

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

SEQUENCIAMENTO

por

WILSON JOSÉ BOSSO

TESE SUBMETIDA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU

DE

MESTRE EM CIÊNCIAS

DE

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Orientador: Adalberto José Ramos Campelli

Florianópolis, SC., Fevereiro de 1971

SUMARIO

Sabe-se que, quando uma série de trabalhos devem ser executados em determinadas máquinas, haverá, num espaço de tempo, alguma máquina esperando até que ^{a que} lhe precede termine a execução, ou por outro lado haverá um trabalho esperando a liberação de uma determinada máquina. De um modo ou de outro tem-se um tempo ocioso - devido à máquina estar parada ou o trabalho esperando que o antecedente seja terminado.

Esse tempo ocioso deve ser minimizado, e uma das maneiras é o que a presente Tese tem por objetivo; tomando como base o sequenciamento, o tempo de preparação e o tempo de execução, dos trabalhos a serem executados nas diversas máquinas.

Uma programação para o Computador IBM 1130 foi feita de tal maneira que, o usuário do programa, dispondo dos tempos de processamento e de preparação dos trabalhos nas diversas máquinas, poderá obter o melhor sequenciamento.

I N D I C E

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1.- METODOLOGIA CORRENTE DE SEQUENCIAMENTO 5

1.2.- Estudo Histórico

1.2.- Processando "n" Trabalhos Através de duas Máquinas 6

1.3.- Processando "n" Trabalhos Através de três Máquinas. 9

1.4.- Processando dois ou três trabalhos - através de "m" Máquinas 12

CAPÍTULO 2.- METODOLOGIA PROPOSTA 15

2.1.- Considerações Gerais 15

2.2.- Esplanação do Método Proposto 16

2.2.1 Símbolos Utilizados 16

2.2.2 Esplanação 16

2.3. O Método Aplicado para Computador 21

2.3.1. Símbolos Utilizados 21

2.3.2. Programação 22

2.3.3. Explicações do Programa Fortran 32

2.3.4. Aplicações Teóricas do Programa 36

2.3.5. Confiabilidade do Método 40

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após ter sido desenvolvido o método proposto, surge o problema de balanceamento de linhas, o qual é solucionado através de um procedimento para o sequenciamento das operações, denominada "GENERAL: A computer method of sequencing operations".

(1) - WILSON, Luis V. "GENERAL: A computer method of sequencing operations". Rio de Janeiro, 1960.

I N T R O D U Ç Ã O

Uma programação só teria ótimos resultados se o sequenciamento dos produtos a serem executados minimizassem os tempos ociosos das máquinas. Uma máquina parada, além de ser oneroso à firma, dá um mau aspecto e deixa o encarregado do setor em má situação, pois o mesmo não pode agir e o operário automaticamente ficará parado - ou terá que auxiliar em outra máquina, quando a espera for muito grande.

Problemas de sequenciamento ocorrem frequentemente. Surgem todas as vezes que for possível uma troca na ordem dos trabalhos que devam ser executados em mais de uma máquina. Estes problemas variam de acordo com o tipo de layout (por processo, por produto e posicional) adotado e com o tipo e quantidade dos produtos.

No layout posicional o problema de sequenciamento é determinado pela ordem de montagem do produto, existindo assim um sequenciamento pré-determinado. Neste caso o uso do sistema PERT-CPM⁽¹⁾ deve ser utilizado para determinar o "Caminho Crítico" e assim o tempo total de execução.

No layout por produto, surge o problema de balanceamento de linha, o qual é solucionado através de uma programação para o sequenciamento das operações, denominada "CONSOAL: A computer Method of Sequencing Ope

(1) - STANGER, Luiz B. "PERT- CPM", p. 31. Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro, 1968.

rations for Assembly Lines" (2)

Quando o layout é por processo o problema de sequenciamento surge em grande escala. Alguns podem ser solucionados rapidamente, pois a ordem de execução pode ser determinada por fatores óbvios; como por exemplo - em uma tipografia as cores claras devem preceder as escuras, a fim de que o tempo de limpeza das impressoras seja o menor possível.

Se o tempo de preparação de uma máquina for maior ou menor conforme seja o sequenciamento dos trabalhos a serem executados na mesma e se um trabalho independe do precedente e do sucessor, tem-se o problema de sequenciamento dependendo exclusivamente do "Tempo de Preparação" (Setup). A Internacional Business Machines, através de sua biblioteca de programas, fornece um programa - para a solução de tal problema.(3)

No caso geral tem-se n trabalhos, que devem ser executados em m máquinas. O número de seqüências teóricamente possíveis é dado por $(n!)^m$. Sendo que algumas - destas podem ser classificadas como as melhores, otimizando-se o tempo total de execução, para cada uma das tecnologicamente possíveis seqüências, isto é, otimizando-se - aquelas que satisfazem as restrições na ordem tecnológica que cada trabalho deva ser executado.

Na teoria, a solução por enumeração é

(2) - BUFFA, Elwood S. " Readings in Production an Operations Manegement, p. 336, John Wiley E Sons, Inc New York, London, Sydney, 1966.

(3) - 1130 General Program Library - 15.4.002 " Sob Sequence Scheduling". Publicação da IBM.

possível, mas na prática, a análise de cada uma das possíveis sequências deve ser rápida, e o número de casos a serem analisados torna proibitiva a procura da melhor solução, mesmo para pequenos valores de m e n (se $m=4$ e $n=4$, tem-se $(4!)^4 = 330.976$ possíveis soluções).

Embora seja fácil para visualizar o que é requerido, o problema é de difícil solução. Impondo uma série de restrições chegou-se a algumas regras que solucionam o problema.

CAPÍTULO I

METODOLOGIA CORRENTE DE SEQUENCIAMENTO

1.1. ESTUDO HISTÓRICO

Muitas soluções foram pesquisadas até o presente, mas somente três casos especiais são plenamente satisfatórios:

- quando "n" trabalhos devem ser processados em duas máquinas;
- quando dois ou três trabalhos são processados em "m" máquinas;
- quando "n" trabalhos são processados em três máquinas.

Nos três casos o problema é achar a sequência de processamento dos trabalhos, de tal maneira que o tempo total necessário seja o mínimo.

Simbolicamente define-se:

A_i = tempo para o trabalho i na máquina A ; etc;

B_i = tempo para o trabalho i na máquina B ; etc;

T = tempo desde o início do primeiro trabalho até o término do último.

Operations Research: Methods and Problems" p. Willey / Toypan, Tokyo, 1969.

1.2 PROCESSANDO "n" TRABALHOS ATRAVÉS DE DUAS MÁQUINAS

Este problema de sequenciamento, para o qual a solução é avaliada, é descrito como segue:

1º) somente duas máquinas são envolvidas, A e B;

2º) cada trabalho é processado na ordem AB;

3º) os tempos de processamento de cada um dos "n" trabalhos nas máquinas A e B são conhecidos.

O método em seguida esplanado é de autoria de S. M. Johnson. (4)

(a) Selecione o menor tempo de processamento da lista $A_1, A_2, \dots, A_N, B_1, B_2, \dots, B_N$. Se há empate, selecione qualquer um destes;

(b) Se o mínimo tempo de processamento é A_R , o R-ésimo trabalho será o primeiro. Se ele é B_S , o S-ésimo trabalho será o último;

(c) há agora n-1 trabalhos para ordenar. Aplique os passos (a) e (b) para os tempos de processamento restantes, obtidos por eliminação dos correspondentes à A_R ou B_S ;

(d) continue desta maneira até que todos os trabalhos sejam ordenados.

(5) SASIENI, M., FRIEDMAN, L. e YASPAN, A. " Operations Research: Methods and Problems" p. Wiley / Toppan, Tokyo, 1959.

A ordenação resultante terá o mínimo T.

EXEMPLO 1.

Tem-se cinco trabalhos, cada qual deve passar por duas máquinas A e B na ordem AB. Os Tempos de processamento são dados na tabela 1.

T
Tabela 1. Tempo de Processamento do Exemplo 1

Trabalho	Máquina A	máquina B
1	5	2
2	1	6
3	9	7
4	3	8
5	10	4

Aplicando a rotina anteriormente descrita, tem-se que o menor tempo de processamento é 1 unidade para o trabalho 2 na máquina A. Assim cataloga-se o trabalho "2" primeiro.

-2					
----	--	--	--	--	--

Os tempos de processamento restantes

são:

trabalho	máquina A	máquina B
----------	-----------	-----------

1	5	2
---	---	---

Tabela 2 : Tempos de processamento restantes do Exemplo 1.

3	9	7
4	3	8
5	10	4

O menor tempo de processamento, 2, é B_T . Assim cataloga-se o trabalho 1 por último.

