

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUIMICA

SIMULAÇÃO DE SECAGEM DE FEIJO EM FLUXO CRUZADO

LUIS GONZAGA SALES VASCONCELOS

Campina Grande - Paraíba
Abril de 1990.

LUIS GONZAGA SALES VASCONCELOS

SIMULAÇÃO DE SECAGEM DE FEIJO EM FLUXO CRUZADO

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Química da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para a
obtenção do grau de mestre.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: Operações e Processos

PROFESSOR ORIENTADOR: Odelsia Leonor Sánchez de Alsina

Campina Grande

1990



V331s Vasconcelos, Luis Gonzaga Sales
Simulacao de secagem de feijao em fluxo cruzado / Luis
Gonzaga Sales Vasconcelos. - Campina Grande, 1990.
105 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Quimica) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

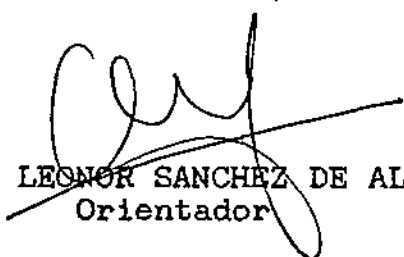
1. Secagem - 2. Condicionamento - 3. Simulacao de
Secagem 4. Dissertacao I. Alsina, Odelsia Leonor Sanchez de
II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB)
III. Titulo

CDU 631.563.2(043)

SIMULAÇÃO DE SECAGEM DE FEIJAO EM FLUXO CRUZADO

LUIS GONZAGA SALES VASCONCELOS

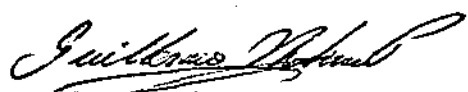
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27.04.90



ODELSIA LEONOR SANCHEZ DE ALSINA
Orientador



MICHEL FRANÇOIS FOSSY
Componente da banca



GUILLERMO NAHUI PALOMINO
Componente da banca

Campina Grande
Abril/90

AGRADECIMENTOS

À professora Odelsia Leonor Sánchez de Alsina, pela orientação no planejamento e na realização deste trabalho.

Ao departamento de Engenharia Química por me ter permitido a realização do curso de Pós-Graduação.

Ao professor José Raimundo Sobrinho, proprietário da Granja Itayguara, por ter concedido o feijão Carioca utilizado nos experimentos.

Ao Núcleo de Tecnologia de Armazenamento e ao professor Mário E. R. M. Cavalcanti Mata pela concessão de equipamento de laboratório

A Hélio Francisco Bezerra pela contribuição nos trabalhos de computação.

RESUMO

A secagem é uma das operações de condicionamento de produtos agrícolas mais utilizadas com finalidade de armazenamento. Para se obter condições ótimas de qualidade e produtividade, torna-se necessário o conhecimento dos fatores que influenciam os mecanismos da operação. Uma das formas de conseguir informações específicas relativas à operação secagem é através de simulação matemática do processo, com menor custo e com um tempo reduzido de processamento em comparação com os métodos experimentais. O objetivo proposto no presente trabalho é o desenvolvimento de um projeto de simulação de secagem de feijão Carioca em fluxo Cruzado, com modelos matemáticos, definições de parâmetros e métodos numéricos. Foi realizado ainda um conjunto de experimentos em secador de esteira em escala piloto para a determinação de dados e avaliação do projeto de simulação, variando algumas condições operacionais como tempo de residência, camada de grãos e temperatura. A partir dos experimentos foram obtidos parâmetros para o simulador, bem como as constantes para a equação de camada fina do modelo. O projeto de simulação proposto foi considerado satisfatório quando comparado com os resultados experimentais, necessitando apenas de ajustes para melhorar seu desempenho.

ABSTRACT

Drying is one of the more utilized operations for conditioning of agricultural products with storage purpose. In order to obtain good quality and productivity conditions, it is necessary to know the parameters influence the operations mechanisms. On the way to get specific informations about the drying operation is by means of the mathematical simulation, with low cost as well as reduced time process in comparison with mathematical methods. The objective of the present work was to develop a simulation project for the drying of "Carloca" beans in cross-flow, involving mathematical models, definitions of parameters and numerical methods. To obtain a number of data and to evaluate the performance of the simulations project it was to make a set of experimental tests a pilot scale conveyor drier. Some operations conditions like residence time, thickness layer of beans and the temperature were studied. From these experimental tests were obtain parameters for the simulator as well the constants for the thin layer equations of the model. The simulation project proposed was considered satisfactory when compared with the experimental results. But it is necessary to make some adjustment in order to improve its performance.

SIMBOLOGIA

a	Area específica do leito
C1	Constante de Antoine para a água
C2	Constante de Antoine para a água
C3	Constante de Antoine para a água
Ca	Calor específico do ar seco
Cp	Calor específico do grão
Cv	Calor específico do vapor de água
Cw	Calor específico da água líquida
Dp	Diâmetro da partícula
F	Fluxo molar intersticial do gás
f	Taxa volumétrica local de secagem
g	Vetor gravidade
H	Entalpia
<H>	Entalpia do gás
Hp	Entalpia do grão
h	Coefficiente de transmissão de calor
h _{LV}	Calor latente de vaporização da água
I	Matriz identidade
i	índice
J	Matriz Jacobiana
Ky	Coefficiente de transferência de massa para a água
K	Condutividade térmica do ar
k	Constante

L	Adimensional de profundidade no ponto computado
MR	Razão de umidade do grão
Nu	Número de Nusselt
P	Pressão atmosférica
Pr	Número de Prandtl
Pv	Pressão de vapor
Pvs	Pressão de vapor saturado
Pvs*	Pressão de vapor saturado em T*
q	Vetor fluxo de calor
Qa	Vazão mássica do ar
Qp	Vazão mássica do grão
R	Constante dos gases
Re	Número de Reynolds
ri	Vetor taxa de produção da espécie i
T	Temperatura do ar
\bar{T}	Tensor de tensão total
\bar{T}^+	Transposta do tensor de tensão total
T*	Temperatura de bulbo úmido
t	tempo
U	Umidade do grão
Uo	Umidade inicial do grão
Ue	Umidade de equilíbrio
V	Volume específico do ar
Va	Velocidade do ar
v	Vetor velocidade mássica média
vi	Vetor velocidade da espécie i
W	Umidade absoluta do ar
Ws*	Umidade absoluta de saturação em T*
x	Variável espacial ao longo da camada de grãos

Y	Fração molar da água no gás
Y_s	Fração molar da água no sólido
y	Variável espacial ao longo do secador
Z	Adimensional de tempo
β_0	Coefficiente do método de iteração corretora
γ	Umidade molar no sólido
ϵ	Porosidade
ϕ	Umidade relativa
\bar{q}	Taxa de geração de calor
μ	Viscosidade
θ	Temperatura do grão
θ_0	Temperatura inicial do grão
θ_e	Temperatura de equilíbrio do grão
ρ	Densidade
ρ_a	Densidade do ar
ρ_i	Densidade da espécie i
ρ_p	Densidade aparente do grão
$\bar{\tau}$	Tensor de tensão viscosa
τ	Tempo de meia resposta
χ	Razão molar da água no sólido por sólido seco

INDICE

CAPITULO I - INTRODUÇÃO	01
CAPITULO II - REVISAO BIBLIOGRAFICA	03
2.1-SIMULAÇÃO.....	03
2.2-IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA.....	04
2.3-MODELOS DE SECAGEM EM CAMADA ESPESSA.....	05
2.3.1-Modelo de Hukill.....	05
2.3.2-Modelo de Michigan.....	06
2.3.3-Modelo de Massarani.....	09
2.3.4-Modelo de Whitaker.....	10
2.4-MÉTODO DE DISCRETIZAÇÃO.....	12
CAPITULO III - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	14
3.1-SECADOR DE ESTEIRA.....	14
3.2-DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS AUXILIARES.....	16
CAPITULO IV - MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1-MATERIAL UTILIZADO.....	21
4.2-MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	22
4.3-MÉTODOS MATEMATICOS.....	27
4.3.1-Propriedades Físicas do ar.....	27
4.3.2-Propriedades Físicas do grão.....	31

4.3.3-Umidade de Equilíbrio.....	31
4.3.4-Equação de Camada Fina.....	32
4.3.5-Coefficiente de Transmissão de calor.....	34
4.4-MÉTODOS NUMÉRICO UTILIZADO.....	34
4.5-MÉTODO DE DISCRETIZAÇÃO.....	36
CAPITULO V - RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1-DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FISICAS DOS GRAOS..	39
5.2-UNIFORMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO AR NA ALIMENTAÇÃO DO SECADOR.....	40
5.3-DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CAMADA FINA.....	42
5.4-APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	49
5.5-COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR SIMULAÇÃO EM RELAÇÃO AOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	50
5.6-CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	74
CAPITULO VI - CONCLUSÕES	76
CAPITULO VII - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	78
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	80
APENDICE A	84
APENDICE B	92
APENDICE C	105

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

A secagem é uma das mais utilizadas operações de condicionamento de produtos agrícolas com finalidade de armazenamento. A operação consiste na remoção de parte da umidade contida no produto recém-colhido. O baixo teor de umidade permite o armazenamento do produto por um período de tempo superior ao que normalmente ocorreria com um produto mais úmido, pelo motivo de evitar a ação de microrganismos e insetos. Por outro lado, a excessiva e severa remoção desta umidade causa danos às propriedades dos produtos, no que se refere as suas aplicações. Outro fator importante a ser questionado devido a secagem excessiva é o abaixamento do rendimento energético do processo. Portanto para se estabelecer o ponto ótimo da operação de secagem, torna-se urgente o conhecimento dos fatores que influenciam o mecanismo da operação, dando condições a um controle mais rígido de operacionalização, favorecendo a qualidade e a produtividade.

Como a secagem ainda é uma operação não compreendida em muitos aspectos, devido a complexidade do sistema e a teoria não está bem definida, o procedimento básico para a determinação dos fatores que exercem influência no processo é o método semi-empírico, o qual é baseado na formulação de um

modelo do sistema estudado e na verificação da representatividade deste modelo.

Existem diversas maneiras de estudar um processo através de um modelo, dentre os quais podemos destacar o modelo de escala(exemplo: protótipo de um secador de laboratório) e o modelo matemático(através de equações que simulam o processo), os quais são objetos deste trabalho.

Neste trabalho o modelo de escala foi representado por um secador de esteira em fluxo Cruzado. Foram efetivadas diversas corridas de secagem, utilizando este secador, efetuando o registro das principais variáveis do sistema e dos parâmetros de controle.

Em paralelo ao trabalho experimental foi montado um modelo de simulação matemática de secagem de grãos, existente na literatura e o ajuste das equações de algumas propriedades do grão e do sistema em geral. A simulação permite o acesso a uma maior quantidade de informações sem custo adicional na realização de tarefas, além do acúmulo destas informações em um período de tempo satisfatório. Porém, apesar das facilidades que a simulação matemática permite, torna-se necessária a verificação da exatidão do método, através da comparação com resultados obtidos por experimentos.

O tipo de feijão escolhido para análise do sistema de secagem foi o feijão Carioca, pelo motivo de ser um produto de grande importância para a região no que se refere ao plano econômico e social. Da mesma forma o tipo de secador utilizado, é caracterizado por não envolver um alto investimento na sua construção e ser simples do ponto de vista de sua operacionalização, sobretudo em pequenas propriedades.

CAPITULO II

REVISAO BIBLIOGRAFICA

2.1 - SIMULAÇÃO

Segundo ROSKO (1972), o procedimento de desenvolvimento da simulação é chamada de projeto de simulação. O desenvolvimento da simulação compreende um conjunto de procedimentos através de tarefas individuais e quando concluído é examinado com a finalidade de replicar adequadamente a dinâmica do sistema físico. Durante a fase de teste e avaliação da simulação alguns ajustes devem ser especificados para se atingir um grau de refinamento satisfatório. O projeto da simulação envolve quatro etapas, a saber:

1 - Sistema: Consiste no isolamento do sistema a ser simulado, especificando as variáveis de entrada e de saída relativas à causa e efeito.

2 - Modelo matemático: Consiste na especificação de equações e parâmetros relacionados as entradas e saídas do sistema. Uma das formas de estimar os parâmetros se caracteriza por

medições em um sistema existente, através de um trabalho experimental.

3 - Modelo de simulação: Consiste no desenvolvimento de um modelo discreto equivalente ao modelo matemático contínuo e na obtenção de um conjunto de equações que pode ser programado em um computador.

4 - Simulação - Consiste no teste e avaliação do modelo de simulação programado, proporcionando condições para a determinação de ajustes das etapas anteriores. O sistema físico pode ser usado para testar a simulação através de comparação com dados obtidos de ambas ferramentas. O modelo matemático é alterado, conseqüentemente o modelo de simulação e a simulação são alterados. O procedimento é repetido até atingir um erro desprezível. Quando a simulação chega a esta condição significa que o projeto está completo.

Após concluído o projeto da simulação, a aplicação desta ferramenta na análise de sistema, consiste em submeter o sistema simulado a várias entradas e alterar os parâmetros do projeto, verificando a performance nas várias configurações.

2.2 - IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA

Um secador pode ser identificado como uma estrutura de bloco que tem como entrada: o ar (temperatura T e umidade W) e o grão (temperatura T e umidade U). Por sua vez, tem como saída: o ar (temperatura $T - \Delta T$ e umidade $W + \Delta W$) e o grão (com temperatura $\theta + \Delta \theta$ e umidade $U - \Delta U$). Este bloco pode

ser subdividido em diversos blocos interligados em série e paralelo, através das linhas de entrada e de saída de cada bloco como mostra a figura 2.1.

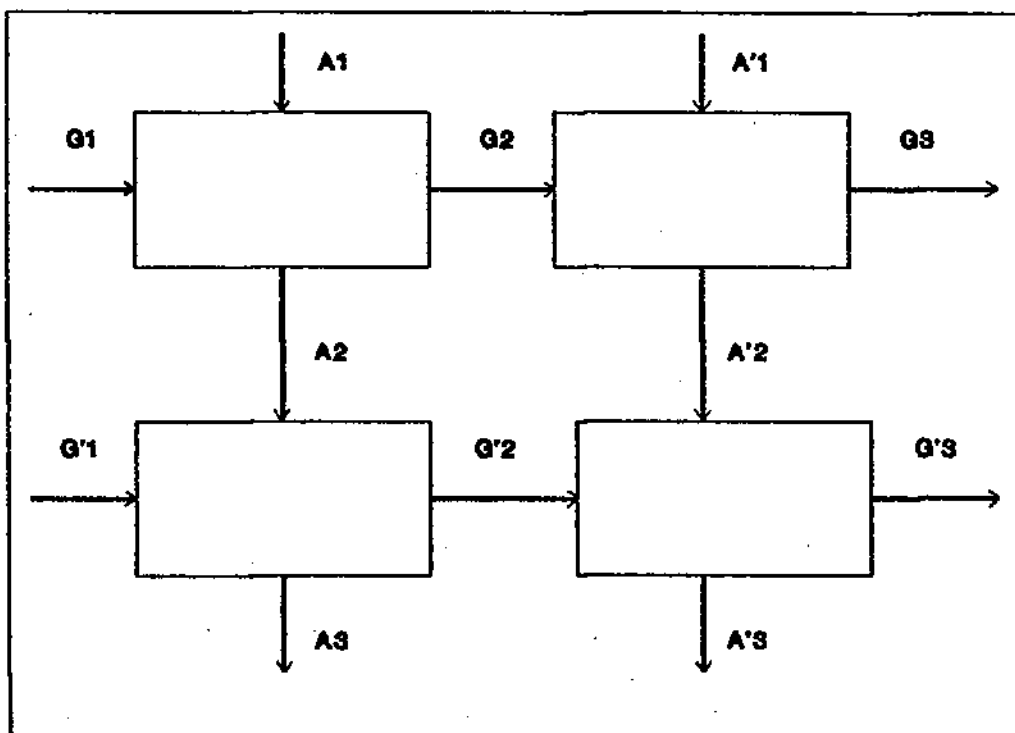


Figura 2.1 Identificação do sistema

Os estados A_i e G_i são controlados por parâmetros que definem o sistema como: a geometria do secador, tipo de fluxo do ar e grão (estacionário, cruzado, contracorrente, concorrente), tempo de residência. Para completar a definição do sistema estabelece as condições iniciais e de contorno de grão e ar.

2.3 - MODELO DE SECAGEM EM CAMADA ESPESSA

2.3.1 - Modelo de Hukill

O modelo de Hukill é baseado em uma expressão analítica

que determina o teor de umidade do grão, relacionado com a altura total da camada de grãos e com o tempo de secagem, desprezando o calor sensível dos grãos e admitindo que a temperatura do ar de secagem decresce exponencialmente à medida que o ar vai passando através da massa de grão, MARTINS et alli (1984).

A equação de Hukill proposta é dada por:

$$U = \frac{2^L}{2^L + 2^Z - 1} \quad (2.1)$$

O adimensional de profundidade é definido por:

$$L = \frac{\kappa \rho_p h_{L,v} (U_o - U_e)}{C_a Q_a \tau (\theta_o - \theta_e)} \quad (2.2)$$

O adimensional de tempo é definido por:

$$Z = \frac{t}{\tau} \quad (2.3)$$

2.3.2 - Modelo de Michigan

O modelo desenvolvido na Universidade Estadual de Michigan é baseado nas leis de transferência de calor e massa.

