



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

AUTORES
AUTHORS

CIRCUITO IMPRESSO
LINHA DE PRODUÇÃO
SIMULAÇÃO

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY

M. Ant. Rupp
Mário Antônio Rupp
Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR

Arthur Torgo Gomes
Arthur Torgo Gomes

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION

INTERNA / INTERNAL
 EXTERNA / EXTERNAL
 RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

Tatuō Nakanishi
Tatuō Nakanishi

CDU/UDC

681.3.066:658.5

DATA / DATE

Maio 1988

TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICACION NO	INPE-4556-TDL/331
	SIMULAÇÃO DA LINHA DE PRODUÇÃO DO LABORATÓRIO DE CIRCUITO IMPRESSO DO INPE	
AUTORES/AUTHORSHIP	Arthur Torgo Gomes	

ORIGEM
ORIGIN

PG/DPT

PROJETO
PROJECT

FRH/ANS

Nº DE PAG. NO OF PAGES	ULTIMA PAG. LAST PAGE
180	B.3

VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

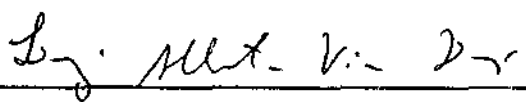
Com o objetivo de obter uma ferramenta que auxilie no planejamento, acompanhamento e controle do fluxo de produção do Laboratório de Circuito Impresso do INPE, foi elaborado um modelo computacionalmente manipulável que simula o comportamento dos elementos da linha de produção dada uma demanda definida. Foi criado um modelo de simulação discreta de natureza estocástica a partir do estudo e compreensão de certas características técnicas e operacionais. Para tanto, o sistema foi modelado em suas dimensões física e temporal. O modelo computacional utiliza como suporte a linguagem de simulação GASP IV. Tendo sido adaptado o programa forte desta linguagem de modo a viabilizar esta aplicação. O modelo computacional foi implementado em um computador Burroughs 6800. Os resultados mais significativos fornecidos pelo modelo são os tempos de execução dos pedidos estatísticos sobre os tempos de espera e execução dos diversos setores da linha de produção do Laboratório. Atualmente, o programa está operacional, sendo utilizado na linha de produção do Laboratório de Circuito Impresso do INPE.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Dissertação de Mestrado em Análise de Sistemas e Aplicações, aprovada em 26 de fevereiro de 1988.


Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Análise de Sistemas e Aplicações

Dr. Luiz Alberto Vieira Dias



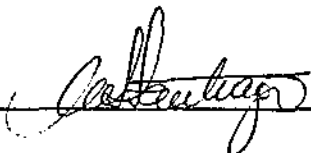
Presidente da Banca

Dr. Tatuô Nakanishi




Orientador

Drª Maria Suelena Santiago Barros



Orientadora

Dr. Eduardo Assis Alvarenga



Membro da Banca
-convidado-

Dr. Clóvis Solano Pereira



Membro da Banca

Candidato: Arthur Torgo Gomes

São José dos Campos, 26 de fevereiro de 1988



AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças ao apoio, tanto do Dr. Tatuõ Nakanishi, orientador de pesquisa, como de toda equipe da Divisão de Circuito Impresso, que agradeço em nome de seu responsável, Eigi Nakamura.

Agradeço também, o importante apoio e incentivo recebido de minha esposa, Maria Luiza, e de minha família. E em especial, ao Prof. Wilson Ruiz pelos valiosos conhecimentos que me transmitiu.

ABSTRACT

It is presented the development of a tool intended to improve, planning, monitoring and controlling INPE's Printed Circuit Laboratory Production Line. A manipulatable computer model has been developed. Such model simulates the behaviour of the production line elements, when established demand is given. A discrete simulation model of stochastic nature has been created departing from study and comprehension of technical and operational characteristics. The system has been modeled encompassing physical and chronological dimensions. The computer model utilizes the GASP IV language simulation. The source program for this language has been worked out to make possible such application. The model has been tested and proved operational in a 6800 Burroughs computer. The major significant results that the model has been providing are produces information on necessary time between an order placed with the Laboratory and the final product ready for delivery to the client; also produces statistics of waiting time elapsed and starting time for production. Currently, this program is operational. It is being, with success and fully accepted, utilized by INPE's Printed Laboratory Production Line.

• •
•



SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Descrição	3
<u>CAPÍTULO 2 - PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO</u>	11
2.1 - Considerações	11
2.2 - Fabricação	13
2.3 - Fluxo de fabricação	16
2.3.1 - Geração de documentação	17
2.3.1.1 - Geração de artes de trabalho	18
2.3.1.2 - Documentação para a furadeira CNC	19
2.3.2 - Processo	20
2.3.2.1 - Processos mecânicos	20
2.3.2.1.a - Furação	21
2.3.2.1.b - Limpeza	23
2.3.2.1.c - Acabamento	24
2.3.2.2 - Eletrodeposição	24
2.3.2.2.a - Eletrodeposição de cobre	24
2.3.2.2.b - Eletrodeposição de ouro	30
2.3.2.2.c - Deposição de estanho/chumbo	33
2.3.2.2.d - Transferência de imagem por fotopolímero	35
2.3.2.2.e - Gravação Ácida	39
2.3.2.2.e.a - Solução corrosora	40
2.3.2.2.e.b - Sistema fechado com regeneração	41
2.3.2.3 - Deposição de estanho/chumbo	33
2.3.2.4 - Transferência de imagem por fotopolímero	35
2.3.2.5 - Gravação Ácida	39
2.3.2.5.a - Solução corrosora	40
2.3.2.5.b - Sistema fechado com regeneração	41
<u>CAPÍTULO 3 - MODELAGEM</u>	43
3.1 - Descrição simplificada do sistema	44
3.2 - Modelagem física	49
3.2.2 - Índices de cassação	50
3.3 - Modelagem Temporal	51

	<u>Pág.</u>
3.3.1 - Chegada de usuários	52
3.3.2 - Execução de serviços	53
<u>CAPÍTULO 4 - MODELAGEM COMPUTACIONAL</u>	57
4.1 - GASP IV	57
4.1.1 - Conceitos básicos	58
4.1.2 - Estrutura modular	59
4.2 - Estruturação do modelo	63
4.2.1 - Entidades do modelo	63
4.2.2 - Eventos	67
4.2.3 - Descrição dos eventos	71
4.3 - Modelo computacional completo	79
4.4 - Modelagem da estação de trabalho Recepção	81
4.4.1 - Evento UCHEG	82
4.4.2 - Evento FIMCHE	88
<u>CAPÍTULO 5 - VALIDAÇÃO DO MODELO</u>	93
5.1 - Casos	93
5.1.1 - Comparação dos resultados	124
5.1.2 - Comentários sobre os resultados	155
5.2 - Experimento	157
<u>CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO</u>	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
APÊNDICE A - LISTAGEM DA SUBROTINA UCHEG	A.1
APÊNDICE B - LISTAGEM DA SUBROTINA FIMCHE	B.1