2				1
---	--	--	--	---

Continuando-se tem-se:

Trabalho Máquina A. Máquina B.

3	9	2
4	3	8
5	10	4

cataloga-se 4

2	4			1
---	---	--	--	---

Trabalho Máquina A. Máquina B.

3	9	7
5	10	4

cataloga-se 5

2	4		5	1
---	---	--	---	---

E finalmente por exclusão cataloga-se 3

Assim a sequência ótima é

2	4	3	5	1
---	---	---	---	---

Pode-se calcular o tempo total correspondente à ordenação ótima, utilizando o tempo de processamento individual dado na tabela 1. Os detalhes são dados na tabela 2.

Tabela 2 : Tempo total de processamento do Exemplo 1.

O método, trata o problema equivalente de problema referente a "n" trabalhos e duas máquinas

Tabela 2 : Tempo Total de Processamento do Exemplo 1.

Trabalho	Máquina A		Máquina B	
	T. Inicial	T. Final	T. Inicial	T. Final
2	0	1	1	7
4	1	4	7	15
3	4	13	15	22
5	13	23	23	27
1	23	28	28	30

Assim o mínimo tempo final é de 30 horas. O tempo ocioso é de 3 horas para a máquina B. e de 2 horas para a máquina A.

1.3. PROCESSANDO "n" TRABALHOS ATRAVÉS DE TRÊS MÁQUINAS.

O método visto anteriormente pode ser estendido para o caso, onde uma série de trabalhos devem ser executados em três máquinas. O método somente poderá ser aplicado se uma ou ambas das condições seguintes forem aceitas:

a) o menor tempo de processamento da máquina A é menor ou igual ao maior tempo de processamento da máquina B;

b) o Menor tempo de processamento da máquina C é menor ou igual ao menor tempo de processamento da máquina B.

O método, torna o problema equivalente ao problema referente a "n" trabalhos e duas máquinas

utilizando um artifício a seguir descrito.

Toma-se as máquinas fictícias G e H, e define-se os tempos de processamento correspondentes G_i e H_i por:

$$G_i = A_i + B_i$$

$$H_i = B_i + C_i$$

Resolve-se o problema assim descrito, com a ordem pré-determinada GH, pelo método anterior. A sequência ótima resultante será também a ótima para o problema original.

Exemplo 2.

Tem-se cinco trabalhos, cada qual deve passar pela máquinas A, B, C, na ordem ABC. Os tempos de processamento são dados na tabela 3.

Tabela 3 : Tempo de Processamento do Exemplo 2.

Trabalho	Máquina A	Máquina B	Máquina C
1	4	5	8
2	9	6	10
3	8	2	6
4	6	3	7
5	5	4	11

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

Qualquer uma destas ordenações pode ser usada para a sequência de trabalhos através das máquinas A, B e C.

O tempo mínimo de processamento será de 51 horas.

1.4. PROCESSANDO DOIS OU TRÊS TRABALHOS ATRAVÉS DE "m" MÁQUINAS.

Nêste caso é feito uma série de gráficos (5) (veja figuras 1,2,3,4,5,6), onde no eixo dos X coloca-se os tempos de processamento acumulados para cada trabalho nas diversas máquinas e no eixo dos Y as máquinas correspondentes.

O sequenciamento que der o menor tempo de processamento para todos os trabalhos, será o escolhido como sequenciamento ótimo.

Para utilizar êste método deve-se observar o sequenciamento natural das máquinas, isto é, todos os trabalhos devem ter a mesma ordem de execução

Exemplo 3:

Tem-se três trabalhos, cada qual deve passar pelas máquinas A, B, C, D e E na ordem ABCDE. Os tempos de processamento são dados na tabela 5

(5)- Conway -Maxwell-Miller, "Theory of Scheduling, p.80 Addison-Wesley, EE.UU., 1967.

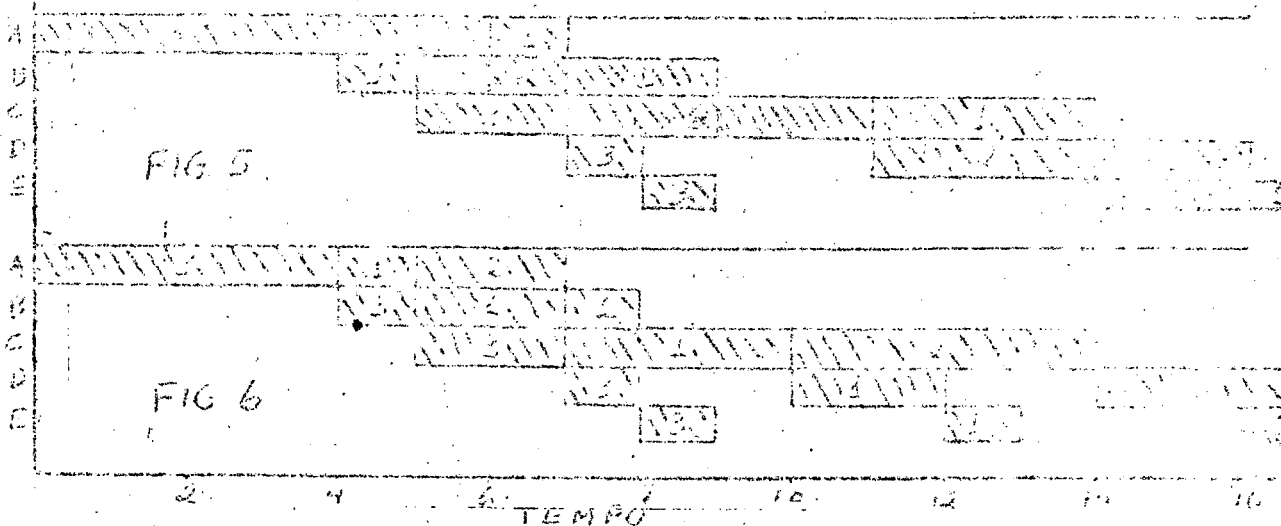
Tabela 5 : Tempo de Processamento de Exemplo 3.

Trab.	Máq.A	Maq. B	Maq. C	Maq.D	Maq.E
1	1	2	3	2	1
2	2	1	4	3	1
3	4	1	2	1	1

Devem ser executados seis gráficos pois tem-se seis possíveis sequenciamentos ao se permutar os três trabalhos.

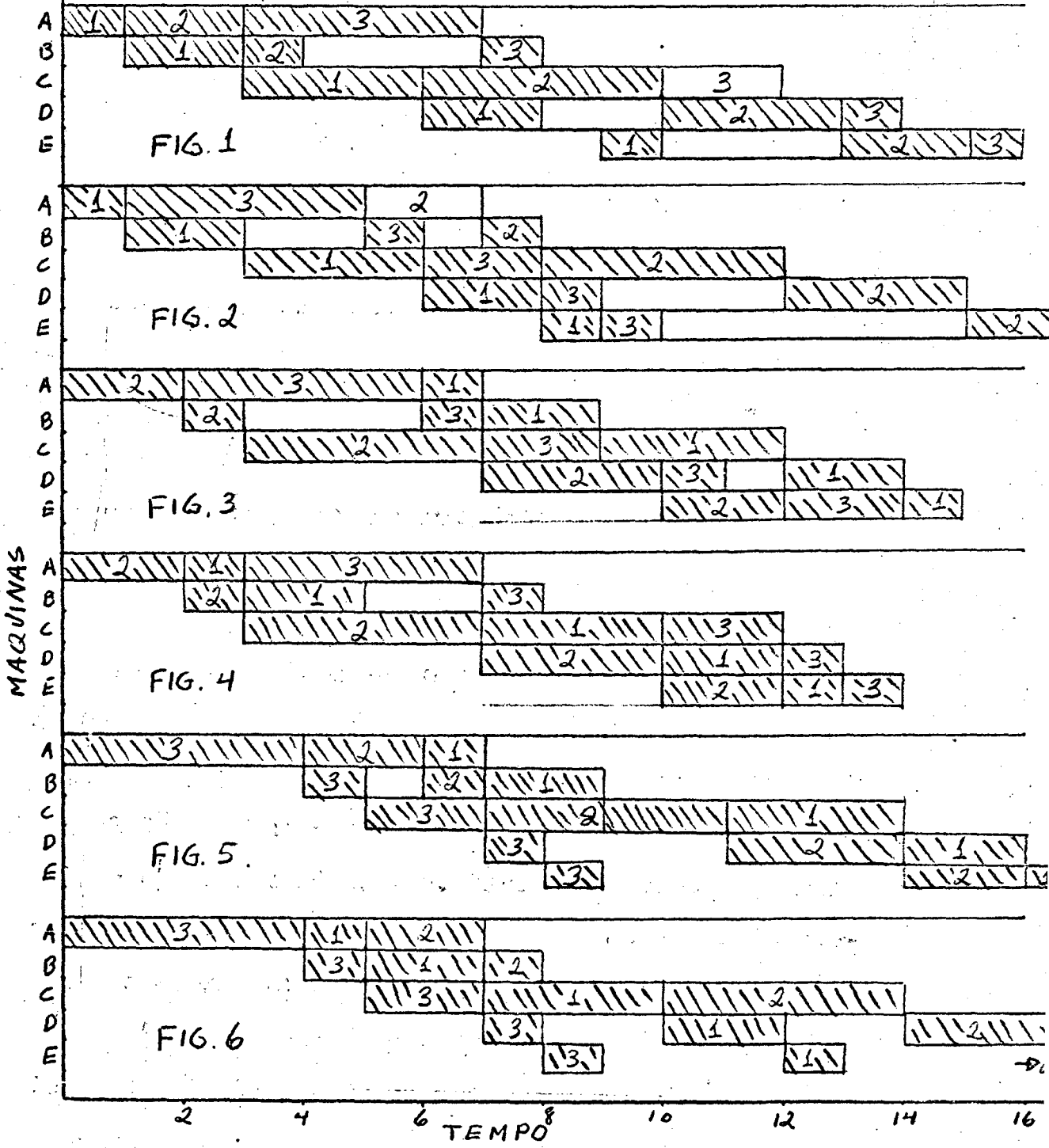
Os gráficos acima referidos são mostrados na página seguinte, nas figuras 1,2,3,4,5,e6.