As seguintes suposições foram feitas no desenvolvimento do modelo, BROOKER (1977):

- 1- A diminuição do volume é desprezível durante o processo de secagem;
- 2- O gradiente de temperatura dentro das partículas individualmente é desprezível;
- 3- A condução entre partículas é desprezível;
- 4- A vazão do ar e a vazão do grão são em bloco;
- 5- $\partial T/\partial t$ e $\partial W/\partial t$ são desprezíveis comparado a $\partial T/\partial x$ e $\partial W/\partial x$;
- 6- As paredes do secador são adiabáticas, com desprezível capacidade calorífica;
- 7- As capacidades caloríficas do ar úmido e do grão são constantes durante pequenos períodos de tempo;
- 8- Uma equação de camada fina e umidade de equilíbrio devem ser obtidas.

Das pressuposições assinaladas pode-se indicar que o modelo representa uma desorção adiabática de leito uniforme. A transferência de calor é controlada por convecção. A transferência de massa das partículas do leito para o ar é controlada pela taxa de desorção. Existe equilíbrio entre vapor da água no ar e na superfície do grão, porque a desorção é considerada instantânea. A porosidade é constante, assim como a altura do leito e a área específica.

Assumindo as pressuposições assinaladas anteriormente são realizados os seguintes balanços:

- 1- Balanço de calor para o ar: O calor transferido por convecção é igual a diferença entre a energia que entra e a

energia que sai do volume de controle, mais a variação com respeito ao tempo da energia do ar contida nos espaços vazios, obtendo a equação:

$$v_a \frac{\partial T}{\partial x} + \epsilon \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{-h_a (T - \theta)}{(\rho_a C_a + \rho_a C_v W)} \quad (2.4)$$

2- Balanço de energia para o grão: O calor transferido por convecção do ar para as partículas é igual à soma das entalpias requeridas para aquecer os grãos, para evaporar a água e para aquecer o vapor em seguida.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{h_a (T - \theta)}{\rho_p C_p + \rho_p C_w U} + \frac{h_{Lv} + C_v (T - \theta)}{\rho_p C_p + \rho_p C_w U} G_a \frac{\partial W}{\partial x} \quad (2.5)$$

3- Balanço de massa para o ar: O vapor que entra no volume de controle menos o vapor que sai, mais a variação da umidade do ar nos espaços vazios é igual a perda de umidade do grão:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{-1}{\epsilon \rho_a} \left(Q_a \frac{\partial W}{\partial x} + \rho_p \frac{\partial U}{\partial t} \right) \quad (2.6)$$

Nota-se que o modelo corresponde à secagem de grão em camada estacionária. No entanto, se substituirmos $\partial y/V_p$ por ∂t e verificar que $\rho_p V_p = Q_p$, chegamos à conclusão que o modelo de secagem em camada estacionária é análogo ao modelo de secagem em fluxo cruzado.

2.3.3 - Modelo de Massarani

O Modelo de Massarani, citado em MEDEIROS et alli (1982), considera o cruzamento da corrente de gás em alta velocidade e do grão em baixa velocidade. As variáveis independentes do problema são as coordenadas espaciais x e y . As equações do modelo são:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{f}{\epsilon} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial F Y}{\partial x} = \frac{f}{\epsilon} \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial F H_p}{\partial y} = \frac{f \langle H \rangle}{\epsilon} - \frac{h a (T - \theta)}{\epsilon} \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial \gamma}{\partial y} = \frac{-f}{Q_p} \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial H_p}{\partial y} = \frac{-f \langle H \rangle}{Q_p} + \frac{h a (T - \theta)}{Q_p} \quad (2.11)$$

onde a taxa de secagem F é escrito como:

$$f = K_y a (Y_B - Y) \frac{K_r}{1 + K_r} \quad (2.12)$$

$$P \cdot Y_B = \exp (C_1 - C_2 / (\theta + C_3)) \quad (2.13)$$

2.3.4 - Modelo de Whitaker

Whitaker (1977), apresenta uma teoria de secagem, baseada nas equações de transporte em um meio contínuo, limitada por restrições e suposições. Considera o sistema composto por três fases: uma fase sólida, uma fase líquida e uma fase vapor com um componente inerte (usualmente o ar), insolúvel nas outras fases. Na análise do fenômeno de secagem deste sistema, interessa conhecer o conteúdo de umidade e a temperatura em função do espaço e do tempo. Estas quantidades são determinadas por:

1- Equação da continuidade,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (2.14)$$

2- Equação da continuidade para cada espécie,

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_i \mathbf{v}_i) = r_i \quad (2.15)$$

3- Princípio do momento linear,

$$\rho \frac{D \mathbf{v}}{D t} = \rho \mathbf{g} + \nabla \cdot \tilde{\mathbf{T}} \quad (2.16)$$

4- Princípio do momento angular,

$$\tilde{\mathbf{T}} = \tilde{\mathbf{T}}^T \quad (2.17)$$

5- Equação da energia,

$$\rho \frac{D H}{D t} = - \nabla \cdot \mathbf{q} + \frac{D P}{D t} + \nabla \mathbf{v} : \tilde{\boldsymbol{\tau}} + \Phi \quad (2.18)$$

Através das cinco equações apresentadas acima e considerando doze restrições e doze suposições a teoria proporciona um sistema composto por dez equações com dez incógnitas. Das dez equações, quatro são de transporte, uma de restrição e cinco de relações termodinâmicas. Portanto o modelo é caracterizado pela dificuldade computacional,

principalmente no que se refere a solução das equações de transporte. Porém, o que torna inviável é a dificuldade em determinar os parâmetros que aparecem nas equações de transporte a partir de dados experimentais.

2.4 - MÉTODO DE DISCRETIZAÇÃO

Como foi visto no ponto anterior, os modelos propostos para a secagem são compostos por um sistema de equações diferenciais parciais, como pode ser observado no tópico 2.3. Portanto para solucionar o sistema de equações diferenciais parciais (EDP), torna-se necessário o uso de métodos que transformem este sistema EDP em um sistema de equações diferenciais ordinárias (EDO), discretizando a variável espacial. O modelo utilizado por MARTINS et alli(1982) foi o método das linhas que consiste na discretização da variável espacial do sistema EDP, formando um sistema EDO semi-discreto, no qual a solução caracteriza uma aproximação da solução do sistema EDP original.

O método das linhas desenvolvido por SINCOVEC (1975), está baseado em aproximações por diferenças finitas da variável espacial. O usuário define a malha espacial do problema a ser solucionado e então a rotina do método das linhas (PDEONE), usa uma aproximação por diferença central para formar o membro direito do sistema EDO semi-discreto. A escolha do número de pontos, contido na malha, exige do usuário uma certa experimentação para obtenção de melhores resultados.

O processo de interligação entre a rotina PDEONE e o

integrador de sistema EDO é realizado pela montagem de um programa principal e de rotinas que definem o sistema EDP em função do tempo, e a definição das condições iniciais envolvidas.

CAPITULO III

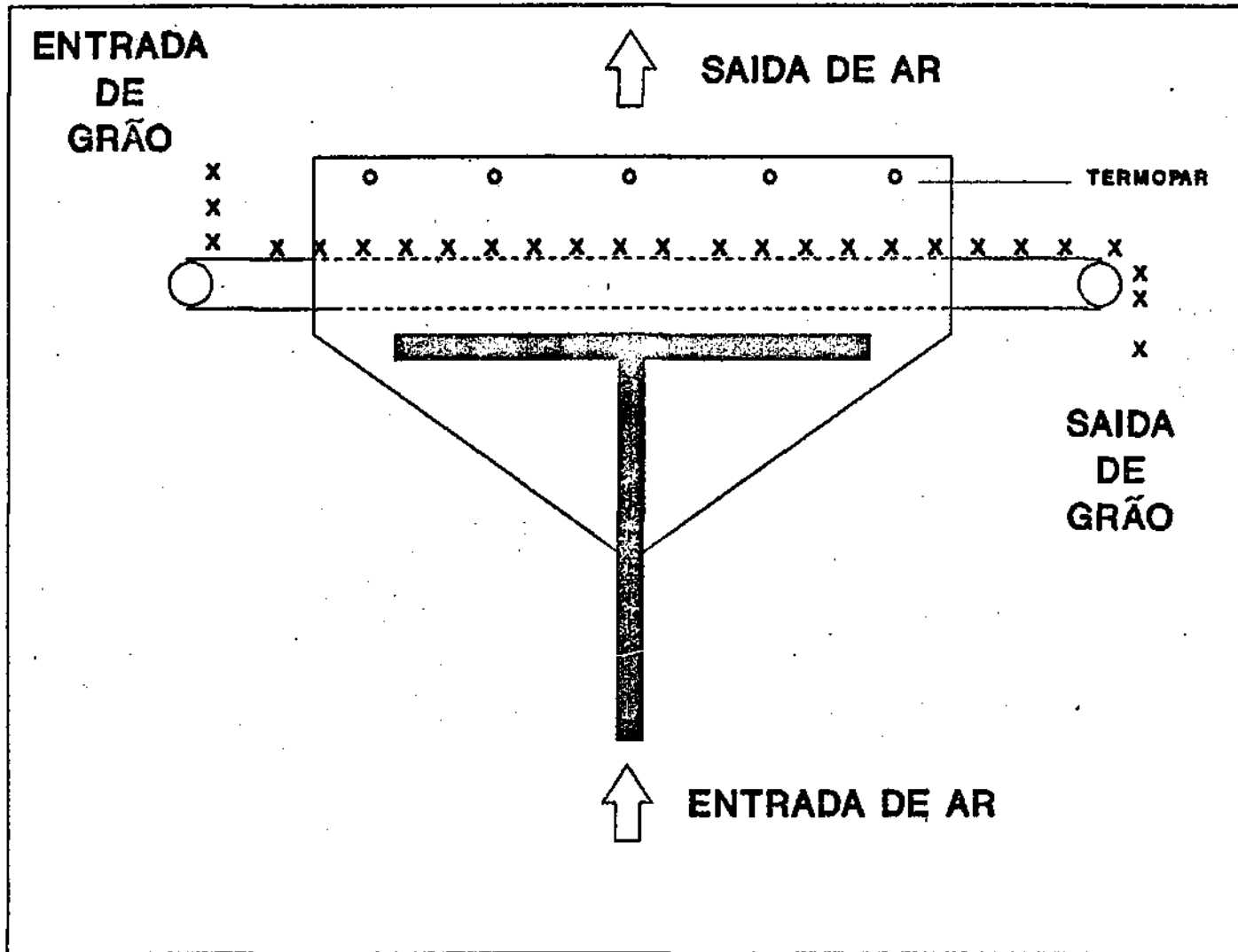
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

3.1 - SECADOR DE ESTEIRA

O secador utilizado no trabalho é um secador de esteira com fluxo de ar cruzado, construído para secagem de bagaço de cana-de-açúcar. Este secador foi submetido a algumas modificações para permitir o estudo de simulação proposto. Os detalhes de construção são apresentados em ROMERO (1988). Propomos neste capítulo especificar apenas as modificações efetuadas. Na figura 3.1 mostra-se um esquema do secador que consta de uma mesa construída de cantoneira L, uma caixa retangular em chapa galvanizada, dois eixos, uma esteira transportadora de malha de aço.

No modelamento matemático, apresentado na revisão bibliográfica, foi afirmado que as paredes do secador devem ser adiabáticas, com desprezível capacidade calorífica. Com o objetivo de conseguir uma aproximação desta suposição, as paredes do secador foram cobertas com uma camada de material isolante em toda a sua extensão, evitando então as perdas de calor.

Figura 3.1 Esquema do secador de esteira



Uma outra suposição postulada se refere à um fluxo de ar em bloco, ou seja, com a velocidade do ar uniforme ao longo do secador. Esta condição foi estabelecida pela alimentação do ar no secador. O sistema de alimentação consiste de um tubo horizontal perfurado que se estende sob a esteira desde a entrada até a saída. O ar proveniente do sistema de aquecimento penetra neste tubo na sua parte central, distribuindo-se para os lados no interior do tubo e finalmente deixando o tubo através dos pequenos furos existentes em seu corpo. O ar assim distribuído atravessa a camada de grãos de modo uniforme.

Para permitir a medição das temperaturas de bulbo úmido e bulbo seco ao longo do secador no sentido do movimento dos grãos e conseqüentemente a confecção dos referidos perfis, foram feitos furos na parte superior do secador acima dos grãos processados, onde permitiu a colocação de termopares.

Pequenas modificações no alimentador de grãos foram processadas para permitir uma melhor uniformização da camada de grãos alimentados, bem como para evitar a perda de material durante a alimentação, uma vez que o secador foi projetado para bagaço de cana de açúcar, que possui partículas de dimensão maior que o feijão.

3.2 - DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS AUXILIARES

Na figura 3.2 mostra-se um esquema da aparelhagem que consta de: compressor radial, rotâmetro, aquecedor de ar,

chaves seletivas para termopar, controlador de temperatura e um registrador como auxiliar nas medições de temperatura.

Acoplados ao secador de esteira foram utilizados os equipamentos:

1-Compressor radial: fabricado pela Lavagem Americana Garantia, motor assíncrono trifásico com 4 CV de potência e 2929 RPM. O motor foi fabricado pela Metalúrgica Abramo Eberle S.A. em Caxias do Sul RS. Função: fornecer fluxo de ar.

2-Aquecedor de ar: composto de 9(nove) resistências elétricas, consumindo 22,5 Kw, tipo RM2560-9, fabricado pela PALLEY.

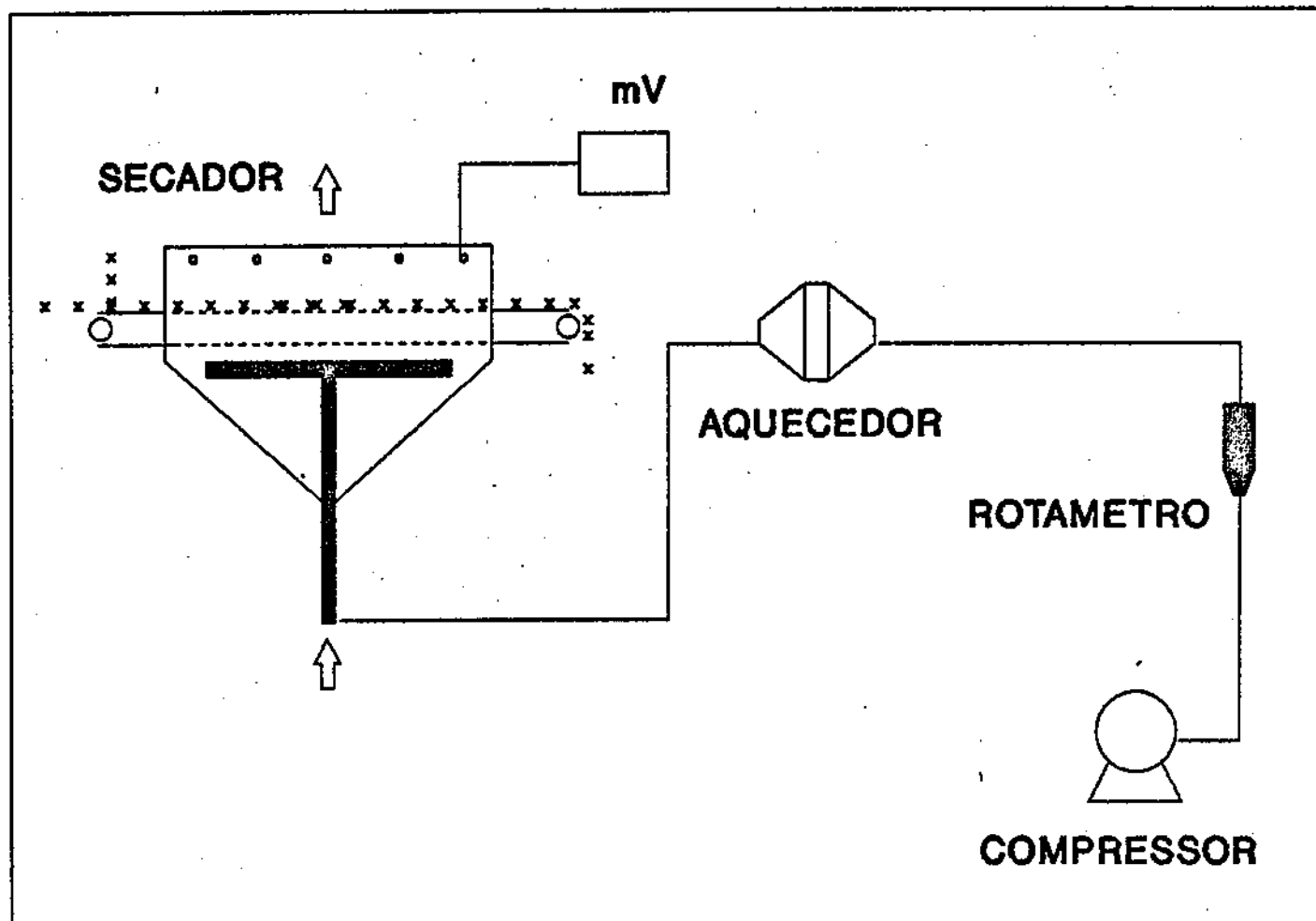
3-Manômetro DOX: com fundo de escala de 2 kg/cm², fabricado pela IMC. Função: determinação da pressão de trabalho do compressor.