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Estrutura organizacional do Laboratório	3
1.2 - Relações entre as estações do Laboratório	6
2.1 - Representação simplificada do processo de gravação ácida ..	15
2.2 - Fluxo de produção do Laboratório	17
2.3 - Linha de metalização	29
2.4 - Linha de douração	32
2.5 - Processo de deposição de estanho/chumbo	34
2.6 - Corte de uma camada de filme seco	36
2.7 - Laminação por filme seco	37
2.8 - Exposição do filme seco	37
2.9 - Definição do circuito em filme seco	38
2.10 - Processo de gravação ácida	39
2.11 - Vista lateral simplificada da corrosora	42
3.1 - Representação simplificada do sistema	45
3.2 - Alterações feitas as transformações	49
4.1 - Fluxo de interações entre o GASP IV e o usuário	61
4.2 - Fluxograma do evento início de atividade	68
4.3 - Fluxograma do evento fim de atividade	69
4.4 - Modelo computacional completo	79
4.5 - Fluxograma do evento UCHEG	86
4.6 - Fluxograma do evento FIMCHE	90
5.1 - Gráfico dos tempos de execução totais dos pedidos do caso 1	130
5.2 - Gráfico da variação absoluta dos tempos de execução dos pedidos do caso 1	131
5.3 - Gráfico dos tempos de execução totais dos pedidos do caso 2	132
5.4 - Gráfico da variação absoluta dos tempos de execução dos pedidos do caso 2	133
5.5 - Gráfico dos tempos de execução totais dos pedidos do caso 3	134
5.6 - Gráfico da variação absoluta dos tempos de execução dos pedidos do caso 3	135

	<u>Pág.</u>
5.7 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus tempo de execução de serviço do caso 1	148
5.8 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus variação média absoluta dos tempos de execução do caso 1	149
5.9 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus tempo de serviço de execução do caso 2	150
5.10 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus variação média absoluta dos tempos de execução do caso 2	151
5.11 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus tempo de execução de serviço do caso 3	152
5.12 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus variação média absoluta dos tempos de execução do caso 3	153
5.13 - Gráfico do intervalo de tempo médio entre a chegada de usuários versus tempo médio de espera de serviço do servo SERE	159

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Relação de densidades de furos por circuito	13
2.2 - Tolerância de diâmetros por tipo de furação	21
3.1 - Índices de cassação por estação de trabalho	51
4.1 - Estações de trabalho e eventos do modelo computacional	70
5.1 - Pedidos do caso 1	94
5.2 - Pedidos do caso 2	98
5.3 - Pedidos do caso 3	109
5.4 - Variações absolutas do caso 1	125
5.5 - Variações absolutas do caso 2	126
5.6 - Variações absolutas do caso 3	127
5.7 - Comparação das variações médias dos casos	136
5.8 - Comparação da variação total de 40% dos pedidos em relação aos restantes	137
5.9 - Tempos reais de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 1	139
5.10 - Tempos simulados de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 1	140
5.11 - Variação média dos tempos de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 1	141
5.12 - Tempos reais de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 2	142
5.13 - Tempos simulados de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 2	143
5.14 - Variação média dos tempos de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 2	144
5.15 - Tempos reais de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 3	145
5.16 - Tempos simulados de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 3	146
5.17 - Variação média dos tempos de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 3	147
5.18 - Comparação das variações médias totais dos tempos de execução	154

5.19 - Comparação dos tempos de serviço e da variação média do bloco 4 em relação a outros blocos	155
5.20 - Tempos médios de espera de serviço do servo SERE e dos intervalos de chegada de usuários ao Laboratório	158

CAPÍTULO 1

O LABORATÓRIO DE CIRCUITO IMPRESSO

1.1 - INTRODUÇÃO

Desde o início da década de 70, o INPE já confeccionava seus próprios circuitos impressos que eram utilizados a bordo de balões estratosféricos ou foguetes sob a forma de experimentos científicos.

Com a aprovação da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), o INPE assumiu a responsabilidade de projetar, construir, integrar, testar e controlar a primeira geração de satélites brasileiros. Sendo, a fabricação de circuitos impressos a serem utilizados, na maioria dos subsistemas, uma fase importante na construção do satélite. Nesse sentido, em 1982, visando atender as futuras necessidades da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), foi feita uma pesquisa junto a iniciativa privada e a órgãos governamentais de maneira a identificar possíveis fornecedores de circuito impresso com qualificações militar e espacial.

A indústria nacional de circuito impresso, naquela época, não possuía os requisitos necessários para atender as necessidades do Instituto. Devido ao tempo do cronograma da missão, ao apurado controle de qualidade exigido e a demanda prevista ser de pequeno porte, diversificada e a nível de desenvolvimento ficou decidido que a utilização futura destas empresas seria técnica e economicamente inviável.

Como consequência, dois anos mais tarde, foi criado o Laboratório de Circuito Impresso do INPE. Sua criação além de objetivar suprir as necessidades do instituto visa, conforme determinação da Secretaria Especial de Informática - SEI - ,fomentar a indústria nacional do ramo.

A princípio, este fomento deu-se principalmente a nível de desenvolvimento e cooperação técnica-científica. Mas, devido a condições de mercado favoráveis e as potencialidades da linha de produção do Laboratório, várias empresas fabricantes e consumidoras de circuito impresso manifestaram interesse em utilizar de variadas formas os serviços do Laboratório de modo a melhorar a qualidade de seus produtos finais.

Como decorrência, o Laboratório passou a fomentar estas indústrias de maneira mais direta, pela prestação de serviços. Isto possibilitou as fábricas emergentes suprirem algumas deficiências de suas linhas de produção e aos usuários a obtenção de lotes que por suas características técnicas ou pelas quantidades teriam sua fabricação inviabilizada na indústria privada.

Devido a esta política de atuação o Laboratório, apesar de estar em fase de implantação, assumiu uma postura muito dinâmica quanto a sua estrutura funcional. Os constantes replanejamentos para atender uma demanda heterogênea e crescente tornaram-se uma tarefa árdua em razão dos parâmetros e o comportamento da linha não estarem bem definidos e explícitos.

A motivação para a realização deste trabalho iniciou a partir do levantamento de algumas atividades comprometidas na linha de produção e a identificação de uma necessidade. Entre as atividades comprometidas têm-se : previsão do tempo de operação das estações de trabalho dada uma certa demanda; acompanhamento do fluxo de produção e a definição de prazos de execução dos serviços. A necessidade pode ser estatuída como uma ferramenta ou técnica de planejamento dinâmica que forneça subsídios para a tomada de decisões a nível de gerenciamento da produção.