Das seis permutações conclui-se que no sequenciamento 2 1 3 é o que dá o menor tempo de processamento para os três trabalhos, logo será este sequenciamento o escolhido.



Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 : sequenciamentos

- (1, 2, 3)
- (1, 3, 2)
- (2, 3, 1)
- (2, 1, 3)
- (3, 2, 1)
- (3, 1, 2)



MÁQUINAS

TEMPO

CAPÍTULO II

METODOLOGIA PROPOSTA

2.1. Considerações Gerais

a) O tempo de preparação independe da ordem de execução, isto é, para um mesmo trabalho o tempo de preparação, em uma determinada máquina, independe do trabalho antecedente.

b) Todos os trabalhos devem ter uma mesma ordem de execução nas diversas máquinas, isto é, cada trabalho deve ser executado na ordem cronológica das máquinas, não necessariamente passando por todas as máquinas.

c) As distâncias percorridas pelos trabalhos, isto é, o tempo de transporte dos trabalhos entre uma máquina e outra, não será considerado, uma vez que a disposição das máquinas deve ser previamente calculada em função dos trabalhos a serem executados, porque o tempo será mínimo. Caso esse tempo seja não-negligenciável, deve o mesmo ser adicionado ao tempo de preparação da máquina para o qual está sendo encaminhado.

d) No caso de ter-se várias máquinas de um mesmo tipo, isto é, departamentos e não máqui-

nas isoladas, será mais cômodo considerar, o tempo de execução e preparação do trabalho, no departamento e não na máquina.

e) Os trabalhos a serem executados são na maioria dos casos peças pequenas; neste caso devem ser executados os cálculos através do lote econômico (6)

2.2. ESPLANAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

2.2.1. Símbolos Utilizados

A, B, C, ... : referem-se as máquinas (ou conjunto de máquinas no caso de departamento) utilizadas no processo.

TE(i) : Tempo de execução do trabalho i nas máquinas A, B, C..., respectivamente.

TP(i) : Tempo de preparação (setup) das máquinas A, B, C..., para o trabalho i.

TF(i) : Tempo parcial para terminar o trabalho i nas máquinas A, B, C..., respectivamente, ou o tempo total para terminar todos os trabalhos.

2.2.2. Esplanação

O presente método avalia o sequenciamento ótimo considerando uma série de sequenciamentos

MAGEE, John F., "Planejamento da Produção e Contrôlo, de Estoques, Livraria Pioneira Editôra, p.56, SP., 1967.

trabalho na máquina seguinte, sendo este valor o tempo parcial para esta máquina.

tos tomados aleatoriamente, calculando o tempo total que cada sequenciamento leva para terminar todos os trabalhos, e tomando como sequenciamento ótimo aquele que der um menor tempo total.

Primeiramente constrói-se uma tabela (veja tabela 6) tendo na abcissa as máquinas e na ordenada os tempos de execução e de preparação, ficando assim unidos os trabalhos com as máquinas facilitando os cálculos posteriores. Quando uma máquina não for utilizada para um determinado trabalho, coloca-se o valor zero para os tempos de execução e preparação. Em seguida resolve-se o problema construindo-se uma tabela (veja tabela 7) onde na abcissa tem-se as máquinas colocadas em uma ordem tecnológica e na ordenada os tempos parciais para terminar os trabalhos nas respectivas máquinas.

A tabela é construída com a rotina na:

a) Soma-se o tempo de preparação com o de execução referentes ao primeiro trabalho (do sequenciamento escolhido) e primeira máquina, sendo esse valor o primeiro termo da tabela, isto é, o tempo parcial para executar o trabalho 1 na máquina A.

$$TF(L) = TP(L) + TE(L) \quad (1)$$

b) Soma-se o tempo parcial anterior com os tempos de execução e preparação do mesmo trabalho na máquina seguinte, sendo este valor o tempo parcial para esta máquina.

$$\begin{aligned}
 & TP(1,2) \leq TF(1) \\
 & TF(1) = TF(1) - TE(1) \\
 & TP(1,2) > TF(1) \Rightarrow TF(1) = TF(1) + TP(1) + TE(1) \quad (2)
 \end{aligned}$$

c) Repete-se o mesmo raciocínio(b) para as demais máquinas que correspondam ao primeiro trabalho.

Quando o TE for nulo também o TF será anotado zero. Esta máquina funciona como sendo um evento fantasma, isto é, ela entra no processo somente para fins de cálculo do TF total.

d) Soma-se o tempo calculado com (2) com os tempos de execução e preparação da máquina A, referentes ao segundo trabalho; o valor calculado será o tempo parcial para executar o trabalho 2 na máquina A.

$$TF(2) = TF(1) + TP(2) + TE(2) \quad (3)$$

e) Se o tempo parcial calculado com (3) for menor ou igual a soma do tempo de preparação seguinte com o tempo parcial anterior, referente à máquina em pauta, adiciona-se ao tempo parcial anterior os tempos de preparação e de execução, sendo este o valor do tempo parcial para esta máquina. Se

$$TF(2) \leq TF(1) + TP(2) \quad (4)$$

$$TF(2) = TF(1) + TP(2) + TE(2) \quad (5)$$

f) Se a condição anterior não for aceita, soma-se ao tempo parcial anteriormente calculado por (3) ao tempo de execução da máquina em pauta.

$$TF(2) = TF(2) + TE(2) \quad (6)$$

Quando o TE for nulo, não é feito o cálculo do TF, isto é, esta máquina é considerada inexistente.

g) Para as demais máquinas, repete-se o raciocínio usado em (e) e (f).

Para os próximos trabalhos repete-se o raciocínio utilizado em (d), (e) e (f).

Observa-se a tabela construída com a rotina descrita anteriormente e anota-se o maior tempo de execução que a mesma contiver, sendo este valor o tempo total para terminar todos os trabalhos.

Constrói-se outras tabelas idênticas a anterior, para diversas sequências escolhidas aleatoriamente.

Compara-se os valores dos tempos total obtidos nessas tabelas e toma-se para sequência ótima aquela que tenha o menor tempo total.

O método manual apesar de ser acessível, requer muito tempo, por isto o mesmo adapta-se mais para uma solução com o uso de computadores eletrônicos.

No próximo item será analisada a programação para o computador.

Exemplo 4. Tem-se três trabalhos que devem ser executados nas máquinas A, B, C, D, e F, na ordem ADEF, BDEF e ABCDF respectivamente. Os tempos de execução e preparação são dados na tabela 6.