4-Rotâmetro: tipo R2-V.C. HASTE, com fundo de escala de 400 m³/h, fabricado pela OMEL S.A.. Função: medição da vazão volumétrica do ar.

5-Controlador de temperatura ON-OFF: tipo P300, fabricado pela EURO-CONTROL, opera entre 20-200 °C. Função: controle de temperatura do ar na entrada do secador.

6-Registrador- tipo H/CG, fabricado pela INSTRUMENTOS CIENTIFICOS CG LTDA. Função: medição da temperatura de bulbo seco na parte central do secador, acima dos grãos;

Figura 3.2 Esquema da aparelhagem



determinação do regime estacionário da secagem; determinação da temperatura do produto.

7-Milivoltímetro: tipo MD-045, fabricado pela EQUIPAMENTOS CIENTIFICOS DO BRASIL. Função: medição do sinal elétrico emitido pelos termopares.

8-Termopares: elemento de medida das temperaturas de bulbo seco e úmido, tipo ferro-constantan.

9-Auto transformador variável: tipo 2/6B, entrada de 240 V, saída de 0-280 V, fabricado por THE SUPERIOR ELETRIC Co. BRISTOL CONN-USA. Função: regulagem da velocidade da esteira por variação de tensão.

10-Convertor de corrente alternada à contínua.

11-Motor de corrente contínua: tipo CG1-4, potência de 1,5 KW e rotação de 1800 RPM, fabricado pela Eletromáquinas "Anel" S.A.. Função: acionamento da esteira do secador.

12-Amperímetro: modelo 71, fabricado pela ENGRO. Escala: amperes DC. Função: medição de corrente DC de alimentação do motor de corrente contínua.

13-Amperímetro: com escala de amperes AC. Função: medição da corrente AC do sistema de esteira.

14-Balança Mettler PC-440: capacidade para 400 g com

precisão de leitura de 0.001 g, fabricado pela METTLER INSTRUMENT - AG na Suíça. Função: pesagem de amostra para a determinação do teor de umidade do grão.

15-Estufa de secagem: modelo 315-SE, fabricado pela FANEM. Função: secagem de amostra para a determinação do teor de umidade.

16-Picnômetro de comparação à ar: fabricado pelo Núcleo de Armazenamento do DEAg da UFPb.

CAPITULO IV

MATERIAL E METODOS

4.1 - MATERIAL UTILIZADO

O material utilizado para testar o simulador, foi o feijão Carioca, colhido na Granja Itayguara, localizada próximo à cidade de Lagoa Seca.

Com finalidade de determinar algumas propriedades necessárias ao desenvolvimento do simulador foram tomadas amostras deste material. A seguir são dadas algumas informações sobre os procedimentos utilizados na execução das referidas determinações:

1-Temperatura e umidade dos grãos: a temperatura foi medida por um termômetro de mercúrio, estando os grãos expostos às condições ambiente, enquanto que a umidade foi determinada pelo método da estufa, cujos detalhes serão discutidos mais adiante, neste capítulo.

2-Diâmetro médio: foram tomados 10(dez) grãos de feijão, escolhidos aleatoriamente, sobre os quais foram medidos, com auxílio de um paquímetro, os diâmetros dos grãos em três posições referentes a altura, largura e comprimento.

Os dados obtidos foram utilizados no cálculo do diâmetro médio.

3-Porosidade: foi determinada através de um picnômetro de comparação a ar, no qual a medição do volume de vazios de um leito está relacionado com a medição da pressão imposta sobre os cilindros do instrumento, considerando como válida a lei dos gases ideais para o ar utilizado. O ar é alimentado no cilindro com auxílio de um compressor e a pressão no cilindro é medida através de um manômetro interligado.

4-Densidade aparente: foi determinada através da medição da massa e do volume ocupado por uma quantidade de grãos colocada em provetas. A relação entre a massa e o volume dos grãos determina a densidade aparente.

5-Calor específico: A determinação desta variável foi realizada pelo método de mistura. Este método consiste na determinação da variação da temperatura em um calorímetro, em que o calor específico do material padrão do teste, as quantidades e as temperaturas iniciais dos materiais são conhecidos. Logo, realizando um balanço de energia, obtém o calor específico do grão.

4.2 - MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Os métodos apresentados neste tópico se refere tanto aos experimentais realizados para a obtenção da equação de camada fina, como para aqueles realizados com a finalidade de

avaliar a eficiência do simulador como preditor da operação estudada.

Antes de apresentar os passos seguidos na determinação experimental, torna-se necessário expor de modo individual os detalhes envolvidos na medição das variáveis do processo de secagem.

Inicialmente, comentaremos as variáveis que fixam as condições operacionais, em seguida as variáveis que são observadas durante a operação:

1-Fluxo de ar: é controlado pela abertura de uma válvula até atingir o fluxo desejado. Esta variável é medida por um rotâmetro no início da linha de condicionamento de ar, após o compressor (ver a figura 3.2). Durante a montagem do sistema de distribuição de ar foram utilizadas medições de velocidade do ar em várias posições sobre a esteira do secador. Esta velocidade foi medida através de um anemômetro de ventoinha.

2-Temperatura do ar: O controle desta variável na entrada do secador é executado por um sistema composto de controlador tipo liga-desliga, termopar, relé e um conjunto de nove resistências elétricas. A malha de controle consiste na geração de um sinal elétrico pelo termopar, como elemento de medida, seguido de comparação em relação a um set-point fixado pelo operador no controlador e finalmente estabelecendo o estado do relé, como elemento de atuação, sobre o aquecimento ou resfriamento das resistências elétricas, conforme orientação da regulagem. A medição da variável, tanto na

entrada como na saída do secador foi realizada por um outro sistema composto de milivoltímetro, chave seletora de canais e um conjunto de termopares. O sistema funciona, quando o operador seleciona um canal através da chave seletora, fechando o circuito do referido termopar com o milivoltímetro, obtendo-se a leitura da temperatura indiretamente em unidade de tensão, sendo necessária a conversão desta leitura a graus centígrados por um fator referente ao termopar usado(para o termopar ferro-constantan o fator é 0.0527). Existe distinção entre os termopares utilizados, no que se refere à determinação da temperatura de bulbo seco e bulbo úmido. A diferença reside na aplicação de uma mecha de algodão sobre o termopar utilizado na medição da temperatura de bulbo úmido. Quando o ar, não saturado, atravessa o termopar com a ponta úmida, ocorrerá a evaporação de parte da umidade, provocando o resfriamento do conjunto termopar-mecha úmida. Se a mecha for umedecida continuamente o sistema chegará ao equilíbrio e obtém-se a temperatura de bulbo úmido. Esta temperatura está relacionada a umidade do ar, no qual está localizado o termopar.

3-Espessura da camada de grãos: Através de ajuste e fixação de uma porta móvel na entrada do secador foi possível conseguir uma alimentação de grãos constante com o tempo, caracterizado por uma uniformidade da espessura da camada de grãos alimentados. O dispositivo utilizado permitiu o controle da alimentação, independente da quantidade de material depositada no recipiente destinado a alimentação do secador.

4-Tempo de residência dos grãos: o fluxo mássico dos grãos foi controlado pela fixação do tempo de residência no secador em conjunto com a uniformidade da espessura da camada de grãos já discutidas anteriormente. O tempo de residência pode ser fixado pelo ajuste da velocidade da esteira, que por sua vez é controlada pela potência elétrica fornecida ao motor que aciona o sistema de movimentação da esteira.

5-Umididade do ar: a determinação da umidade do ar está baseado na psicrometria, em que conhecendo a temperatura de bulbo seco e bulbo úmido de um sistema, ficam estabelecidas as outras propriedades psicrométricas. A medição destas temperaturas já foi discutida em item anterior.

6-Umididade do produto: a determinação da umidade do produto foi realizada pelo método da estufa, que consiste na secagem de pequenas amostras de grãos em estufa a 105 °C durante 24 horas. Foram tomadas 3 amostras para cada determinação, contendo entre 10 e 20 gramas cada uma.

7-Temperatura do produto: a determinação foi realizada através da tomada de amostra e colocada em recipiente isolado termicamente. O recipiente contendo os grãos era agitado com o objetivo de conseguir uma maior homogeneização do material coletado. Em seguida era submetido a medição pela inserção de termopar no recipiente.

Discutidos os detalhes envolvidos no controle e observação das principais variáveis do sistema estudado,

citaremos em seguida os passos seguidos nos experimentos em ordem cronológica.

1-Medição da temperatura ambiente;

2-Tomada de amostra para a determinação da umidade inicial dos grãos, seguida de pesagem e acondicionamento em local apropriado;

3-Tomada de amostra para medição da temperatura inicial do grão;

4-Acionamento do sistema de movimentação da esteira para controle de fluxo de grãos, estabelecendo o tempo de residência;

5-Verificação da posição da porta de alimentação para a determinação da espessura da camada de grãos;

6-Verificação do funcionamento do sistema de medição de temperatura (termopares, chave seletora, milivoltímetro);

7-Acionamento do sistema de condicionamento de ar e a regulagem da vazão volumétrica e da temperatura na entrada do secador, através dos dispositivos válvula-rotâmetro e controlador de temperatura-termopar respectivamente;

8-Alimentação de grãos no secador, quando atingidas as condições operacionais desejadas;

9-Medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar na entrada e na saída do secador, quando atingido o regime estacionário;

10-Tomada de amostra para a medição da temperatura dos grãos na saída do secador;

11-Tomada de amostra para a determinação da umidade do grão na saída do secador, seguido de pesagem e acondicionamento em local apropriado, com o encerramento da etapa;

12-Tomada de amostra dos grãos processados para a medição da temperatura de entrada dos grãos no secador para uma nova etapa;

13- Repetição dos procedimentos anteriores a partir do item 8 até o encerramento das etapas planejadas;

14- Colocação de todas as amostras tomadas para a determinação da umidade do grão em estufa à 105 °C durante 24 horas, pesando-as em seguida.

4.3 METODOS MATEMATICOS

4.3.1 - Propriedades físicas do ar

As propriedades físicas do ar foram determinadas a

partir de um modelo de carta psicrométrica, WILHELM (1976). Conhecendo-se duas propriedades psicrométricas é possível determinar as demais propriedades. Comumente, se conhece as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido, obtendo desta maneira as outras propriedades necessárias ao modelo matemático.

1- Pressão de vapor saturado:

A pressão de vapor saturado é utilizada em diversos pontos da simulação: como intermediário à determinação das outras propriedades psicrométricas, bem como seu uso no modelo de camada fina e na determinação do calor latente de vaporização do grão.

A pressão de vapor saturado é determinada através da seguinte expressão, conhecendo-se a temperatura de bulbo seco:

$$\begin{aligned} \ln (P_{vs}) = & -7511.52 T + 89.63121 \\ & + 0.023998970 T - 1.1654551 \times 10^{-5} T^2 \\ & - 1.2810336 \times 10^{-8} T^3 + 2.0998405 \times 10^{-11} T^4 \\ & - 12.150799 \ln (T) \end{aligned} \quad (4.1)$$

2 - Pressão de vapor

A pressão de vapor é determinada a partir da umidade do ar e da pressão do sistema durante o desenvolvimento da simulação por:

$$P_v = \frac{P W}{0.62198 + W} \quad (4.2)$$

A pressão de vapor é usada na equação de camada fina, juntamente com a pressão de vapor saturado.

3- Umidade relativa

Com a pressão de vapor e a pressão de vapor saturado determinadas a partir das equações 4.1 e 4.2 respectivamente, pode-se obter a umidade relativa por:

$$\phi = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (4.3)$$

A umidade relativa torna-se importante durante a simulação porque limita a quantidade de umidade absoluta do ar, quando se atinge 100 % à uma determinada temperatura. Além deste limite ocorre condensação, a qual deve ser prevista no modelo de simulação.

Esta propriedade também é usada na determinação da umidade de equilíbrio e calor latente de vaporização do grão.

4 - Umidade absoluta

A umidade absoluta normalmente é obtida pela integração do modelo de secagem. Porém para a inicialização da simulação, torna-se necessário conhecer a umidade absoluta do ar contida nos espaços vazios do leito de grãos, bem como a umidade absoluta do ar na entrada do secador. Portanto utiliza-se novamente o modelo de carta psicrométrica com este

objetivo.

A umidade absoluta é então calculada a partir das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido por:

$$W = \frac{(2501 - 2.411 T^*) W_s^* - 1.006 (T - T^*)}{2501 + 1.775 T - 4.186^* T} \quad (4.4)$$

5 - Umidade absoluta de saturação

Como observamos anteriormente a umidade absoluta de saturação é um valor intermediário à determinação da umidade absoluta a partir das temperaturas de bulbo úmido e seco. O cálculo de W_s é efetuado por:

$$W_s^* = 0.62198 \frac{P_{vs}^*}{P - P_{vs}^*} \quad (4.5)$$

6 - Volume específico do ar

Normalmente não necessitamos determinar o volume específico do ar durante a simulação, porém, o seu recíproco, a densidade do ar, é utilizada na determinação da vazão mássica. O volume específico é dado por:

$$V_a = \frac{R T}{P} (1 + 1.6078 W) \quad (4.6)$$

A densidade do ar é dada por: $\rho_a = 1/V_a$ (4.7)

4.3.2 - Propriedades físicas do grão

As propriedades físicas do grão: área específica, tamanho, porosidade, densidade aparente, calor específico foram determinados experimentalmente e estão resumidos na tabela 5.1. Os procedimentos desta determinação se encontram no tópico dos métodos experimentais. O calor latente de vaporização da água adsorvida no grão é considerado igual ao calor latente de vaporização da água livre.

4.3.3 - Umidade de equilíbrio

A quantidade de umidade de um produto está condicionada ao meio em que este produto se encontra. A propriedade que define este condicionamento é a pressão de vapor do ar em contato com o grão úmido. Quando a pressão de vapor do ar se iguala a pressão de vapor no grão se estabelece um equilíbrio. Nesta condição determina-se a umidade de equilíbrio do grão com ar.

Baseado no raciocínio exposto a umidade de equilíbrio é função da temperatura e da pressão de vapor do ar. Apesar de existir várias equações obtidas da teoria para a quantificação desta relação, as equações empíricas dão melhores resultados. ROA (1974) propôs a seguinte equação:

$$U_e = (P_1 \phi + P_2 \phi^2 + P_3 \phi^3) \exp [(Q_0 + Q_1 \phi + Q_2 \phi^2 + Q_3 \phi^3 + Q_4 \phi^4) (T + Q_5)] \quad (4.8)$$

Através de regressão linear Roa e Macedo, citado em ROSSI (1980), determinaram os parâmetros da equação para feijão com dados obtidos de Westin e Morris. Estes dados são:

$$P1= 0.892910$$

$$P2= 0.636490$$

$$P3= -1.092500$$

$$Q0= 0$$

$$Q1= -0.022103$$

$$Q2= 0.039437$$

$$Q3= -0.035661$$

$$Q4= 0.017932$$

$$Q5= 273$$

4.3.4 - Equação de camada fina

O mecanismo de secagem de sólidos úmidos não é compreendido inteiramente pelos pesquisadores. Existem algumas teorias com o objetivo de explicar estes mecanismos, BROOKER (1974).

No entanto nenhuma equação baseada nas teorias representam o processo de secagem de grão de maneira perfeita, desde a umidade inicial até a umidade de equilíbrio, BROOKER (1974). Normalmente são usadas equações provenientes da elaboração de dados experimentais, e portanto especificadas apenas nas condições estabelecidas nos experimentos.

Os parâmetros que tem influência sobre a equação de camada fina são função da: temperatura, umidade relativa, vazão mássica do ar e conteúdo de umidade inicial do grão.

NOOMHORM (1986).

Na determinação da equação de camada fina é preciso realizar experimentos envolvendo as variáveis especificadas.

Roa e Macedo, citado em ROSSI (1980) propuseram a seguinte equação empírica para secagem em camada fina:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -m q (U - U_e) (P_{vs} - P_v)^n t^{q-1} \quad (4.9)$$

Integrando a equação para as condições constantes de temperatura e umidade do ar, obtiveram:

$$MR = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} = \exp[-m (P_{vs} - P_v)^n t^q] \quad (4.10)$$

Com dados obtidos em experimentos e através de um ajuste linear por mínimos quadrados, obteve-se os parâmetros m , n , e q , que estão relacionados na tabela 5.3 do capítulo 5.

4.3.5 - Coeficiente de transmissão de calor

O número de Nusselt para coluna de recheios de cilindros é representado em WHITAKER(1972) por:

$$Nu = \left(0.4 Re^{1/2} + 0.2 Re^{2/3} \right) Pr^{0.4} \quad (4.11)$$

onde,

$$Nu = \left[\frac{h D_p}{K} \right] \left[\frac{\epsilon}{1 - \epsilon} \right] \quad (4.12)$$

$$Re = \frac{D_p G_a}{\mu (1 - \epsilon)} \quad (4.13)$$

Através das equações 4.11, 4.12, 4.13 e dos dados disponíveis obtemos:

$$h = 55.595 G_a^{1/2} + 78.673 G_a^{2/3} \quad (4.14)$$

4.3.6 - Modelo de secagem

Foi utilizado o modelo de secagem em fluxo cruzado da Universidade Estadual de Michigan, apresentado no capítulo II.