Para suprir esta necessidade optou-se pela geração de um modelo manipulável computacionalmente que permitisse através de experimentos , um maior conhecimento do sistema e a simulação do fluxo de produção.

1.2 - DESCRIÇÃO

O Laboratório de Circuito Impresso tem sua linha de produção constituída de uma série de estações de trabalho com funções bem definidas e gerenciadas, por onde fluem e sofrem transformações as matérias-primas até a obtenção do produto final.

Sua estrutura organizacional esta representada pelo diagrama de blocos abaixo (Figura 1.1).

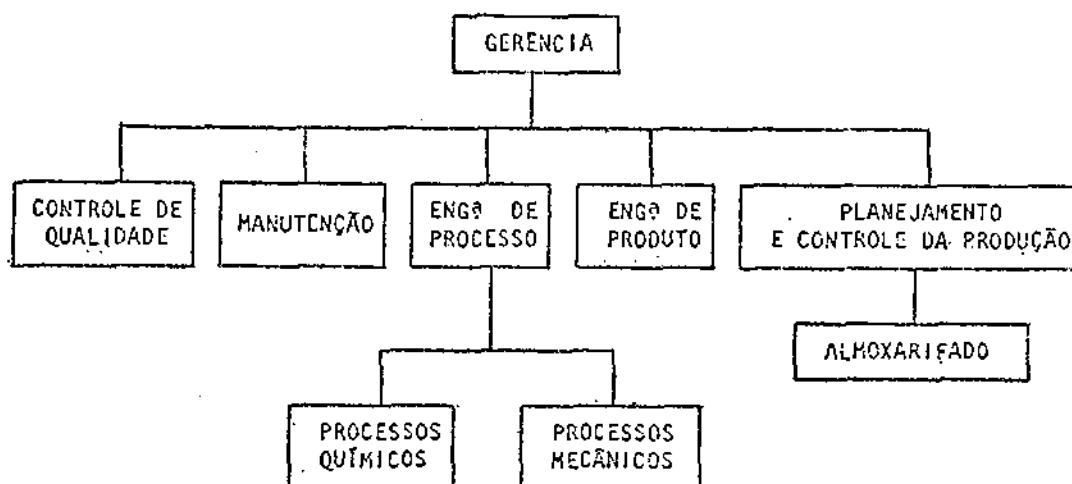


Fig. 1.1 - Estrutura organizacional do Laboratório

A seguir são explicitadas as funções das entidades do diagrama.

A gerência cabe a tomada de decisões de cunho administrativo, julgamento técnico, definição das diretrizes e supervisão do Laboratório.

A engenharia de produto desempenha o papel de interface entre o usuário e o laboratório na entrada de um pedido. Esta entidade deve gerar através de documentação fornecida pelo usuário a especificação do produto. Na execução desta tarefa, recebe apoio do controle de qualidade quanto a inspeção da documentação fornecida pelo usuário e do planejamento e controle da produção (PCP) quanto a informações de disponibilidade de recursos na linha de produção.

A engenharia de processo garante a qualidade e execução dos produtos pela operacionalização e controle técnico dos processos de produção. Os processos quanto a natureza dividem-se em químicos e mecânicos. De natureza mecânica pode-se citar: furação por controle numérico e acabamento nos laminados. De natureza química pode-se citar: eletrodeposição de metais, deposição de fotopolímeros, gravação ácida e revelação de filmes fotográficos. A engenharia de processo tem íntima relação com as estações de trabalho, engenharia de produto e PCP.

O controle de qualidade desempenha dois papéis distintos: execução de procedimentos de testes e inspeções que determinam a aprovação ou reprovação do produto e a análise do produto. Além disto, o controle de qualidade deve fornecer informações à gerência de maneira a lhe proporcionar um panorama da qualidade dos produtos da linha.

O planejamento e controle da produção gerencia os recursos humanos e materiais de modo a garantir o fluxo da produção. Mantém forte contato com a gerência quanto a alimentação de informações sobre o andamento dos serviços na linha e a tomada de

decisão quanto a entrada de novos serviços. Participa com a engenharia de processo na determinação das prioridades dos serviços em produção.

A manutenção fornece suporte à toda a área de produção. Estando a seu cargo a manutenção das instalações elétrica e hidráulica e da parte mecânica do maquinário.

As estações da linha de produção são as seguintes: sistema computacional de auxílio a projeto (CAD/CAM - Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing), laboratório fotográfico, furação por controle numérico (CNC - computer numerical control), metalização, douração, filme seco, corrosão, deposição de SnPb, acabamento mecânico e controle de qualidade.

As relações entre as estações estão representadas pela Figura 1.2

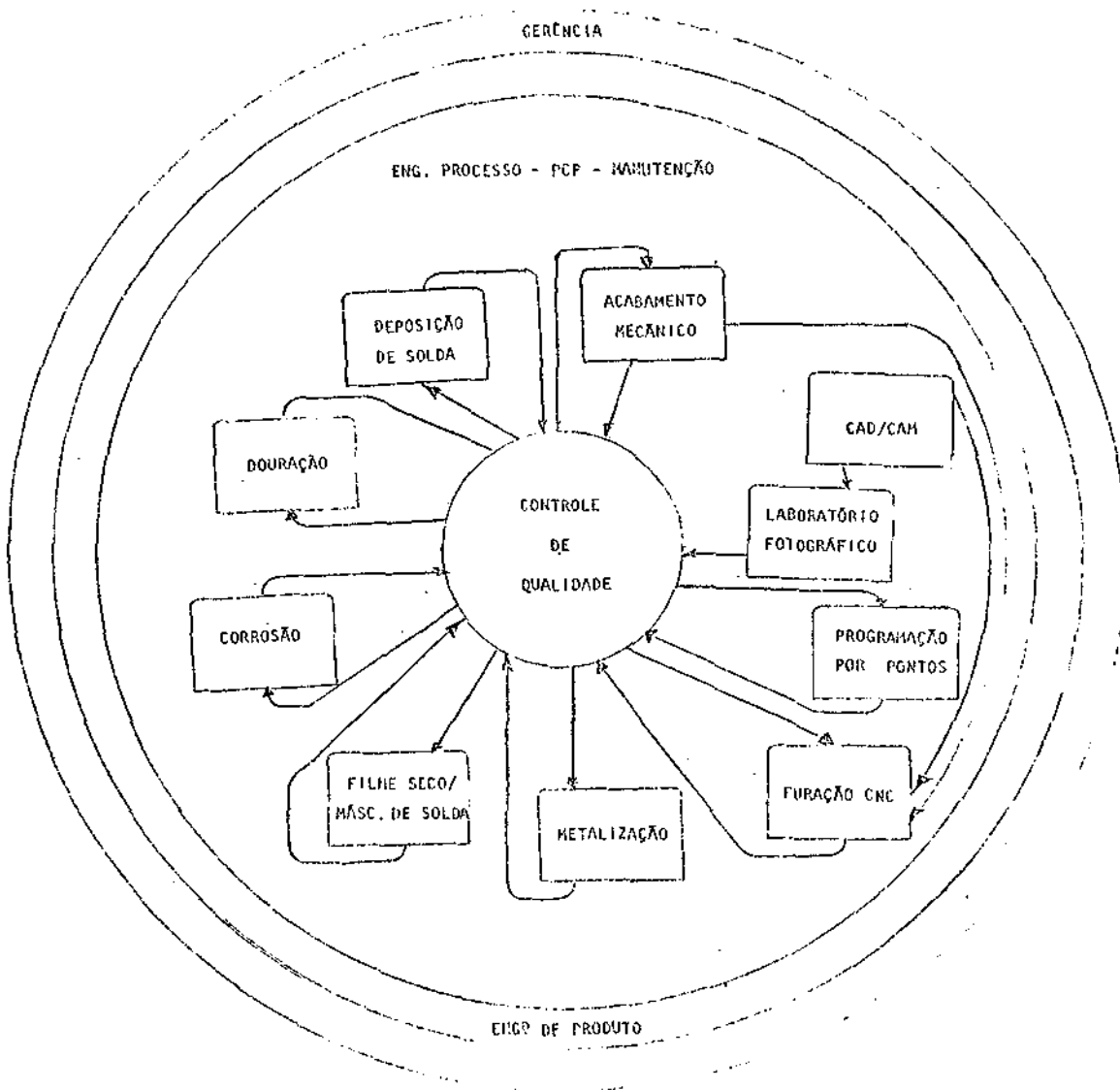


Fig. 1.2 - Relações entre as estações do Laboratório

O controle de qualidade é centralizado executando a inspeção dos produtos na entrada e saída de cada estação. Esta característica lhe permite fazer uma análise do padrão de qualidade em toda a linha de produção em curto intervalo de tempo. O controle é realizado por inspeções visuais, dimensionais, mecânicas e elétricas e pela análise quantitativa de soluções e contaminantes. Em sua estrutura operacional o controle de qualidade está dividido em três setores: setor de inspeção visual e retoque - utiliza lupas e um ampliador de imagem de 5 a 1200 vezes; setor de análise química - realiza em bancada medições de concentrações, potenciais e análises quantitativas e qualitativas de soluções; e o setor de medidas metalográficas - utiliza um medidor de metalização por retrodispersão de raios beta e sistema metalográfico.

O sistema computacional de auxílio a projetos (CAD/CAM) gera a partir da lista de ligações do circuito e demais informações sobre suas características eletromecânicas o roteamento das ligações, a disposição dos componentes e documentação para a geração de fotoferramentas e para a furação por controle numérico.

No laboratório fotográfico é realizada a geração das fotoferramentas - representação fotográfica das faces do circuito. O processo de fotoredução é executado em uma máquina fotodiagramadora " Klimisch Mikronica ", que fornece uma alta precisão na reprodução (~ 5 micra) . O processo de revelação utiliza um processador automático. Este equipamento possui um sistema de esteira por rolos que transporta o filme através de dois tanques com solução reveladora, um tanque com fixador, um tanque com lavagem de água e por um módulo de secagem por ar. Na saída da secagem está localizado um barramento de fotodiodos e uma fonte de luz. O filme ao passar sob a fonte de luz, tem sua densidade detectada pelos fotodiodos e convertida em uma medida de forma cumulativa. Quando a densidade acumulada atinge um valor limite, a suplementação automática por bombeamento é acionada.

Na programação de pontos tem-se a geração em disquete ou em fita de papel perfurada da documentação a ser utilizada na

furadeira CNC. A programação é executada em uma programadora OPIC-III da Excellon. O sistema OPIC-III consiste de um computador, duas entradas para disquetes, uma leitora ótica para fita de papel perfurada e uma mesa de trabalho com alvo de projeção ótica com aumento de 10 vezes, além de controles mecânicos para a movimentação do tampo da mesa.

Na furação por controle numérico controlada por computador são executados os furos nos laminados. A furação obtida é de alta precisão quanto ao posicionamento e repetibilidade. É utilizada uma furadeira EX 300 da Excellon de três cabeçotes. O número médio de batidas por cabeçote é de 140 por minuto. O gerenciamento da furadeira é feito pela interação do operador com um computador CNC-6 da Excellon que possui dois "drivers" e uma leitora ótica para fita de papel perfurada.

Na estação de metalização é feita a eletrodeposição de cobre nas paredes dos furos e demais superfícies da placa. A linha é composta por uma série de banhos tendo basicamente quatro fases de processo: limpeza química e condicionamento, sensibilização, cobre químico e eletrodeposição.

Na estação de filme seco são aplicados dois tipos de fotopolímeros na superfície dos laminados. Na aplicação da emulsão fotográfica obtêm-se o fotopolímero aderido na superfície do laminado com a forma exata do circuito. Na máscara anti-solda, o fotopolímero recobre as faces do laminado deixando expostos somente os pontos de contato elétrico e de fixação de componentes. Esta máscara facilita a soldagem dos componentes na linha de montagem.

Na corrosão ou gravação ácida é obtido o circuito em cobre exposto sobre o laminado de fibra de vidro impregnado de epoxi. A operação é executada pela utilização de um equipamento automático com sistema fechado de regeneração da solução corrosora.

linha é constituída por uma série de banhos químicos de lavagem, decapagem e eletrodeposição.

A deposição de estanho/chumbo é feita pelo processo de nivelamento de uma fina camada da liga eutética (63-37) por jatos de ar quente sobre a liga depositada no cobre. É utilizado o equipamento da Eletrovert Leveair-07.

Finalizando, na estação de acabamento mecânico, são executadas tarefas que visam a execução das especificações mecânicas do circuito. São realizados trabalhos de roteamento manual, afiação de brocas, pinagem de painéis, corte com guilhotina, chanfro e rasgo.



CAPITULO 2

PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

2.1 - CONSIDERAÇÕES

A placa de circuito impresso, sendo considerada pelo prisma da utilidade, ou seja, como um produto tecnológico, é a materialização prática e funcional de uma técnica que permite a manufatura de um dado circuito elétrico fornecendo suporte para a fixação dos componentes eletrônicos e suas interconexões.

Sua origem está ligada a indústria bélica, tendo seu avanço ocorrido durante a segunda guerra mundial. A necessidade, na época, de um método que possibilitasse a fabricação em massa de dispositivos eletrônicos de maneira produtiva e economicamente viável foi suprida por este produto.

O circuito impresso viabilizou a montagem de equipamentos eletrônicos em grande escala, além de possibilitar a desejada economia de peso e espaço nos equipamentos militares.

Dentro do escopo bélico, o circuito impresso foi concebido para ter um desenho flexível e a satisfazer as características mecânicas e elétricas dos equipamentos. Desta maneira, tornou-se um produto de alta utilização em todos os tipos de equipamentos eletrônicos.

Dentre as vantagens advindas de sua utilização pode-se citar, entre outras, a eliminação de erros de ligações (exceto as contidas no desenho original), diminuição no volume de ligações e a possibilidade de fazer-se um controle mais efetivo nos sistemas eletrônicos utilizando a reprodutibilidade dos, parâmetros elétricos.

O circuito impresso surgiu, desta maneira, como uma boa alternativa aos processos de automação de sistemas eletrônicos tanto na fabricação quanto no uso. Proporcionando não somente uma diminuição dos custos como uma maior facilidade de controle para os sistemas eletrônicos aumentando sua confiabilidade.

De modo a suprir as necessidades tecnológicas, vários tipos de circuitos impressos foram desenvolvidos variando tanto no tipo de material utilizado como nos processos de fabricação.

Quanto aos tipos de processos, somente sera abordado o utilizado na linha de produção do Laboratório do Instituto para circuitos impressos rígidos. Salienta-se que o processo de fabricação de circuito impresso tem sido suscetível a variações e inovações de grande diversidade.

Quanto ao tipo, pode-se agrupar os circuitos em três classes tanto em relação a circuitos de base rígida como flexível a saber. (Coombs, 1979):

- a) Circuitos impressos de face simples: com camada condutiva somente em uma das faces da base dielétrica.
- b) Circuitos impressos de face dupla: com camada condutora em ambas as faces da base dielétrica conectadas por furos metalizados.
- c) Estruturas de multiplas camadas: três ou mais camadas condutoras separadas por material dielétrico e conectadas por furos metalizados.

A base dielétrica comumente é constituída de material isolante de epoxi impregnado de fibra de vidro. Podendo ser também de resina fenólica impregnada em papel ou epoxi impregnado em papel. O material mais popular é a epoxi impregnada em fibra de vidro, que possui boa estabilidade dimensional e resistência a ocorrência de

rachaduras possíveis de ocorrerem em circuitos de alta densidade. O material condutor geralmente é o cobre.

Como uma medida de densidade tem-se a razão entre o número de furos utilizados para a montagem de componentes por polegada quadrada de área disponível. Embora esta medida não seja a ideal a Tabela 2.1 dá uma idéia da densidade em relação aos tipos de placas.

TABELA 2.1

RELAÇÃO DA DENSIDADE DE FUROS POR TIPO DE CIRCUITO

Tipos de circuitos	Furos/in ²
face simples	3 - 10
face dupla	10 - 20
multicamada	+ de 20

[Extraída de Coombs (1979), p 1.7]

Como consideração, deve se ter em mente que o aumento de interconecções e da densidade dos componentes estão diretamente ligados a um aumento de custos, complexidade e sofisticação de processo e de maquinário utilizado na fabricação.

2.2 - FABRICAÇÃO

A fabricação de um circuito impresso de base rígida se traduz na reprodução do desenho do circuito desejado sobre um laminado de material isolante recoberto por uma delgada camada de material condutor.

Dentre a diversidade de métodos de fabricação de circuitos impressos de base rígida, pode-se dividi-los quanto a natureza em mecânicos e químicos. A escolha do método é determinada pelas características do produto desejado. Pois, como já foi comentado, o aumento da precisão e sofisticação do produto desejado é diretamente proporcional ao aumento de complexidade do processo de confecção.

Nos processos mecânicos a definição do desenho do circuito no laminado é feita por técnicas de gravação, estampagem e pulverização metálica. Nos processos químicos o desenho é gerado por etapas de deposição química e elétrica de metais, corrosão seletiva e utilização de materiais fotossensíveis.

O processo utilizado no Laboratório, também conhecido como gravação ácida, é um processo químico subtrativo pelo qual o cobre indesejável é seletivamente removido até obter-se a réplica exata do circuito desejado. Neste processo o laminado, com os furos previamente executados e limpos, sofre um processo de eletrodeposição de cobre de maneira a metalizar os furos. Após, ocorre a transferência de imagem do circuito para o laminado pela utilização de um filme fotográfico e de um material resistente fotossensível que ao final desta etapa permanece aderido as faces do laminado com a forma do circuito desejado.

Obtida no laminado a definição do circuito através do material resistente fotossensível ocorre a gravação ácida, ou como é mais conhecida "etching". O "etching" é a gravação do desenho do circuito nas faces do laminado pela corrosão seletiva das áreas cobreadas indesejáveis. Após a corrosão seletiva, o material protetor é retirado e fica definido sobre as faces da base dielétrica o circuito em cobre.

Desta etapa em diante, o circuito sofrerá outros processos de acabamento conforme as especificações técnicas;

eletrodeposição de ouro, aplicação de máscara anti-solda, deposição de estanho/chumbo, e acabamentos mecânicos.

A Figura 2:1 , a seguir, representa de maneira simplificada o processo de gravação ácida.

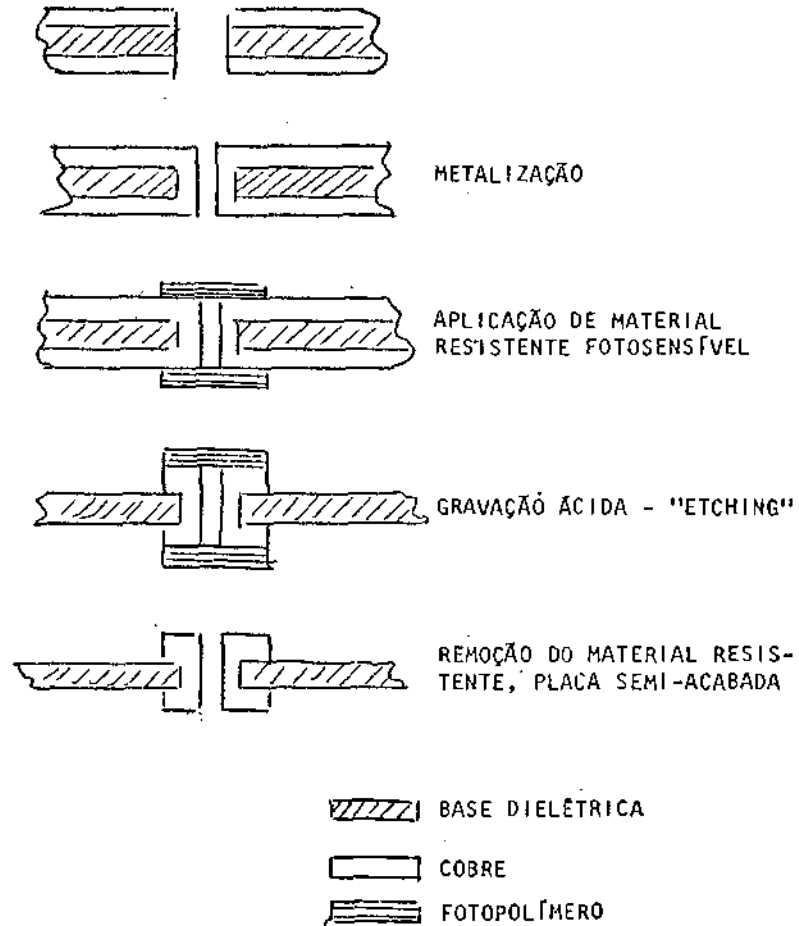


Fig. 2.1 - Representação simplificada do processo de gravação ácida

2.3 - FLUXO DE FABRICAÇÃO

O circuito impresso, em sua forma final, poderá no máximo ser idêntico ao desenho a partir do qual foi gerado e ter as características eletromecânicas que lhe foram especificadas.

O parágrafo anterior deixa patente a importância da definição dos meios de comunicação formais entre o usuário e o fabricante. Após iniciar-se a etapa de fabricação propriamente dita, dificilmente poderão ser feitas modificações nas especificações do produto sem que o usuário ou o fabricante saiam prejudicados.

Desta maneira o fluxo de fabricação é dividido em dois níveis: geração de documentação e processo. O fluxo está ilustrado na Figura 2.2.

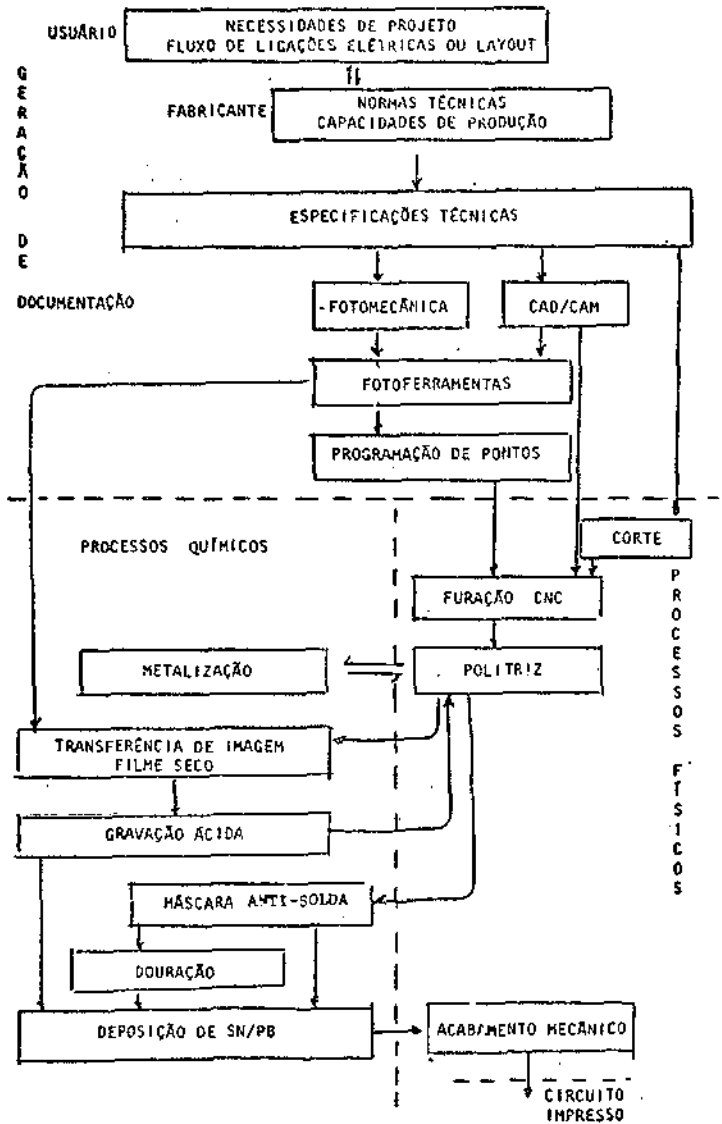


Fig. 2.2 - Fluxo de produção do Laboratório

2.3.1 - GERAÇÃO DE DOCUMENTAÇÃO

A definição do tipo de documentação e de informações a serem fornecidas pelo usuário ao fabricante pode ter algumas variações conforme o tipo de produto a ser obtido. De qualquer forma a documentação a ser fornecida deve obrigatoriamente dar subsídios para todos os passos do processo até a obtenção do produto final.

A geração de documentação de forma adequada deverá transmitir de maneira clara as características eletromecânicas e demais instruções básicas para a manufatura. Isto permitirá a definição do produto pelo fabricante assim como sua programação de prazo e custo.

A geração de documentos pelo fabricante inclui a confecção das artes de trabalho, documentação para a furação por controle numérico além das especificações técnicas de processo.

2.3.1.1 - GERAÇÃO DE ARTES DE TRABALHO

A arte de trabalho ou fotolito é basicamente uma ferramenta utilizada no processo de fabricação, sendo a mais importante por definir o padrão do circuito a ser gravado na placa.

Sendo este o primeiro passo na fabricação, o produto final poderá somente aproximar-se de sua qualidade quanto a precisão. A escolha do método de geração da arte de trabalho quanto ao grau de sofisticação é altamente dependente da precisão e do tamanho requeridos. Basicamente, ela pode ser gerada por processo fotomecânico ou por processo automático. O processo automático é executado pela operação de um sistema computacional de suporte gráfico e de manufatura CAD/CAM). Este sistema utiliza uma "photoplotter" com precisão em x e y e exatidão de 0,001 de polegada. Tendo uma superfície útil de área para colocação de filme de 40 por 60 centímetros quadrados. O fotolito é obtido diretamente na escala de 1:1 eliminando assim os possíveis erros de fotoredução.

O método não automático, gera por processo fotomecânico a arte de trabalho a partir dos "layouts" fornecidos pelo usuário. O "layout" é a representação gráfica das faces do circuito necessárias à produção. A precisão do fotolito gerado por este método é geralmente dez vezes menor do que a obtida pelo método automático. Desta maneira, pode-se dizer que os "layouts" em escala de 10:1 são utilizados quando há necessidade de grande precisão. As escalas mais usadas são 2:1 e

4:1. A precisão é obtida neste método pelo manejo das escalas até a obtenção do fotolito desejado.

No caso de ser preferida a geração da arte de trabalho por processo automático o usuário deverá fornecer o fluxo de ligações elétricas em representação gráfica do esquema elétrico ou através de listagem formatada indicando todas as interconexões existentes entre os componentes eletrônicos. Além disto, deverão ser fornecidas todas as informações quanto as características eletromecânicas do circuito e detalhes relevantes do projeto.

2.3.1.2 - DOCUMENTAÇÃO PARA A FURADEIRA CNC

Esta documentação pode ser gerada diretamente pelo CAD/CAM ou por um processo de programação visual ponto a ponto.

No processo direto o sistema computacional além de gerar a fita de papel perfurada que contém todas as coordenadas dos pontos gera uma fita magnética que contém informações para a obtenção de fotoferramentas pelo processo automático (photoplotter). No processo indireto é feita uma marcação diferenciada por cores unindo todos os furos de um mesmo diâmetro com uma mesma cor em um fotolito representativo. Sendo executada após, a programação ponto a ponto, nos eixos x e y pela interação do operador com a programadora.

A precisão do método direto é maior que a do método indireto.

No caso de ser requerida precisão dimensional no acabamento final do circuito impresso é gerado pelo método indireto um a programação do contorno deste. Este procedimento possibilita a obtenção, após a furação CNC, de um molde ou gabarito a ser utilizado na execução do acabamento mecânico final.

2.3.2 - PROCESSO

O processo de fabricação de circuito impresso tem como característica singular a necessidade de um controle ambiental em certas etapas, além de um grande asseio e esmerado cuidado por parte dos operadores. A estabilidade dimensional das fotoferramentas obtida pelo controle de temperatura e umidade do ar e a isenção de partículas de pó em suspensão nos processos de fotografia são exemplos disto.

O processo utilizado na linha de produção está dividido nos seguintes blocos:

- processos mecânicos
- eletrodeposição
- deposição de estanho/chumbo
- transferência de imagem por fotopolímeros
- gravação ácida

2.3.2.1 PROCESSOS MECÂNICOS

Estes processos preparam e dão forma aos laminados visando a realização de processos químicos e a execução de acabamentos finais. Os processos basicamente são os seguintes:

- furação
- limpeza
- acabamento

2.3.2.1.a - FURAÇÃO

Nesta etapa tem-se a execução dos furos que permitirão a ligação entre as faces do laminado -dupla face ou multicamada- a fixação dos componentes eletrônicos. A obtenção de um furo de boa qualidade quanto a centralização e limpeza (rebarbas) é uma condição necessária para garantir uma boa metalização. Os furos são executados por perfuração com brocas. Sendo dedicada especial atenção ao controle de qualidade destas durante a execução dos serviços.

A furação é executada pela utilização de uma máquina manual ou de controle numérico comandada por um computador (CNC - computer numerical control). A escolha de uma ou outra deve levar em conta os seguintes fatores: tamanho do lote, número de furos por peça, tolerância de diâmetros, qualidade da parede do furo e o custo do método em relação ao preço do circuito impresso.

De maneira geral, a tolerância de diâmetro e a qualidade do furo exigidos influenciam decisivamente na escolha do método. Estes dois parâmetros estão sempre consoantes com o custo do produto por traduzirem um produto mais ou menos sofisticado.

A Tabela 2.2 a seguir, relaciona o método de furação e as respectivas tolerâncias de diâmetro.

TABELA 2.2

TOLERÂNCIAS DE DIÂMETROS POR TIPO DE FURAÇÃO

FURAÇÃO	TOLERÂNCIA
manual	+ ou - 0,25 mm
CNC	+ ou - 0,02 mm

[Extraída de Coombs (1979), p. 1.7]

No método manual a precisão da furação está diretamente dependente da habilidade do operador. Este, posiciona visualmente o alvo por movimentos manuais. A execução do furo dá-se pelo acionamento de um comando mecânico manual que resulta na descida do fuso com a broca a uma determinada rotação.

No método de furação por controle numérico é utilizado um computador para controlar o funcionamento da máquina. Este controle é feito através de um "software" executivo compatível com o "hardware" da máquina de furação. Desta maneira é eliminado o fator de erro humano na furação propriamente dita. Obtem-se maior precisão, melhor qualidade da parede dos furos e baixíssima porcentagem de perda. Sendo particularmente indicada para produção em larga escala.

A furadeira CNC tem como documentação de entrada uma fita de papel perfurada ou disquete com a programação dos furos (gerados pelo CAD/CAM ou pela programadora de pontos), as placas devidamente acondicionadas e as brocas.

Após o operador selecionar as brocas e posicioná-las juntamente com as placas na mesa de furação, conforme as normas de operação, ele comanda através do computador o início do ciclo de furação.

Conforme os comandos definidos na programação a mesa move-se com as placas fixadas nos eixos x e y. Os cabeçotes que executam a furação permanecem fixos em relação aos eixos x e y, movendo-se em z. Deste modo o computador controla a parte lógica da operação da furadeira quanto a velocidade de rotação e troca de brocas, deslocamentos da mesa e dos cabeçotes.

A máquina CNC também executa a confecção de gabaritos. O gabarito é um molde em material rígido, dimensionalmente estável com o formato exato da placa. É utilizado como uma ferramenta no acabamento final da placa assegurando a precisão dimensional solicitada.

Geralmente é confeccionado em laminados de papel impregnados de resina fenólica ou em acrílico. Sendo, o do primeiro tipo bem mais barato. Sua confecção dá-se pela realização de uma série de furos até a obtenção de um rasgo reto sem concordâncias laterais.

Na prática a furação manual é realizada para placas que não sofrerão processo de metalização e com tolerância não rígida quanto a centralização.

2.3.2.1.b - LIMPEZA

A limpeza mecânica visa remover da superfície do laminado poeiras e outros resíduos indesejáveis -aqui denominados de contaminantes- de modo a prepará-lo aos processos de produção.

A limpeza mecânica definida na linha de produção é executada automaticamente por uma politriz. As placas, transportadas por uma esteira, são molhadas e sob lavagem de água abundante sofrem a ação abrasiva de uma escova circular de "nylon" impregnada de um material abrasivo. Após este polimento, as placas são lavadas mais uma vez e sofrem a ação de um secador a ar. A politriz possui duas escovas que diferem quanto ao poder de abrasão.

A utilização deste equipamento no processo ocorre em três partes. A primeira antes da metalização; após a furação as paredes dos furos contêm resíduos do laminado. A ação da politriz limpará mecanicamente os furos eliminando possíveis rebarbas, deixará a superfície do laminado levemente aspera e removerá os contaminantes favorecendo a metalização. Após a metalização e antes da aplicação da máscara anti-solda ocorrem as outras duas etapas de utilização. Para obter-se sucesso na aderência do fotopolímero a superfície da placa deve estar isenta de qualquer contaminante. A ação da politriz produzirá um leve polimento nas superfícies do laminado. Sendo utilizada nestas duas aplicações a escova de "nylon" menos abrasiva.