Tabela 6 : Tempos de Execução e Preparação

Trab.	Máq.A.	Máq.B	Máq.C	Máq. D	Máq. E	Máq.F
TE(1)	5,00	0,00	0,00	3,00	2,00	1,50
TP(1)	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00
TE(2)	0,00	3,00	0,00	5,00	2,00	2,00
TP(2)	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00
TE(3)	4,00	2,00	3,00	1,00	0,00	1,50
TP(3)	1,00	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00

Usando-se o raciocínio anteriormente descrito constrói-se a tabela 7

Tabela 7 : Tempos Parcial e Total

Trb.	Máq.A	Máq.B	Máq.C	Máq.D	Máq.E	Máq.F
TF(1)	6,00	—	—	10,00	13,00	14,50
TF(2)	11,00	4,00	—	16,00	18,00	20,00
TF(3)	11,00	13,00	16,00	17,50	—	21,50

Da tabela 7, tem-se que o maior TF(i) é 21,50, isto quer dizer que após um tempo de 21,50 unidades todos os três trabalhos estarão executados.

tudo isso e a tarefa de execução da primeira

Construindo-se outras tabelas semelhantes à tabela 7, obtêm-se os valores:

Sequência	Tempo Total
1 3 2	27,00
2 1 3	19,00
1 3 2	27,00
2 3 1	19,00
3 2 1	27,00

Observando os tempos totais calculados para as sequências aleatoriamente escolhidas vê-se que as sequências "213" e "231" são as que dão o menor tempo para a execução dos três trabalhos. Toma-se então como sequência ótima uma das duas.

2.3. O MÉTODO APLICADO PARA COMPUTADOR

2.3.1. Símbolos Utilizados

N : número de máquinas (ou conjunto de máquinas) mais um.

M : número de peças (ou lotes de peças) diferentes.

$TE(I,J)$: Tempo de execução da peça J na máquina I .

$TP(I,J)$: Tempo de preparação da máquina I para a peça J .

$TF(I)$: Tempo acumulado parcial ou total de execução das peças J nas máquinas I , isto é, tempo contado desde o início da execução da primeira

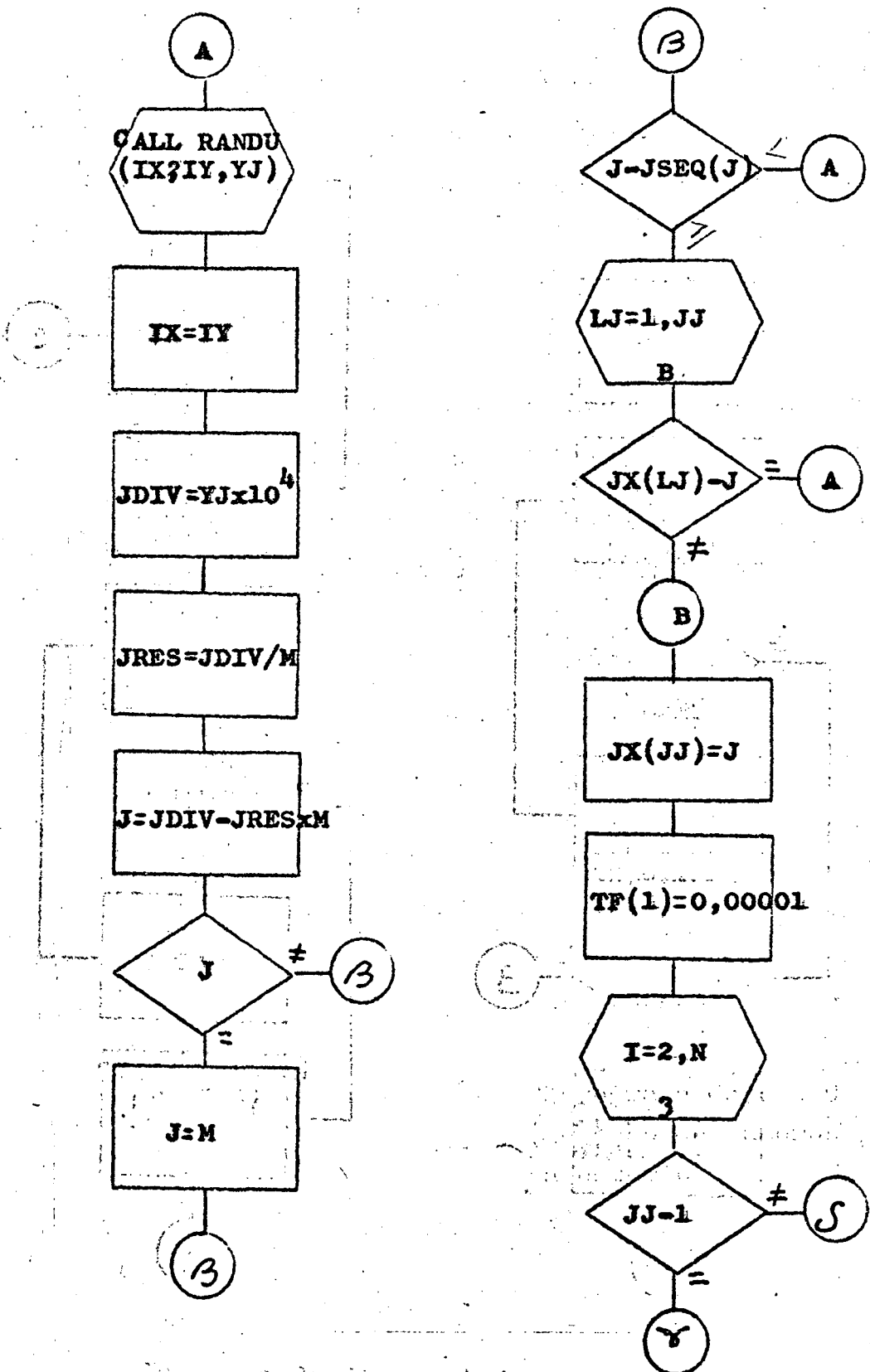


Diagrama de Blocos do Programa Principal

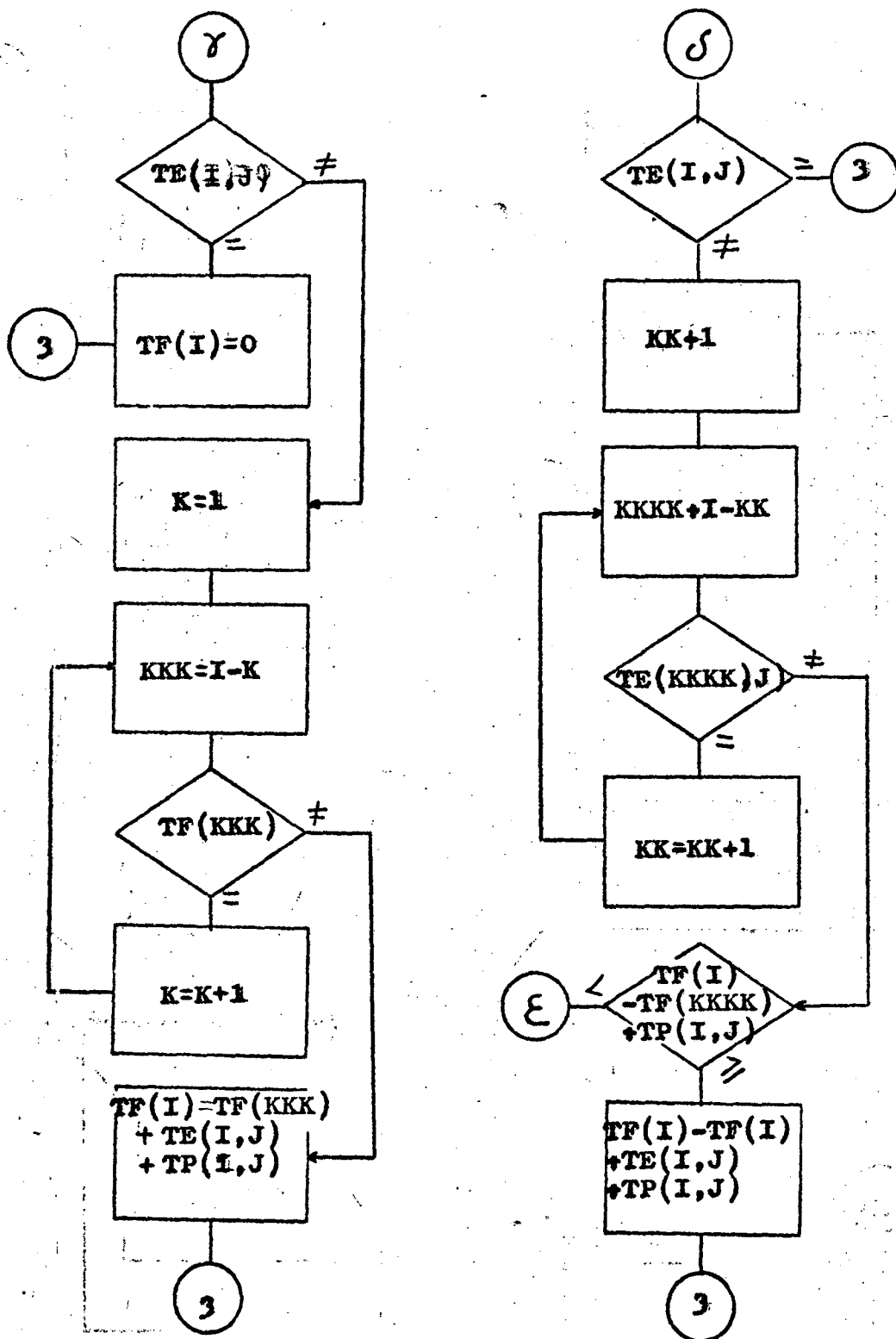


Diagrama de Blocos do Programa Principal

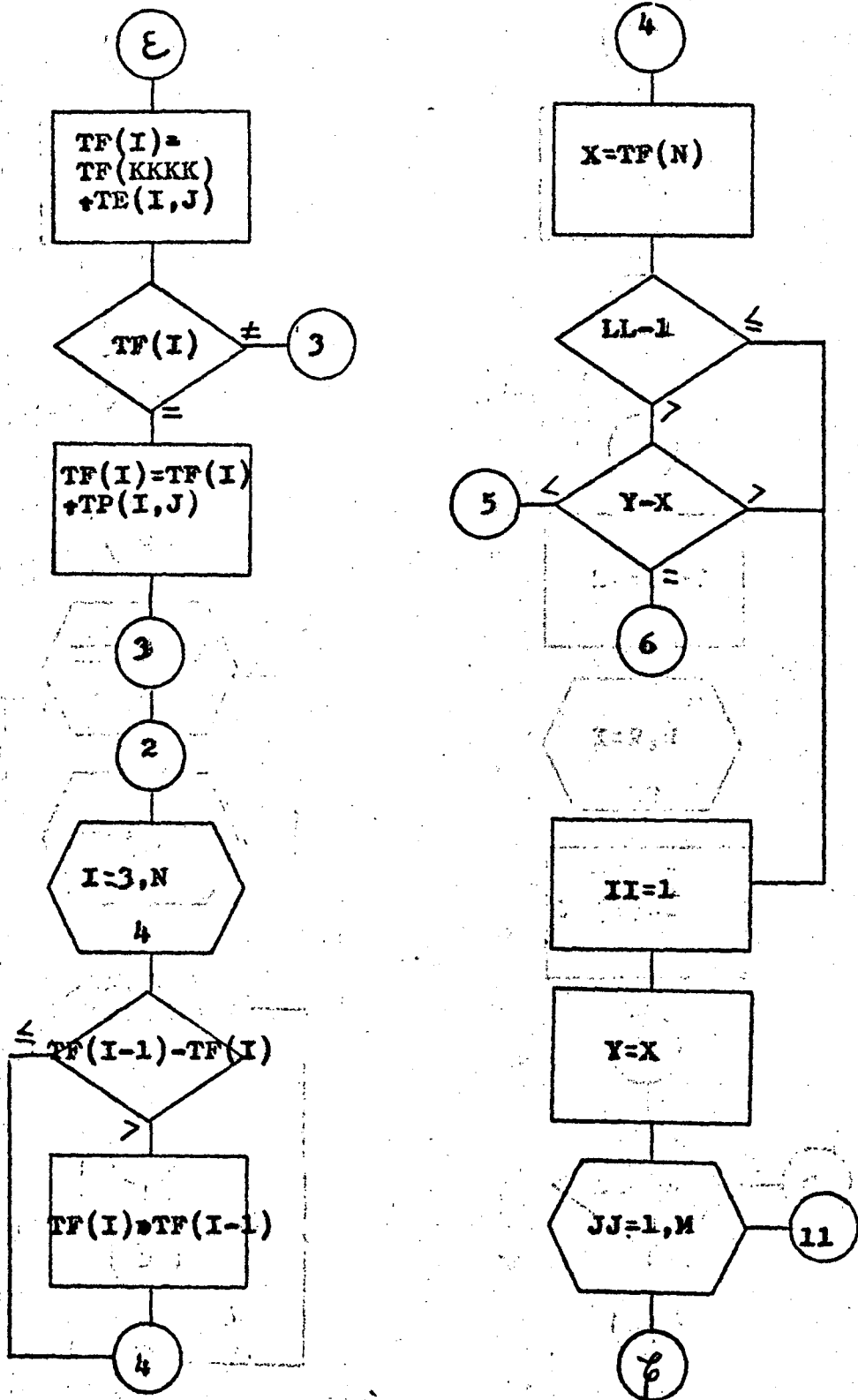


Diagrama de Blocos do Programa Principal

cont.

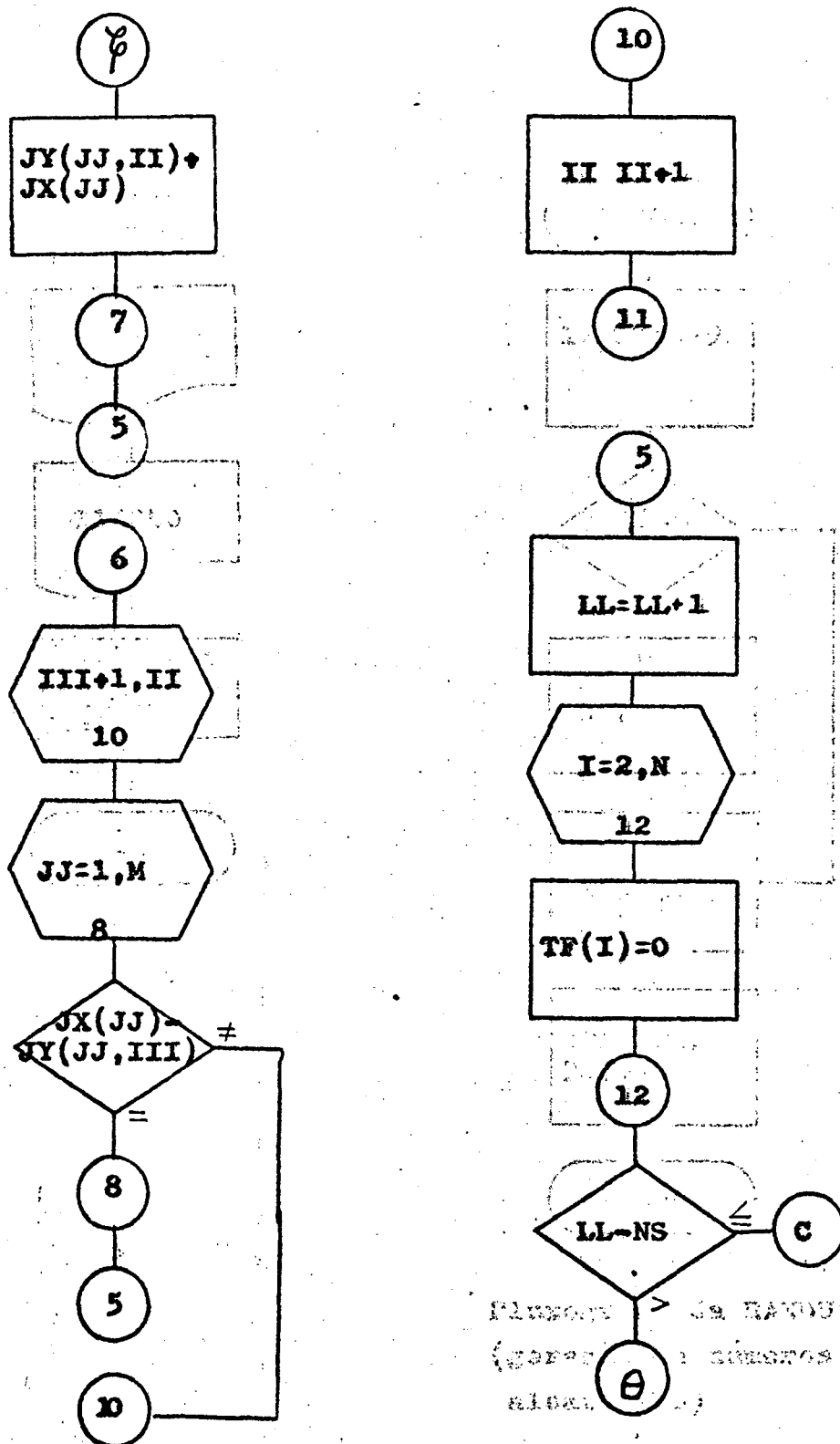
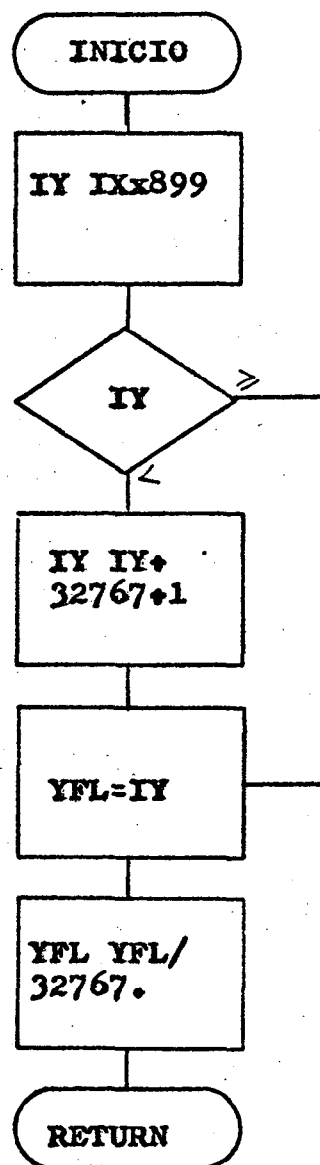
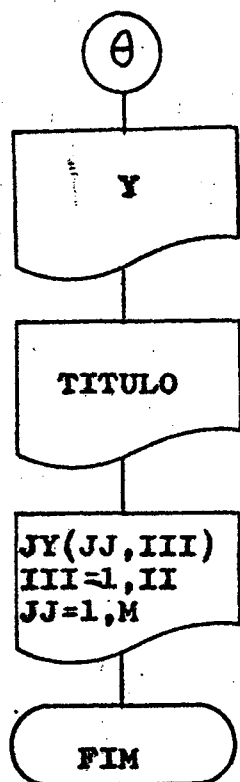


Diagrama de Blocos de Programa Principal

do Programa Principal

cont.



Fluxograma da RANDU
(geração de números
aleatórios)

Diagrama de Blocos
do Programa Principal

PAGE 1

29

// JOB

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE
0000 0003 0003 0000

V2 M06. ACTUAL 16K CONFIG 16K

// FOR

*ONE WORD INTEGERS
*LIST SOURCE PROGRAM
 SUBROUTINE RANDU(IX,IY,YFL)
 IY=IX*899
 IF(IY)5,6,6
 5 IY=IY+32767+1
 6 YFL=IY
 YFL=YFL/32767.
 RETURN
 END

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR RANDU
COMMON 0 VARIABLES 0 PROGRAM 52

END OF COMPILATION

// DUP

*STOREMOD WS UA RANDU
CART ID 0003 DB ADDR 4EF3 DB CNT 0005

// FOR

*IOCS(CARD,1132 PRINTER)
*LIST SOURCE PROGRAM
*ONE WORD INTEGERS
C SEQUENCIAMENTO DE PROGRAMACAO
C N E O NUMERO DE MAQUINAS MAIS 1
C M E O NUMERO DE PECAS
C TE E O TEMPO DE EXECUCAO DA PECA J NA MAQUINA I
C TP E O TEMPO DE PREPARACAO DA MAQUINA I PARA A PECA J
C NS E O NUMERO DE SEQUENCIAS
C TF E O TEMPO DE FABRICACAO PARCIAL OU TOTAL
 DIMENSION TE(50,50),TP(50,50),TF(50),JY(50,10),JX(50),JSEQ(50
 LL=1
 READ(2,1)N,M,NS
 1 FORMAT(3I4)
 READ(2,3)IE
 3 FORMAT(I3)
 IM=N-1

PAGE 2

```

WRITE(3,4) IE,IM,M,NS
4  FORMAT(1X,'EXEMPLO',I3,2X,I3,'MAQ./',I3,'PECAS/',I3,'SEQ.')
```

DO60J=1,M

```
60 READ(2,2)(TE(I,J),TP(I,J),I=2,N)
2  FORMAT(16F5.2)
READ(2,11)(JSEQ(J),J=1,M)
11 FORMAT(20I3)
70 IX=LL
DO71IJ=1,M
71 JX(IJ)=0
DO40JJ=1,M
IF(JJ-1)87,81,87
87 IF(J-M)85,81,81
85 IF(JSEQ(J)-J)81,83,86
86 IF(J+1-JSEQ(J+1))83,81,81
83 J=J+1
GOTO84
81 CALL RANDU(IX,IY,YJ)
IX=IY
JDIV=YJ*10**4
JRES=JDIV/M
J=JDIV-JRES*M
IF(J)91,92,91
92 J=M
91 IF(J-JSEQ(J))81,89,89
89 DO82LJ=1,JJ
IF(JX(LJ)-J)82,81,82
82 CONTINUE
84 JX(JJ)=J
TF(1)=0.00001
DO35I=2,N
IF(JJ-1)22,21,22
21 IF(TE(I,J))23,24,23
23 K=1
27 KKK=I-K
IF(TF(KKK))25,26,25
26 K=K+1
GOTO27
25 TF(I)=TF(KKK)+TE(I,J)+TP(I,J)
GOTO35
24 TF(I)=0.00
GOTO35
22 IF(TE(I,J))28,35,28
28 KK=1
31 KKKK=I-KK
IF(TE(KKKK,J))29,30,29
30 KK=KK+1
GOTO31
29 IF(TF(I)-TF(KKKK)+TP(I,J))33,32,32
32 TF(I)=TF(I)+TE(I,J)+TP(I,J)
```

```

GOTC35
33 TF(I)=TF(KKKK)+TE(I,J)
   IF(TF(I))35,34,35
34 TF(I)=TF(I)+TP(I,J)
35 CONTINUE
40 CONTINUE
   DO500I=3,N
   IF(TF(I-1)-TF(I))500,500,501
501 TF(I)=TF(I-1)
500 CONTINUE
   X=TF(N)
   IF(LL-1)600,600,601
601 IF(Y-X)602,603,600
600 II=1
   Y=X
605 DO604JJ=1,M
604 JY(JJ,II)=JX(JJ)
   GOT602
603 DO606III=1,II
   DO607JJ=1,M
   IF(JX(JJ)-JY(JJ,III))606,607,606
607 CONTINUE
   GOT602
606 CONTINUE
   II=II+1
   GOT605
602 LL=LL+1
   DO400I=2,N
400 TF(I)=0.0
   IF(LL-NS)70,70,50
   50 WRITE(3,700)Y
700 FORMAT(/,1X,'PARA O SEQ. OTIMO TFMAX = ',F8.2,/)
   WRITE(3,701)
701 FORMAT(1X,'SEQUENCIAMENTOS OTIMOS!')
   DO702III=1,II
702 WRITE(3,703)(JY(JJ,III),JJ=1,M)
703 FORMAT(1X,30I3)
   CALL EXIT
   END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR
COMMON 0 VARIABLES 10730 PROGRAM 902

END OF COMPILATION

// DUP

*STOREMOD WS UA BOSSO -
CART ID 0003 DB ADDR 4EF8 DB CNT 003B

2.3.3. Explicação do Programa Fortram

O programa contém sete partes - distintas:

- 1ª) Entrada de dados;
- 2ª) Geração aleatória da sequência;
- 3ª) Cálculo dos tempos de execução (fabricação);
- 4ª) Verificação do tempo de fabricação máxima;
- 5ª) Comparação com o tempo de fabricação máximo já calculado;
- 6ª) Fixação do sequenciamento de menor tempo de fabricação máxima;
- 7ª) Saída dos resultados.

1ª) Entrada de Dados

Deve-se fornecer os dados ao computador da seguinte maneira:

- 2ª) Geração aleatória - o primeiro cartão deve conter os valores de N, M e NS, nessa mesma ordem e de acordo com o comando 1. O número de sequências (NS) é escolhido conforme a explicação do item seguinte

- Os cartões seguintes devem con

ter os tempos de execução ($TE(I,J)$) e de preparação ($PP(I,J)$) obtidos conforme a tabela 6 e perfurados de acôrdo com os comando 60 e 2.

- Depois dos cartões dos tempos deve-se colocar um ou mais cartões contendo os valores de $JSEQ(J)$; os quais devem ser escolhidos conforme segue: se um certo trabalho X deve ser executado logo em seguida ao trabalho Y; por ser menor o tempo de preparação das máquinas quando a ordem for YX, ou porque os trabalhos X e Y pertencem à uma única peça que deva ser montada logo após a execução dos trabalhos XY e Y da - por um outro motivo qualquer os trabalhos X e Y devam ser executados na ordem YX; ao trabalho Y deve ser dado um valor para $JSEQ(J)$ correspondente ao número "J" que lhe corresponde e ao trabalho trabalho X o número que lhe corresponde adicionado de uma unidade. Por exemplo: tem-se três trabalhos que devam ser executados tal que o trabalho "2" sempre anteceda o trabalho "3"; o cartão com os valores de $JSEQ(J)$ deverá ser perfurado com os valores zero, dois e quatro.

2ª) Geração Aleatória da Sequência

A sequência é gerada do seguinte modo: através de uma subrotina (RANDU) é gerado um número aleatório; este número após sofrer operações matemáticas simples, transforma-se em um número inteiro

entre zero e M (número de trabalhos). Este número é comparado com outros já calculados para não haver repetição. (caso haja repetição o programa retorna à sub-rotina e calcula novo número). Também é comparado com a variável JSEQ(J) lida anteriormente; caso seja menor o programa volta à sub-rotina.

O programa deixa de passar pela sub-rotina quando houver uma sequência pré-determinada pelo usuário. Para que isto aconteça é comparado o último número calculado para a sequência com a variável JSEQ(I).

3º) Cálculo dos Tempos de Execução.

Nesta parte o programa tem duas vias de acesso: a primeira quando a sequência tem início e a segunda para o restante.

O tempo de fabricação (TF(I)) é calculado de maneira semelhante à rotina do item 2.2.2.

4º) Verificação do TF(I) máximo.

Após calculados os tempos de fabricação, o programa verifica qual é o máximo dentre eles (pois é neste tempo que as máquinas terão concluído todos os trabalhos).

5º) Comparação com o TF(I) máximo já calculado.

Se for a primeira sequência, o programa continua normalmente; caso contrário é comparado com o TF(I) recentemente calculado (X) com o TF(I) calculado anteriormente (Y). Se $Y < X$ o programa continua. Se Y é igual a X o programa verifica se as sequências são iguais; se isto acontecer o programa continua; se forem diferentes é guardado na memória todas as sequências. Se $Y > X$ é feita a troca da sequência.

6º) Fixação da sequência de menor TF(I).

Depois de comparadas as sequências o programa fixa a ou as sequências que dão um menor tempo de execução.

7º) Saída dos Resultados

O programa fornece a resposta de acordo com o ou os sequenciamentos calculados para dar o menor tempo de execução dos trabalhos. Escolhe-se qualquer um dos sequenciamentos fornecidos, pois qualquer um deles terá o mínimo tempo de execução final para todos os trabalhos.

Devido aos resultados obtidos, tem-se a possibilidade de obter o sequenciamento /

A fim de ter-se uma idéia dos cálculos executados pelo computador, na procura do TF máximo, é mostrado na tabela 9 um exemplo (com a reprodução desses cálculos) onde tem-se - 13 máquinas e 9 trabalhos, cujos tempos de execução e preparação são mostrados na tabela 8.

2.3.4. Aplicações Teóricas do Programa.

Para a fim de provar a confiabilidade do programa, foram executadas algumas aplicações teóricas.

Pode-se observar pelo anexo 1 e 2 os resultados obtidos pelo programa, para os problemas 1,2,3, e 4 anteriormente resolvidos por outros processos.

Outras aplicações, elaboradas aleatoriamente, serviram de base para a obtenção da tabela 10, onde é mostrado os tempos mínimo, médio e máximo calculados pelo programa para um determinado número fixo de peças e máquinas, e um número variável de sequenciamentos gerados.

Observa-se pela tabela 10 que com variações consideráveis do número de sequenciamentos, tem-se resultados iguais ou semelhantes, e com isto conclui-se que devido ser os sequenciamentos gerados aleatoriamente, tem-se uma possibilidade de obter um sequenciamento /

Tabela 8 : Tempo de Execução e Preparação

Trab.	A	B	C	CD	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N
TE(1)	4,00	-	-	-	-	12,00	5,00	-	-	-	-	2,00	-	1,00
TP(1)	0,40	-	-	-	-	0,80	0,40	-	-	-	-	0,00	-	0,00
TE(2)	2,50	-	0,40	-	-	2,50	-	-	-	-	-	-	-	-
TP(2)	0,40	-	0,00	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
TE(3)	-	-	-	-	-	8,00	-	13,00	-	-	-	2,50	-	1,35
TP(3)	-	-	-	-	-	0,90	-	1,00	-	-	-	0,00	-	0,00
TE(4)	1,50	-	0,20	-	-	-	3,00	-	-	-	-	-	-	-
TP(4)	0,30	-	0,00	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-	-
TE(5)	1,00	-	0,20	-	3,00	-	-	-	6,00	-	-	3,00	-	-
TP(5)	0,30	-	0,00	-	0,80	-	-	-	1,00	-	-	0,00	-	-
TE(6)	-	2,00	-	-	-	-	-	-	-	8,00	3,00	-	-	-
TP(6)	-	0,30	-	-	-	-	-	-	-	1,80	0,90	-	-	-
TE(7)	-	3,00	-	-	-	-	-	-	-	14,00	6,00	-	18,00	-
TP(7)	-	0,30	-	-	-	-	-	-	-	1,80	1,00	-	1,00	-
TE(8)	-	3,50	-	-	-	-	-	-	-	9,00	4,00	4,50	-	-
TP(8)	-	0,30	-	-	-	-	-	-	-	1,30	1,00	0,00	-	-
TE(9)	-	2,50	-	-	-	-	-	-	-	7,00	-	-	-	-
TP(9)	-	0,30	-	-	-	-	-	-	-	1,20	-	-	-	-

Tabela 9 : Reprodução dos Cálculos Executados pelo Computador na Procura do Tempo de Execução Máximo, para os dados da Tabela 8 para a sequência 3 4 7 1 2 5 6 8 9 .

Trab.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N
3	0.00	0.00	0.00	0.00	8.90	0.00	22.90	0.00	0.00	0.00	25.40	0.00	26.75
4	1.80	0.00	2.00	0.00	8.90	5.00	22.90	0.00	0.00	0.00	25.40	0.00	26.75
7	1.80	3.30	2.00	0.00	8.90	5.00	22.90	0.00	17.30	23.30	25.40	41.30	26.75
1	6.20	3.30	2.00	0.00	21.70	26.70	22.90	0.00	17.30	23.30	28.70	41.30	29.70
2	9.10	3.30	9.50	11.69	21.70	26.70	22.90	0.00	17.30	23.30	28.70	41.30	29.70
5	10.39	3.30	10.59	15.49	21.70	26.70	22.90	21.50	17.30	23.30	31.70	41.30	29.70
6	10.39	5.60	10.59	15.49	21.70	26.70	22.90	21.50	27.10	30.10	31.70	41.30	29.70
8	10.39	9.39	10.59	15.49	21.70	26.70	22.90	21.50	37.40	41.40	45.90	41.30	29.70
9	10.39	12.19	10.59	15.49	21.70	26.70	22.90	21.50	45.59	41.40	45.90	41.30	29.70

Observando a tabela 9 verifica-se que o Tempo de Execução Máximo, para a sequência 3 4 7 1 2 5 6 8 9, é de 45.90. O trabalho número 8 mesmo sendo o oitavo no sequenciamento será o último a sair das máquinas.

que tenha o tempo de execução dos trabalhos, dentro de uma faixa de aceitação.

Tabela 10 : Resultados obtidos, mínimo, máximo e médio em relação ao número de sequenciamentos

E	N	M	NS	MIN;	MAX.	MED.
1	2	5	15	30,00	43,00	36,93
1	2	5	20	30,00	45,00	36,50
1	2	5	40	30,00	45,00	36,40
1	2	5	100	30,00	42,00	36,75
2	3	5	20	51,00	57,00	36,75
2	3	5	40	51,00	58,00	56,87
2	3	5	100	51,00	58,00	56,86
3	5	3	5	14,00	17,00	16,00
3	5	3	10	14,00	19,00	16,40
3	5	3	15	14,00	19,00	16,06
4	6	3	5	19,00	27,00	23,80
4	6	3	10	19,00	27,50	24,65
4	6	3	20	19,00	27,50	24,00
5	13	9	50	45,90	70,60	56,85
5	13	9	70	45,90	70,60	57,52
5	13	9	100	45,90	70,60	57,33
6	8	10	50	105,70	136,99	120,39
6	8	10	70	97,52	140,26	119,69
6	8	10	100	97,52	140,26	119,15
7	8	20	50	178,69	228,88	202,09
7	8	20	70	271,50	278,51	227,98
7	8	20	100	171,80	228,88	198,48

PROG 1

// JOB

LOG DRIVE	CART SPEC	CART AVAIL	PHY DRIVE
0000,	0004	0004	0000

V2 106 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 1 2MAQ./ 5PECAS/ 50SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX = 30.00

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

4	2	3	5	1
---	---	---	---	---

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 2 3MAQ./ 5PECAS/ 40SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX = 51.00

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

1	5	2	3	4
1	5	3	4	2
5	4	1	2	3
5	4	3	1	2
5	2	4	1	3
4	1	5	3	2
5	1	4	2	3
5	4	2	1	3
1	4	5	2	3
5	3	1	2	4
4	5	2	3	1

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 3 5MAQ./ 3PECAS/ 15SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX = 14.00

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

2	1	3
---	---	---

ANEXO 1

PAGE 1

// JOB

LOG DRIVE	CART SPEC	CART AVAIL	PHY DRIVE
0000	0004	0004	0000

V2 M06 ACTUAL 16K CONFIG 16K

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 4 6MAQ./ 3PECAS/ 20SEC.

PARA O SEQ. OTIMO TMAX = 19.00

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

2	1	3
2	3	1

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 5 13MAQ./ 9PECAS/100SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TMAX = 45.90

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

3	4	7	1	2	5	6	8	9
3	4	7	5	6	1	2	8	9
3	4	1	2	7	5	6	8	9

2.3.4. Confiabilidade do Método.

Devido ao programa não gerar todas as sequências possíveis, é necessário ter um meio para se confiar no resultado obtido.

O programa gera um número aleatório de sequências pré-determinado pelo usuário. Quanto maior for este número, maior será a confiabilidade do processo, mas também o acréscimo do mesmo leva a um tempo de processamento (tempo de computador) maior.

Duas são as maneiras com as quais é possível ter-se uma maior confiabilidade:

a) Pesquisando uma faixa de aceitação. Calculando-se um tempo de execução mínimo fictício (pois o mesmo será menor do que o tempo total mínimo), para que todos os trabalhos sejam executados, e um tempo de execução máximo.

Com estes dois tempos e com os tempos calculados pelo programa é possível determinar se o tempo calculado está dentro de uma faixa de aceitação.

Por ser extenso o programa para calcular os tempos mínimo e máximo, este processo não foi considerado.

b) De acordo com o custo de computação. Este processo, o qual foi adotado, leva em consideração o tempo de processamento, isto

é, quanto maior for a confiabilidade que se deseje maior será o tempo de computação e em consequência, maior será a despesa do usuário.

O tempo de computação varia em função dos valores: número de máquinas, número de peças, número de sequenciamentos a serem gerado e do próprio programa.

Não seria viável pesquisar uma fórmula para achar este tempo, pois o mesmo varia consideravelmente em função do próprio programa (principalmente devido à parte referente a geração da sequência), assim foi traçado um gráfico (figura 7) em função daquelas variáveis. Neste gráfico tem-se na ordenada o número de sequenciamentos a adotar, nas curvas os números de peças e de máquinas e na abcissa o tempo de computação.

Com este gráfico pode-se em função dos três valores ter uma idéia do tempo de computação. Com o tempo de computação assim calculado e com o custo hora do uso do computador tem-se o custo para pesquisar o sequenciamento. Este custo será a variável a ser levada em conta para a escolha do número de sequenciamentos e em consequência a confiabilidade da resposta obtida.

Para a execução do gráfico, foram executados os exemplos (teóricos) 7, 8, 9, 10, 11, 12, e 13, cujos resultados são mostrados nos anexos 3, 4, 5, 6 e 7.

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 8 16MAQ./ 9PECAS/500SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 134.34

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

6 3 9 2 7 5 4 8 1

TEMPO DE COMPUTACAO= 102

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 9 8MAQ./18PECAS/100SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 170.92

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

7 8 9 6 5 16 4 3 1 1 0 1 7 1 8 1 3 2 1 4 1 2 1 5 1

TEMPO DE COMPUTACAO= 36

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 9 8MAQ./18PECAS/200SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 173.92

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

7 8 9 6 5 16 4 3 1 1 0 1 7 1 8 1 3 2 1 4 1 2 1 5 1

TEMPO DE COMPUTACAO= 64

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 9 8MAQ./18PECAS/500SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 164.96

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

7 15 8 1 7 1 0 1 4 9 1 6 6 1 1 1 8 1 3 3 5 1 2 2 1 4

TEMPO DE COMPUTACAO= 146

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 10 16MAQ./18PECAS/100SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 229.98

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

7 8 9 6 5 16 4 3 1 1 0 1 7 1 8 1 3 2 1 4 1 2 1 5 1

TEMPO DE COMPUTACAO= 52

43

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 10 16MAQ./18PECAS/200SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 229.98
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
7 8 9 6 5 16 4 3 1 1 0 1 7 1 8 1 3 2 1 4 1 2 1 5 1
TEMPO DE COMPUTACAO= 94

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 10 16MAQ./18PECAS/300SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 226.64
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
7 1 2 1 3 1 8 1 7 1 4 3 8 9 1 6 1 1 1 0 6 1 5 5 1 4 2
TEMPO DE COMPUTACAO= 136

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 11 24MAQ./ 9PECAS/100SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 189.30
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
6 8 9 2 5 4 3 1 7
TEMPO DE COMPUTACAO= 36

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 11 24MAQ./ 9PECAS/200SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 187.86
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
5 9 3 2 6 1 8 4 7
TEMPO DE COMPUTACAO= 64

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 11 24MAQ./ 9PECAS/300SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 187.86
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
5 9 3 2 6 1 8 4 7
TEMPO DE COMPUTACAO= 88

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 12 32MAQ./ 9PECAS/100SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 225.34
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
8 4 6 7 3 9 2 1 5
TEMPO DE COMPUTACAO= 44

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 12 32MAQ./ 9PECAS/200SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 225.34
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
8 4 6 7 3 9 2 1 5
TEMPO DE COMPUTACAO= 76

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 12 32MAQ./ 9PECAS/300SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 225.34
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
8 4 6 7 3 9 2 1 5
TEMPO DE COMPUTACAO= 108

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 13 8MAQ./22PECAS/100SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 178.43
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
2112 410 3 9 5221114 1 6151718 7 82013 21916
TEMPO DE COMPUTACAO= 45

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 13 8MAQ./22PECAS/200SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 178.43
SEQUENCIAMENTOS OTIMOS
2112 410 3 9 52211 1 6151718 7 82013 21916 0
TEMPO DE COMPUTACAO= 80

// XEQ BOSSO

EXEMPLO 13 8MAQ./22PECAS/300SEQ.

PARA O SEQ. OTIMO TFMAX= 178.43

SEQUENCIAMENTOS OTIMOS

2112 410 3 9 52211 1 6151718 7 82013 21916 0

TEMPO DE COMPUTACAO= 116

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa apresentado contém lacunas na solução do problema.

Uma destas lacunas é não calcular exatamente a sequência ideal, uma vez que o programa gera sequências aleatórias. Partindo-se dos resultados obtidos pelo programa pode-se continuar os estudos, a fim de encontrar uma solução ótima.

Outra lacuna é não levar em consideração a permutação das máquinas, mas isto é explicável pelo fato de serem poucos os produtos que não tenham um fluxo lógico pelas máquinas; ou em outras palavras, poucas são as indústrias que não executam seus produtos de acordo com a ordem tecnológica de suas máquinas. Com um estudo mais profundo, poder-se-ia verificar a possibilidade do programa levar em consideração também a permutação das máquinas.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Stanger, Luiz B., "PERT-CTM", p.31 Ao Livro Técnico S.A, Rio de Janeiro, 1968 .
- 2.- Moder and Phillips, "Project Manegement With CPM and PERT", Reinhold Publishing Corporation, New York, 1967
- 3.- R.D. Archibald e R.L. Villorás, "Network -Based Management SYstems (PERT/CPM)", John Wiley & Sons, INC, New York, 1967.
- 4.- Henrique Hirschfeld, "Planejamento com PERT" CPM, Ed. Atlas S.A., São Paulo, 1969.
- 5.- Elwood S. Buffa, "Readings in Production and Operations Manegement", p. 336, John Wiley & Sons, INC, New York. London Sydney, 1966.
- 6.- 1130 General Program Library - 15.4.002 "Sub Sequence Shheduling".
- 7.- M. Sasiemi, A. Yaspan e La Friedman, "Opera tions Research: Méthods and Problens" Wiley / Toppan, Tokyo, 1959.
- 8.- Conway-Maxwell-Miller, "Theory of Scheduling, p. 80, Addison-Wesley, EE.UU, 1967.
- 9.- Iden (7) ,
- 10.- John F. Magee, "Planejamento da Produção e Contrôle de Estoques, Livraria Pioneira Editora, p. 56. São Paulo, 1967.
- 11.- Operational Research Quarterly, Publicação - da Operational Research Society.London.
- 12.- Management Science. Joornal of the Institute of Manegement Sciences.