4.4 MÉTODO NUMÉRICO UTILIZADO

Para solucionar o sistema de equações diferenciais proposto como modelo de secagem, utilizou-se um programa desenvolvido por HINDMARSH(1974), implementado na UFPb por MARTINS (1982), para a solução do modelo de camada estacionária. Em seguida faremos uma descrição resumida das características do pacote numérico utilizado. Maiores detalhes do programa podem ser obtidos em HINDMARSH(1974).

O programa possui dois métodos básicos de integração:

1-Método implícito de Adams;

2-Método de Gear.

Possui ainda, quatro métodos de iteração corretora:

1-Iteração funcional;

2-Métodos da corda com a Jacobiana fornecida pelo usuário;

3-Método da corda com geração interna da Jacobiana;

4-Método da corda com aproximação através da diagonal da Jacobiana.

Os métodos utilizados entre os existentes foi o método de Gear e o método da corda com geração interna da Jacobiana.

As subrotinas do programa utilizado são as seguintes com as respectivas funções:

1-DRIVE: rotina que controla todos os passos do programa.

2-STIFF: é chamada por DRIVE e tem a função de executar uma etapa de integração e controlar o erro local, através da seleção de incremento e da ordem de cada etapa.

3-COSET: é chamada por STIFF e tem a função de especificar os coeficientes que serão usados em STIFF na integração básica e controle de erro.

4-PSET: é chamada por STIFF, se o método de solução do sistema de equações algébricas requer a utilização da Jacobiana gerada internamente. Esta rotina especifica a matriz

$P = I - h\beta_0 J$, onde I é matriz identidade, β_0 é o escalar relacionado com o método e J é a matriz Jacobiana. A matriz P especificada faz parte do método de iteração da corda como matriz coeficiente.

5-DEC: é chamada por PSET e tem a função de realizar uma decomposição LU da matriz problema.

6-SOL: é chamada por STIFF para a solução do sistema de equação algébricas lineares que foi processado em DEC.

As seguintes subrotinas são fornecidas pelo usuário para definir o problema a ser resolvido:

1-DIFFUN: é chamado por STIFF e PSET e tem a função de calcular o vetor $Y = f(y,t)$ de tamanho N para valores de $T = t$ e o vetor $Y = y$ de tamanho N .

2-PEDERV - é chamado por PSET se a matriz Jacobiana for determinada analiticamente.

4.5 - MÉTODO DE DISCRETIZAÇÃO

Como pode ser observado no capítulo de revisão bibliográfica, o modelo matemático é composto por um sistema de equações diferenciais parciais. Portanto torna-se necessária a discretização da variável espacial. Segundo CARNAHAN (1969), a discretização é baseada na construção de uma malha espacial que represente o sistema estudado. A figura 4.1 mostra uma malha espacial com a finalidade especificada.

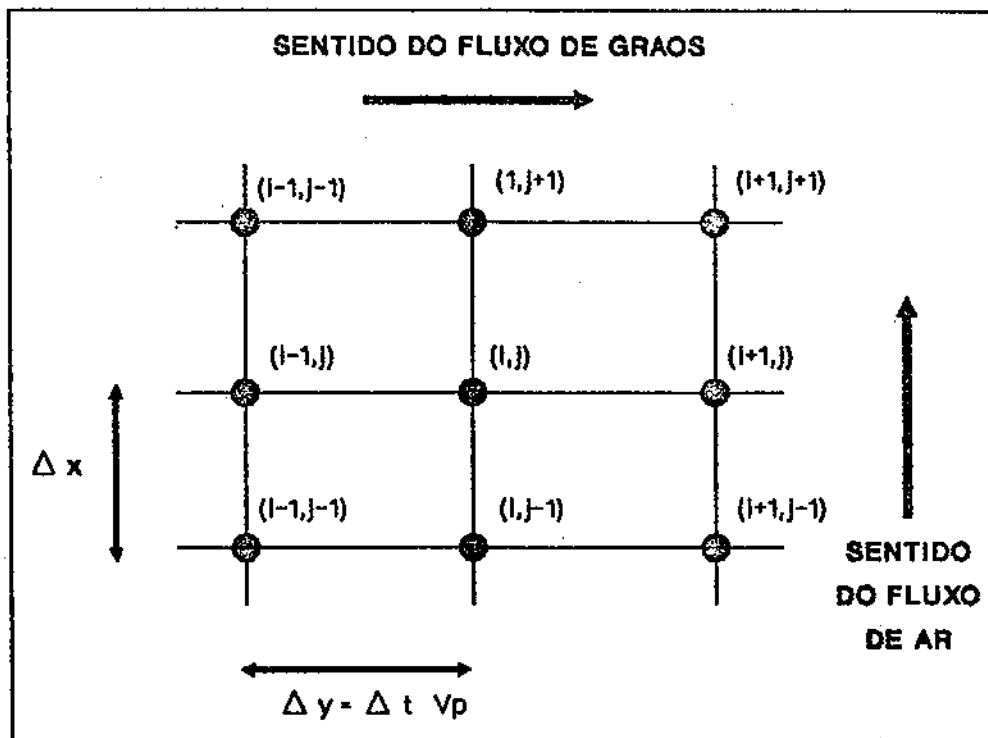


Figura 4.1 Malha numerica

Portanto as diferenciais dT/dx e dW/dx , que constam no modelo matematico de secagem devem ser discretizadas por diferenças finitas com auxilio da malha espacial especificada.

Existem diversas formas de representar as diferenciais:

1 - Diferença anterior:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(i,j) - f(i,j-1)}{\Delta x} \quad (4.15)$$

2 - Diferença central:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(i,j+1) - f(i,j-1)}{\Delta x} \quad (4.16)$$

```

WRITE(IP,130) INDEX
130 FORMAT(//,'** ERRO DETECTADO. INDEX =',I3//)
GO TO 150
140 TOUT = TOUT + DELT
IF((UMED.GE.(UF+.005)).AND.(TOUT.LE.TFIN)) GO TO 65
IF(IET.GE.1)GO TO 150
READ,IET,THZERO
UZERO= UMED
HO= 0.001
GO TO 300
150 WRITE(IP,160) NSTEP,NFE,NJE,NQUSED,HUSED
160 FORMAT(//,'SOLUCAO COMPLETADA EM ',I5,' PASSOS',/,
*22X,I5,' AVALIACOES DE F',/,
*22X,I5,' AVALIACOES DE J',/,
*22X,I5,' (ORDEM DE DERIVACAO MAXIMA USADA)',/,
*22X,D13.6,' (TAMANHO DO PASSO DE INTEGRACAO)')
WRITE(IP,22)
1 CONTINUE
22 FORMAT(/,38X,41('-'),/,38X,'I',39X,'I')
23 FORMAT(38X,'I PROPRIEDADES E CONDICOES DE ENTRADA I',/,38X,'I',
*39X,'I')
WRITE(IP,11)
11 FORMAT(38X,41('-'))
6 FORMAT(//,38X,'TEMPERATURA DO AR(K)-----',F8.3,
* //,38X,'TEMPERATURA DO PRODUTO(K)-----',F8.3,
* //,38X,'UMIDADE RELATIVA(DECIMAL)-----',F8.4,
* //,38X,'UMIDADE ABSOLUTA(KG/KG)-----',F8.4,
* //,38X,'UMIDADE INICIAL(BS,DECIMAL)-----',F8.4,
* //,38X,'UMIDADE FINAL(BS,DECIMAL)-----',F8.3,
* //,38X,'UMIDADE DE EQUILIBRIO(BS,DECIMAL)-----',F8.4,
* //,38X,'FLUXO DE AR(KG/S.M**2)-----',F8.3,
* //,38X,'CALOR ESPECIFICO DO AR(J/KG.K)-----',F8.3,
* //,38X,'CALOR ESPECIFICO DO PRODUTO(J/KG.K)-----',F8.3,
* //,38X,'CALOR ESPECIFICO DO VAPOR D'AGUA(J/KG.K)-----',F8.3,
* //,38X,'CALOR ESPECIFICO DA AGUA LIQUIDA(J/KG.K)-----',F8.3,
* //,38X,'COEF DE TRANSF DE CALOR(W/M**2.K)-----',F8.3,
* //,38X,'PRESSAO ATMOSFERICA(PA)-----',F8.0,
* //,38X,'CALOR LATENTE DE VAPOSIZ. INICIAL(J/KG)-----',F8.0,
* //,38X,'MASSA ESPEC APARENTE DE PRODUTO(KG/M**3)-----',F8.3,
* //,38X,'AREA ESPECIFICA DO PRODUTO(M**2/M**3)-----',F8.3,
* //,38X,'ESPESSURA DA CAMADA DE PRODUTO(M)-----',F8.3)
STOP
END

```

C

```

SUBROUTINE DIFFUN(N,T,Y,DYDT)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMMON/XPT01/PATM,TAR,TP,UT,WI,DX,PS,H
COMMON/XPT02/J1,J2,J3,ND1,10
COMMON/XPT03/CA,CV,CW,QA,QP,UEI,ROA,POF
COMMON/XPT04/UP(11),UF(11),PV,PVS
COMMON/XPT05/QLV,ROP,CP,C1
COMMON/XPT010/PROO
DIMENSION Y(44),DYDT(44)
CHARACTER*6 PROD
U1 = Y(1)

```

```

POP = 0.387800
RDP = 84300
CP = 1019
TR= TAR*1.300
QLV= (1075.900 - 0.5700*(TR- 491.6900))*232600
ROA1 = ROA
CP1 = CP
POR1 = POP
R = (PS*DX) / (QA*H)
C2 = POP *(CP+CW*U1)
C3 = POR *(CA+CV*W1)
J = J1+1
K = J2+1
L = J3+1
AUX= PATM/(.621900 + Y(J))
PV = Y(J)*AUX
PVS= PSDB(Y(L))
UR(1)= PV/PVS
CALL UEQUIL(PROD,UR(1),Y(L), UE(1))
CALL CANDEL(T,PVS,PV,UE(1),DUOT,Y(1),1)
DYDT(1)= DUOT
GO TO (10,10,20,30),10
10 CONTINUE
DYDT(J)= 0.
F1= 1.000
DYDT(K)= (C1/C2)*(TAR-Y(K))-(QLV+CV*(TAR-Y(K)))*(CA/C2)*F1*
1 (Y(J)-W1)/DX
DYDT(L)= 0.
GO TO 40
20 CONTINUE
DYDT(J) = 0.
DYDT(K)= (C1/C2)*(TAR-Y(K))-(QLV+CV*(TAR-Y(K)))*(CA/C2)*
1 (Y(J)-W1)/DX-(QP/RCP)*(Y(K)-TP)/DX
DYDT(L)= 0.
GO TO 40
30 CONTINUE
DYDT(J)= 0.
DYDT(K)= (C1/C2)*(TAR-Y(K))+(QLV+CV*(TAR-Y(K)))*(CA/C2)*
1 (Y(J)-W1)/DX-(QP/RCP)*(Y(K)-TP)/DX
DYDT(L)= 0.
40 CONTINUE
DO 80 I =2,ND1
J = I+J1
K = I+J2
L = I+J3
TR= Y(L)* 1.800
QLV= (1075.900 -0.5700*(TR- 491.6900))*232600
C2 = RCP *(CP+CW*Y(I))
C3 = POR *(CA+CV*Y(J))
ROA = PATM/((28700*(0.6219 + Y(J))))
PV = Y(J)*AUX
PVS= PSDB(Y(L))
UR(I) = PV / PVS
IF(UR(I).GT.1.00) CALL CONDEN(Y(J),PV,PVS,UR(I))
CALL UEQUIL(PROD,UR(I),Y(L),UE(I))

```

```

CALL CANDFL(T,PVS,PV,UE(I),DUOT,Y(I),J)
DYDT(I) = DUOT
GO TO (50,50,60,70),ID
50 CONTINUE
F1=1.0000
F2= 1.0000
F3= (-1/(PCP*ROA))*100
DYDT(J)= F3*(QA*F1*(Y(J)-Y(J-1))/DX+PCP*DYDT(I)*F2)
DYDT(K)= (C1/C2)*(Y(L)-Y(K))-(QLV+CV*(Y(L)-Y(K)))*(QA/C2)*F1*
1 (Y(J)-Y(J-1))/DX
DYDT(L)=(-1.00/ROA)*((C1/C3)*(Y(L)-Y(K))+(QA/PCP)*
1 (Y(L)-Y(L-1))/DX)
GO TO 80
60 CONTINUE
DYDT(J)=(1.00/(PCP*ROA))*(PCP*DYDT(I)-QA*(Y(J)-Y(J-1))/DX)
DYDT(K)= (C1/C2)*(Y(L)-Y(K))+(QLV+CV*(Y(L)-Y(K)))*(QA/C2)*
1 (Y(J)-Y(J-1))/DX-(CP/ROP)*(Y(K)-Y(K-1))/DX
DYDT(L)=(-1.00/ROA)*((C1/C3)*(Y(L)-Y(K))+(QA/PCP)*(Y(L)-Y(L-1))/
- 1 DX)
GO TO 30
70 CONTINUE
DYDT(J)=(1.00/(PCP*ROA))*(QA*(Y(J)-Y(J-1))/DX-PCP*DYDT(I))
DYDT(K)= (C1/C2)*(Y(L)-Y(K))+(QLV+CV*(Y(L)-Y(K)))*(QA/C2)*
1 (Y(J)-Y(J-1))/DX-(CP/ROP)*(Y(K)-Y(K-1))/DX
DYDT(L)=(1.00/ROA)*((QA/PCP)*(Y(L)-Y(L-1))/DX-(C1/C3)*
1 (Y(L)-Y(K)))
80 CONTINUE
ROA = ROA1
CP = CP1
PCP = PCP1
J = 2 + J1
K = 2 + J2
L = 2 + J3
C3 = PCP *(CA+CV*W1)
GO TO (90,90,100,110),ID
90 CONTINUE
GO TO 120
100 CONTINUE
DYDT(J)=(1.00/(PCP*ROA))*(PCP*DYDT(2)-QA*(Y(J)-WI)/DX)
DYDT(L)=(-1.00/ROA)*((C1/C3)*(Y(L)-Y(K))+(QA/PCP)*(Y(L)-TAP)/DX)
GO TO 120
110 CONTINUE
DYDT(J)=(1.00/(PCP*ROA))*(QA*(Y(J)-WI)/DX-PCP*DYDT(2))
DYDT(L)=(1.00/ROA)*((QA/PCP)*(Y(L)-TAP)/DX-(C1/C3)*(Y(L)-Y(K)))
120 CONTINUE
RETURN
END

C
SUBROUTINE PEDEFV(N,X,YPREV,PF,NO)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
DIMENSION Y(44),YPREV(NO,6),PF(400)
RETURN
END

C
SUBROUTINE DRIVE(N,TD,HC,YC,TOUT,EPS,ME,INDEX)

```

SUB-ROTINA IMPLEMENTADA POR J. HELVECIO MARTINS EM
JULHO, 1981 - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VICOSA - DEPTO. DE
ENG. AGRICOLA

ESTA E A VERSAO DE 20 DE DEZEMBRO DE 1974 DE GEAR, UM PACOTE
PARA A SOLUCAO DE PROBLEMAS DE VALOR INICIAL PARA SISTEMAS DE
EQUACOES DIFERENCIAIS ORDINARIAS,

$$DY/DT = F(Y,T), \quad Y = (Y(1), Y(2), \dots, Y(N)).$$

A SUB-ROTINA DRIVE E UMA ROTINA PRINCIPAL PARA O PACOTE GEAR.

R E F E R E N C I A S

1. A. C. HINDMARSH, GEAR.. ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATION SYSTEM SOLVER, UCID-30001 REV. 3, LAWRENCE LIVERMORE LABORATORY, P.O. BOX 808, LIVERMORE, CA 94550, DEC. 1974.
2. A. C. HINDMARSH, LINEAR MULTISTEP METHODS FOR ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS. METHOD FORMULATIONS, STABILITY AND THE METHODS OF NORDSIECK AND GEAR, UCPL-51186 REV. 1, L.L.L., MARCH 1972.
3. A. C. HINDMARSH, CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL SOFTWARE, PART III.. THE CONTROL OF ERROR IN THE GEAR PACKAGE FOR ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS, UCID-30050 PART 3, L.L.L., AUGUST 1972.

DRIVE E PARA SER CHAMADA UMA SO VEZ PARA CADA VALOR DE SAIDA DE T, E DURANTE O PROCEDIMENTO FAZ REPETIDAS CHAMADAS AO INTEGRADOR CENTRAL, STIFF.

OS PARAMETROS DE ENTRADA SAO..

