNDICES DE INSTABILIDADE:

