

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE MATEMÁTICA
CADERNOS DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
SÉRIE F: TRABALHO DE DIVULGAÇÃO

ANÁLISE DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO ENVOLVENDO
POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO EM FUNÇÃO DA
CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS:
SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO NO SOFTWARE XCELL+

DINARA WESTPHALEN XAVIER FERNANDEZ
JOSÉ LUIS DUARTE RIBEIRO
IVO GREGÓRIO LIMA WAGNER

SÉRIE F, N° 09
PORTO ALEGRE, JUNHO 1995

APRESENTAÇÃO

Durante nosso programa de Doutorado, tivemos a felicidade de cursar uma disciplina ministrada pelo prof. Dr. Luis Duarte Ribeiro, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, em que foram abordados Tópicos de Confiabilidade. Na oportunidade, escolhemos o assunto referente a Simulação de Monte Carlo para desenvolver um Seminário. Nossa escolha se baseou no fato de acreditarmos que estudos de Simulação associados a Delineamentos de Experimentos constituem um campo fértil para atuação do Estatístico, na busca de soluções de problemas.

A situação foi proposta e orientada pelo prof. Ribeiro.

Nosso bolsista Ivo realizou as simulações e elaborou as orientações para utilização do software XCELL+.

A todos que utilizarem este material, agradecemos e solicitamos que nos encaminhem sugestões.

Prof^a Dinara W. Xavier Fernandez

ÍNDICE

	pg.
RESUMO	1
1. INTRODUÇÃO	2
2. O PROBLEMA	4
3. O DELINEAMENTO	9
4. SIMULAÇÃO	10
4.1. CONSTRUÇÃO DO MODELO	11
4.2. ALTERAÇÃO NOS DADOS	26
4.3. A PARTIDA DA SIMULAÇÃO	31
5. ANÁLISE	34
6. CONCLUSÕES	39
7. BIBLIOGRAFIA	40
8. ANEXOS	41

ANÁLISE DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO ENVOLVENDO POLÍTICAS DE
MANUTENÇÃO EM FUNÇÃO DA CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS:
SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO NO SOFTWARE XCELL+

Dinara Westphalen Xavier Fernandez
José Luis Duarte Ribeiro
Ivo Gregorio Lima Wagner

RESUMO

Este trabalho apresenta uma simulação de Monte Carlo realizada no software XCELL+ para a análise de uma linha de produção com máquinas que falham (não confiáveis), tempos aleatórios de processamento, buffers com capacidade limitada e diferentes políticas de manutenção.

1. INTRODUÇÃO.

Este trabalho apresenta um estudo sobre a política de manutenção de equipamentos em função da criticidade dos mesmos e seu reflexo na produção. Como mostra a Fig.1, a linha de produção estudada consiste de três máquinas em série (W1W2, W3W4 e W5W6) e dois buffers (B1 e B2), situados, respectivamente, entre as máquinas. A cada máquina está associado um centro de manutenção (M1M2, M3M4 e M5M6). Tanto as máquinas como os centros de manutenção tem duas unidades para permitir a definição de dois tipos de manutenção: corretiva (M1,M3 e M5) e preventiva (M2,M4 e M6)

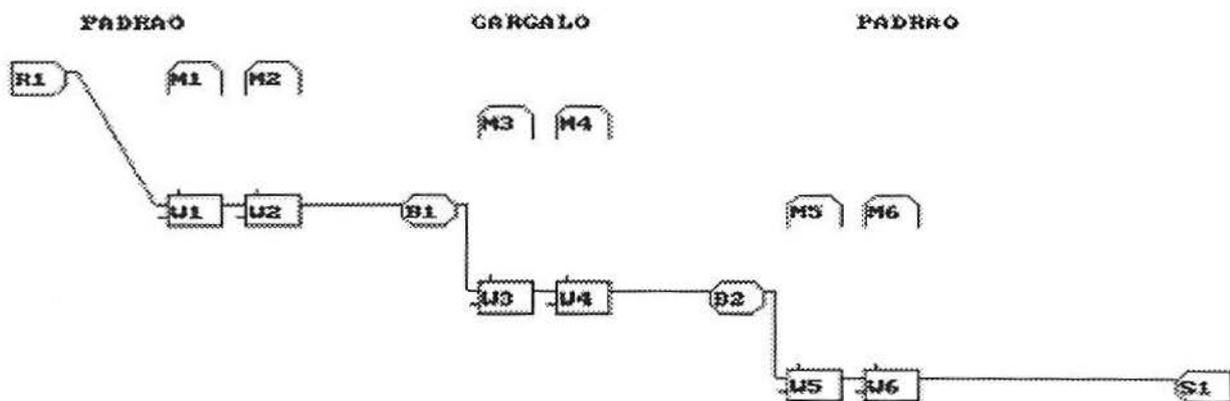


Fig.1. LINHA DE PRODUÇÃO

As máquinas W1W2 e W4W5 são designadas por máquinas padrões e a máquina W3W4 é a máquina gargalo. As máquinas padrões produzem mais rápido que o gargalo, isto é, o tempo de processamento da máquina gargalo é superior às demais.

A matéria bruta entra na linha de produção através de R1 e é processada pela máquina W1W2, que é uma máquina padrão. A produção dessa máquina é armazenada no buffer B1 que aguarda a máquina gargalo W3W4 estar disponível para receber o material. A seguir o produto processado pela máquina gargalo passa para o buffer B2, segue para a outra máquina padrão W5W6 e o processo termina liberando a unidade produzida através de S1.

Uma máquina pode parar de processar por vários motivos:

1ª Manutenção preventiva ou corretiva, ou seja, estar sob reparo.

2ª Falta de material disponível para processar, isto é, os buffers B1 ou B2 estão vazios. Esta situação só pode ocorrer para as máquinas W3W4 e W5W6, em correspondência com cada buffer citado anteriormente. Neste caso, diz-se que a máquina está ociosa.

3ª Buffer lotado. Só pode ocorrer com as máquinas W1W2 e W3W4, quando as máquinas W3W4 e W5W6, respectivamente, estiveram paradas, ou funcionando lentamente, pois, desta forma, as primeiras não tem onde descarregar sua produção.

Nos dois últimos casos, diz-se que a máquina está bloqueada.

Ociosidade e bloqueio ocorrem principalmente devido a falhas nas máquinas anterior e posterior, mas o fenômeno pode também acontecer mesmo quando as máquinas não falham, devido à variabilidade do tempo de processo dessas máquinas e a capacidade limitada dos buffers.

Cada máquina tem um tempo aleatório de processamento e está sujeita a falhas aleatórias quando está operando.

Fixada uma política de manutenção, cada tipo de máquina (padrão ou gargalo) é definida quanto ao tempo (em dias) até que ocorra uma manutenção preventiva. A manutenção preventiva ocorre a intervalos constantes de tempo. Também se define para cada máquina o tempo (em dias) até que ocorra uma manutenção corretiva que, por sua vez, segue uma distribuição de probabilidade.

Se a máquina falha, o reparo é feito imediatamente, segundo um tempo aleatório de reparo. Neste trabalho, estuda-se a influência de quatro fatores que se acredita tenham um efeito importante sobre a produção: política de manutenção, tempo de processo da máquina padrão, tempo de manutenção preventiva e capacidade do buffer.

Para se atingir esse objetivo, será pesquisada a natureza da superfície de resposta, aproximada por um polinômio de segunda ordem. Como será visto na sequência, o estudo será feito utilizando uma matriz experimental correspondente a um Projeto(Delineamento) Composto de Segunda Ordem.

2. O PROBLEMA.

Os tempos de falha de cada máquina seguem o modelo de Weibull com parâmetros $\theta = 2$ e $\gamma = 20$, cujos gráficos das funções densidade, $f(t)$, e função de sobrevivência, $R(t)$, encontram-se, respectivamente, nas Fig.2 e Fig.3.

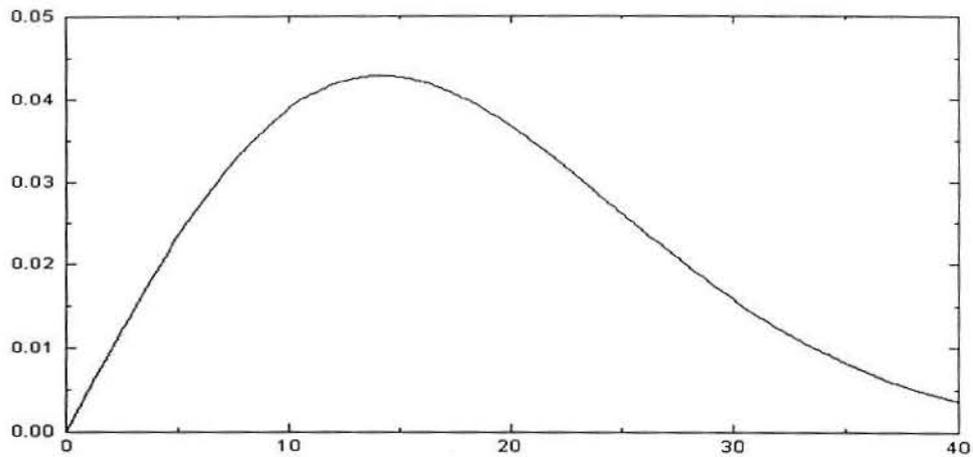


FIG. 2. FUNÇÃO DENSIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

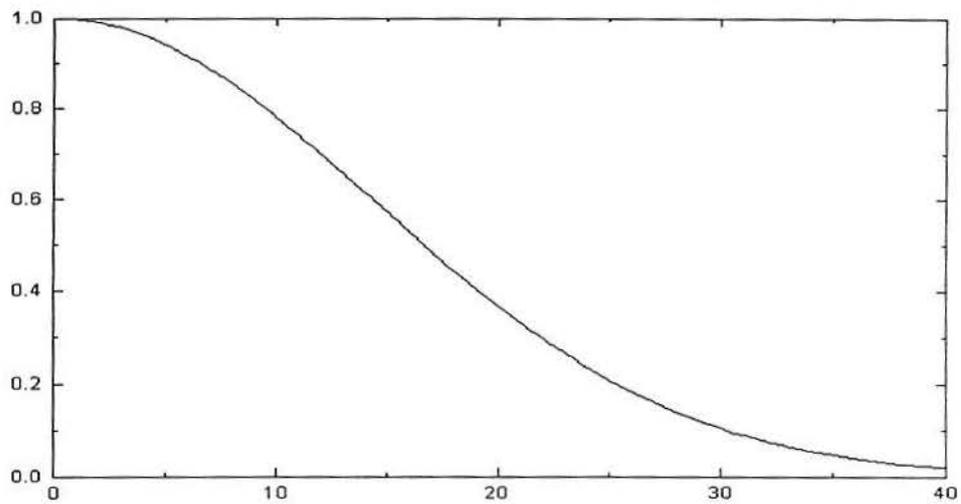


FIG. 3. FUNÇÃO DE SOBREVIVÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

Foram estabelecidos cinco níveis para a **Política de Manutenção (Fator A): 5%, 10%, 15%, 20%, 25%**.

Assim, o primeiro nível indica que em 5% dos dias ocorrerá manutenção preventiva. A partir da Fig.3 foi identificado o **número de dias até ocorrer manutenção preventiva no gargalo (DMPG)**, que é constante (vide Fig.4) e representa o **intervalo entre manutenções preventivas para o gargalo**. Considerando 360 dias de funcionamento da linha de produção, obteve-se o **número de manutenções preventivas para a máquina gargalo (NMPG)** que é o **valor esperado por ano** :

$$NMPG = 360 : DMPG$$

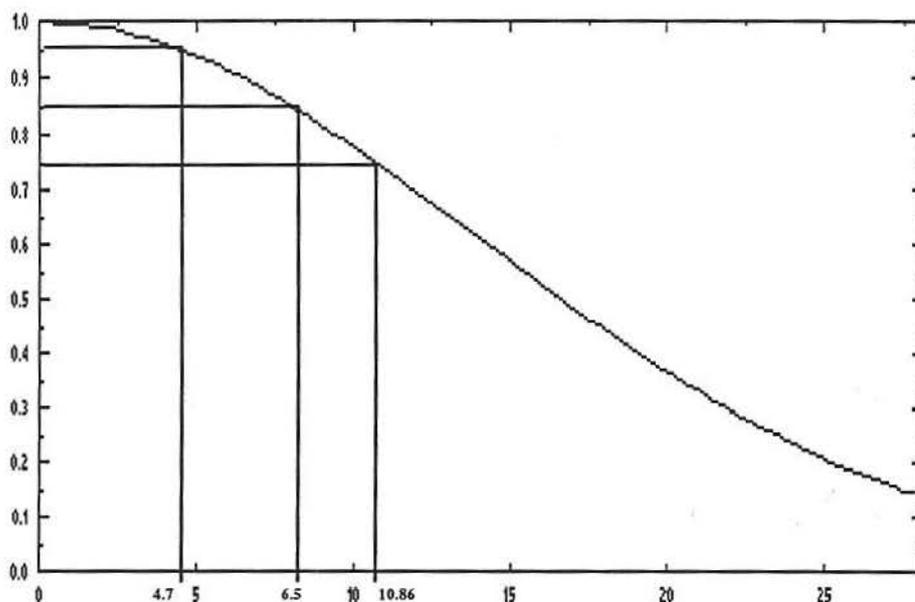


FIG.4. IDENTIFICAÇÃO DO N° DE DIAS ATÉ OCORRER MAN.PREV.GARG

O **número de manutenções corretivas para a máquina gargalo (NMCG)**, constante, é o nível do Fator multiplicado por NMPG

$$NMCG = \% (NMPG)$$

Representa o **valor esperado por ano de manutenções corretivas para o gargalo**.

E o **número de dias até ocorrer manutenções corretivas para o gargalo (DMCG)**, que segue uma distribuição Exponencial, é obtido por:

$$DMCG = 360 : NMCG$$

Significa o intervalo médio (valor esperado) entre manutenções corretivas para a máquina gargalo.

A Tab.1 apresenta os resultados para todos os níveis da Política de Manutenção.

TAB.1. NÍVEIS DA POLÍTICA DE MANUTENÇÃO

NÍVEIS	GARGALO				PADRÃO			
	DMPG	NMPG	NMCG	DMCG	NMCP	DMCP	NMPP	DMPP
5%	4.7 (-2)	76.6	3.83	93.99(-2)	8.17	44.06(-2)	33.7	10.68(-2)
10%	6.5 (-1)	55.4	5.54	64.98(-1)	6.46	55.72(-1)	45.46	7.92 (-1)
15%	8.14 (0)	44.2	6.63	54.29 (0)	5.37	67.04 (0)	57.15	6.3 (0)
20%	9.56 (1)	37.6	7.52	47.87 (1)	4.48	80.35 (1)	68.48	5.26 (1)
25%	10.86 (2)	33.1	8.27	43.53 (2)	3.73	96.51 (2)	77.96	4.62 (2)

Fixado o número total médio de manutenções corretivas igual a doze, determinou-se o **número de manutenções corretivas para as máquinas padrões (NMCP)**, ou seja, o **valor esperado por ano**, por simples diferença:

$$NMCP = 12 - NMCG$$

Então, o **número de dias até ocorrer manutenção corretiva nas máquinas padrões (DMCP)**, que segue uma distribuição Exponencial, é dada por:

$$DMCP = 360 : NMCP$$

É o intervalo médio (valor esperado) entre manutenções corretivas para as máquinas padrões.

Construindo um gráfico (Fig.5) com NMCP e NMPG, pode-se identificar o **número de manutenções preventivas para as máquinas padrões (NMPP)**: para um dado NMCP, localiza-se graficamente o NMPP (valor esperado por um ano). Optou-se por determinar os valores por interpolação linear para obter maior precisão. Desta forma, o número de dias até ocorrer **manutenção preventiva para as máquinas padrões (DMPP)**, que é constante, é obtido por:

$$DMPP = 360 : NMPP$$

Representa o intervalo entre manutenções preventivas para as máquinas padrões.

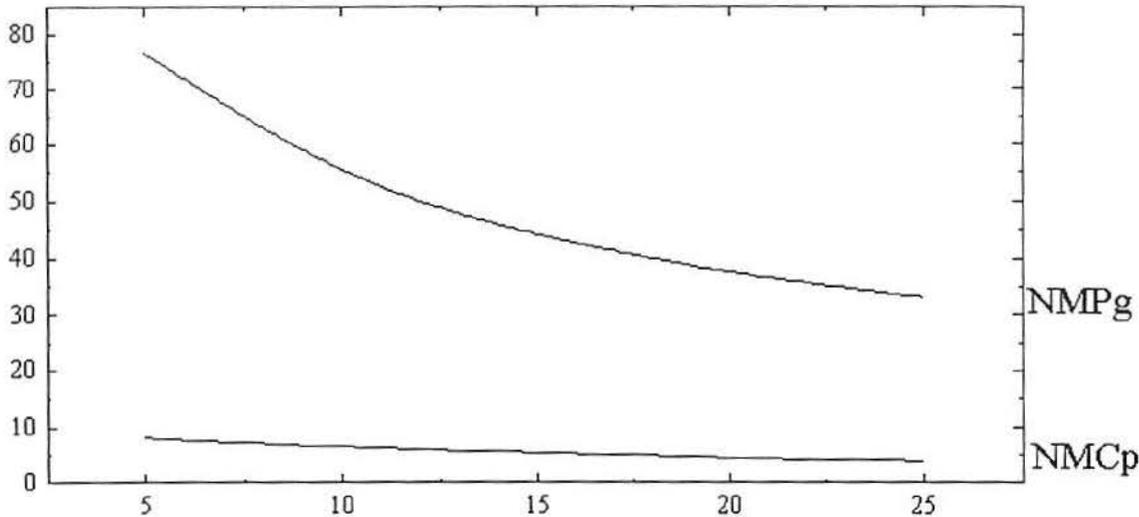


FIG. 5 . IDENTIFICAÇÃO Nº DE DIAS ATÉ OCORRER MAN. PREV. PADRÃO

Conforme pode ser observado na Tab.1, para o nível de 5%, as manutenções preventivas ocorrem com maior frequência na máquina gargalo, enquanto que as manutenções corretivas são mais frequentes nas máquinas padrões. Para os demais níveis da Política de Manutenção, a situação vai se invertendo, de modo que para o nível de 25%, as manutenções preventivas ocorrem mais frequentemente nas máquinas padrões e as manutenções corretivas no gargalo.

Os valores de DMCG , DMPG , DMCP e DMPP são as informações necessárias para alimentar o software XCELL+ e, desta forma, trabalhar com os cinco níveis estipulados na Política de Manutenção.

O **Tempo de processo da máquina padrão (Fator B)** que segue uma distribuição Exponencial, avalia a criticidade, isto é, a relação entre tempo de produção da máquina padrão e o tempo de produção do gargalo (mantido fixo), uma vez que a padrão produz mais rápido que a gargalo. A máquina gargalo produz vinte unidades por dia, portanto gasta 0,05 dia, ou seja, $(1/20)$ dia para produzir uma unidade. Foram estabelecidas as relações 0,4 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 e 0,8 para a criticidade, de modo que o nível 0,4 indica que o tempo de processo da máquina padrão é 40% do tempo da máquina gargalo. Dado que o tempo de processo da máquina padrão é 0,05 , obtém-se os seguintes níveis para o Fator B:

0,02; 0,025; 0,03; 0,035; 0,04 dias

O **Tempo de Manutenção Corretiva (Fator C)** reflete a relação entre o tempo de reparo da manutenção preventiva (MP) e corretiva (MC) na forma: $MC=k(MP)$, isto é, o tempo de reparo de manutenção corretiva é k vezes o tempo de reparo da manutenção preventiva. Para $k=6, 5, 4, 3$ e 2 e, estabelecido que o tempo de reparo da manutenção preventiva é 0,5 dia (fixo, seguindo uma Exponencial), obtém-se os níveis para o Fator C:

3,0; 2,5; 2,0; 1,5; 1,0

que representa o tempo, em dias, para ocorrer manutenção corretiva.

O **Tamanho do Buffer (Fator D)** foi definido de forma que ele pudesse absorver uma parcela do número de unidades produzidas durante um período de manutenção preventiva. O Tempo Médio de Manutenção Preventiva é de 0,5 dias e nesse período a máquina gargalo produz cerca de 10 unidades. Dimensionou-se o Tamanho do Buffer de tal forma que ele tenha capacidade de armazenar 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 ou 1,2 vezes esta carga produtiva. Assim, os níveis de armazenamento do buffer resultaram em:

12, 10, 8, 6, 4

Resumindo, trabalhou-se com quatro fatores com cinco níveis cada um:

Fator A: Política de Manutenção

Níveis: 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

Fator B: Tempo de Processo da Máquina Padrão

Níveis: 0,02; 0,025; 0,03; 0,035; 0,04

Fator C: Tempo de Manutenção Corretiva

Níveis: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0

Fator D: Tamanho do Buffer

Níveis: 4, 6, 8, 10, 12

3. O DELINEAMENTO.

O problema descrito caracteriza um experimento fatorial com 4 fatores e 5 níveis cada.

Uma das dificuldades do experimento fatorial é o modo rápido pelo qual o número de combinações de tratamentos aumenta quando se aumenta o número de fatores. Uma única repetição do fatorial 5^4 conduz a 625 ensaios (tratamentos), que é um número bastante exagerado, mesmo tratando-se de um trabalho de simulação, uma vez que cada simulação gasta cinco minutos, num equipamento PC-486. Ou seja, seriam utilizadas 52 horas de máquina.

Um outro aspecto a considerar em relação aos fatoriais, é o número elevado de repetições usado de modo intrínseco na estimativa dos efeitos principais. Este número está muitas vezes em desacordo com a precisão requerida.

Existem algumas alternativas para contornar esse problema:

- a. Uso de repetição única onde interações de ordem elevada são utilizadas como estimativa do erro experimental.
- b. Uso de repetições fracionadas, isto é, experimento que consiste de apenas parte das combinações de tratamentos de uma repetição completa.
- c. Uso de Delineamento Central Composto, que consiste em escolher um planejamento com número de ensaios que permita estimar os efeitos de segunda ordem (quadráticos e de interação linear). O Delineamento Central Composto consiste de um planejamento fatorial 2^k acrescido de n_0 pontos centrais $(0,0,\dots,0)$, usados para fornecer a estimativa do erro experimental, e 2^k pontos axiais $(\pm\alpha, 0, \dots, 0)$, $(0, \pm\alpha, \dots, 0)$, \dots $(0, 0, \dots, \pm\alpha)$, onde $\alpha = (2^k)^{1/4}$ para que a resposta seja estimada com a mesma precisão para pontos que estejam a uma mesma distância do centro. Delineamentos Centrais Compostos são mostrados na Fig.6 para $k=2$ e $k=3$.

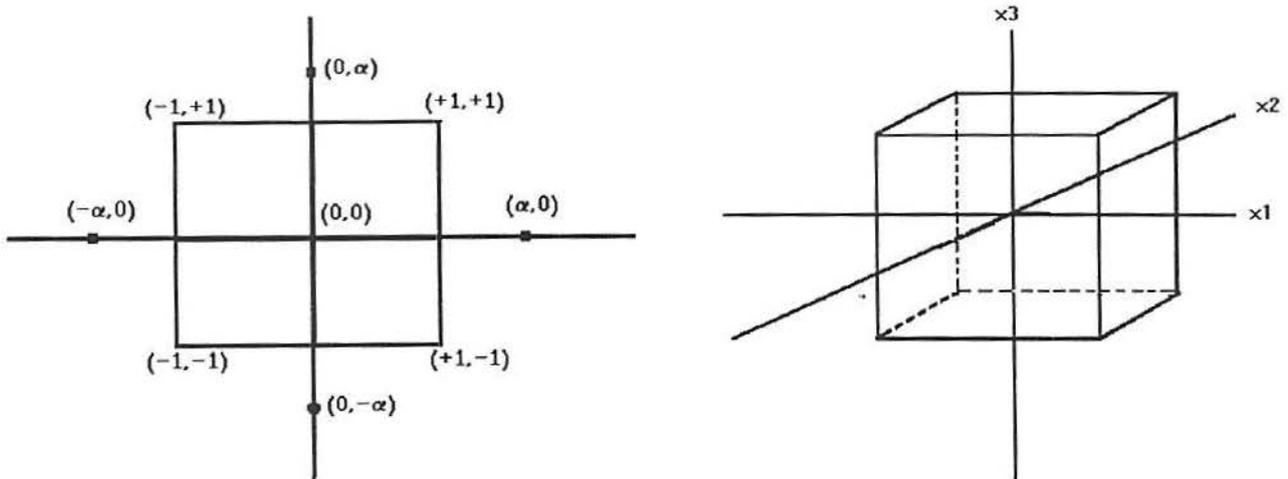


FIG.6. DELINEAMENTOS CENTRAIS COMPOSTOS PARA K=2 E K=3
(extraída de MONTGOMERY,1991)

No caso em estudo, optou-se pela última alternativa. Desta forma, o número de ensaios exigidos é 25 ($2^5 + 2 \times 5 + 1$), ou seja, o tempo gasto para as simulações reduziu em 96%, relativamente ao fatorial completo, o que é extremamente vantajoso. A Tab.2 mostra a matriz do delineamento com os correspondentes valores utilizados no software XCELL+ para ajustar o seguinte modelo de segunda ordem :

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{44} X_4^2$$

$$+ \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{14} X_1 X_4 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{24} X_2 X_4 + \beta_{34} X_3 X_4 + \varepsilon$$

4. SIMULAÇÃO.

Foram realizadas três repetições de cada um dos 25 ensaios, com a utilização do software XCELL+. No caso em que se trabalha com simulação, repetição não é problema.

Além dos valores da Tab.2, é necessário informar o Tempo de Reparo da Manutenção Preventiva (0,5; fixo para todos os ensaios; Exponencial) em W2, W4 e W6.

O procedimento para a criação da linha de produção (sistema) e a execução das simulações no software XCELL+, estão detalhadas a seguir.

TAB. 2. MATRIZ DO DELINEAMENTO

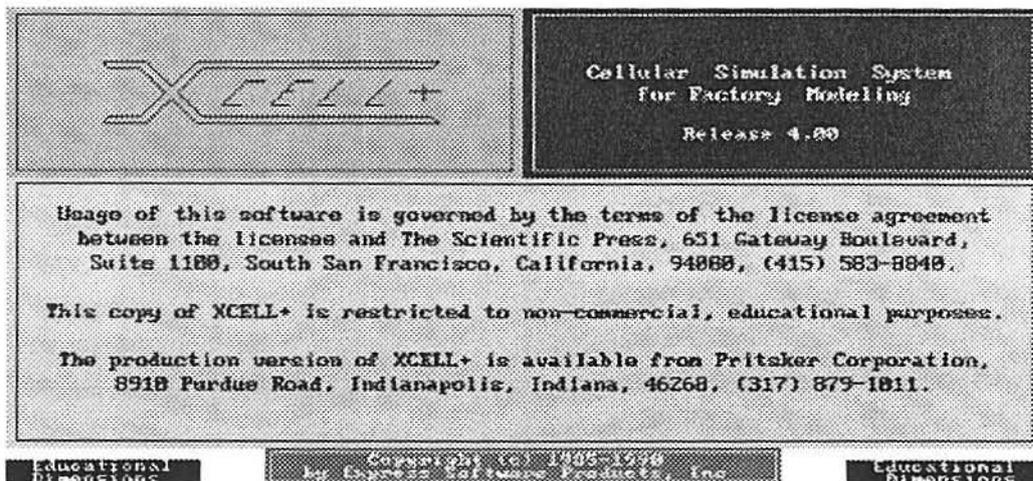
A					B		C		D	
POLÍTICA DE MANUTENÇÃO										
PADRÃO		GARGALO			TEMPO DE PROC.		TEMPO DE MAN.		TAMANHO DO	
	DIAS MAN. CORR.	DIAS MAN. PREV.	DIAS MAN. CORR.	DIAS MAN. PREV.	MAQ. PADRÃO		CORRETIVA		BUFFER	
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	-1	0.025	-1	1.5	-1	6
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	-1	0.025	-1	1.5	1	10
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	-1	0.025	1	2.5	-1	6
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	-1	0.025	1	2.5	1	10
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	1	0.035	-1	1.5	-1	6
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	1	0.035	-1	1.5	1	10
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	1	0.035	1	2.5	-1	6
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	1	0.035	1	2.5	1	10
1	80.35	5.26	47.87	9.56	-1	0.025	-1	1.5	-1	6
1	80.35	5.26	47.87	9.56	-1	0.025	-1	1.5	1	10
1	80.35	5.26	47.87	9.56	-1	0.025	1	2.5	-1	6
1	80.35	5.26	47.87	9.56	-1	0.025	1	2.5	1	10
1	80.35	5.26	47.87	9.56	1	0.035	-1	1.5	-1	6
1	80.35	5.26	47.87	9.56	1	0.035	-1	1.5	1	10
1	80.35	5.26	47.87	9.56	1	0.035	1	2.5	-1	6
1	80.35	5.26	47.87	9.56	1	0.035	1	2.5	1	10
-2	44.06	10.68	93.99	4.7	0	0.03	0	2	0	8
2	96.51	4.62	43.53	10.86	0	0.03	0	2	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	-2	0.02	0	2	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	2	0.04	0	2	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	-2	1	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	2	3	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	0	2	-2	4
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	0	2	2	12
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	0	2	0	8

4.1.CONSTRUÇÃO DO MODELO

Para carregar o programa digitar:

c:\cd directorio

c:\directório\xlp.exe



Main menu:



Pressionar a tecla F4 (New Factory), para desenhar um novo sistema.

Aparece na tela a mensagem "Enter name of new factory:" . Digitar o nome do sistema

Enter name of new factory : EXEMPLO <ENTER>

Aparece a seguinte tela

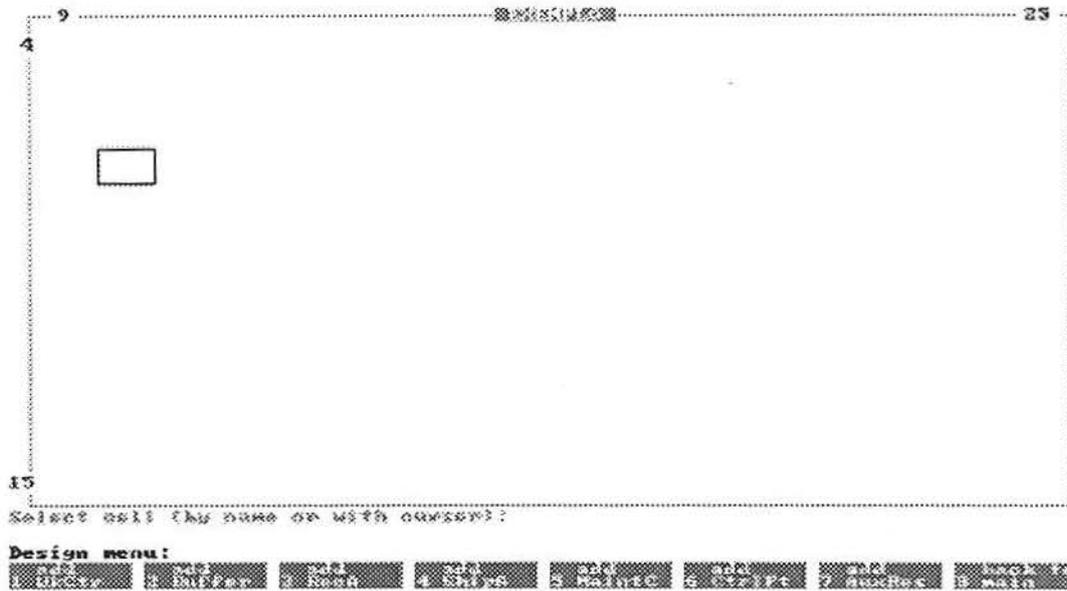


Main menu:

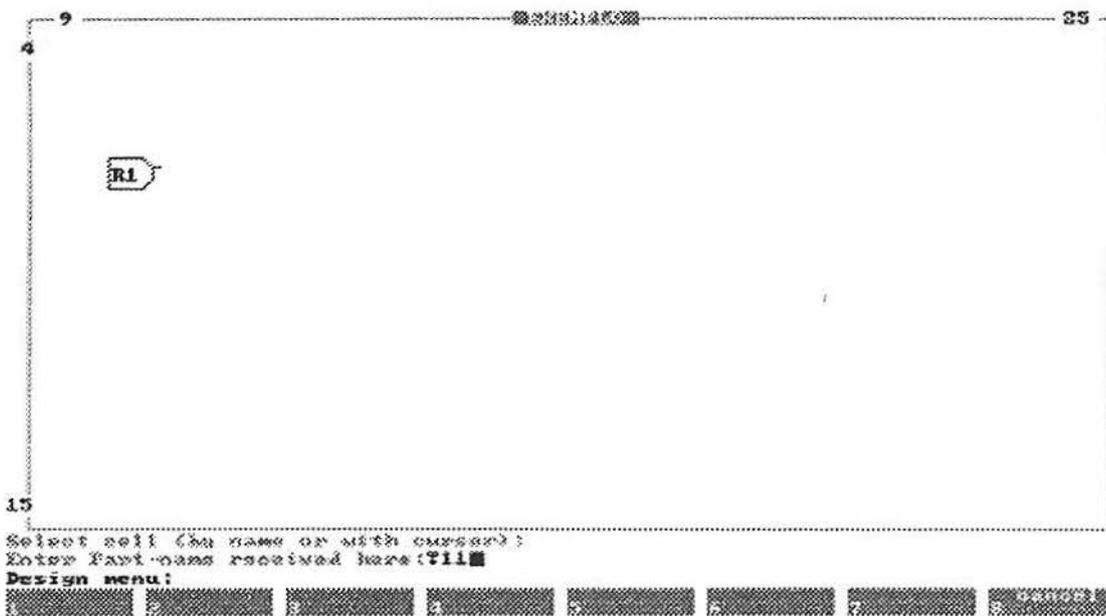


Pressionar F5 (Design)

Aparece a tela:



Aparece na tela um cursor que é movido com as setas para localizar o primeiro módulo da fábrica. Pressionar F3 (**add Rec**) para definir o primeiro módulo: Recebimento.



Aparece o símbolo de Recebimento na tela e a mensagem "Enter Part-name received here:" definir como "T11", seguido de ENTER.

Pressionar F8 (**back to design**) para retornar ao menu de design.

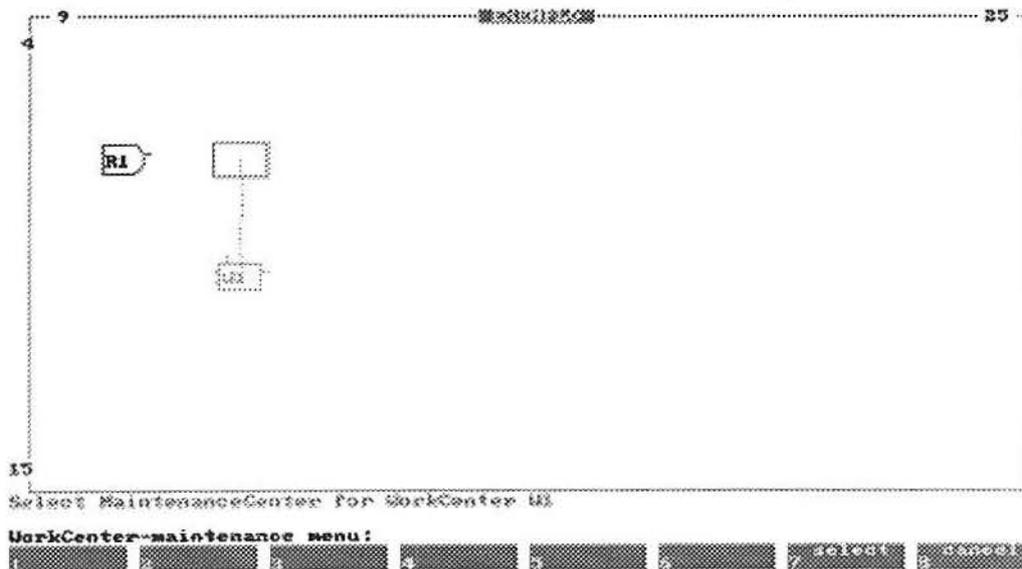
Mover o cursor novamente, posicionando no ponto onde se deseja localizar a primeira célula de processo (**WorkCenter**). No ponto desejado pressionar F1 (**add WkCtr**). Aparece o menu a seguir:



Pressionar F4 (**maintenance**), para definir a manutenção dessa célula.



Nesta tela se define a célula de manutenção para W1: pressionar F2 (**assign MtnCtr**)



Ao pressionar F2 , aparecerá na tela um cursor ligado a W1 para definir a posição da célula de Manutenção; pressionar F7 (**Select**), para localizá-la.

Após localizada a célula definir a política de manutenção associada a W1.

Pressionar F3 (**exp'ntl failure**) para definir os dias de manutenção corretiva.

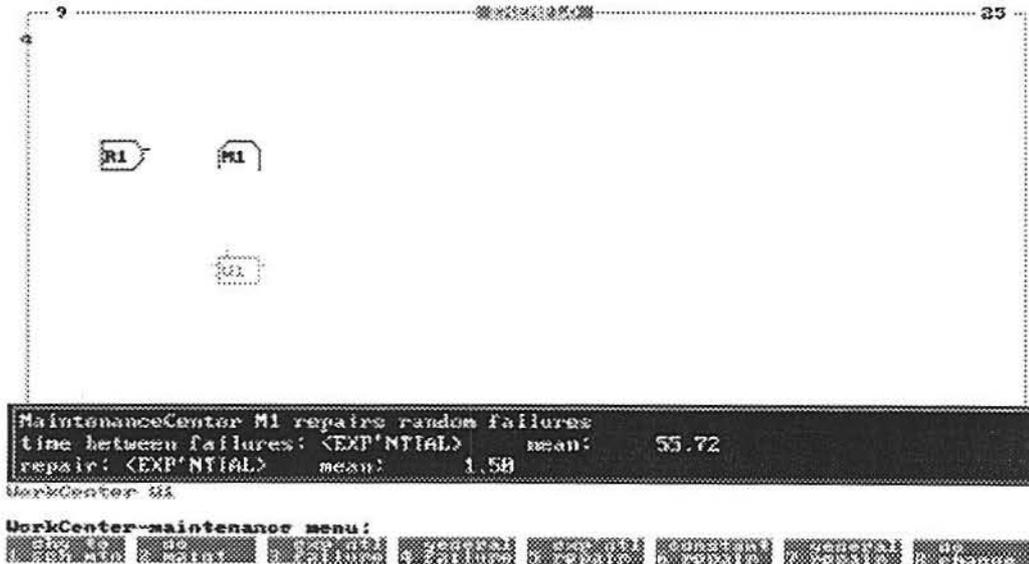
Aparece a mensagem:

"Enter exponential mean-time-between-failures:" digitar **55.72** <ENTER>.

Pressionar F5 (**exp'ntl repair**) para definir tempo de manutenção corretiva.

Aparece a mensagem:

"Enter mean of exponential repair-times:" digitar **1.5** <ENTER>.



Pressionar F8 (**no change**) para voltar ao menu do WorkCenter - design:



Pressionar a tecla F6 (**add/copy Process**)

Aparece a mensagem na tela:

"Enter process name :" definir como **T11** <ENTER> aparece o seguinte menu :



Pressionar F4 (**proces'g time**) para definir tempo de processo
 Pressionar F2 (**Chg to Exp'ntl**):

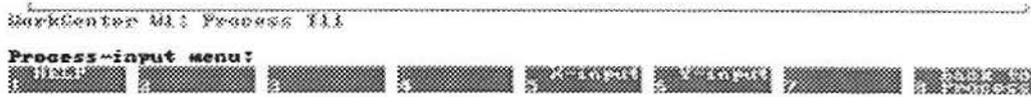


Pressionar a tecla F6 (**change mean**) para alterar a média
 Aparece a mensagem:

"Enter MEAN of exponential dist'n : " entrar com o valor correspondente ao tempo médio de processo da máq. padrão de 0.025 <ENTER>.

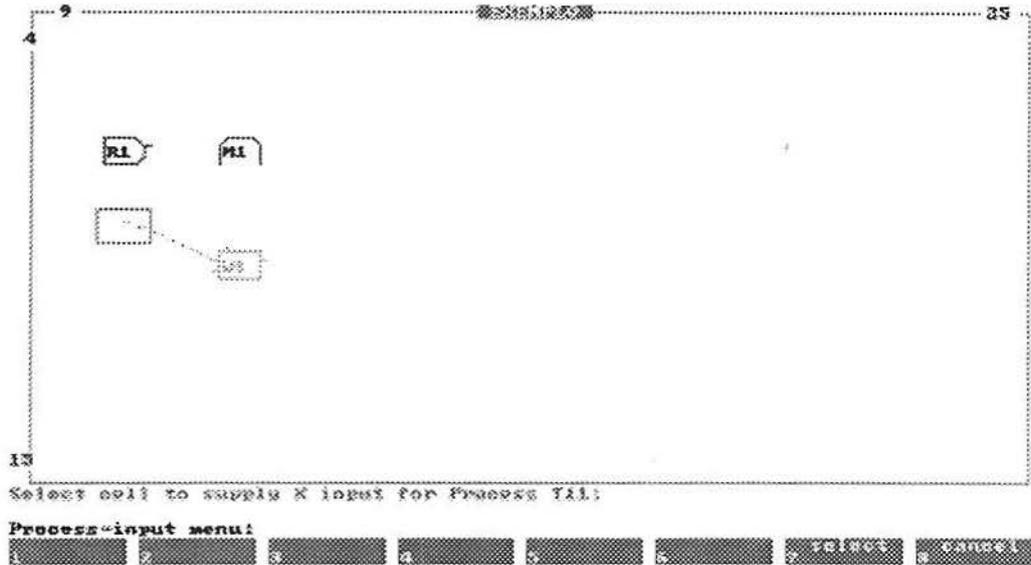
Pressionar F8 (**back to process**) para retornar ao menu de Process-design.

Pressionar a tecla F5 (**input**) para definir o alimentador da célula W1.



Pressionar a tecla F5 (**X-input**)

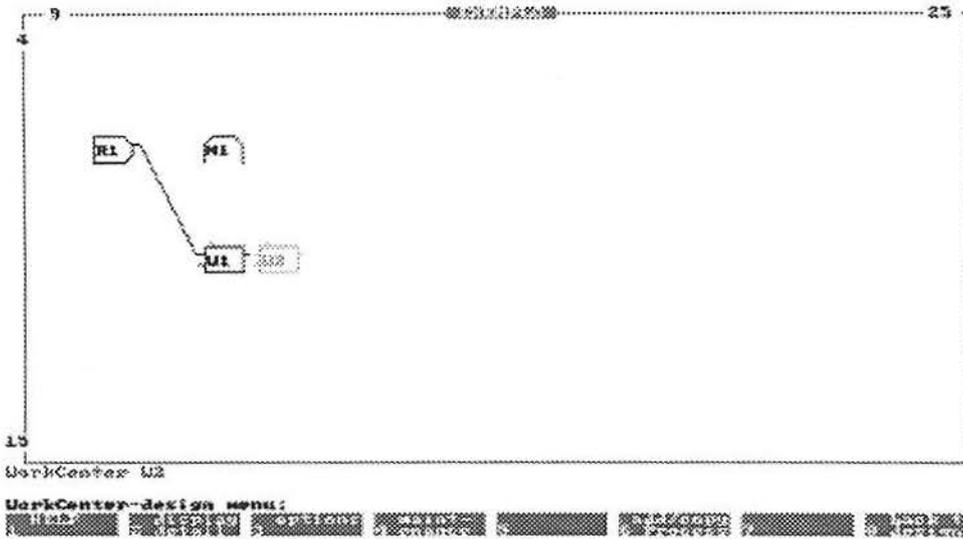
Aparece um cursor na tela, similar ao da manutenção, ligado à célula W1. A alimentação de W1 se processa através de R1, portanto, colocar o cursor sobre R1 e pressionar F7 (**select**). Define-se dessa forma a admissão de material em W1 através de R1.



Pressionar tres vezes F8 para retornar ao menu de design.
 Com a seta, posicionar a célula que será definida por W2.

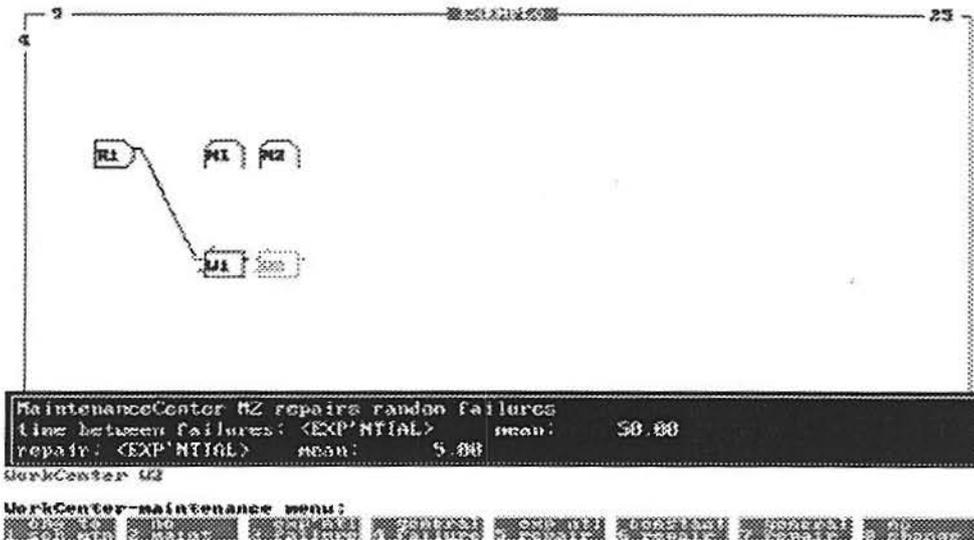


Onde se repete os procedimentos de design de W1 , para W2.
 Pressionar F1 (add WkCtr)



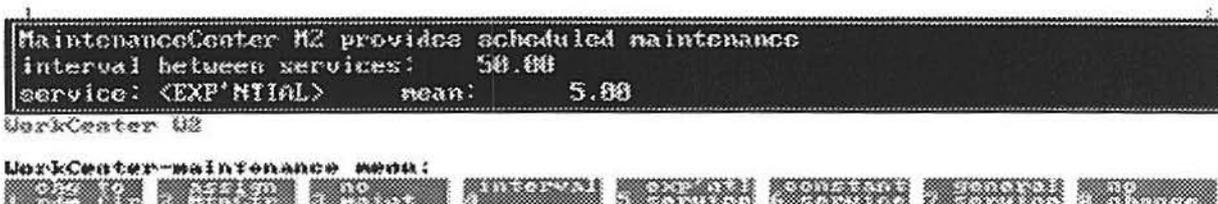
Pressionar F4(maintenance), F2(assign MtnCr) e F7(select). Aparece a tela abaixo

No que se refere à política de manutenção e o processo, W2 será definido da seguinte forma:



Após definir a célula de manutenção para W2, da mesma forma que para W1; definir seus parâmetros .

Pressionar F1 (chg to sch mtn)



Pressionar F4 (interval)

Aparece a mensagem

"Enter constant time-between-services:" Digitar 7.92 <ENTER>

```
MaintenanceCenter M2 provides scheduled maintenance
interval between services: 50.00
service: <EXP'NTIAL> mean: 5.00
WorkCenter M2
Enter constant time-between-services:7.92
WorkCenter-maintenance menu:
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 0. Cancel
```

Após entrar com o valor , retornar ao menu

Pressionar F5 (exp'ntl service)

```
MaintenanceCenter M2 provides scheduled maintenance
interval between services: 7.92
service: <EXP'NTIAL> mean: 5.00
WorkCenter M2
Enter mean of exponential dist'n of service-times:0.5
WorkCenter-maintenance menu:
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 0. Cancel
```

Aparece a mensagem

"Enter mean of exponential dist'n of service-times:" Digitar 0.5 <ENTER>

Pressionar F8 para retornar.

Pressionar F6 (add/copy Process)

Aparece a mensagem na tela:

"Enter process name : " definir como T12 <ENTER> aparece o seguinte menu :

```
Process-design menu:
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 0. Cancel
```

Pressionar F4 (proces'g time) para definir tempo de processo

Pressionar F4 (chg to CONSTNT) novamente para definir tempo de processo como constante, caso necessário.

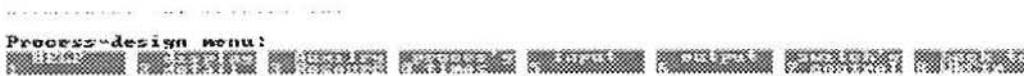
```
processing-times: <CONSTANT>
each unit takes: 1.00
group: 1 major-setup: 10.00 minor-setup: 5.00
WorkCenter M2; Process T12
Processing-times menu:
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 0. Cancel
```

Pressionar F6 (change time)

Aparece a mensagem "Enter CONSTANT processing time:" Digitar 0 (zero)

```
processing-times: <CONSTANT>
each unit takes: 1.00
group: 1 major-setup: 10.00 minor-setup: 5.00
WorkCenter M2; Process T12
Enter CONSTANT processing time:0
Processing-times menu:
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 0. Cancel
```

Pressionar F8 para retornar ao menu



Pressionar F5 (**input**) seguido de F5 (**X-input**) para definir a entrada em W2 a partir de W1.

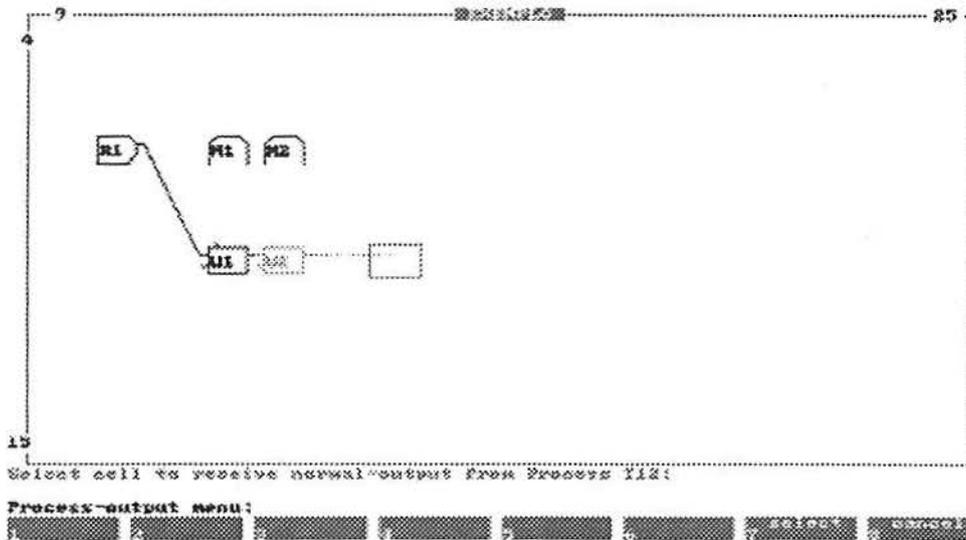


Posicionar o cursor sobre W1 e pressionar F7 (**Select**), seguido de F8 (**back to process**)
Pressionar F6 (**output**) para definir a saída de W2.

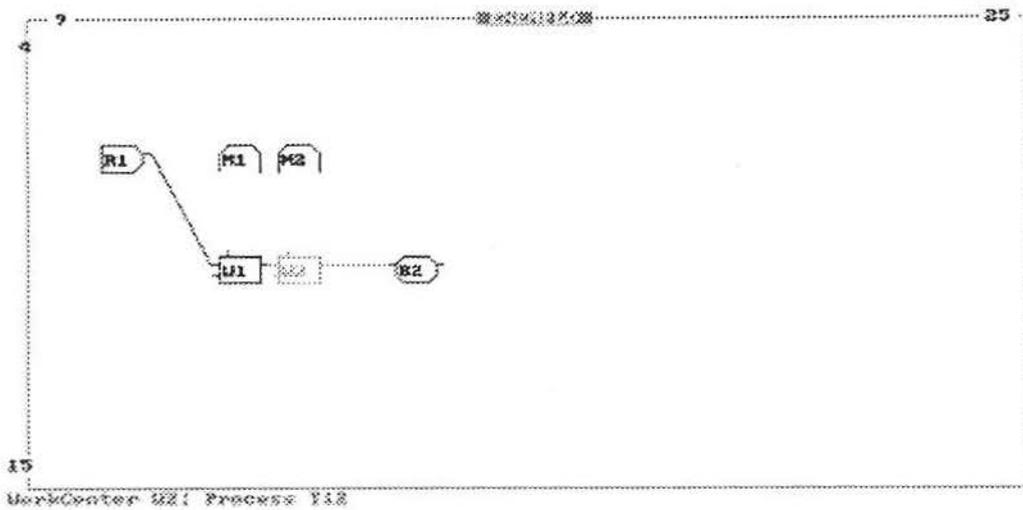


Pressionar F6 (**normal-output**) para definir apenas uma saída.

Aparece o cursor para posicionar no lugar que se deseja localizar o Buffer.



Pressionar F7 (Select) . Imediatamente o buffer aparece no lugar do cursor.



Process-output menu:

1:100	2:100	3:100	4:100	5:100	6:100	7:100	8:100
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Pressionar tres vezes F8 até retornar ao Design-menu.
 Posicionar o cursor sobre o Buffer (B1). Aparece o seguinte menu:

Design menu:

1:100	2:100	3:100	4:100	5:100	6:100	7:100	8:100
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Pressionar duas vezes F3 (Chg all Buffers). Aparece a tela:

Buffers:			
	capacity	order	min-31000
001	10	UNORDERED	0.00
002	10	UNORDERED	0.00

Select value to change (using arrow-keys):

Tabular-change menu:

1:100	2:100	3:100	4:100	5:100	6:100	7:100	8:100
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Pressionar F7 (**Change one**)

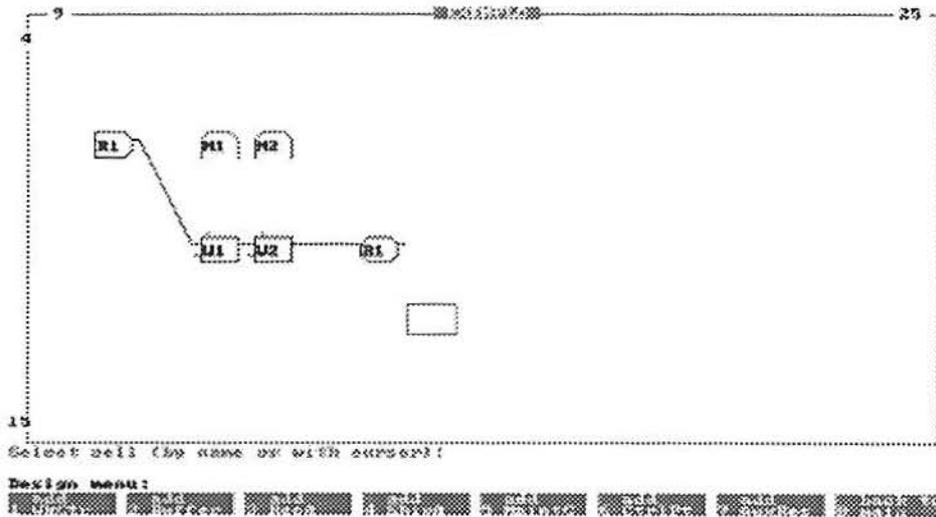
Aparece a mensagem:

"Enter units of storage capacity:" entrar com o valor 6 <ENTER>.

Pressionar F8 para retornar ao Design-Menu

Da mesma forma que nos procedimentos anteriores definir os restantes componentes do sistema:

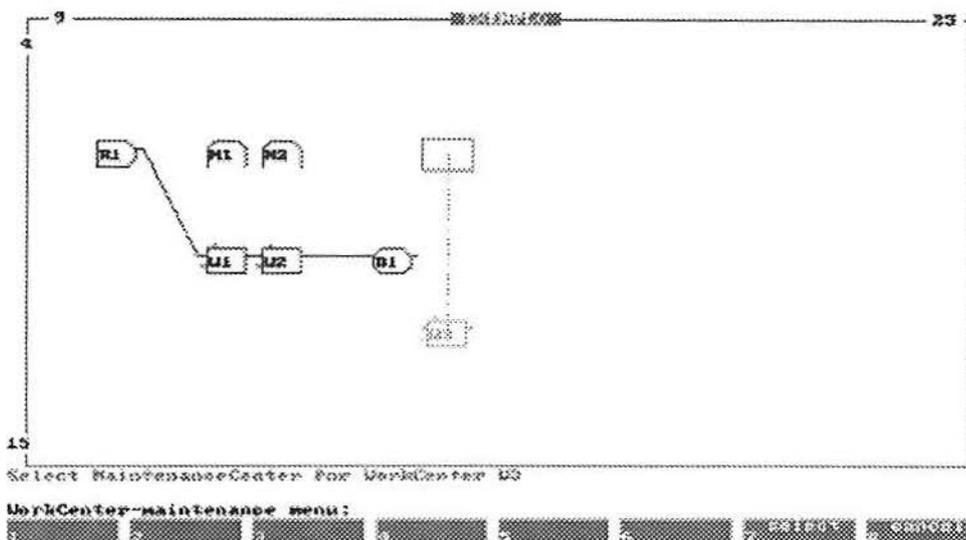
W3 e W4 são componentes da máquina gargalo portanto a política de manutenção é diferente:

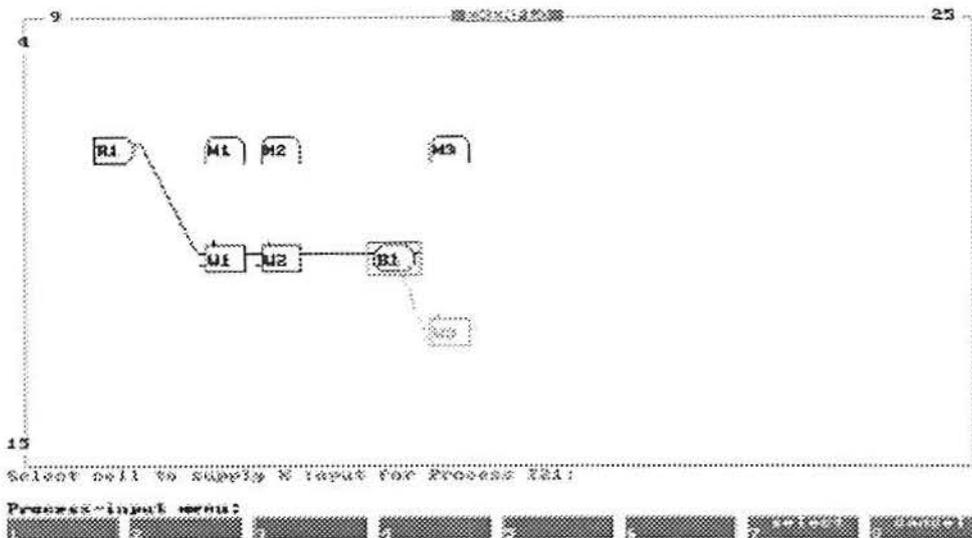


Pressionar F1 (**add WkCtr**)

Pressionar F4 (**maintenance**), para definir a manutenção dessa célula.

Pressionar F2 (**assign MtnCtr**)





Pressionar F7 para definir a admissão a partir de B1.

Aparece a mensagem :

"From which stock in Buffer B1:" Definir como T12 (Processo associado a W2) <ENTER>

Pressionar três vezes F8 até retornar ao design-menu.

Repetir os passos de design para localização da célula W4 e Manutenção M4:

Pressionar F1 (**add WkCtr**) , para localizar o Workcenter

Pressionar F4 (**maintenance**), para definir a manutenção dessa célula.

Pressionar F2 (**assign MtnCtr**) , Pressionar F7(**Select**)

No menu de manutenção: relacionado a W4:

Pressionar F1 (**chg to sch mtn**)



Pressionar F4 (**interval**)

Aparece a mensagem:

"Enter constant time-between-services:" definir como 6.5 <ENTER>

Pressionar F5 (**exp'ntl repair**)

Aparece a mensagem:

"Enter mean of exponential dist'n of service-times:" definir como 0.05 <ENTER>

Pressionar F8 para retornar ao menu do Workcenter



Pressionar F6 (**add/copy Process**) para definir o processo associado à W4.



Aparece a mensagem :

"**Enter Process-name:**" definir como T22 <ENTER>

Aparece o seguinte menu:



Pressionar F4 (**proces'g time**) para definir tempo de processo.

Pressionar F4 (**Chg to Constnt**), se for o caso.

Pressionar a tecla F6 para alterar a média (**change time**)

Aparece a mensagem:

"**Enter CONSTANT processing time :**" entrar com o valor 0 <ENTER>.

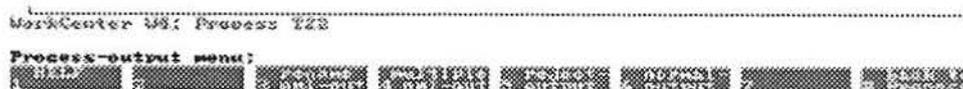
Pressionar F8 para retornar ao menu de Process-design.

Pressionar a tecla F5 (**input**) para definir a entrada da célula W4 a partir de célula W3.

Pressionar a tecla F5 (**X-input**) : Aparece o cursor que será colocado sobre a célula W4

Pressionar F7 (**Select**), F8 (**back to process**)

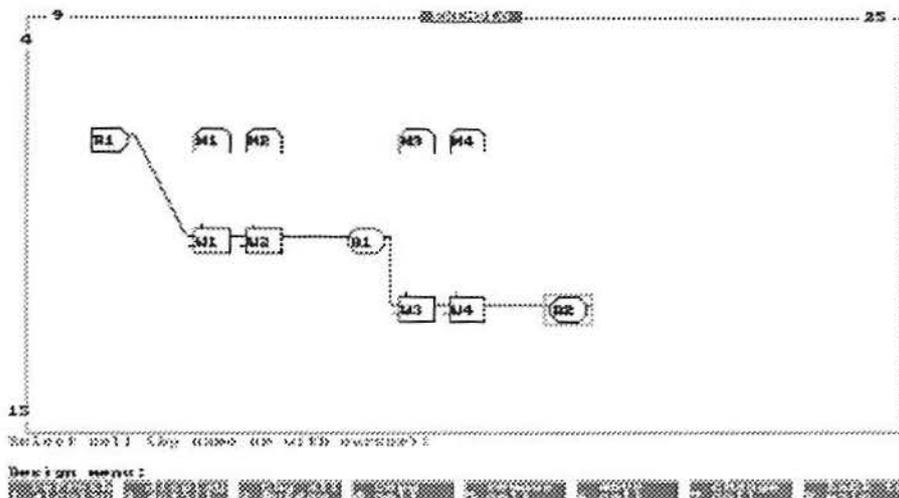
Pressionar a tecla F6 (**output**) para definir a saída da célula W4.



Pressionar a tecla F6 (**normal output**) : Aparece o cursor que será colocado sobre a posição do Buffer.

Pressionar F7 (**Select**) : Aparece o Buffer.

Pressionar três vezes F8, e posicionar o cursor sobre o Buffer



Pressionar F3 (**Chg all Buffers**), duas vezes.

Pressionar F7 (**Change one**)

Aparece na tela as capacidades dos Buffers (1 e 2) para serem informadas.

"**Enter units of storage capacity:**" entrar com o valor 6 <ENTER>. Para o B2 (B1 já deve estar com valor 6.

O Design das células W5 e W6 seguem os mesmos passos executados para W1 e W2.

Pressionar F1 ("add WkCtr).

Pressionar F4 (**maintenance**), para definir a manutenção dessa célula.

Pressionar F2 (**assign MtnCtr**), mover o cursor para o lugar da célula de manutenção.

Pressionar F7 (**Select**), para localizar a célula.

Pressionar F3 (**exp'ntl failure**)

Aparece a mensagem:

"**Enter exponential mean-time-between-failures:**" digitar 55.72 <ENTER>.

Pressionar F5 (**exp'ntl repair**) para definir tempo de manutenção corretiva.

Aparece a mensagem:

"**Enter mean of exponential repair-times:**" digitar 1. 5 <ENTER>.

Pressionar F8 (**no change**)

Pressionar a tecla F6 (**add/copy Process**)

Aparece a mensagem na tela:

"**Enter process name :**" definir como T31 <ENTER>

Pressionar F4 (**proces'g time**)

Pressionar F2 (**Chg to Exp'ntl**)

Pressionar a tecla F6 (**change mean**) para alterar a média

Aparece a mensagem:

"**Enter MEAN of exponential dist'n :**" entrar com o valor 0.025 <ENTER>.

Pressionar F8 (**back to process**) para retornar ao menu de Process-design.

Pressionar a tecla F5 (**input**) para definirmos o alimentador da célula W5.

Pressionar a tecla F5 (**X-input**)

Aparece um cursor na tela, posicionar o cursor sobre o Buffer 2 e pressionar F7 (**select**).

Pressionar tres vezes F8 até para retornar ao menu de design.

Com o cursor, posicionar a célula que será definida por W6.

Pressionar F1 (**add WkCtr**)

Pressionar F4(**maintenance**), F2(**assign MtnCr**) , posicionar o cursor e pressionar F7(**select**).

Pressionar F1 (**chg to sch mtn**)

Pressionar F4 (**interval**)

Aparece a mensagem

"**Enter constant time-between-services:**" Digitar 7.92 <ENTER>

Pressionar F5 (**exp'ntl service**)

Aparece a mensagem

"**Enter mean of exponential dist'n of service-times:**" Digitar 0.5 <ENTER>

Pressionar F8 para retornar.

Pressionar F6 (add/copy Process)

Aparece a mensagem na tela:

"Enter process name : " definir como T32 <ENTER>

Pressionar F4 (proces'g time)

Pressionar F4 (chg to CONSTNT), caso necessário.

Pressionar F6 (change time)

Aparece a mensagem

"Enter CONSTANT processing time:" Digitar 0 (zero)

Pressionar F8 para retornar ao menu

Pressionar F5 (input) seguido de F5 (X-input) para definir a entrada em W6 a partir de W5.

Posicionar o cursor sobre W5 e pressionar F7 (Select) , seguido de F8 (back to process)

Pressionar duas vezes F8, para retornar ao Design-menu

O cursor aparece. Movimentar o cursor até o ponto onde será localizada a saída.

Posicionar o cursor e pressionar F4 (Add ShipA)

Pressionar F8

Localizar o cursor sobre W6 e Pressionar F7 (Change Cell)

Pressionar F7 (Change process)

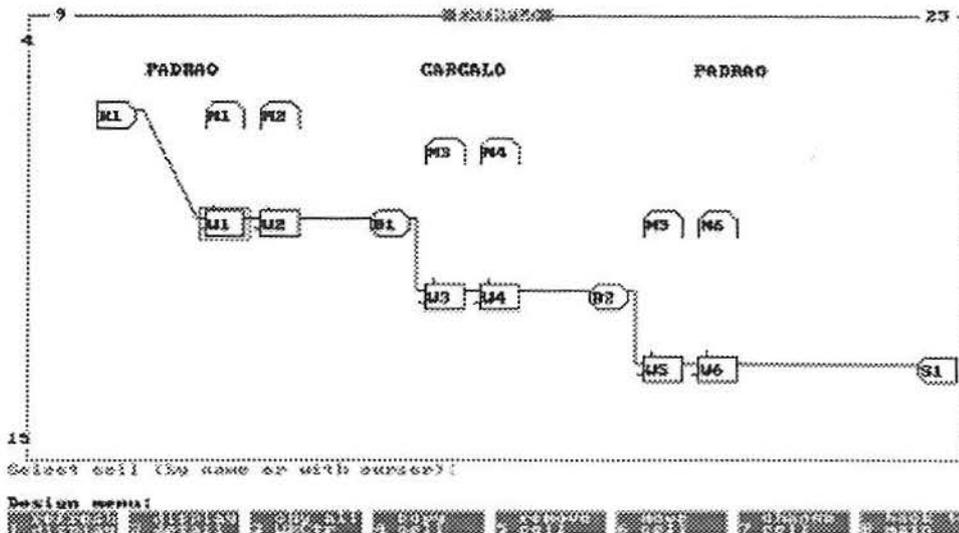
Pressionar F6 (output) para definir a saída de W6.

Pressionar F6 (normal-output) para definir apenas uma saída.

Localizar o cursor sobre a saída (S1) e Pressionar F7(Select)

Pressionar duas vezes F8.

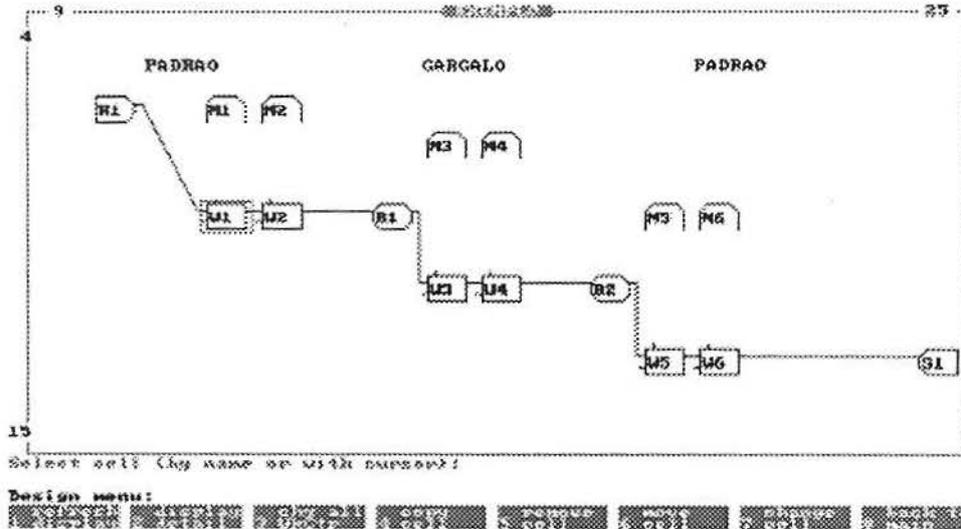
O modelo terá a seguinte estrutura:



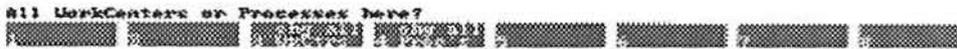
4.2. ALTERAÇÃO NOS DADOS

Para realizar as modificações na política de manutenção, necessárias para os diferentes ensaios, é necessário alterar os dados para as simulações. Para exemplificar o procedimento de efetuar as modificações será utilizado o ensaio de nº 16 da Tabela 2

Retornar ao menu de design e posicionar o cursor sobre qualquer célula.