- N = NUMERO DE EQUACOES DIFERENCIAIS DE PRIMEIRA ORDEM.
N PODE SER REDUZIDO, MAS NUNCA AUMENTADO, DURANTE O PROBLEMA.
- TO = VALOR INICIAL DE T, A VARIAVEL INDEPENDENTE(USADO SOMENTE NA PRIMEIRA CHAMADA).
- HO = PROXIMO TAMANHO DO INCREMENTO EM T(USADO PARA ENTRADA SOMENTE NA PRIMEIRA CHAMADA).
- YO = VETOR DE COMPRIMENTO N QUE CONTEM OS VALORES INICIAIS DE Y(USADO PARA ENTRADA SOMENTE NA PRIMEIRA CHAMADA).
- TOUT = VALOR DE T PARA O QUAL A PROXIMA SAIDA E DESEJADA.
A INTEGRACAO NORMALMENTE VAI LIGETRAMENTE ALEM DE TOUT E O PACOTE FAZ INTERPOLACAO PARA T = TOUT.
- EPS = LIMITE DO ERRO RELATIVO (USADO SOMENTE NA PRIMEIRA CHAMADA, A MENOS QUE INDEX = -1). AS ESTIMATIVAS DO ERRO DE UM PASSO DIVIDIDAS POR YMAX(I) SERA MANTIDA MENOR DO QUE EPS NA NORMA DO QUADRADO MEDIO DA RAIZ (ISTO E, NORMA EUCLIDIANA DIVIDIDA PELA RAIZ QUADRADA DE N). O VETOR YMAX DE PONDERACOES E COMPUTADO EM DRIVE. INICIALMENTE YMAX E ABS(Y(I)), COM UM VALOR POR FALTA DE 1 SE Y(I) = 0 NO INICIO. POSTERIORMENTE, YMAX(I) E O MAIOR VALOR DE

C ABS(Y(1)) CONSIDERADO ATE ENTAO, OU O YMAX(Y) INICIAL SE
 C AQUELE FOR MAIOR. PARA ALTERAR QUALQUER UM DESTES, MUDE
 C OS COMANDOS APROPRIADOS NOS DO-LOOPS QUE TERMINAM NOS
 C COMANDOS 10 E 70 ABAIXO.
 C MF = METODO DE PARADA(FLAG) (USADO SOMENTE NA PRIMEIRA CHAMADA,
 C A MENOS QUE INDEX = -1). OS VALORES PERMITIDOS SAO 10,
 C 11, 12, 13, 20, 21, 22, 23. MF TEM DOIS DIGITOS DECIMAIS,
 C METH E MITER (MF = 10*METH + MITER).
 C METH E O INDICADOR DO METODO BASICO..
 C METH = 1 SIGNIFICA METODOS DE ADAMS.
 C METH = 2 SIGNIFICA METODOS PIGIDOS DE GEAR, OU AS FORMU-
 C LAS DE DIFERENCIACAO REGRESSIVA.
 C MITER E O INDICADOR DO METODO ITERATIVO..
 C MITER = 0 SIGNIFICA ITERACAO FUNCIONAL (NAO NECESSITA DAS
 C DERIVADAS PARCIAIS).
 C MITER = 1 SIGNIFICA METODO DAS CORDAS COM JACOBIANO ANA-
 C LICO. PARA ISSO O USUARIO FORNECE A SUB-ROTINA
 C PEDERV (VEJA DESCRICAO ABAIXO).
 C MITER = 2 SIGNIFICA METODO DAS CORDAS COM JACOBIANO CAL-
 C CULADO INTERNAMENTE POR DIFERENCAS FINITAS.
 C MITER = 3 SIGNIFICA METODO DAS CORDAS COM JACOBIANO
 C SUBSTITUIDO POR UMA APROXIMACAO DIAGONAL
 C BASEADO EM UMA DERIVADA DIRECIONAL.
 C INDEX = INTEIRO USADO NA ENTRADA PARA INDICAR O TIPO DE CHAMADA,
 C COM OS SEGUINTE VALORES E SIGNIFICADOS..
 C 1 ESTA E A PRIMEIRA CHAMADA PARA ESTE PROBLEMA.
 C 0 ESTA NAO E A PRIMEIRA CHAMADA PARA ESTE PROBLEMA,
 C E O USUARIO TEM QUE RECOMPOR N, EPS, E/OU MF.
 C 2 MESMO COMO EM INDEX = 0 EXCETO QUE TOUT DEVE
 C SER ATINGIDO EXATAMENTE (NENHUMA INTERPOLACAO E
 C FEITA).
 C ASSUME-SE QUE O VALOR DE TOUT SEJA MAIOR OU IGUAL
 C AO VALOR CORRENTE DE T.
 C 3 O MESMO COMO EM INDEX = 0, EXCETO QUE O CONTROLE
 C VOLTA A CHAMAR O PROGRAMA APOS UM PASSO. TOUT E
 C IGNORADO.
 C UMA VEZ QUE O VALOR NORMAL DE SAIDA DE INDEX E 0, ELE
 C NAO NECESSITA SER RECOMPOSTO PARA CONTINUACAO NORMAL.
 C
 C APOS A CHAMADA INICIAL, SE OCORRER UM RETORNO NORMAL E UMA
 C CONTINUACAO E DESEJADA, SIMPLEMENTE E NECESSARIO RECOMPOR TOUT E
 C CHAMAR NOVAMENTE. TODOS OS OUTROS PARAMETROS SERAO PREPARADOS PARA
 C A PROXIMA CHAMADA. UMA MUDANCA DOS PARAMETROS COM INDEX = -1 PODE
 C SER FEITA TANTO APOS UM RETORNO BEM SUCEDIDO QUANTO APOS UM RETORNO
 C SEM SUCESSO.
 C
 C OS PARAMETROS DE SAIDA SAO..
 C HD = TAMANHO DO PASSO H USADO POR ULTIMO, COM SUCESSO OU NAO.
 C YD = VALORES COMPUTADOS DE Y EM T = TOUT.
 C TOUT = VALOR DE SAIDA DE T. SE A INTEGRACAO TEVE SUCESSO, E O
 C VALOR DE ENTRADA DE INDEX NAO ERA 3, TOUT NAO E MUDADO E
 C PERMANECE COM SEU VALOR INICIAL. EM OUTROS CASOS, TOUT
 C E O VALOR CORRENTE DE T PARA O QUAL A INTEGRACAO FOI
 C COMPLETADA.
 C INDEX = NUMERO INTEIRO USADO NA SAIDA PARA INDICAR RESULTADOS,

- C COM OS SEGUINTE VALORES E SIGNIFICADOS..
 C 0 A INTEGRACAO FOI COMPLETADA PARA TOUT OU PARA ALEM DE TOUT
 C -1 A INTEGRACAO FOI PARALIZADA APOS FALHAR AO PASSAR PELO
 C TESTE DE ERRO MESMO APOS A REDUCCAO DE H POR UM FATOR DE
 C 1.E10 DE SEU VALOR INICIAL.
 C
 C -2 APOS ALGUM SUCESSO INICIAL, A INTEGRACAO FOI PARALIZADA
 C POR REPETIDAS FALHAS NO TESTE DE ERRO OU POR UM TESTE
 C EM EPS. TAMREM MUITA EXATIDAO FOI REQUERIDA.
 C -3 A INTEGRACAO FOI PARALIZADA APOS FALHAR PARA ALCANCAR A
 C CONVERGENCIA CORRETA MESMO APOS A REDUCCAO DE H
 C DE 1.E10 A PARTIR DE SEU VALOR INICIAL.
 C -4 PARADA IMEDIATA POR CAUSA DE VALORES ILEGALS DOS
 C PARAMETROS DE ENTRADA. VEJA MENSAGEM IMPRESSA.
 C -5 INDEX ERA -1 NA ENTADA, MAS AS MUDANCAS DESEJADAS DOS
 C PARAMETROS NAO FORAM IMPLEMENTADAS PORQUE TOUT NAO FOI
 C ACIMA DE T. INTERPOLACAO PARA T = TOUT FOI EXECUTADA
 C COMO NO RETORNO NORMAL. PARA TENTAR DE NOVO, SIMPLEMENTE
 C CHAME OUTRA VEZ COM INDEX = -1 E UM NOVO TOUT.

C ALEM DE DRIVE, AS SEGUINTE ROTINAS SAO IMPLEMENTADAS
 C NO PACOTE..

C INTERP(TOUT,Y,NO,YO) FAZ INTERPOLACAO PARA OBTER VALORES DE
 C SAIDA(OUTPUT) EM T = TOUT, A PARTIR DOS
 C DADOS NA MATRIZ Y.

C STIFF(Y,NO) E UMA ROTINA INTEGRADORA CENTRAL. ELA CONTROLA
 C CADA PASSO INDIVIDUALMENTE E O ERRO ASSOCIADO A
 C ELE.

C COSET(METH,NQ,EL,TQ,MAXDER) FORNECE COEFICIENTES PARA SEREM
 C USADOS NO INTEGRADOR CENTRAL.

C PSET(Y,NO,CON,MITER,IER) CALCULA E PROCESSA A MATRIZ JACOBIANA
 C NA $J = DF/DY$.

C DEC(N,NO,A,IP,IER) EXECUTA UMA DECOMPOSICAO LU NA MATRIZ A.

C SOL(N,NO,A,B,IP) RESOLVE SISTEMAS LINEARES DA FORMA $A*X = B$
 C APOS A ROTINA DEC TER SIDO CHAMADA PARA DE-
 C COMPOR A MATRIZ A.

C OBS.. PSET, DEC E SOL SAO CHAMADAS SOMENTE SE MITER = 1 OU 2.

C AS SEGUINTE ROTINAS SAO PARA SER FORNECIDAS PELO USUARIO..

C DIFFUN(N,T,Y,YDOT) CALCULA A FUNCCAO YDOT = F(Y,T), ISTO E,
 C O LADO DIREITO DAS EQUACCOES DIFERENCIAIS
 C ORDINARIAS(E.D.O.). AQUI Y E YDOT SAO
 C VETORES DE DIMENSAO N.

C PEDERV(N,T,Y,PD,NO) CALCULA A MATRIZ JACOBIANA N X N DE
 C DERIVADAS PARCIAIS, ARMAZENANDO-A EM
 C PD COMO UMA MATRIZ NO X NO. PD(I,J)
 C DEVE CONTER A DERIVADA PARCIAL DE YDOT(I)
 C COM RELACAO A Y(J). PEDERV E CHAMADA
 C SOMENTE SE MITER = 1. EM OUTROS CASOS
 C UMA ROTINA BOBA(DUMMY) DEVE SUBSTITUI-LA.

C AS DIMENSOES NAS DECLARACOES SEGUINTE SAO PARA UM MAXIMO DE 20
 C EQUACCOES. SE O PACOTE FOR USADO PARA UM VALOR DE N MAIOR, AS DI-
 C MENSOES DEVERAO SER AUMENTADAS CONVENIENTEMENTE. A DIMENSAO DE PD

C ABAIXO DEVE SER NO MINIMO N**2 SE MITER = 1 OU 2, MAS PODE SER RE-
 C DUZIDA PARA N SE MITER = 3, OU PARA 1 SE MITER = 0.
 C AS DIMENSÕES DE YMAX, ERROR, SAVE1, SAVE2, IPIV, E A PRIMEIRA DI-
 C MENSÃO DE Y DEVEM SER TODOS NO MINIMO IGUAIS A N. O COMPRIMENTO
 C DA COLUNA DA MATRIZ Y COMO USADA EM QUALQUER PARTE E NC, E NAQ 20.
 C O COMPRIMENTO DA LINHA DE Y PODE SER REDUZIDO DE 13 PARA 6 SE
 C METH = 2.
 C A MATRIZ IPIV E USADA SOMENTE SE MITER FOR 1 OU 2.
 C O BLOCO 'COMMON' GEAR9 PODE SER ACESSADO EXTERNAMENTE PELO USUARIO
 C SE DESEJADO. ELE CONTEM O ULTIMO TAMANHO DO PASSO USADO(COM SUCESSO-
 C SO), A ULTIMA ORDEM USADA(COM SUCESSO), O NUMERO DE PASSOS TOMADOS
 C ATE ENTAO, O NUMERO DE AVALIACOES DE FICHAMADAS A DIFFUN
 C ATE ENTAO, E O NUMERO DE AVALIACOES DO JACCBIANO ATE ENTAO.
 C
 C NO COMANDO 'DATA' SEGUINTE, CONSIDERE..
 C URROUND = ARREDONDAMENTO UNITARIO DA MAQUINA, I.E., O MENOR
 C POSITIVO U TAL QUE 1. + U DIFERENTE DE 1. NA
 C MAQUINA.
 C LOUT = NUMERO DA UNIDADE LOGICA PARA A SAIDA DE MENSAGENS
 C DURANTE A INTEGRACAO.
 C

```

INTEGER N, MF, INDEX
INTEGER NC, MFC, KFLAG, JSTART, IPIV, NSQ, NUSED, NSTEP, NFE, NJE
INTEGER LOUT, I, NO, NHCUT, KGD
DOUBLE PRECISION DABS, DSORT, DMAX1, DMIN1, DFLCAT
DOUBLE PRECISION TO, HO, YO, TOUT, EPS
DOUBLE PRECISION T, H, HMIN, HMAX, EPSC, URROUND, YMAX, ERROR,
1 SAVE1, SAVE2, PW, EPSJ, HUSED
DOUBLE PRECISION YY(44), ERREST, ERRLOC, HMAT
DOUBLE PRECISION Y, TOUTP, AYI, D
DIMENSION YO(N)
DIMENSION Y(44,13)
COMMON /GEAR1/ T,H,HMIN,HMAX,EPSC,URROUND,NC,MFC,KFLAG,JSTART
COMMON /GEAR2/ YMAX(44)
COMMON /GEAR3/ ERROR(44)
COMMON /GEAR4/ SAVE1(44)
COMMON /GEAR5/ SAVE2(44)
COMMON /GEAR6/PW(1936)
COMMON /GEAR7/ IPIV(44)
COMMON /GEAR8/ EPSJ, NSQ
COMMON /GEAR9/ HUSED, NUSED, NSTEP, NFE, NJE
COMMON /ESTERR/ ERREST
LOUT=6
URROUND=7.1D-15
IF(INDEX.EQ.0)GO TO 20
IF(INDEX.EQ.2)GO TO 25
IF(INDEX.EQ.-1)GO TO 30
IF(INDEX.EQ.3)GO TO 40
IF(INDEX.NE.1) GO TO 430
IF(EPS.LE.0.)GO TO 400
IF(N.LE.0) GO TO 410
IF((TO-TOUT)*HO.GE.0.)GO TO 420
  
```

C SE VALORES DE YMAX DIFERENTES DAQUELES FORNECIDOS ABAIXO SAO
 C DESEJADOS, ELES DEVEM SER REQUERIDOS AQUI. TODO YMAX(I) DEVE SER

C POSITIVO. SE VALORES PARA HMIN OU HMAX, OS LIMITES EM ABS(H),
 C DIFERENTES DOS FORNECIDOS ABAIXO SAO DESEJADOS, ELES DEVEM SER
 C REQUERIDO EM SEGUIDA.

```

-----
    DD 10 I=1,N
        YMAX(I)=DABS(YO(I))
        IF(YMAX(I).EQ.0.)YMAX(I)=1.
10  Y(I,)=YO(I)
        NC=N
        T=TO
        H=HO
        IF((T+H).EQ.T)WRITE(LOUT,15)
15  FORMAT(/,2X,'ADVERTENCIA.. T+H = T NO PROXIMO PASSO.')
```

HMIN=DABS(HO)
 HMAX=DABS(TO-TOUT)*10.
 EPSC=EPS
 MFC=MF
 JSTART=0
 NO=N
 NSQ=NO*NO
 EPSJ=DSQRT(UROUND)
 NHOUT=0
 GO TO 50

C TOUTP E O VALOR PREVIO DE TOUT PARA USO EM HMAX.-----

```

20  HMAX=DABS(TOUT-TOUTP)*10.
    GO TO 80
25  HMAX=DABS(TOUT-TOUTP)*10.
    IF((T-TOUT)*H.GE.0.)GO TO 500
    GO TO 85
30  IF((T-TOUT)*H.GE.0.)GO TO 440
    JSTART=-1
    NC=N
    EPSC=EPS
    MFC=MF
40  IF((T+H).EQ.T)WRITE(LOUT,15)
50  CALL STIFF (Y,NC)
    KGO=1-KFLAG
    GO TO(60,100,200,300),KGO
60  CONTINUE
```

C-----
 C RETORNO NORMAL DO INTEGRADOR..

C OS PESOS YMAX(I) SAO ATUALIZADOS. SE VALORES DIFERENTES SAO
 C DESEJADOS, DEVEM SER REQUERIDOS AQUI. UM TESTE E FEITO PARA O
 C CASO DE EPS SER MUITO PEQUENO PARA A PRECISAO DA MAQUINA.

C QUAISQUER OUTROS TESTES OU CALCULOS QUE SAO REQUERIDOS APÓS CADA
 C PASSO DEVEM SER INSERIDOS AQUI.

C SE INDEX = 3, YO ADQUIRE OS VALORES CORRENTE DE Y NO RETORNO.
 C SE INDEX = 2, H F CONTROLADO PARA ACERTAR TOUT (DENTRO DO ERRO DE
 C ARREDONDAMENTO), E ENTÃO OS VALORES DE Y SAO ARMAZENADOS EM YO NO
 C RETORNO. PARA QUALQUER OUTRO VALOR DE INDEX, O CONTROLE RETORNA
 C AO INTEGRADOR A MENOS QUE TOUT TENHA SIDO ALCANÇADO. ASSIM VALORES
 C INTERPOLADOS DE Y SAO COMPUTADOS E ARMAZENADOS EM YO NO RETORNO.

C SE A INTERPOLACAO NAO E DESEJADA, A CHAMADA A SUB-ROTINA INTERP
 C DEVE SER REMOVIDA E O CONTROLE TRANSFERIDO PARA O COMANDO 500 AO
 C INVES DE 520.

```

-----
D=0.
DO 70 I=1,N
  AYI=DABS(Y(I,1))
  YMAX(I)=DMAX1(YMAX(I),AYI)
70 D=D+(AYI/YMAX(I))**2
  D=D*(UROUND/EPS)**2
  IF(D.GT.DFLOAT(N))GO TO 250
  IF(INDEX.EQ.3)GO TO 500
  IF(INDEX.EQ.2)GO TO 85
80 IF((T-TOUT)*H.LT.0.)GO TO 40
  CALL INTERP(TOUT,Y,NO,YO)
  GO TO 520
85 IF(((T+H)-TOUT)*H.LE.0.)GO TO 40
  IF(DABS(T-TOUT).LE.256.*UROUND*HMAX)GO TO 500
  IF((T-TOUT)*H.GE.0.)GO TO 500
  H=(TOUT-T)*(1.-4.*UROUND)
  JSTART=-1
  GO TO 40
  
```

C-----
 C NUM RETORNO DE ERRO DO INTEGRADOR, UM RETORNO IMEDIATO OCORRE SE
 C KFLAG = -2, E TENTATIVAS DE RECUPERACAO SAO FEITAS EM OUTROS
 C CASOS. PARA A RECUPERACAO, H E HMIN SAO REDUZIDOS POR UM FATOR
 C DE .1 ATE 10 VEZES ANTES DA DESISTENCIA.

```

-----
100 WRITE(LOUT,105)T
105 FORMAT(//,2X,'KFLAG = -1, RETORNADO DO INTEGRADOR, EM T =',D16.8,/,
  *,2X,'O TESTE DE ERRO FALHOU COM ABS(H)=HMIN',/)
110 IF(NHOUT.EQ.10)GO TO 150
  NHOUT=NHOUT+1
  HMIN=.1*HMIN
  H=.1*H
  WRITE(LOUT,115)H
115 FORMAT(//,2X,'H FOI REDUZIDO PARA',3X,D16.8,' E O PASSO SERA REINIC
  *IADO',/)
  JSTART=-1
  GO TO 40
150 WRITE(LOUT,155)
155 FORMAT(//,2X,'O PROBLEMA PARECE INSOLUVEL COM A ENTRADA FORNECIDA'
  *,//)
  GO TO 500
200 WRITE(LOUT,205)T,H
205 FORMAT(//,2X,'KFLAG = -2, RETORNADO DO INTEGRADOR, EM T =',D16.8,
  *3X,'H =',D16.8,/,2X,'O ERRO REQUERIDO E MENOR DO QUE O QUE PODE SE
  *R MANIPULADO',/)
  GO TO 500
250 WRITE(LOUT,255)T
255 FORMAT(//,2X,'INTEGRACAO PARALIZADA PELA ROTINA PRINCIPAL (DRIVER)
  *EM T=',D16.8,/,2X,'EPS E MUITO PEQUENO PARA SER MANTIDO PARA A PRE
  *CISAO DA MAQUINA',/)
  KFLAG=-2
  GO TO 500
  
```

```

300 WRITE(LOUT,305)T
305 FORMAT(/,2X,'KFLAG = -3, RETORNADO DO INTEGRADOR, EM T =',D16.8,/,
*2X,'CORRETOR DE CONVERGENCIA NAO PODE SER ALCANÇADO')
GO TO 110
400 WRITE(LOUT,405)
405 FORMAT(/,2X,'ENTRADA ILEGAL.. EPS.LE.0.',/)
INDEX=-4
RETURN
410 WRITE(LOUT,415)
415 FORMAT(/,2X,'ENTRADA ILEGAL.. N.LE.0',/)
INDEX=-4
RETURN
420 WRITE(LOUT,425)
425 FORMAT(/,2X,'ENTRADA ILEGAL.. (TO-TOUT)*H.GE.0.',/)
INDEX=-4
RETURN
430 WRITE(LOUT,435)INDEX
435 FORMAT(/,2X,'ENTRADA ILEGAL.. INDEX =',I5,/)
INDEX=-4
RETURN
440 WRITE(LOUT,445)T,TOUT,H
445 FORMAT(/,2X,'INDEX = -1 NA ENTRADA COM (T-TOUT)*H.GE.0.',/,4X,
*1T =',D20.8,4X,'TOUT =',D20.8,4X,'H =',D20.8,/,4X,'INTERPOLACAO FO
*I FEITA COMO NO RETORNO NORMAL.',/,4X,'MUDANCAS DESEJADAS DE PARAM
*ETROS NAO FORAM FEITAS.')
```

CALL INTERP(TOUT,Y,NO,YO)

INDEX=-5

RETURN

500 TOUT=T

DO 510 I=1,N

510 YO(I)=Y(I,1)

520 INDEX=KFLAG

TOUTP=TOUT

HQ=HUSED

IF(KFLAG.NE.0)HQ=H

RETURN

END

C

SUBROUTINE STIFF (Y,NO)

C

```

INTEGER NO, NMF, KFLAG, JSTART, IPIV, NQUSED, NSTEP, NFF, NJS,
+ I, METH, MITER, NQ, L, IDOUB, MFOLD, NOLD, IRET, MET,
+ MIO, IWEVAL, MAXGER, IREDO, J, NSTEPJ, J1, J2, M, IER,
+ NEWQ
DOUBLE PRECISION Y, T, H, HMIN, HMAX, EPS, URGUND, YMAX, EPROP,
1 SAVE1, SAVE2, PW, HUSED
DOUBLE PRECISION EL, OLDLC, TOLD, RMAX, RC, CPATE, EPSOLD,
1 HOLD, FN, EDN, E, EUP, BND, RH, B1, COM, P,
2 HLO, RO, D,PHLC,PR3,D1,ENQ3,ENQ2,ENQ1,
3 ERREST, PR2, PRI, LMAX
DOUBLE PRECISION DABS, DFLGAT, DMAX1, DMIN1, DBLE, DSQRT
REAL TQ(4)
DIMENSION Y(NO,13),EL(13)
COMMON /GEAR1/ T,H,HMIN,HMAX,EPS,URGUND,N,MF,KFLAG,JSTART
COMMON /GEAR2/ YMAX(44)
```

COMMON /GEAR3/ ERROR(44)
 COMMON /GEAR4/ SAVE1(44)
 COMMON /GEAR5/ SAVE2(44)
 COMMON /GEAR6/PW(1936)
 COMMON /GEAR7/ IPIV(44)
 COMMON /GEAR9/ HUSED, NUSED, NSTEP, NFE, NJE
 COMMON /ESTERR/ ERREST

 A SUB-ROTINA STIFF EXECUTA UM PASSO DA INTEGRACAO DE UM PROBLEMA DE VALOR INICIAL PARA UM SISTEMA DE EQUACOES DIFERENCIAIS ORDINARIAS. A COMUNICACAO COM STIFF E FEITA COM AS SEGUINTE VARIAVEIS..

Y UMA MATRIZ $N \times LMAX$ QUE CONTEM AS VARIAVEIS DEPENDENTES E SUAS DERIVADAS ESCALONADAS. LMAX E 12 PARA OS METODOS DE ADAMS E 6 PARA OS METODOS DE GEAR. $LMAX - 1 = MAXDEF$ E A ORDEM MAXIMA OBTENIVEL. VEJA A SUB-ROTINA COSET. $Y(1, J+1)$ CONTEM A J-ESIMA DERIVADA DE $Y(1)$, ESCALONADA POR $H^{*}J/FATORIAL(J)$ ($J = 0, 1, \dots, NQ$).

NO UMA CONSTANTE INTEIRA MAIOR OU IGUAL A N, USADA PARA FINALIDADES DE DIMENSIONAMENTO.

T VARIÁVEL INDEPENDENTE. T E ATUALIZADO A CADA PASSO.

H TAMANHO DO PASSO A SER TENTADO NO PROXIMO PASSO. H E ALTERADO POR UM ALGORITMO DE CONTROLE DE ERRO DURANTE O PROBLEMA. H PODE SER TANTO POSITIVO COMO NEGATIVO, MAS SEU SINAL PODE SER MANTIDO CONSTANTE POR TODO O PROBLEMA.

HMIN MINIMO VALOR ABSOLUTO DO TAMANHO DO PASSO A SER USADO EM CADA PASSO. ESTE VALOR PODE SER MUDADO EM QUALQUER INSTANTE, MAS NAO TERA EFEITO ATÉ A PROXIMA VARIACAO DE H.

HMAX MAXIMO VALOR ABSOLUTO DO TAMANHO DO PASSO A SER USADO EM CADA PASSO. ESTE VALOR PODE SER MUDADO EM QUALQUER MOMENTO, MAS NAO TERA EFEITO ATÉ A PROXIMA MUDANCA DE H.

EPS LIMITE DO ERRO RELATIVO. VEJA A DESCRICAO NA ROTINA DRIVE.

UROUND ARREDONDAMENTO UNITARIO DA MAQUINA.

N NUMERO DE EQUACOES DIFERENCIAIS ORDINARIAS DE PRIMEIRA ORDEM.

MF METODO DE PARADA(FLAG). VEJA DESCRICAO NA ROTINA DRIVE.

KFLAG CODIGO DE CONCLUSAO COM OS SEGUINTE SIGNIFICADOS..

- 0 O PASSO FOI BEM SUCEDIDO.
- 1 O ERRO REQUERIDO NAO PODE SER ALCANCAO COM $ABS(H) = HMIN$.
- 2 O ERRO REQUERIDO E MENOR DO QUE AQUELE QUE PODE SER MANUSEADO POR ESSE PROBLEMA.
- 3 CONVERGENCIA CORRETOA NAO PODE SER ALCANCAO PARA $ABS(H) = HMIN$.

NO RETORNO COM KFLAG NEGATIVO, OS VALORES DE T E DA MATRIZ Y ESTAO COMO NO COMECO DO ULTIMO PASSO E H E O ULTIMO TAMANHO DO PASSO TENTADO.

JSTART INTEIRO USADO NA ENTRADA E SAIDA. NA ENTRADA ELE TEM OS SEGUINTE VALORES E SIGNIFICADOS..

JSTART = 0 EXECUTA O PRIMEIRO PASSO.

C JSTART MAIOR QUE O TOMA UM NOVO PASSO EM CONTINUAÇÃO
 C DO ULTIMO.
 C JSTART MENOR QUE O TOMA O PROXIMO PASSO COM UM NOVO
 C VALOR DE H, EPS, N, E/OU MF.
 C NA SAIDA JSTART E IGUAL A NQ, I.E., A ORDEM CORRENTE DO
 C METODO.
 C YMAX UM VETOR DE N ELEMENTOS COM OS QUAIS OS ERROS LOCAIS
 C ESTIMADOS EM Y SAC COMPARADOS.
 C ERROR UM VETOR DE N ELEMENTOS. ERROR(I)/TQ(2) E O ERRO DE UM
 C PASSO ESTIMADO EM Y(I).
 C SAVE1, DOIS VETORES DE TRABALHO, USADOS PARA ARMAZENAMENTO.
 C SAVE2 CADA UM DE TAMANHO N.
 C PW UM BLOCO DE LOCALIZACOES USADAS PARA DERIVADAS PARCIAIS
 C SE MITER FOR DIFERENTE DE ZERO. VEJA DESCRICAO NA ROTINA
 C PRINCIPAL(DRIVE).
 C IPIV UM VETOR DE NUMEROS INTEIROS DE TAMANHO N USADO PARA
 C FALTA UM CARTAO DE COMENTARIOS ----- 3/8/82

 C DATA EL(2)/1.00/,OLDLQ/1.00/
 C KFLAG=0
 C TOLD=T
 C IF(JSTART.GT.0)GO TO 200
 C IF(JSTART.NE.0)GO TO 120

 C NA PRIMEIRA CHAMADA, A ORDEM E TOMADA COMO 1 E YDOT INICIAL E
 C CALCULADO. RMAX E A RAZAO MAXIMA PELA QUAL H PODE SER AUMENTADO
 C EM UM UNICO PASSO. ELA E INICIALMENTE 1.E-4 PARA COMPENSAR O
 C PEQUENO H INICIAL, MAS NORMALMENTE E IGUAL A 10. SE OCORRER UMA
 C FALHA(NQ CORRETOR DE CONVERGENCIA OU NO TESTE DE ERRO), RMAX E
 C ESTABELECIDO EM 2 PARA O PROXIMO INCREMENTO.

 C CALL DIFFUN(N,T,Y,SAVE1)
 C DO 110 I=1,N
 C 110 Y(I,2)=H*SAVF1(I)
 C METH=MF/10
 C MITER=MF-10*METH
 C NQ=1
 C L=2
 C IDOUB=3
 C RMAX=1.E4
 C RC=0.
 C CPATE=1.
 C EPSOLD=FPS
 C HOLD=H
 C MFOLD=MF
 C NOLD=N
 C NSTEP=0
 C NSTEPJ=0
 C NFE=1
 C NJF=0
 C IRET=1
 C GO TO 130

 C SE FOR MUDADO O METODO(METH) NO PROGRAMA CHAMADOR, A SUB-ROTINA
 C COSET E CHAMADA PARA ESTABELECEER OS COEFICIENTES DO METODO. SE OS

C VALORES DE N, EPS, OU METH FORAM MUDADOS PELO CHAMADOR AS CONSTAN-
 C TES E, EDN, EUP E BND DEVE SER RESTABELECIDAS. A CONSTANTE E E UMA
 C COMPARACAO PARA ERROS DA ORDEM CORRENTE NQ. EUP E PARA TESTAR SE
 C A ORDEM DEVE SER AUMENTADA E EDN PARA DECRESCIMO DE ORDEM. BND C
 C PARA TESTAR A CONVERGENCIA DO CORRETOR DE ITFACCES. SE O VALOR DE
 C H FOI MUDADO PELO CHAMADOR, Y DEVE SER REESCALONADO. SE H OU METH
 C TEN SIDO MUDADOS, IDOUB E RESTABELECIDO PARA L+1 PARA PREVENIR
 C MUDANCAS ADICIONAIS EM H PARA AQUELES VARIOS PASSOS.

```

120 IF(MF.EQ.MFOLD)GO TO 150
    MEC=METH
    MIO=MITER
    METH=MF/10
    MITER=MF-10*METH
    MFOLD=MF
    IF(MITER.NE.MIO)IMEVAL=MITER
    IF(METH.EQ.MEC)GO TO 150.
    IDOUB=L+1
    IRET=1
130 CALL COSET(METH,NQ,EL,TQ,MAXDFR)
    LMAX=MAXDFR+1
    RC=RC*EL(1)/QLDLC
    QLDLC=EL(1)
140 FN=DFL JAT(N)
    EDN=FN*(TQ(1)*EPS)**2
    E=FN*(TQ(2)*EPS)**2
    EUP=FN*(TQ(3)*EPS)**2
    BND=FN*(TQ(4)*EPS)**2
    GO TO(160,170,200),IRET
150 IF((EPS.EQ.EPSOLD).AND.(N.EQ.NOLD))GO TO 160
    EPSOLD=EPS
    NOLD=N
    IRET=1
    GO TO 140
160 IF(H.EQ.HOLD)GO TO 200
    RH=H/HOLD
    H=HOLD
    IREDD=3
    GO TO 175
170 RH=DMAX1(RH,HMIN/DABS(H))
175 RH=DMIN1(PH,HMAX/DABS(H),RMAX)
    R1=1.
    DO 180 J=2,L
    R1=R1*RH
    DO 180 I=1,N
180 Y(I,J)=Y(I,J)*R1
    H=H*RH
    RC=RC*RH
    IDOUB=L+1
    IF(IREDD.EQ.0)GO TO 690
  
```

C -----
 C ESSA SECAO COMPUTA OS VALORES PREVISTOS MULTIPLICANDO-SE EFICIENTE-
 C TEMENTE O VETOR Y PELA MATRIZ TRIANGULO DE PASCAL.
 C RC E A RAZAO DOS NOVOS PARA OS VELHOS VALORES DO COEFICIENTE
 C H*EL(1). QUANDO RC DIFERIR DE 1 POR MAIS DE 30 PORCENTO, OUS

C CHAMADOR MUDOU O VALOR DE MITER, IWEVAL E ATRIBUINDO A MITER PARA
 C FORÇAR AS DERIVADAS PARCIAIS A SEREM ATUALIZADAS, SE PARCIAIS
 C SÃO USADAS. EM QUALQUER CASO, AS PARCIAIS SÃO ATUALIZADAS NO
 C MÍNIMO DE 20 EM 20 PASSOS.

 C 200 IF(DABS(RC-1.).GT.0.3)IWEVAL=MITER
 C IF(NSTEP.GE.NSTEPJ+20)IWEVAL=MITER

T=T+H

DO 210 J1=1,NQ

DO 210 J2=J1,NQ

J=(NQ+J1)-J2

DO 210 I=1,N

210 Y(I,J)=Y(I,J)+Y(I,J+1)

 C MAIS DE 3 CORRETORES DE ITERACOES FORAM UTILIZADOS. O TESTE DE
 C CONVERGENCIA E FEITO NA NORMA DA R.M.Q. DE CADA CORRECAO, USANDO
 C BND, O QUAL DEPENDE DE EPS. A SOMA DAS CORRECCES E ACUMULADA NO
 C VETOR ERROR(I). O VETOR Y NAO E ALTERADO NO LACC(LCOP) CORRETOR.
 C O VETOR Y ATUALIZADO E ARMAZENADO TEMPORARIAMENTE EM SAVE1.

 C 220 DO 230 I=1,N

230 ERROR(I)=0.

M=0

CALL DIFFUN(N,T,Y,SAVE2)

NFE=NFE+1

IF(IWEVAL.LE.0)GO TO 290

 C SE INDICADO, A MATRIZ $P = I - H*EL(1)*J$ E REAVALIDA ANTES DE
 C COMECAR A CORRECAO DE ITERACAO. IWEVAL E ASSUMIDO O COMO UM INDI-
 C CADOR DE QUE ISSO TEM SIDO FEITO. SE MITER = 1 OU 2, P E COMPUTADO
 C E PROCESSADO NA SUB-ROTINA PSET. SE MITER = 3, A MATRIZ USADA E
 C $P = I - H*EL(1)*D$, ONDE D E A MATRIZ DIAGONAL.

 IWEVAL=0

RC=1.

NJE=NJE+1

NSTEPJ=NSTEP

GO TO(250,240,260),MITER

240 NFE=NFE+N

250 CON=-H*EL(1)

CALL PSET (Y,NQ,CON,MITER,IER)

IF(IER.NE.0)GO TO 420

GO TO 350

260 R=EL(1)*.1

DO 270 I=1,N

270 PW(I)=Y(I,1)+R*(H*SAVE2(I)-Y(I,2))

CALL DIFFUN(N,T,PW,SAVE1)

NFE=NFE+1

HLO=H*EL(1)

DO 280 I=1,N

RO=H*SAVE2(I)-Y(I,2)

PW(I)=1.

D=.1*RO-H*(SAVE1(I)-SAVE2(I))

SAVE1(I)=C.

IF(DABS(RO).LT.UTOUND*YMAX(I))GO TO 280

```
IF(DABS(D).EQ.0.)GO TO 420
```

```
PW(I)=.1*PO/D
```

```
SAVE1(I)=PW(I)*PO
```

```
280 CONTINUE
```

```
GO TO 370
```

```
290 IF(MITER.NE.0)GO TO(350,350,310),MITER
```

```
C-----
C NO CASO DE ITERACAO FUNCIONAL, ATUALIZAR Y DIPETAMENTE DO RESULTA-
C DO DA ULTIMA CHAMADA A DIFFUN.
C-----
```

```
D=0.
```

```
DO 300 I=1,N
```

```
R=H*SAVE2(I)-Y(I,2)
```

```
D=D+((R-ERROR(I))/YMAX(I))*2
```

```
SAVE1(I)=Y(I,1)+EL(1)*R
```

```
300 ERROR(I)=R
```

```
GO TO 400
```

```
C-----
C NO CASO DO METODO DAS CORDAS, COMPUTAR O EFRO CORRETOR, F SUB (M),
C E RESOLVER O SISTEMA LINEAR COM AQUELE COMO LADO DIREITO E P COMO
C MATRIZ COEFICIENTE, USANDO A DECOMPOSICAO LU SE MITER = 1 OU 2.
C SE MITER = 3, O COEFICIENTE H*EL(1) EM P E ATUALIZADO.
C-----
```

```
310 PHLO=HLO
```

```
HLO=H*EL(1)
```

```
IF(HLO.EQ.PHLO)GO TO 330
```

```
R=HLO/PHLO
```

```
DO 320 I=1,N
```

```
D=1.-R*(1.-1./PW(I))
```

```
IF(DABS(D).EQ.0)GO TO 440
```

```
320 PW(I)=1./D
```

```
330 DO 340 I=1,N
```

```
340 SAVE1(I)=PW(I)*{H*SAVE2(I)-(Y(I,2)+EPROR(I))}
```

```
GO TO 370
```

```
350 DO 360 I=1,N
```

```
360 SAVE1(I)=H*SAVE2(I)-(Y(I,2)+EPROR(I))
```

```
CALL SOL(N,NO,PW,SAVE1,IPTV)
```

```
370 D=0.
```

```
DO 380 I=1,N
```

```
ERROR(I)=ERROR(I)+SAVE1(I)
```

```
D=D+(SAVE1(I)/YMAX(I))*2
```

```
380 SAVE1(I)=Y(I,1)+EL(1)*ERROR(I)
```

```
C-----
C TESTE DE CONVERGENCIA. SE M MAIOR QUE 0, UMA ESTIMATIVA DA CONS-
C TANTE RAZAO DE CONVERGENCIA E ARMAZENADA EM CRATE, E ESSA E USADA
C NO TESTE.
C-----
```

```
400 IF(M.NE.0)CRATE=DMAX1(.9*CRATE,D/D1)
```

```
IF((D*DMIN1(1.DO,2.DO*CRATE)).LE.BND)GO TO 450
```

```
D1=D
```

```
M=M+1
```

```
IF(M.EQ.3)GO TO 410
```

```
CALL DIFFUN(N,T,SAVE1,SAVE2)
```

```
GO TO 290
```

```
C-----
```


C A ITERACAO CORRETORA FALHOU PARA CONVERGIR EM 3 TENTATIVAS. SE
 C PARCIAIS ESTAO ENVOLVIDAS MAS NAO SAO ATUAIS, ELAS SAO REAVALTADAS
 C PARA A PROXIMA TENTATIVA. EM OUTROS CASOS O VETOR Y E EXTRAIDO
 C A SEUS VALORES ANTES DA PREVISAO, E H E REDUZIDO, SE POSSIVEL. SE
 C NAO, UMA SAIDA DE NAO-CONVERGENCIA E TOMADA.

 C 410 NFE=NFE+2
 IF(IWEVAL.EQ.-1)GO TO 440
 C 420 T=TOLD
 RMAX=2.
 DO 430 J1=1,NQ
 DO 430 J2=J1,NQ
 J=(NQ+J1)-J2
 DO 430 I=1,N
 C 430 Y(I,J)=Y(I,J)-Y(I,J+1)
 IF(DABS(H).LE.HMIN*1.00001)GO TO 680
 RH=.25
 TREDQ=1
 GO TO 170
 C 440 IWEVAL=MITER
 GO TO 220

 C O CORRETOR CONVERGIU. IWEVAL E ASSUMIDO COMO -1 SE DERIVADAS PAR-
 C CIAIS FORAM USADAS, PARA ASSINALAR QUE ELAS PODEM NECESSITAR DE
 C ATUALIZACAO NOS PASSOS SUBSEQUENTES. O TESTE DE ERRO E FEITO E O
 C CONTROLE PASSA AO COMANDO 500 SE O TESTE FOR FALSO.

 C 450 IF(MITER.NE.0)IWEVAL=-1
 NFE=NFE+M
 D=0.
 DO 460 I=1,N
 C 460 D=D+(ERROR(I)/YMAX(I))**2
 IF(D.GT.E)GO TO 500

 C APOS UM PASSO BEM SUCEDIDO, ATUALIZAR O VETOR Y.
 C CONSIDERAR MUDANCA DE H SE IDOUB = 1. EM OUTROS CASOS DECRESCER
 C IDOUB DE 1.
 C SE IDOUB FOR ENTAO 1 E NO MENOR QUE MAXDER, ENTAO O VETOR ERROR
 C E SALVO PARA SER USADO NUM POSSIVEL INCREMENTO DA ORDEM DO PROXIMO
 C PASSO.
 C SE UMA MUDANCA EM H E CONSIDERADA, UM ACRESCIMO OU DECRESCIMO NA
 C ORDEM DE 1 UNIDADE E CONSIDERADO TAMBEM. UMA MUDANCA EM H E FEITA
 C SOMENTE SE ELA FOR POR UM FATOR DE NO MINIMO 1.1. SE NAO, IDOUB
 C E ESTABELECIDO COMO 10 PARA PREVENIR TESTE PARA AQUELES VARIOS
 C PASSOS.

 KFLAG=0
 TREDQ=0
 NSTEP=NSTEP+1
 HUSED=H
 DO 470 J=1,L
 DO 470 I=1,N
 C 470 Y(I,J)=Y(I,J)+EL(J)*ERROR(I)
 IF(IDOUB.EQ.1)GO TO 520
 NQUSFD=NQ

```

IDCUB=IDCUB-1
IF(IDCUB.GT.1)GO TO 700
IF(L.EQ.LMAX)GO TO 700
DO 490 I=1,N
490 Y(I,LMAX)=ERROR(I)
GO TO 700

```

C O TESTE DE ERRO FALHOU. KFLAG MANTEM PISTAS (TRACK) DE MULTIPLAS
C FALHAS. REARMAZENAR T E O VETOR Y PARA SEUS VALORES PREVIOS, E
C PREPARAR PARA TENTAR O PASSO NOVAMENTE. COMPUTAR O TAMANHO OTIMO
C DO PASSO PARA ESTA OU PARA UMA ORDEM MAIS BAIXA.

```

500 KFLAG=KFLAG-1
T=TOLD
DO 510 J1=1,NQ
DO 510 J2=J1,NQ
J=(NQ+J1)-J2
DO 510 I=1,N
510 Y(I,J)=Y(I,J)-Y(I,J+1)
RMAX=2.
IF(DABS(H1).LE.HMIN*1.00001)GO TO 660
IREDD=2
PR3=1.E+20
GO TO 540

```

C SEM CONSIDERAR O SUCESSO OU A FALHA DO PASSO, OS FATORES PR1, PR2
C E PR3 SAO COMPUTADOS, PELOS QUAIS H PODIA SER DIVIDIDA NA ORDEM
C NQ - 1, ORDEM NQ, OU ORDEM NQ + 1, RESPECTIVAMENTE.
C NO CASO DE FALHA, PR3 = 1.E20 PARA EVITAR UM AUMENTO NA ORDEM.
C O MENOR DESTES E DETERMINADO E A NOVA ORDEM ESCOLHIDA APROPRIADA-
C MENTE. SE A ORDEM E PARA SER AUMENTADA, COMPUTAMOS UMA DERIVADA
C ESCALONADA ADICIONAL.

```

520 PR3=1.E+20
IF(L.EQ.LMAX)GO TO 540
D1=0.
DO 530 I=1,N
530 D1=D1+(ERROR(I)-Y(I,LMAX))/YMAX(I)**2
ENQ3=.5/DFLOAT(L+1)
PR3=((D1/EUP)**ENQ3)*1.4+1.4E-6
540 ENQ2=.5/DFLOAT(L)
PF2=((D/E)**ENQ2)*1.2+1.2E-6
PR1=1.E+20
IF(NQ.EQ.1)GO TO 560
D=0.
DO 550 I=1,N
550 D=D+(Y(I,L)/YMAX(I))**2
ENQ1=.5/DFLOAT(NQ)
PR1=((D/EDN)**ENQ1)*1.3+1.3E-6
560 IF(PR2.LE.PR3)GO TO 570
IF(PR3.LT.PR1)GO TO 590
GO TO 580
570 IF(PR2.GT.PR1)GO TO 580
NEWQ=NQ
RH=1./PF2

```

```

GO TO 620
580 NEWQ=NQ-1
RH=1./PP1
GO TO 620
590 NEWQ=L
RH=1./PP3
IF(RH.LT.1.1)GO TO 610
DO 600 I=1,N
600 Y(I,NEWQ+1)=EFCDP(I)*FL(L)/DFLOAT(L)
GO TO 630
610 IDOUB=10
GO TO 700
620 IF((KFLAG.EQ.0).AND.(RH.LT.1.1))GO TO 610

```

C-----

C SE EXISTE UMA MUDANCA DE ORDEM, RESTABELECEM NQ, L, E OS COEFFI-

C CIENTES. EM QUALQUER CASO H E RESTABELECIDO DE ACCORD DOM RH E A

C MATRIZ Y E REESCALONADA. ENTAO HA UMA SAIDA DE 690 SE O PASSO

C FOI OK, OU REFAÇA O PASSO EM OUTROS CASOS.

C-----

```

IF(NEWQ.EQ.NQ)GO TO 170
630 NQ=NEWQ
L=NQ+1
IRET=2
GO TO 130

```

C-----

C O CONTROLE ALCANCA ESSA SECAO SE 3 OU MAIS FALHAS OCORBERAM.

C E ASSUMIDO QUE AS DERIVADAS ACUMULADAS NO VETOR Y TEM ERROS DE

C ORDEM FALSA(WRONG). PORTANTE A PRIMEIRA DERIVADA E RECOMPUTADA,

C E A ORDEM E ESTABELECIDADA COMO 1. ENTAO H E REDUZIDO POR UM FATOR

C DE 10, E O PASSO E RECOMPOSTO. APOS UM TOTAL DE 7 FALHAS, UMA

C SAIDA E TOMADA COM KFLAG = -2.

C-----

```

640 IF(KFLAG.EQ.-7)GO TO 670
RH=.1
RH=DMAX1(HMIN/DABS(H),RH)
H=H*RH
CALL DIFFUN(N,T,Y,SAVE1)
NFE=NFE+1
DO 650 I=1,N
650 Y(I,2)=H*SAVE1(I)
IWEVAL=MITER
IDOUB=10
IF(NQ.EQ.1)GO TO 200
NQ=1
L=2
IRET=3
GO TO 130

```

C-----

C TODOS OS RETORNOS SAO FEITOS DESSA SECAO. H E SALVO EM

C HOLD PARA PERMITIR AO CHAMADOR MUDAR H NO PROXIMO PASSO.

C-----

```

660 KFLAG=-1
GO TO 700
670 KFLAG=-2
GO TO 700

```

```

630 KFLAG=-3
    GO TO 700
690 RMAX=10.
700 HOLD=H
    JSTART=NQ
    RETURN

```

C----- FIM DA SUB-ROTINA STIFF -----

END

SUBROUTINE COSET(METH,NQ,EL,TQ,MAXDER)

```

C
C   INTEGER METH, NQ, MAXDER, K
C   DOUBLE PRECISION EL(13)
C   REAL TQ(4),PERTST(12,2,3)

```

C-----

C COSET EH ATIVADO PELO STIFF E ATRIBUI VALORES PARA SER USADO PELO
C ULTIMO. O VETOR EL, DE COMPRIMENTO NQ + 1, DETERMINA O METODO BASICO
C O VETOR TQ, DE COMPRIMENTO 4, EH ATUALIZADO PARA AJUSTAR O TAMANHO
C DO PASSO EM RELACAO AO ERRO DE TRUNCAMENTO. OS VALORES DE TQ SAO
C FORNECIDOS PELO ARRAY PERTST.
C OS VETORES EL, E TQ DEPENDEM DO METODO E DO NQ.
C COSET TAMBEM ATRIBUI VALOR A MAXDER, A MAXIMA ORDEM DISPONIVEL.
C ATUALMENTE ESTA EH 12 PARA O METODO DE ADAMSE 5 PARA O OS METODOS DE
C GEAR, LMAX = MAXDER + 1 EH O NUMERO DE COLUNAS NO ARRAY Y. A MAXIMA
C ORDEM PODE SER REDUZIDA SIMPLEMENTE MUDANDO OS NUMEROS NOS COMANDOS
C 1 E 2 ABAIXO.

C OS COEFICIENTES EM PERTST PRECISAM SER DADOS COM PRECISAO DE UM
C PORCENTO APENAS. A ORDEM QUE OS GRUPOS APARECEM EH COEFICIENTES PARA
C ORDEM (NQ - 1). PARA ORDEM NQ E PARA ORDEM (NQ + 1). DENTRO DE CADA
C GRUPO ESTAO OS COEFICIENTES PARA OS METODOS DE ADAMS. SEGUIDOS POR
C AQUELES DOS METODOS DE GEAR.

DATA PERTST

```

1  /1.,1.,2.,1.,.3159, .07407, .01391, .002182,
2  2.945E-04, 3.492E-05, 3.692E-06, 3.524E-07,
3  1., 1., .5, .1667, .04167, 7*1.,
4  2., 12., 24.,37.89, 53.33, 70.08, 87.97, 106.9, 126.7, 147.4,
5  168.8, 191.0, 2.0, 4.5, 7.333, 10.42, 13.7, 7*1., 12., 24.,
6  37.89,53.33,70.08, 87.97, 106.9, 126.7,147.4,168.8,191.0,1.,
7  3.0, 6.0, 9.167, 12.5, 8*1. /

```

GO TO (1,2), METH

1 MAXDER = 12

GO TO (101,102,103,104,105,106,107,108,109,110,111,112), NQ

2 MAXDER = 5

GO TO (201,202,203,204,205), NQ

C-----

C OS SEGUINTE COEFICIENTES DEVEM SER DEFINIDOS COM A PRECISAO MAXIMA
C DO COMPUTADOR. PARA UNA DADA ORDEM NQ, ELES PODEM SER CALCULADOS PE-
C LO POLINOMIO GERADOR L(T), CUJOS COEFICIENTES SAO EL(I)
C $L(T) = EL(1) + EL(2)*T + \dots + EL(NQ+1)*T**NQ.$
C PARA OS METODOS IMPLICITOS DE ADAMS L(T) EH DADO POR

C DL/DT = (T+1)*(T+2)* ... *(T+NQ-1)/J, L(-1) = 0
 C ONDE K = FATORIAL(NQ - 1).
 C PARA OS METODOS DE GFAR,
 C L(T) = (T+1)*(T+2)* ... *(T+NQ)/K,
 C ONDE K = FATORIAL(NQ)*(1 + 1/2 + ... + 1/NQ).
 C
 C A ORDEM EM QUE OS GRUPOS APARECEM ABAIXO E E METODOS IMPLICITOS DE
 C ADAMS DE ORDEM 1 A 12, METODOS DE DIFERENCIACAO 'BACKWARD' DE ORDEM
 C U A 5.

