

# NUCLEAR ENERGY AND THE ENVIRONMENT

Rio de Janeiro, 27.06.83 - 01.07.83

REFERENCE NUMBER : PIII.11.

ESTABIL - UM CÓDIGO DE COMPUTADOR PARA SE ESTIMAR A  
ESTABILIDADE TERMODINÂMICA DA ATMOSFERA.

por

Arivaldo Moraes do Sacramento

Pesquisador

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear.

CNEN

Belo Horizonte - MG.

## RESUMO

Para se estimar a capacidade de a atmosfera dispersar poluentes transportados pelo ar, é necessário que se conheça, entre outros fatores, a estabilidade termodinâmica da atmosfera.

Neste trabalho, apresenta-se um resumo da teoria usada para se calcular essa estabilidade, a estrutura e as características principais do programa. O código ESTABIL foi escrito em FORTRAN 77, com 1200 passos de programação, para ser executado em microcomputador IBM PC ou compatível. O tempo de execução é menor que um minuto.

Na saída do programa, imprimem-se em duas tabelas as condições de estabilidade atmosférica: uma tabela indicando essas condições através dos parâmetros de MONIN-OBUKHOV e a outra, equivalente, através das categorias propostas por PASQUILL.

## 1. INTRODUÇÃO.

Neste trabalho apresenta-se um programa de computador, que foi elaborado com o objetivo de se determinar a estabilidade termodinâmica da atmosfera e, assim, colocar à disposição dos usuários um processo alternativo ao tradicional esquema de PASQUILL.

Na elaboração do código, tomou-se por base a teoria apresentada por HOLTSLAG e VAN ULDEN /1/, com pequenas modificações, considerando-se as nossas condições geográficas e meteorológicas.

Os dados de entrada necessários para se executar o programa são: temperatura do ar, nebulosidade total e velocidade do vento. Além da estabilidade o programa fornece a declinação do sol, o balanço de radiação solar e a velocidade de atrito.

## 2. RESUMO DA TEORIA.

### 2.1 Radiação Solar Incidente

#### - Céu Claro.

Em muitas estações meteorológicas, mede-se a radiação solar incidente. Nesse caso, ela pode ser usada diretamente para se estimar o balanço de radiação. Quando não se dispõe dessa medida, pode-se estimá-la usando-se a nebulosidade total e o ângulo de elevação do sol. Na estimativa da radiação solar incidente, com céu claro, usou-se a seguinte equação:

$$K_0^+ = a_1 \sin \phi + a_2$$

Os coeficientes  $a_1$  e  $a_2$  representam a atenuação atmosférica média de  $K_0^+$ , devida ao vapor d'água e à poeira da atmosfera de um dado local.

#### - O Efeito das Nuvens.

A presença de nuvens reduz a radiação solar incidente. Assim, para considerar o efeito de nuvens, estimou-se a radiação solar incidente por meio da equação:

$$K^+ = K_0^+ (1 + b_1 N + b_2 N^2)$$

onde:

$N$  é a nebulosidade total;

$K_0^+$  é a radiação obtida com céu claro;

$b_1$  e  $b_2$  são coeficientes empíricos que são típicos de cada local.

## 2.2 Radiação Líquida $Q^*$

Na estimativa da radiação líquida  $Q^*$  na superfície da terra usou-se a seguinte equação:

$$Q^* = \frac{(1-r)K^* + c_1 T^6 - \sigma T^4 + c_2 N}{1 + c_3}$$

onde:

$c_1$ ,  $c_2$ , e  $c_3$  são constantes empíricas;

$T$  é a temperatura do ar, no nível de 1,5 m medida na escala Kelvin;

$N$  é a nebulosidade total;

$\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

## 2.3 Estimativa do Fluxo de Calor Sensível

Na estimativa do fluxo de calor sensível na superfície da terra usou-se a seguinte equação:

$$H = \frac{[(1-\alpha) + (\gamma/s)](Q^* - G) - \beta}{[1 + (\gamma/s)]}$$

onde:

$s = \frac{\delta q_m}{\delta T}$  e  $q_m$  é a umidade específica saturada;

$\gamma = C_p / \lambda$ , sendo  $C_p$  o calor específico do ar sob pressão constante;

$\lambda$  é o calor latente de vaporização da água;

$\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros empíricos que dependem das condições de umidade da superfície do solo.

## 2.4 Parâmetro de Estabilidade de MONIN-OBUKHOV-L

Na estimativa do parâmetro de Monin-Obukhov usou-se a seguinte equação:

$$L = \frac{\rho C_p T U_*^3}{kgH}$$

onde:

k é a constante de Karman

T é a temperatura do ar medida na escala Kelvin;

g é a aceleração da gravidade, igual a  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;

$\rho$  é a densidade do ar, igual a  $1,29 \text{ kg/m}^3$

$C_p$  é fluxo de calor sensível;

$U_*$  é a velocidade de atrito.

Para o cálculo de L é necessário conhecer o valor de  $U_*$ , que pode ser estimado pela equação:

$$U_* = k U_z \left[ \ln(Z/Z_0) - \phi_m(Z/L) + \phi_m(Z_0/L) \right]^{-1}$$

onde:

$Z_0$  é o coeficiente de rugosidade do solo;

$\phi_m$  é uma função de estabilidade;

$U_z$  é a velocidade do vento medida a 10 m de altura.

Na solução de  $U_*$  e L foi usado um processo iterativo, iniciando-se com  $L = 10^{**}6$  e obtendo-se um valor qualquer de  $U_*$ ; com esse valor obteve-se um novo valor de L e, assim, sucessivamente até atingir-se uma precisão de 5 % para o valor final de L.

A função  $\phi_m$  foi calculada através das seguintes equações:

$$\phi_m = 2 \ln[ (1 + \xi) / 2 ] + \ln[ (1 + \xi) / 2 ] - 2 \tan^{-1}(\xi) + \pi/2$$

$$\xi = (1 - 16Z/L) ** (0.25)$$

### 3. Estrutura do Programa.

O programa ESTABIL foi escrito com quatro módulos, os quais são descritos a seguir:

#### 3.1 Sub-rotina TIME

Esta sub-rotina, que é específica do sistema operacional, é usada para fornecer a data de execução do programa.

#### 3.2 Sub-rotina NUVEM

Esta sub-rotina calcula e imprime:

- o valor de imissão do sol com nebulosidade, em  $W/m^2$ ;
- o valor de radiação líquida horária, em  $W/m^2$ ;
- os valores médios de radiação líquida, em  $W/m^2$ ;
- o valor de fluxo de calor sensível horário, em  $W/m^2$ ;
- os valores médios de calor sensível, em  $W/m^2$ .

#### 3.3 Sub-rotina MONIN.

Esta sub-rotina calcula e imprime:

- o parâmetro de estabilidade L de MONIN-OBUKHOV, em metros;
- o parâmetro de estabilidade inverso  $1/L$  de MONIN-OBUKHOV, em  $m^{-1}$ ;
- os índices de estabilidade atmosférica A, B, C, D, E e F, de Pasquill;
- os valores de velocidade de atrito, em m/s.

#### 3.4 Sub-rotina ORDENA.

Esta sub-rotina é usada para ordenar séries de dados numéricos, em ordem decrescente.

## 4. CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA

A presente versão do código ESTABIL permite ao usuário definir um arquivo de dados, que contenha, no máximo, um ano completo de dados meteorológicos. Esses dados devem ser arquivados na seguinte ordem: nebulosidade total, temperatura do ar, rugosidade, altura da medida dos ventos e velocidade dos ventos, para cada mês do ano.

O dado de nebulosidade total deve ser fornecido necessariamente em oitavos. O dado de temperatura do ar deve ser fornecido na escala Celsius e multiplicado por 10, pois esse dado foi definido como uma variável inteira. Assim, por exemplo, uma temperatura de  $18,6^{\circ}C$  deverá ser digitada 186. Internamente o programa irá dividir esse numeral por 10 e convertê-lo para a escala KELVIN.

O dado de vento deve ser fornecido na unidade nós e multiplicado por 10, pois esse dado também foi definido como uma variável inteira. Internamente, o programa irá multiplicá-lo por 0,0515 para converter aquela unidade para m/s.

A altura de medida dos ventos e o coeficiente de rugosidade devem ser fornecidos com as unidades em metros. O FLAG do programa é dado pela variável LFIM. O programa será interrompido quando o valor da variável JOTA se igualar ao valor da variável LFIM.

A variável JOTA identifica o mês que está sendo processado. Assim, JOTA = 6 corresponde ao mês 06, junho.

## 5. COMENTÁRIOS

Nessa versão do programa só é possível ao usuário obter a estabilidade termodinâmica da atmosfera para o período diurno. Esse período é, via de regra, definido como o período que vai desde uma hora depois do nascer do sol até uma hora após o por do sol.

Alguns parâmetros incorporados ao código foram retirados das referências bibliográficas citadas neste trabalho, principalmente, da referência /1/. Por exemplo, os coeficientes de turbidez  $a_1 = 990 \text{ W/m}^2$  e  $a_2 = -30 \text{ W/m}^2$ , que são da cidade de Harrogate de coordenadas  $54^\circ \text{ N}$  e  $1^\circ 30' \text{ W}$ . No caso do fluxo de calor sensível negativo, foi assumida a categoria de estabilidade F.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- /1/ Holtslag, A.A.M. e Van Ulden A.P. (1983), A Simple Scheme for Daytime Estimates of Surface Fluxes from Routine Weather Data, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol.22, N<sup>o</sup> 4.
- /2/ Oke, T.R. (1978) Boundary Layer Climates, Methuen and Co., NY.
- /3/ Hehl, M.E. (1986), Linguagem de Programação Estruturada : FORTRAN 77, McGraw Hill.
- /4/ Pasquill, F. (1974) Atmospheric Diffusion, 2nd. Ed., Ellis Horwood Ltda., Chichester, UK.
- /5/ Kasten, F. e Czeplack, G. (1980), Solar and Terrestrial Radiation Dependent on the Amount and Type of Cloud, Solar Energy, 24.
- /6/ Golder, D. (1972) Relations among Stability Parameters in the Surface Layer. D. Reidel Publishing Company, Holland.