Pressionar F3 (Chg all WkCtr)



Pressionar F3 (chg all WkCtrs) para proceder as modificações na *política de manutenção*.

WorkCenters:						
Id	MinCtr	Fail mode	WkCtr	Exp. mode	WkCtr	Is manual?
W1	W1	EXP'NTIAL	55.68	EXP'NTIAL	1.38	NO
W2	W2	EXP'NTIAL	55.72	EXP'NTIAL	1.38	NO
W3	W3	CONSTANT	7.92	EXP'NTIAL	8.58	NO
W4	W4	EXP'NTIAL	64.98	EXP'NTIAL	1.38	NO
W5	W5	CONSTANT	6.58	EXP'NTIAL	8.58	NO
W6	W6	EXP'NTIAL	55.72	EXP'NTIAL	1.38	NO
W7	W7	CONSTANT	7.92	EXP'NTIAL	8.58	NO

Select value to change (using arrow-keys):

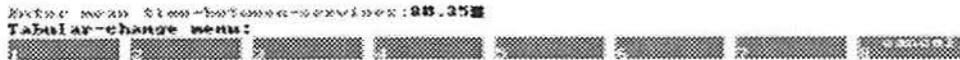
Tabular-change menu:

Posicionar o cursor sobre o valor a alterar, 55.72 de W1, no caso.

Pressionar F7 (Change one)

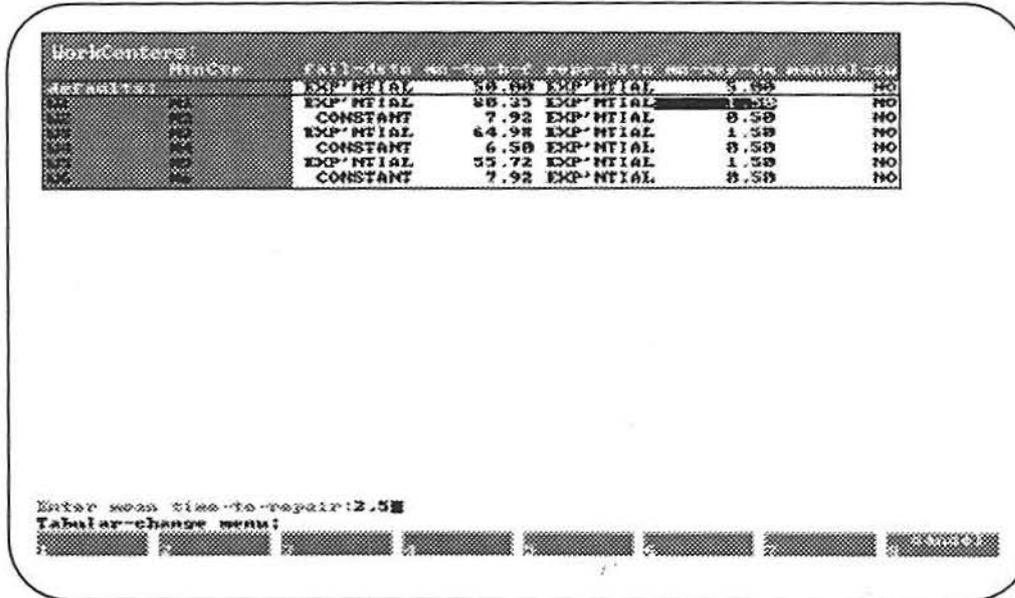
Aparece a mensagem:

"Enter mean time-between-services:" Digitar 80.35 <ENTER>



Posicionar o cursor sobre o valor 1.5 de W1.

Pressionar F7 (Change one)



Aparece a mensagem:

"Enter mean time-to-repair: " Digitar o valor correspondente 2.5 <ENTER> (Ensaio 16)

Proceder da mesma forma para todos os outros Work Center's:

Para W2:

"Enter mean time-between-services:" Digitar 7.92 <ENTER>

Para W3:

"Enter mean time-between-services:" Digitar 47.87 <ENTER>

"Enter mean time-to-repair: " Digitar 2.5 <ENTER>

Para W4:

"Enter mean time-between-services:" Digitar 9.56 <ENTER>

Para W5:

"Enter mean time-between-services:" Digitar 80.35 <ENTER>

"Enter mean time-to-repair: " Digitar 2.5 <ENTER>

Para W6:

"Enter mean time-between-services:" Digitar 5.26 <ENTER>

As células W2, W4 e W6 só devem ser modificadas no que se refere aos Dias de Manutenção Corretiva , pois em relação ao Tempo de manutenção Corretiva é obedecida a definida para W1, W3 e W5.

Alterar o Processo

Retornar ao menu de Work Center Design.

Posicionar o cursor sobre a célula W1

Pressionar F3 (Chg all WkCtr)

Aparece o menu:

```
all WorkCenters or Processes here?
████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████
```

Pressionar F3 (chg all Proc's)

```
Processes at WorkCenter 01
Process      Mean      Std      Dist
Default:    5.000000  1.000000  1.000000
001         0.025000  0.025000  1.000000
002         0.025000  0.025000  1.000000
003         0.025000  0.025000  1.000000
004         0.025000  0.025000  1.000000
005         0.025000  0.025000  1.000000
006         0.025000  0.025000  1.000000
007         0.025000  0.025000  1.000000
008         0.025000  0.025000  1.000000
009         0.025000  0.025000  1.000000
010         0.025000  0.025000  1.000000
011         0.025000  0.025000  1.000000
012         0.025000  0.025000  1.000000
013         0.025000  0.025000  1.000000
014         0.025000  0.025000  1.000000
015         0.025000  0.025000  1.000000
016         0.025000  0.025000  1.000000
017         0.025000  0.025000  1.000000
018         0.025000  0.025000  1.000000
019         0.025000  0.025000  1.000000
020         0.025000  0.025000  1.000000
021         0.025000  0.025000  1.000000
022         0.025000  0.025000  1.000000
023         0.025000  0.025000  1.000000
024         0.025000  0.025000  1.000000
025         0.025000  0.025000  1.000000
026         0.025000  0.025000  1.000000
027         0.025000  0.025000  1.000000
028         0.025000  0.025000  1.000000
029         0.025000  0.025000  1.000000
030         0.025000  0.025000  1.000000
031         0.025000  0.025000  1.000000
032         0.025000  0.025000  1.000000
033         0.025000  0.025000  1.000000
034         0.025000  0.025000  1.000000
035         0.025000  0.025000  1.000000
036         0.025000  0.025000  1.000000
037         0.025000  0.025000  1.000000
038         0.025000  0.025000  1.000000
039         0.025000  0.025000  1.000000
040         0.025000  0.025000  1.000000
041         0.025000  0.025000  1.000000
042         0.025000  0.025000  1.000000
043         0.025000  0.025000  1.000000
044         0.025000  0.025000  1.000000
045         0.025000  0.025000  1.000000
046         0.025000  0.025000  1.000000
047         0.025000  0.025000  1.000000
048         0.025000  0.025000  1.000000
049         0.025000  0.025000  1.000000
050         0.025000  0.025000  1.000000
051         0.025000  0.025000  1.000000
052         0.025000  0.025000  1.000000
053         0.025000  0.025000  1.000000
054         0.025000  0.025000  1.000000
055         0.025000  0.025000  1.000000
056         0.025000  0.025000  1.000000
057         0.025000  0.025000  1.000000
058         0.025000  0.025000  1.000000
059         0.025000  0.025000  1.000000
060         0.025000  0.025000  1.000000
061         0.025000  0.025000  1.000000
062         0.025000  0.025000  1.000000
063         0.025000  0.025000  1.000000
064         0.025000  0.025000  1.000000
065         0.025000  0.025000  1.000000
066         0.025000  0.025000  1.000000
067         0.025000  0.025000  1.000000
068         0.025000  0.025000  1.000000
069         0.025000  0.025000  1.000000
070         0.025000  0.025000  1.000000
071         0.025000  0.025000  1.000000
072         0.025000  0.025000  1.000000
073         0.025000  0.025000  1.000000
074         0.025000  0.025000  1.000000
075         0.025000  0.025000  1.000000
076         0.025000  0.025000  1.000000
077         0.025000  0.025000  1.000000
078         0.025000  0.025000  1.000000
079         0.025000  0.025000  1.000000
080         0.025000  0.025000  1.000000
081         0.025000  0.025000  1.000000
082         0.025000  0.025000  1.000000
083         0.025000  0.025000  1.000000
084         0.025000  0.025000  1.000000
085         0.025000  0.025000  1.000000
086         0.025000  0.025000  1.000000
087         0.025000  0.025000  1.000000
088         0.025000  0.025000  1.000000
089         0.025000  0.025000  1.000000
090         0.025000  0.025000  1.000000
091         0.025000  0.025000  1.000000
092         0.025000  0.025000  1.000000
093         0.025000  0.025000  1.000000
094         0.025000  0.025000  1.000000
095         0.025000  0.025000  1.000000
096         0.025000  0.025000  1.000000
097         0.025000  0.025000  1.000000
098         0.025000  0.025000  1.000000
099         0.025000  0.025000  1.000000
100         0.025000  0.025000  1.000000
Select value to change (using arrow-keys):
Tabular-change menu:
████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████
```

Aparece o menu do processo associado à célula W1.

Posicionar o cursor sobre o valor a modificar; 0.025 no caso.

Pressionar F7 (Change one)

Aparece a mensagem:

"Enter MEAN of exponential dist'n:" Digitar 0.035 <ENTER> , para o Ensaio 16

Alterando assim o Tempo de Processo da máquina padrão.

```
Enter MEAN of exponential dist'n: 0.035
Tabular-change menu:
████████████████████████████████████████████████████████████████████████████████
```

Retornar ao menu de design.

Posicionar o cursor sobre a célula W5

Processos at WorkCenter 05				
Operacao	CONSTANT	1.00	10.00	5.00
T31	EMP'NTIAL	37679	10.00	5.00

Pressionar F3 (Chg all WkCtr)

Pressionar F3 (chg all Proc's)

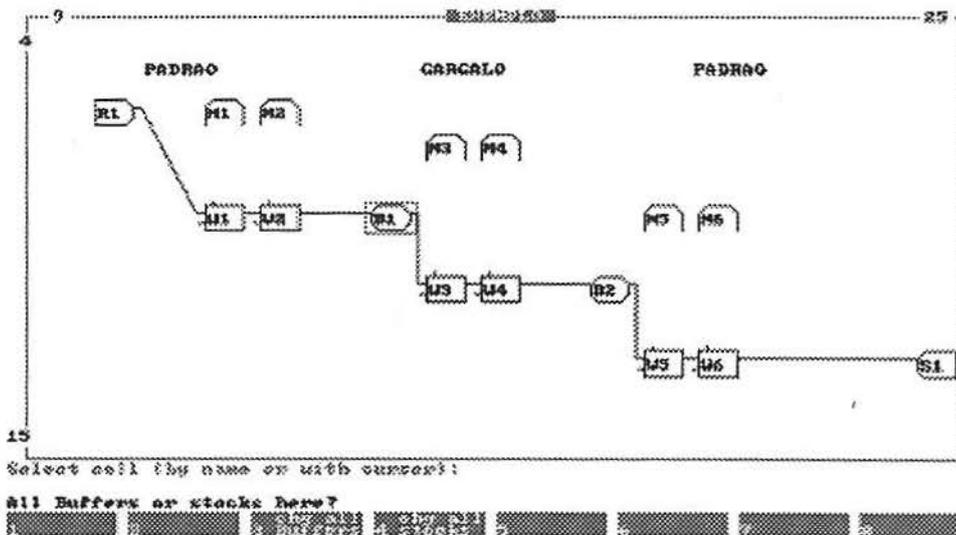
Repetir os procedimentos acima para W5:

Alterar Capacidades dos Buffer

Retornar ao menu de design:

Posicionar o cursor sobre um Buffer:

Pressionar F3 (Chg all Buffer)



Pressionar F3 (Chg all Buffers)

Aparece os Buffer 1 e 2 com suas capacidades:

Buffer:	capacity	order	min	max
B1	6	UNORDERED	0.000	0.000
B2	6	UNORDERED	0.000	0.000

Enter units of storage capacity: 10

Tabular-change menu:

Posicionar o cursor sobre os valores e pressionar F7.

Aparece a mensagem :

"Enter units of storage capacity:" Digitar 10 <ENTER>, para o Ensaio 16.

Repetir o procedimento para o Buffer 2.

Estão completas as modificações necessárias

4.3. A PARTIDA NA SIMULAÇÃO

Retornar ao menu de Design:

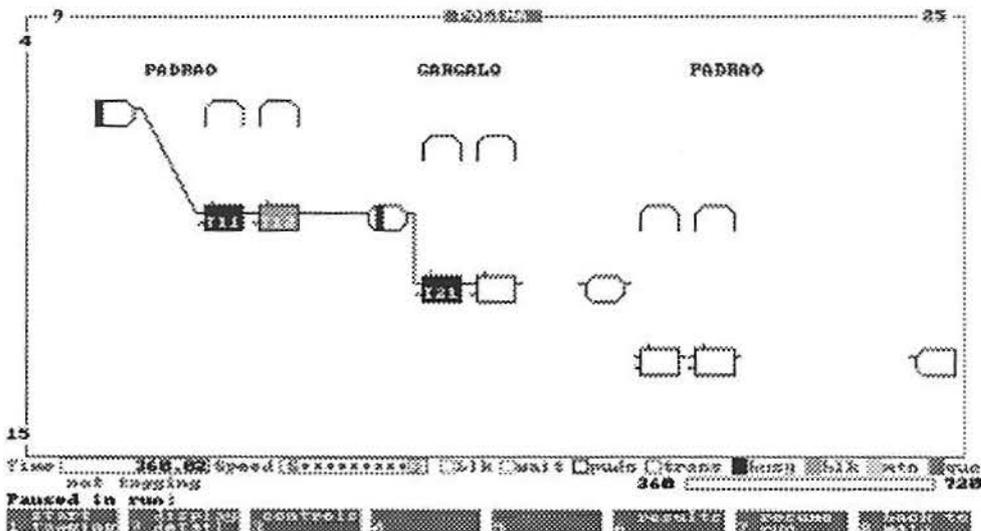


Pressionar F8(back to main) para retornar ao menu Principal:



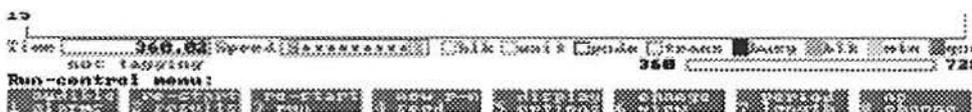
Pressionar F7 (run)

Aparece a tela:

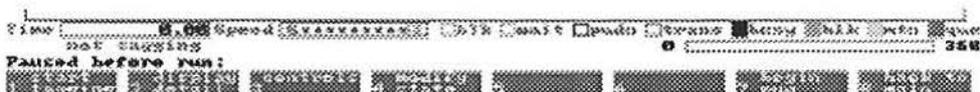


No canto inferior direito aparece uma barra com os valores em que se encontram a simulação: Na tela 360 - 720. Para iniciarmos devemos primeiramente zerar a simulação:

Pressionar F3 (controls)

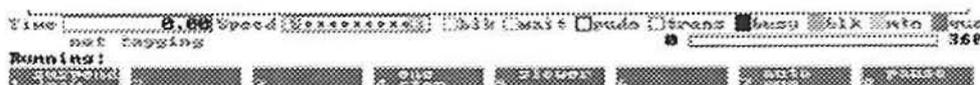


Pressionar F3(re-start run)



Podemos perceber que os valores agora foram para 0 - 360 o que significa que será a primeira repetição de nossa simulação.

Pressionar F7 (begin run)



Pressionar F7 (auto run) Iniciando assim a simulação e cada repetição (sem zerar).

5. ANÁLISE

Ajustou-se o modelo proposto para os 25 ensaios, obtendo-se os testes para regressão e de ajuste significativos, o que indicaria um modelo adequado. No entanto, analisando os coeficientes, constatou-se que apenas os coeficientes β_2 , β_3 , β_4 correspondentes aos efeitos dos fatores B, C e D, respectivamente, apresentaram significância estatística, conforme pode ser observado no Anexo 2, ou seja, não foram detectados efeitos quadráticos e de interação linear. Desta forma, além da Política de Manutenção (Fator A) não ter se mostrado importante na estimativa da Produção, também não se verificou qualquer tipo de interação entre os fatores.

Na tentativa de detectar os efeitos quadráticos e de interação, expandiu-se intervalo de investigação, incorporando 6 novos ensaios repetidos três vezes. A matriz do delineamento com os respectivos valores utilizados no software XCELL+ estão na Tab.3 e os dados da Produção, no Anexo 1.

No modelo ajustado, verificou-se testes para regressão e ajuste significativos, mas novamente se constatou que o Fator A não foi estatisticamente significativo, como pode ser observado na listagem do Anexo 2. Também se verificou que somente β_2 e β_3 , apresentaram significância estatística. Como o efeito quadrático dos fatores B (Tempo de Processo da Máquina Padrão) e D (Tamanho do Buffer) tiveram razoável significância estatística e tem grande importância do ponto de vista prático, decidiu-se trabalhar com o modelo:

$$Y=6026,8 - 101,21 X_2 - 73,23 X_3 + 90,94 X_4 - 19,53 X_2^2 - 19,53 X_4^2$$

O Tempo de Processo da Máquina Padrão (Fator B) é o fator que tem maior influência na Produção, uma vez que apresenta os mais altos coeficientes. Devido ao sinal negativo do coeficiente linear, esse fator contribui no sentido de diminuir a produção à medida em que os níveis aumentam, tendendo a estabilizar para valores próximos do nível -2. O ponto que maximiza a função é -2,5 correspondente a 0,015 dias, situação em que o tempo de processo da máquina padrão é 30% do tempo de processo da máquina gargalo. Para níveis mais elevados, a produção independe do tempo da máquina padrão e depende apenas do tempo da máquina gargalo.

TAB. 3. MATRIZ DO DELINEAMENTO

A					B		C			D
POLÍTICA DE MANUTENÇÃO										
PADRÃO		GARGALO			TEMPO DE PROC.		TEMPO DE MAN.		TAMANHO DO	
	DIAS MAN. CORR.	DIAS MAN. PREV.	DIAS MAN. CORR.	DIAS MAN. PREV.	MAQ. PADRÃO		CORRETIVA		BUFFER	
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	-1	0.025	-1	1.5	-1	6
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	-1	0.025	-1	1.5	1	10
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	-1	0.025	1	2.5	-1	6
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	-1	0.025	1	2.5	1	10
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	1	0.035	-1	1.5	-1	6
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	1	0.035	-1	1.5	1	10
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	1	0.035	1	2.5	-1	6
-1	55.72	7.92	64.98	6.5	1	0.035	1	2.5	1	10
1	80.35	5.26	47.87	9.56	-1	0.025	-1	1.5	-1	6
1	80.35	5.26	47.87	9.56	-1	0.025	-1	1.5	1	10
1	80.35	5.26	47.87	9.56	-1	0.025	1	2.5	-1	6
1	80.35	5.26	47.87	9.56	-1	0.025	1	2.5	1	10
1	80.35	5.26	47.87	9.56	1	0.035	-1	1.5	-1	6
1	80.35	5.26	47.87	9.56	1	0.035	-1	1.5	1	10
1	80.35	5.26	47.87	9.56	1	0.035	1	2.5	-1	6
1	80.35	5.26	47.87	9.56	1	0.035	1	2.5	1	10
-2	44.06	10.68	93.99	4.7	0	0.03	0	2	0	8
2	96.51	4.62	43.53	10.86	0	0.03	0	2	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	-2	0.02	0	2	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	2	0.04	0	2	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	-2	1	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	2	3	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	0	2	-2	4
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	0	2	2	12
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	0	2	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	0	2	-3	2
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	0	2	3	14
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	-3	0.5	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	0	0.03	3	3.5	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	-3	0.015	0	2	0	8
0	67.04	6.3	54.29	8.14	3	0.045	0	2	0	8

A Fig.7 ilustra a Produção em relação ao Tempo de Processo da Máquina Padrão, fixadas as combinações de -2 e 2 para o Tempo de Manutenção Corretiva e o Tamanho do Buffer.

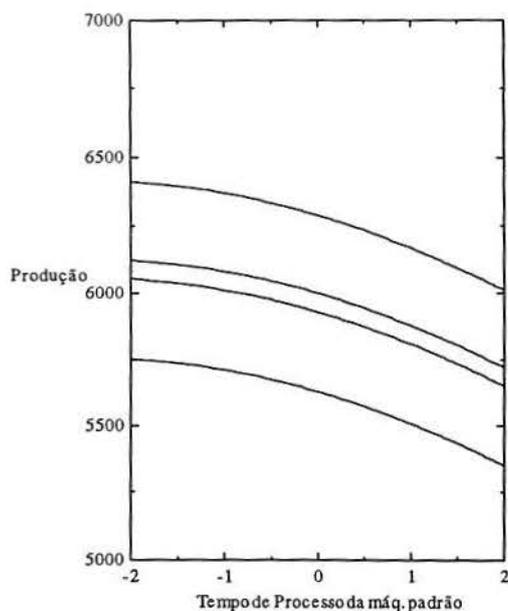


FIG. 7. Produção x Tempo de Processo da Máquina Padrão

O coeficiente do Tempo de Manutenção Corretiva (Fator C) indica que níveis baixos desse fator influem positivamente na Produção, ou seja, quanto mais próximos os tempos de reparo de manutenção preventiva e corretiva, melhor.

A Fig.8 apresenta a Produção versus Tempo de Manutenção Corretiva fixado os níveis $(-2,2)$, $(-2,-2)$, $(2,-2)$ e $(2,2)$ para Tempo de Processo da Máquina Padrão e Tamanho do Buffer, respectivamente.

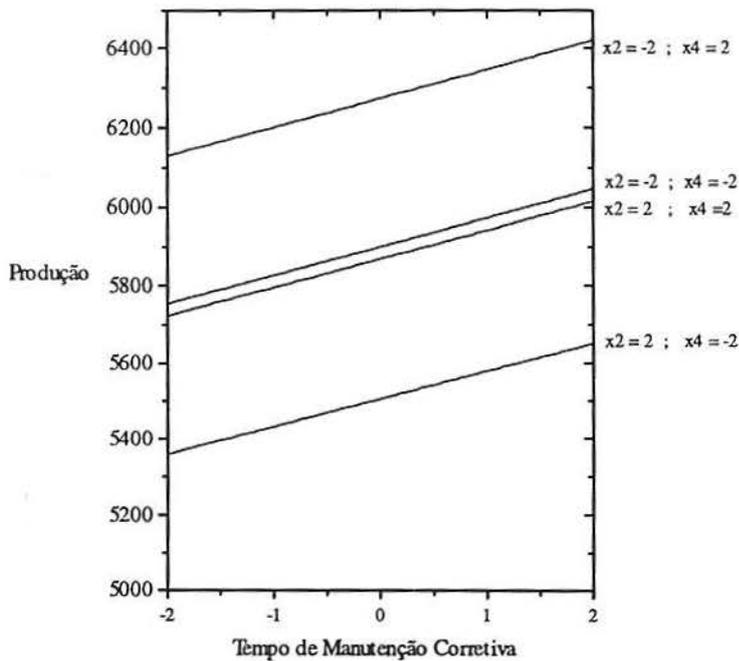


FIG. 8. Produção x Tempo de Manutenção Corretiva

Observa-se que o Tamanho do Buffer tem grande influência na Produção, no sentido de que quanto maior o Tamanho do Buffer, maior a Produção. No entanto, deve-se ter em mente que esse fator está intimamente relacionado com custo, não sendo, portanto, uma decisão inteligente, aumentá-lo indiscriminadamente. Além disso, derivando a função e igualando a zero, obtém-se ponto de máximo igual a 3, que corresponde a um tamanho de buffer igual a 14, sendo, portanto, esse o tamanho indicado.

A Fig.9 apresenta a Produção para diferentes Tamanhos de Buffer, considerando os níveis (-2,2), (-2,-2), (2,-2) e (2,2), onde o primeiro elemento do par corresponde ao Tempo de Processo da Máquina Padrão e o segundo elemento, o Tempo de Manutenção Corretiva. Observa-se que as curvas tendem a estabilizar à medida em que o tamanho de buffer se aproxima de 3.

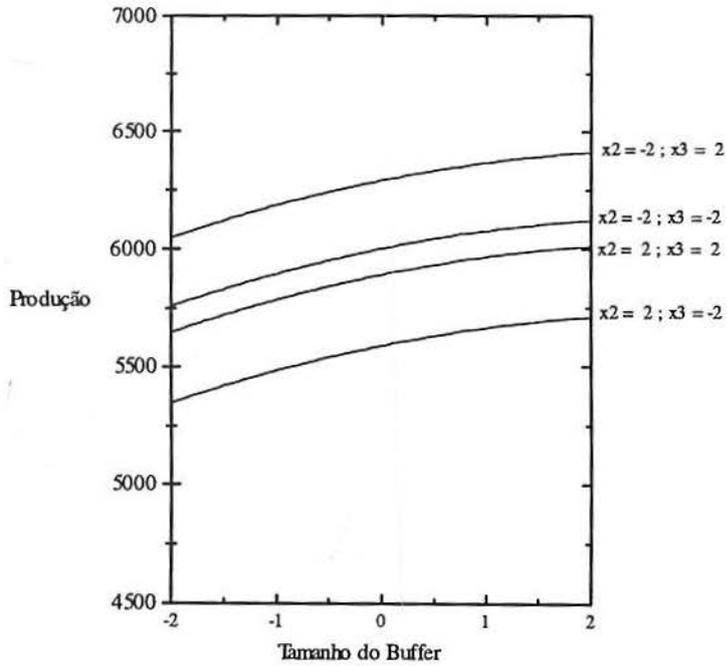


FIG. 9. Produção x Tamanho do Buffer

A superfície de resposta para a Produção anual levando em consideração o Tamanho do Buffer e o Tempo de Manutenção Corretiva, mantido fixo o Tempo de Processo da Máquina Padrão no nível 0, está na Fig.10. Pode-se observar claramente que à medida em que o Tamanho do Buffer aumenta, a Produção aumenta, para todos os níveis do Tempo de Manutenção Corretiva. Também se verifica que a Produção diminui à medida em que aumenta o Tempo de Manutenção Corretiva.

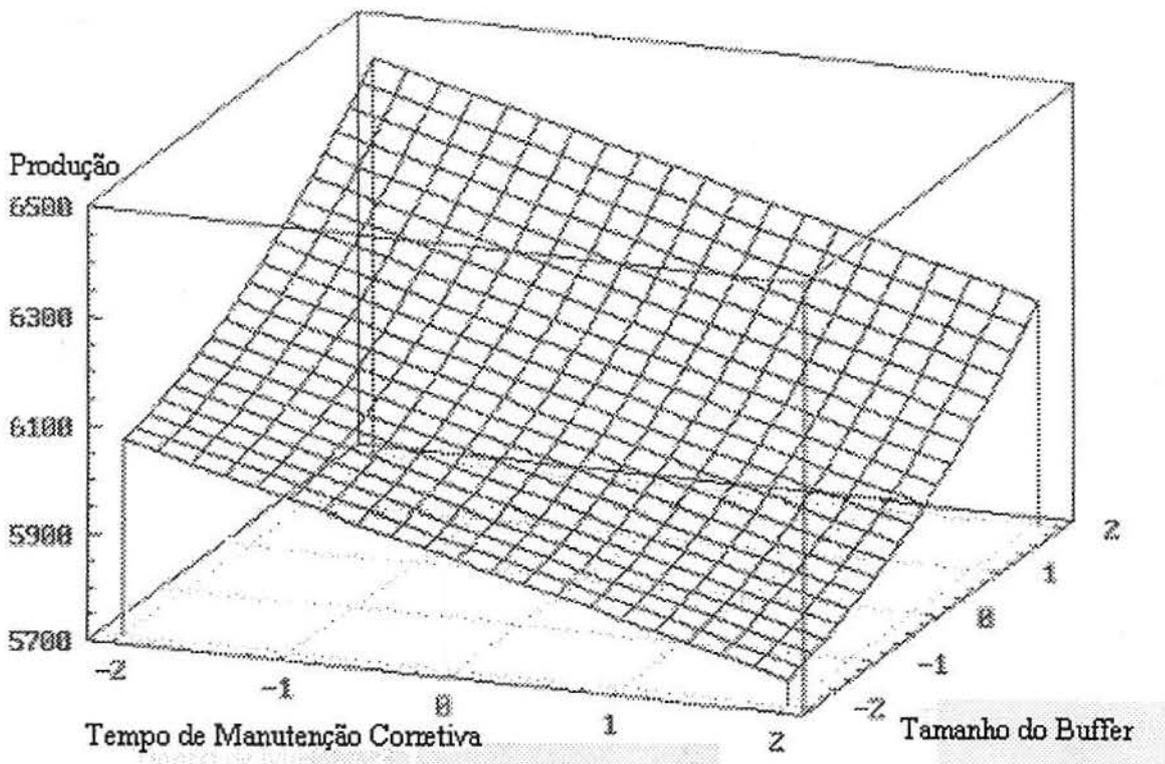


FIG. 10. Superfície de resposta para a produção anual em função do tamanho do Buffer e do Tempo de Manutenção Corretiva.

6. CONCLUSÕES.

Os esforços no sentido de direcionar as manutenções preventivas ora para a máquina gargalo, ora para as máquinas padrões não se mostraram eficientes no estudo da Produção. Isto é, a Política de Manutenção adotada não interfere significativamente na Produção.

O Tempo de Processo da Máquina Padrão deve ser ajustado de tal forma que seja em torno de 30% do tempo da máquina gargalo.

À medida em que aumenta o Tempo de Manutenção Corretiva, a produção cai linearmente. É aconselhável investir no sentido de harmonizar os tempos de reparo dos dois tipos de manutenção, desde que isto não implique em elevação de custos.

O Tamanho do Buffer tem grande influência relativamente à Produção: quanto maior a capacidade de armazenamento do buffer, maior a Produção. Isto é bastante lógico, uma vez que, numa situação extrema, nunca teríamos buffers lotados ou vazios, que são algumas das causas de máquina parada. O tamanho de buffer que maximiza a produção no modelo estudado é 14; valores acima de 14 teriam mínimo efeito sobre a produção.

Não se observou efeitos de interação entre os fatores estudados, indicando que o comportamento de cada Fator é o mesmo dentro de cada nível do outro. Isto é visualmente observável nas Fig.7, 8 e 9, onde se verifica o paralelismo entre as funções .

Esse trabalho investigou as relações entre os fatores selecionados. Pretende-se ampliar esse estudo testando novos modelos e realizando outras simulações .

A combinação de Planejamento de Experimentos e Simulação tem se mostrado instrumento de alta eficiência na análise de problemas principalmente na área industrial e de transportes, onde o estudo de vários fatores são envolvidos.

7. BIBLIOGRAFIA.

HONG, Y.; GLASSEY,C.R. AND SEONG,D. The analysis of a Production line with unreliable Machines and Random Processing Times. IIE Transactions, Vol.24, N° 1, 1992.

MONTGOMERY, D.C. Design and Analysis of Experiments . John Willey, 1984.

USER'S GUIDE TO XCELL+ Factory Modeling System, Release 4.0. The Scientific Press.

8. ANEXOS.

ANEXO 1

Resultados das simulações

Ensaio	PM	TP	TC	TB	Produção
1	-1	-1	-1	-1	5930
2	-1	-1	-1	-1	6292
3	-1	-1	-1	-1	6009
4	-1	-1	-1	1	6056
5	-1	-1	-1	1	6415
6	-1	-1	-1	1	6054
7	-1	-1	1	-1	5649
8	-1	-1	1	-1	6277
9	-1	-1	1	-1	5742
10	-1	-1	1	1	6175
11	-1	-1	1	1	6205
12	-1	-1	1	1	6039
13	-1	1	-1	-1	5770
14	-1	1	-1	-1	6048
15	-1	1	-1	-1	5816
16	-1	1	-1	1	5967
17	-1	1	-1	1	6245
18	-1	1	-1	1	5973
19	-1	1	1	-1	5488
20	-1	1	1	-1	5898
21	-1	1	1	-1	5648
22	-1	1	1	1	5688
23	-1	1	1	1	6165
24	-1	1	1	1	5682
25	1	-1	-1	-1	5955
26	1	-1	-1	-1	5969
27	1	-1	-1	-1	6352
28	1	-1	-1	1	6249
29	1	-1	-1	1	5999
30	1	-1	-1	1	6180
31	1	-1	1	-1	5739
32	1	-1	1	-1	5867
33	1	-1	1	-1	6241
34	1	-1	1	1	5881
35	1	-1	1	1	6052
36	1	-1	1	1	6452
37	1	1	-1	-1	5755
38	1	1	-1	-1	5901
39	1	1	-1	-1	6078
40	1	1	-1	1	5990
41	1	1	-1	1	6066
42	1	1	-1	1	6203
43	1	1	1	-1	5533
44	1	1	1	-1	5767
45	1	1	1	-1	5986
46	1	1	1	1	5779
47	1	1	1	1	5983
48	1	1	1	1	6209
49	-2	0	0	0	5798

Ensaio	PM	TP	TC	TB	Produção
50	-2	0	0	0	5944
51	-2	0	0	0	6048
52	2	0	0	0	5844
53	2	0	0	0	6010
54	2	0	0	0	6229
55	0	-2	0	0	5938
56	0	-2	0	0	6243
57	0	-2	0	0	6319
58	0	2	0	0	5575
59	0	2	0	0	5954
60	0	2	0	0	5685
61	0	0	-2	0	6077
62	0	0	-2	0	6214
63	0	0	-2	0	6257
64	0	0	2	0	5570
65	0	0	2	0	6142
66	0	0	2	0	5898
67	0	0	0	-2	5575
68	0	0	0	-2	6080
69	0	0	0	-2	5774
70	0	0	0	2	6018
71	0	0	0	2	6219
72	0	0	0	2	6199
73	0	0	0	0	5825
74	0	0	0	0	6171
75	0	0	0	0	5980
76	0	0	0	-3	5352
77	0	0	0	-3	5759
78	0	0	0	-3	5621
79	0	0	0	3	6056
80	0	0	0	3	6269
81	0	0	0	3	6223
82	0	0	-3	0	6177
83	0	0	-3	0	6252
84	0	0	-3	0	6408
85	0	0	3	0	5431
86	0	0	3	0	6263
87	0	0	3	0	5735
88	0	3	0	0	5942
89	0	3	0	0	6232
90	0	3	0	0	6370
91	0	-3	0	0	5372
92	0	-3	0	0	5742
93	0	-3	0	0	5417

ANEXO 2
Listagem do SAS
referente às 75 simulações

Coding Coefficients for the Independent Variables

Factor	Subtracted off	Divided by
X1	0	2.000000
X2	0	2.000000
X3	0	2.000000
X4	0	2.000000

Response Surface for Variable Y: PRODUCAO

Response Mean	5986.706667
Root MSE	188.973895
R-Square	0.4258
Coef. of Variation	3.1566

Regression	Degrees of Freedom	Type I Sum of Squares	R-Square	F-Ratio	Prob > F
Linear	4	1508350	0.4042	10.559	0.0000
Quadratic	4	17269	0.0046	0.121	0.9745
Crossproduct	6	63243	0.0169	0.295	0.9369
Total Regress	14	1588862	0.4258	3.178	0.0009

Residual	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
Lack of Fit	10	31119	3111.930556	0.0737	0.9999
Pure Error	50	2111549	42231		
Total Error	60	2142668	35711		

Parameter	Degrees of Freedom	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEPT	1	5992.000000	109.104129	54.920	0.0000
X1	1	21.402778	22.270787	0.961	0.3404
X2	1	-93.236111	22.270787	-4.186	0.0001
X3	1	-69.486111	22.270787	-3.120	0.0028
X4	1	83.486111	22.270787	3.749	0.0004
X1*X1	1	-2.607639	32.464972	-0.0803	0.9362
X2*X1	1	16.020833	27.276032	0.587	0.5592
X2*X2	1	-9.232639	32.464972	-0.284	0.7771
X3*X1	1	14.812500	27.276032	0.543	0.5891
X3*X2	1	-17.604167	27.276032	-0.645	0.5211
X3*X3	1	9.267361	32.464972	0.285	0.7763
X4*X1	1	-4.104167	27.276032	-0.150	0.8809
X4*X2	1	10.979167	27.276032	0.403	0.6887
X4*X3	1	19.854167	27.276032	0.728	0.4695
X4*X4	1	-2.940972	32.464972	-0.0906	0.9281

ANEXO 3
Listagem do SAS
referente às 93 simulações

Coding Coefficients for the Independent Variables

Factor	Subtracted off	Divided by
X1	0	2.000000
X2	0	3.000000
X3	0	3.000000
X4	0	3.000000

Response Surface for Variable Y: PRODUCAO

Response Mean	5974.451613
Root MSE	190.866552
R-Square	0.5380
Coef. of Variation	3.1947

Regression	Degrees of Freedom	Type I Sum of Squares	R-Square	F-Ratio	Prob > F
Linear	4	3041392	0.4945	20.871	0.0000
Quadratic	4	204131	0.0332	1.401	0.2415
Crossproduct	6	63243	0.0103	0.289	0.9404
Total Regress	14	3308766	0.5380	6.488	0.0000

Residual	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob > F
Lack of Fit	16	59977	3748.572637	0.0836	1.0000
Pure Error	62	2781566	44864		
Total Error	78	2841543	36430		

Parameter	Degrees of Freedom	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEPT	1	6026.804278	57.641251	104.6	0.0000
X1	1	21.402778	22.493839	0.951	0.3443
X2	1	-101.206349	17.003744	-5.952	0.0000
X3	1	-73.230159	17.003744	-4.307	0.0000
X4	1	90.944444	17.003744	5.348	0.0000
X1*X1	1	-10.003548	26.016849	-0.385	0.7017
X2*X1	1	16.020833	27.549214	0.582	0.5626
X2*X2	1	-19.533972	11.611998	-1.682	0.0965
X3*X1	1	14.812500	27.549214	0.538	0.5923
X3*X2	1	-17.604167	27.549214	-0.639	0.5247
X3*X3	1	1.935100	11.611998	0.167	0.8681
X4*X1	1	-4.104167	27.549214	-0.149	0.8820
X4*X2	1	10.979167	27.549214	0.399	0.6913
X4*X3	1	19.854167	27.549214	0.721	0.4733
X4*X4	1	-15.326068	11.611998	-1.320	0.1907

Publicações do Instituto de Matemática da UFRGS
Cadernos de Matemática e Estatística

Série F: Trabalho de Divulgação

1. Nubem A. C. Medeiros e Jaime B. Ripoll - Superfícies Invariantes - MAI/90
2. Sídia M. C. Jacques - Análise de Correspondência: Aplicações em Genética - DEZ/91
3. Jandyra M. G. Fachel et al - Correspondence Analysis Applied to Ethnographic Data: Case Examples - JAN/92
4. João Riboldi e Dinara W. X. Fernandez - Análise de Observações Repetidas através de Contrastes no Tempo - JUL/92
5. M. Teresa Albanese e Martin Knott - Twomiss: a Computer Program for Fitting a One or Two-factor Logit-probit Latent Variable Model to Binary Data when Observations May be Missing - JUL/92
6. Vera C. G. Carneiro - Retrato Atual do Curso de Licenciatura em Matemática da UFRGS e Plano de Ações Renovadoras - JUL/92
7. Suzi A. Camey e Jandyra M. G. Fachel - A Atuação dos Deputados Federais Gaúchos: Similaridades e Dissimilaridades em Relação as Votações mais Importantes no Período 91-94 - DEZ/94
8. Jandyra M. G. Fachel - Identificação de Áreas Prioritárias para Desenvolvimento de Políticas Relativas à Situação da Infância de 0 a 6 anos no Rio Grande do Sul - DEZ/94
9. Dinara W. X. Fernandez, José L. D. Ribeiro e Ivo G. L. Wagner - Análise de uma Linha de Produção Envolvendo Políticas de Manutenção em Função da Criticidade dos Equipamentos: Simulação de Monte Carlo no Software XCELL+ - JUN/95

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE MATEMÁTICA
NÚCLEO DE ATIVIDADES EXTRACURRICULARES

Os Cadernos de Matemática e Estatística publicam as seguintes séries:

Série A: Trabalho de Pesquisa

Série B: Trabalho de Apoio Didático

Série C: Colóquio de Matemática SBM/UFRGS

Série D: Trabalho de Graduação

Série F: Trabalho de Divulgação

Série G: Textos para Discussão

Toda correspondência com solicitação de números publicados e demais informações deverá ser enviada para:

NAEC - NÚCLEO DE ATIVIDADES EXTRACURRICULARES
INSTITUTO DE MATEMÁTICA - UFRGS
AV. BENTO GONÇALVES, 9500 - PRÉDIO 43111
CEP 91509 - 900 AGRONOMIA - POA/RS
FONE: 336 92 22 OU 339 13 55 OU 228 16 33
RAMAL 6197
FAX: 336 15 12