- 101 EL(1) = 1.000
GO TO 900
- 102 EL(1) = 0.500
EL(3) = 0.500
GO TO 900
- 103 EL(1) = .4166666666666667D0
EL(3) = 0.7500
EL(4) = .1666666666666667D0
GO TO 900
- 104 EL(1) = 0.37500
EL(3) = .9166666666666667D0
EL(4) = .3333333333333333D0
EL(5) = .4166666666666667D-01
GO TO 900
- 105 EL(1) = .3486111111111111D0
EL(3) = .1041666666666667D+01
EL(4) = .4861111111111111D0
EL(5) = .1041666666666667D0
EL(6) = .8333333333333333D-02
GO TO 900
- 106 EL(1) = .3298611111111111D0
EL(3) = .1141666666666667D+01
EL(4) = 0.62500
EL(5) = .1770833333333333D0
EL(6) = 0.02500
EL(7) = .1388888888888889D-02
GO TO 900
- 107 EL(1) = .3155919312169312D0
EL(3) = 0.12250+01
EL(4) = .7518518518518518D0
EL(5) = .2552083333333333D0
EL(6) = .4861111111111111D-01
EL(7) = .4861111111111111D-02
EL(8) = .1984126984126984D-03
GO TO 900
- 108 EL(1) = .3042245370370370D0
EL(3) = .1296428571428571D+01
EL(4) = .8685185185185185D0
EL(5) = .3357633888888889D0
EL(6) = .7777777777777777D-01
EL(7) = .1064814814814815D-01
EL(8) = .7936507936507936D-03
EL(9) = .2480158730158730D-04
GO TO 900

109 EL(1) = .294863000440917100
 EL(3) = .13589285714285710+01
 EL(4) = .97655423230423280-01
 EL(5) = .417187500
 EL(6) = .1113541666666666700
 EL(7) = 0.0187500
 EL(8) = .19345236095238100-02
 EL(9) = .11160714285714280-03
 EL(10) = .27557319223985890-05
 GO TO 900

110 EL(1) = .286975446428571400
 EL(3) = .14144841269841270+01
 EL(4) = .10772156084656080+01
 EL(5) = .498567019400352700
 EL(6) = .1494275000000000000
 EL(7) = .29060570987654320-01
 EL(8) = .37202300952380950-02
 EL(9) = .29968534656084660-03
 EL(10) = .13778659611992940-04
 EL(11) = .27557319223985890-06
 GO TO 900

111 EL(1) = .280189596443936700
 EL(3) = .14644841269841270+01
 EL(4) = .11715145502645500+01
 EL(5) = .579358190035273400
 EL(6) = .188222861552028200
 EL(7) = .41430362654320990-01
 EL(8) = .62111441798941800-02
 EL(9) = .62520667989417990-03
 EL(10) = .40417401528512640-04
 EL(11) = .15156525573192240-05
 EL(12) = .25052108385441720-07
 GO TO 900

112 EL(1) = .274265540031599100
 EL(3) = .15099386724386720+01
 EL(4) = .12602711640211640+01
 EL(5) = .659234182098765400
 EL(6) = .230458002645502600
 EL(7) = .55697246105232220-01
 EL(8) = .94394841269841270-02
 EL(9) = .11192749669312170-02
 EL(10) = .90939153439153440-04
 EL(11) = .48225308641975310-05
 EL(12) = .15031265031265030-06
 EL(13) = .20876756987868100-08
 GO TO 900

201 EL(1) = 0.100+01
 GO TO 900

202 EL(1) = .6666666666666666700
 EL(3) = .233333333333333330-01
 GO TO 900

203 EL(1) = .545545545545545500
 EL(3) = EL(1)
 EL(4) = .90909090909090910-01
 GO TO 900

```

204 EL(1) = 0.4300
    EL(3) = 0.700
    EL(4) = 0.200
    EL(5) = 0.0200
    GO TO 900
205 FL(1) = .437956204379562000
    FL(3) = .221167883211678800
    FL(4) = .310218978102189800
    FL(5) = .54744525547445260-01
    FL(6) = .36496350364963500-02

```

```

C
900 DO 910 K = 1,3
910     TQ(K) = PERTST(NQ,METH,K)
    TQ(4) = 0.5*TQ(2)/FLCAT(NQ+2)
    RETURN

```

```

C
C----- FIM DA SUB-ROTINA COSET -----

```

```

END

```

```

C
C
C SUBROUTINE PSFT(Y,NO,CON,MITER,IER)

```

```

C
C   INTEGER NO,MITER,IER,N,LDUMMY,IPIV,NSQ,I,J1,J
C   DOUBLE PRECISION Y,CON,T,H,DUMMY,UROUND,YMAX,SAVE1,SAVE2,PW,
1   EPSJ,D,RO,YJ,R
C   DOUBLE PRECISION WW(400)
C   DOUBLE PRECISION DABS,DSORT,DMAX1
C   DIMENSION Y(NO,3)
C   COMMON /GEAR1/ T,H,DUMMY(3),UROUND,N,LDUMMY(3)
C   COMMON /GEAR2/ YMAX(44)
C   COMMON /GEAR4/ SAVE1(44)
C   COMMON /GEAR5/ SAVE2(44)
C   COMMON /GEAR6/ PW(1935)
C   COMMON /GEAR7/ IPIV(44)
C   COMMON /GEAR9/ EPSJ, NSQ

```

```

C
C-----
C PSET EH CHAMADA PELO STIFF PARA COMPUTAR E PROCESSAR A MATRIZ
C P = I - H*EL(1)*J, ONDE J EH UMA APROXIMACAO PARA O JACOBIANO. J EH
C COMPUTADO PELA ROTINA PEDERV FORNECIDA PELO USUARIO SE MITER = 1 OU
C PDR DIFERENCAS FINITAS SE MITER = 2. J EH ARMAZENADO EM PW E SUBSTITUI-
C TUIDO POR P. USANDO CON = -H*EL(1).
C A SEGUIR P EH SUBMETIDA A DECOMPOSICAO 'LU' EM PREPARACAO PARA SOLU-
C CAO DE SISTEMAS LINEARES COM P COMO A MATRIZ DOS COEFICIENTES.

```

```

C
C ALEM DAS VARIAVEIS DESCRITAS ANTERIORMENTE, A COMUNICACAO COM PSET
C USA AS SEGUINTE VARIAVEIS
C     EPSJ = DSORT(UROUND), USADA NOS INCREMENTOS NUMERICOS DO JACO-
C     BIANO.
C     NSQ = NO*NO.
C     DIMENSION Y(NO,1)

```

```

C-----
C PSET E CHAMADA POR STIFF PARA COMPUTAR E PROCESSAR A MATRIZ
C P = I - H*EL(1)*J, ONDE J E UMA APROXIMACAO PARA O JACOBIANO.
C J E COMPUTADO, OU PELA SUB-ROTINA PEDERV FORNECIDA PELO USUARIO SE

```

```

C MITER = 1, PU POR DIFERENCIACAO FINITA SE MITER = 2.
C J E ARMazenado em PW e substituido por P, usando CON = -H*EL(1).
C ENTao P e submetido a decomposicao LU como preparacao para solucao
C posterior dos sistemas lineares com P como coeficiente da matriz.
C
C em adicao as variaveis descritas previamente a comunicacao com
C PSET usa as seguintes..
C EPSJ = SORT(URCUND), usando nos incrementos de jacobiano
C numerico.
C NSQ = NO**2

```

```

-----
C IF(MITER.EQ.2)GT TO 20
C CALL PEDPRV (N,T,Y,PW,NO)
C DO 10 I=1,NSQ
10 PW(I)=PW(I)*CON
C GO TO 60
20 D=0.
C DO 30 I=1,N
30 D=D+SAVE2(I)**2
C RO=DABS(H)*DSQRT(D)*1.E03*URCUND
C J1=0
C DO 50 J=1,N
C YJ= Y(J,1)
C R = EPSJ*YMAX(J)
C R = DMAX1(R,RO)
C Y(J,1)=Y(J,1) + R
C D = CON/R
C CALL DIFFUN (N,T,Y,SAVE1)
C DO 40 J=1,N
40 PW(I+J) = (SAVE1(I) - SAVE2(I))*D
C Y(J,1)= YJ
C J1 = J1 + NO
50 CONTINUE

```

```

-----
C ADICIONA MATRIZ IDENTIDADE

```

```

C
60 J = 1
C DO 70 I =1,N
C PW(J) = PW(J) + 1.
70 J = J + (NO+1)

```

```

-----
C FAZ DECOMPOSICAO LU EM P.

```

```

C CALL DEC (N,NO,PW,IPIV,IER)
C RETURN

```

```

----- FIM DA SUB-ROTINA PSET -----

```

```

END
SUBROUTINE DEC(N,NDIM,A,IP,IER)

```

```

C INTEGER N, NDIM, IP, IER, NM1,K, KPI, M, I, J
C DOUBLE PRECISION DABS
C DOUBLE PRECISION A, T
C DIMENSION A(NDIM,N), IP(N)

```



```

C TRIANGULARIZACAO DE MATRIZ POR ELIMINACAO DE GAUS.
C ENTRADA
C N = ORDEM DA MATRIZ.
C NDIM = A DIMENSAO DECLARADA DO ARRAY A.
C A = MATRIZ PARA SER TRIANGULARIZADA.
C SAIDA
C A(I,J), I=J = FATOR TRIANGULAR SUPERIOR, U.
C A(I,J), I < J = MULTIPLICADORES = FATOR TRIANGULAR INFERIOR,
C I - L.
C IP(K), K) N = INDICE DO K-ESIMO PIVOT.
C IP(N) = (-1)**(NUMERO DE MUDANCAS) OU 0.
C IER = 0 SE A MATRIZ A FOR NONSINGULAR. OU K SE NO PASSO K FOI
C VERIFICADA QUE F EH SINGULAR.
C
C UTILIZE SOL PARA OBTER A SOLUCAO DO SISTEMA LINEAR.
C DET(A) = IP(N)*A(1,1)*A(2,2)* ... *A(N,N).
C SE IP(N) = 0 , A EH SINGULAR.
C
C REFERENCIA C. B. MOLER, ALGORITMO 423, LINEAR EQUATION SOLVER,
C C.A.C.M. 15 (1972), P. 274.

```

```

C
C IER=0
C IP(N)= 1
C IF (N.EQ.1) GO TO 70
C NM1 = N - 1
C DO 60 K = 1,NM1
C KPI = K + 1
C M = K
C DO 10 I = KPI,N
10 IF (DABS(A(I,K)).GT.DABS(A(M,K))) M = I
C IP(K) = M
C T = A(M,K)
C IF (M.EQ.K) GO TO 20
C IP(N) = -IP(N)
C A(M,K) = A(K,K)
C A(K,K) = T
20 IF (T.EQ.0.) GO TO 80
C T = 1./T
C DO 30 I = KPI,N
30 A(I,K) = -A(I,K)*T
C DO 50 J = KPI,N
C T = A(M,J)
C A(M,J) = A(K,J)
C A(K,J) = T
C IF (T.EQ.0.) GO TO 50
C DO 40 I = KPI,N
40 A(I,J) = A(I,J) + A(I,K)*T
50 CONTINUE
60 CONTINUE
70 K = N
C IF (A(N,N) .EQ. 0.) GO TO 80
C RETURN
80 IER = K
C IP(N) = 0
C RETURN

```

C----- FIM DA SUB-ROTINA DEC -----

END
SUBROUTINE SOL(N,NDIM,A,B,IP)

INTEGER N,NDIM,IP,NM1,K,KP1,M,I,KB,KM1
DOUBLE PRECISION A, B, T
DIMENSION A(NDIM,N), B(N), IP(N)

C-----

C A SOLUCAO DO SISTEMA LINEAR, $A \cdot X = B$.
C ENTRADA

C N = ORDEM DA MATRIZ A
C NDIM = A DIMENSÃO DECLARADA DO ARRAY A.
C A = MATRIZ TRIANGULAR OBTIDA PELO DEC.
C B = O VETOR CONSTANTE.
C IP = O VETOR DE PIVOTS OBTIDO PELO DEC.

C NÃO UTILIZE ESTA SUBROTINA SE DEC RETORNOU COM IER DIFERENTE DE '0'.
C SAIDA
C B = VETOR SOLUCAO.

C-----

IF (N.EQ.1) GO TO 50
NM1 = N - 1
DO 20 K = 1,NM1
KP1 = K + 1
M = IP(K)
T = B(M)
B(M) = B(K)
B(K) = T
DO 10 I = KP1,N
S(I) = B(I) + A(I,K)*T
10 CONTINUE
20 DO 40 KE = 1,NM1
KM1 = N - KB
K = KM1 + 1
B(K) = B(K)/A(K,K)
T = -B(K)
DO 30 I=1,KM1
30 B(I) = B(I) + A(I,K)*T
40 CONTINUE
50 B(1) = B(1)/A(1,1)
RETURN

C----- FIM DA SUB-ROTINA SOL -----

END

SUBROUTINE INTERP(TOUT,Y,NO,YO)
INTEGER NO,N,IDUMMY,JSTART,I,L,J
DOUBLE PRECISION TOUT,Y,YO,T,H,DUMMY,S,S1
COMMON /GEAD1/ T,H,DUMMY(4),N,IDUMMY(2),JSTART
DIMENSION YO(NO),Y(NO,13)

C-----

C ESTA SUBROTINA COMPUTA OS VALORES INTERPOLADOS DA VARIÁVEL DEPENDENTE Y E OS ARMAZENA EM YO. A INTERPOLAÇÃO SE FEZ PARA O PONTO TOUT E USA O ARRAY Y DE HISTORIA DE NORDSIECK. COMO SE SEGUE

```

C                                     YO(I) = SOMA Y(I,J+1)*S**J,
C                                     J = 0
C     ONDE S = (T - TOUT)/H

```

```

C     DO 10 J=1,N
10  YO(I)=Y(I,J)
C     L=JSTART+1
C     S=(TOUT-T)/H
C     S1=1.
C     DO 30 J=2,L
C     S1=S1*S
C     DO 20 I=1,N
20  YO(I)=YO(I)+S1*Y(I,J)
30  CONTINUE
C     RETURN
C     END

```

```

C     SUBROUTINE UEQUIL(PROD,UR,T,MFQ)

```

```

C     *****
C     SUBROTINA 2
C     CALCULA O TEOR DE DE UMIDADE DE EQUILIBRIO
C     DOS GRAOS.
C     MEQ-- ) TEOR DE UMIDADE DE EQUILIBRIO,
C     BASE UNICA.
C     UR -- ) UMIDADE RELATIVA DE EQUILIBRIO DO AR
C     T -- ) TEMPERATURA DE EQUILIBRIO
C     P(I) COM I=1,2,3 E
C     Q(I) COM I=0,1,2,3,4,5 -- ) SAO OS GRUPOS DE
C     PARAMETROS DE EQUACAO.
C     *****

```

```

C     CHARACTER*6 PROD
C     CHARACTER*1 COD
C     DOUBLE PRECISION MEQ,UR,T,P1,P2,P3,Q0,Q1,Q2,Q3,C4,C5,M1Q,M2Q,TBU,
1     WI,WI2,WI3,WI4,TEMP1,TEMP2,X(20),DI
C     INTEGER PAG,IND,II,LINH
C     T = T -273.1500
C     P1= 0.551293000
C     P2=-0.105873401
C     P3= 0.798426000
C     Q0=-0.00571000
C     Q1=-0.03667000
C     Q2= 0.10822000
C     Q3=-0.12353000
C     Q4= 0.05009000
C     Q5=-0.15390002
C     T = T +273.1500
C     RETURN
C     END

```

```

C     FUNCTION PSDB(TABS)
C     IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C     A = -7511.5200/TABS+89.6312100+0.0239989700*TABS
C     A = A -1.16545510-5*TABS**2 - 1.28103360-8*TABS**3
C     A = A + 2.09984050-11*TABS**4 -12.150799*DLOG(TABS)

```

```
PSDB = DEXP(A)* 1000  
RETURN  
END
```

C

```
SUBROUTINE CONDEN(YJ,PW,PWS,UR)  
DOUBLE PRECISION B,DUDT,YI,YJ,YK,YL,OYDTI,VM,VN,VQ,PW,PWS,UR  
COMMON/XPTC4/UR(11),UE(11),PV,PVS  
COMMON/XPTC20/YA(44),DYDTA(44),TA,DYDT(44)  
COMMON/XPTC2/J1,J2,J3,ND1,IO  
PATM= 10132500  
PW= PWS  
YJ= 0.62198*(PW/(PATM-PW))  
UR= 100  
RETURN  
END
```

C

```
SUBROUTINE CANDFL(T,PVS,PV,UEQ,DUDT,U,I)  
INTEGER I  
DOUBLE PRECISION T,PVS,PV,A,UEQ,DUDT,U  
DOUBLE PRECISION VM,VN,VQ,UC,UI  
DATA VM , VN, VQ/ 0.0397700, 0.28444000, 0.81368000/  
C= T/3600  
IF(T.EQ.0)C=0.0001/360000  
DUDT=(-VM*VQ*(U-UEQ)*(PVS-PV)**VN*(C)**(VQ-1))/360000  
RETURN  
END
```