2.3.2.1.c - ACABAMENTO

O processo de acabamento mecânico, apesar de não apresentar maiores dificuldades em sua execução - desde que o operador seja habilidoso - é crítico, já que as perdas são geralmente irreversíveis.

Nesta etapa são executados corte, preparação e pinagem dos laminados destinados a furadeira CNC e os acabamentos finais: corte em guilhotina, chanfro, rasgo, roteamento manual e lixa.

Para o corte inicial dos laminados e acabamento final dos circuitos impressos sem precisão dimensional utiliza-se a guilhotina. No caso de utilização de gabarito o roteamento manual é executado em uma freza.

2.3.2.2 - ELETRODEPOSIÇÃO

Este processo consiste na deposição química não espontânea produzida pela passagem de corrente elétrica através de soluções ou substâncias fundidas.

Na fabricação utiliza-se este processo para a deposição de cobre e de ligas de ouro.

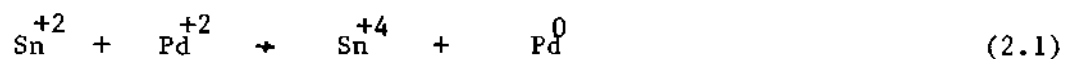
2.3.2.2.a - ELETRODEPOSIÇÃO DE COBRE

A placa de circuito impresso, após a etapa de furação CNC, sofre a metalização dos furos e das faces até a obtenção da espessura desejada.

O processo de metalização, como já foi citado anteriormente, pode ser dividido em quatro etapas: limpeza química e condicionamento, sensibilização, cobre químico e eletrodeposição.

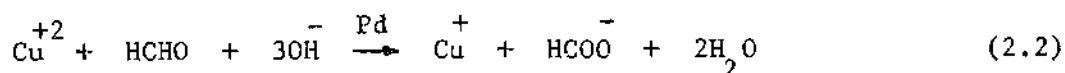
A preparação adequada da superfície a ser processada é determinante na obtenção de uma boa metalização. A placa, após sofrer a ação da politriz passa por uma seqüência de banhos químicos que promovem a eliminação de contaminantes e o condicionamento do laminado.

No cobre químico ocorre a formação de uma fina película de cobre metálico em toda a superfície da placa por reações de oxirredução. Desta maneira, as superfícies não condutoras estarão preparadas para sofrer a eletrodeposição. A deposição do cobre químico nas áreas não condutoras torna-se viável pela realização anterior de um processo de sensibilização da base dielétrica conhecido como ativação ou sementeação. Neste processo ocorre a formação de núcleos de paládio como uma superfície catalítica que promove a deposição do cobre químico. O paládio é reduzido de paládio iônico a paládio metálico pela oxidação de um elemento químico previamente adsorvido nas superfícies dielétricas. Este elemento geralmente é o íon estanhoso (Sn^{+2}) que se oxida a forma de íon estânico (Sn^{+4}). O agente oxidante é adsorvido fisicamente no material dielétrico por um processo de submersão do laminado em uma solução que contenha o agente. Este agente oxidante deverá obrigatoriamente ter boa aderência no substrato dielétrico (Schlabach, 1963). Após, a placa é mergulhada em uma solução que contém o íon paládio. Ocorre então a deposição química do paládio metálico conforme a equação redox apresentada a seguir tendo como agente oxidante o íon estanhoso.



Por fim, segue-se uma etapa de pós-ativação onde é assegurada a remoção de todos os íons do agente oxidante.

A reação do cobre químico dá-se através da redução autocatalítica controlada do íon cúprico na superfície da placa. A redução do cobre pode ser representada pela reação redox a seguir:



A equação mostra a redução do íon cúprico pelo formaldeído em um meio fortemente básico.

Na eletrodeposição utiliza-se um banho ácido de sulfato de cobre. Sendo o sulfato de cobre, que fornece os íons cúpricos e o ácido sulfúrico, que proporciona o meio ácido condutivo, os dois principais componentes da solução. O íon cúprico é reduzido pelos elétrons existentes na solução conforme a reação a seguir:



A espessura de camada obtida é proporcional a densidade de corrente (amper/ dm²) e ao tempo de eletrodeposição. Para uma dada espessura o tempo de eletrodeposição pode ser reduzido pelo aumento de densidade de corrente respeitando-se os limites do banho.

A linha de metalização (Figura 2.3) é composta por uma série de banhos químicos, sendo suas etapas descritas a seguir.

Tanque 1 - Limpeza alcalina e condicionamento da placa: contém uma solução alcalina que visa desengraxar e remover óxidos existentes. A placa sofre a ação de um aditivo que polariza a base dielétrica negativamente aumentando a cobertura do cobre químico.

Tanque 2 - Lavagem de água a 40 C: assegura o perfeito desengraxe.

Tanque 3 - Lavagem de água por "spray".

Tanque 4 - Decapagem ácida: visa remover o inibidor de oxidação comumente aplicado pelos fabricantes de laminados e deixar a superfície levemente áspera de maneira a proporcionar uma melhor deposição do cobre químico. A não remoção do inibidor poderá gerar uma película indesejável entre a superfície do laminado e o cobre químico.

Tanque 5 - Lavagem de água por "spray".

Tanque 6 - Banho ácido: solução 5% de ácido sulfúrico. Visa a remoção de qualquer sulfato originado nos tanques 4 e 5 que possa gerar um filme indesejável na superfície da placa.

Tanque 7 - Lavagem de água por "spray".

Tanque 8 - Pré-ativador: adsorção do agente oxidante assegurando que as paredes dos furos estejam preparadas para a formação dos núcleos de paládio.

Tanque 9 - Ativação: deposição química do paládio em meio alcalino.

Tanque 10 - Lavagem de água por "spray".

Tanque 11 - Redutor 100%.

Tanque 12 - Redutor 10%.

Os tanques 11 e 12 contêm soluções redutoras que visam a remoção dos íons de estanho.

Tanque 13 - Cobre químico: formação de uma película de cobre metálico por reação redox catalítica.

Tanque 14 - Lavagem de água por "spray".

Tanque 15 - Banho ácido: solução de ácido sulfúrico 5% que neutraliza a ação do meio alcalino do cobre químico.

Tanque 16 - Cobre ácido: eletrodeposição de cobre.

Tanque 17 - Lavagem por "spray".

Tanque 18 - Antioxidante: inibe a formação de óxidos na superfície da placa.

Tanque 19 - Lavagem de água por "spray".

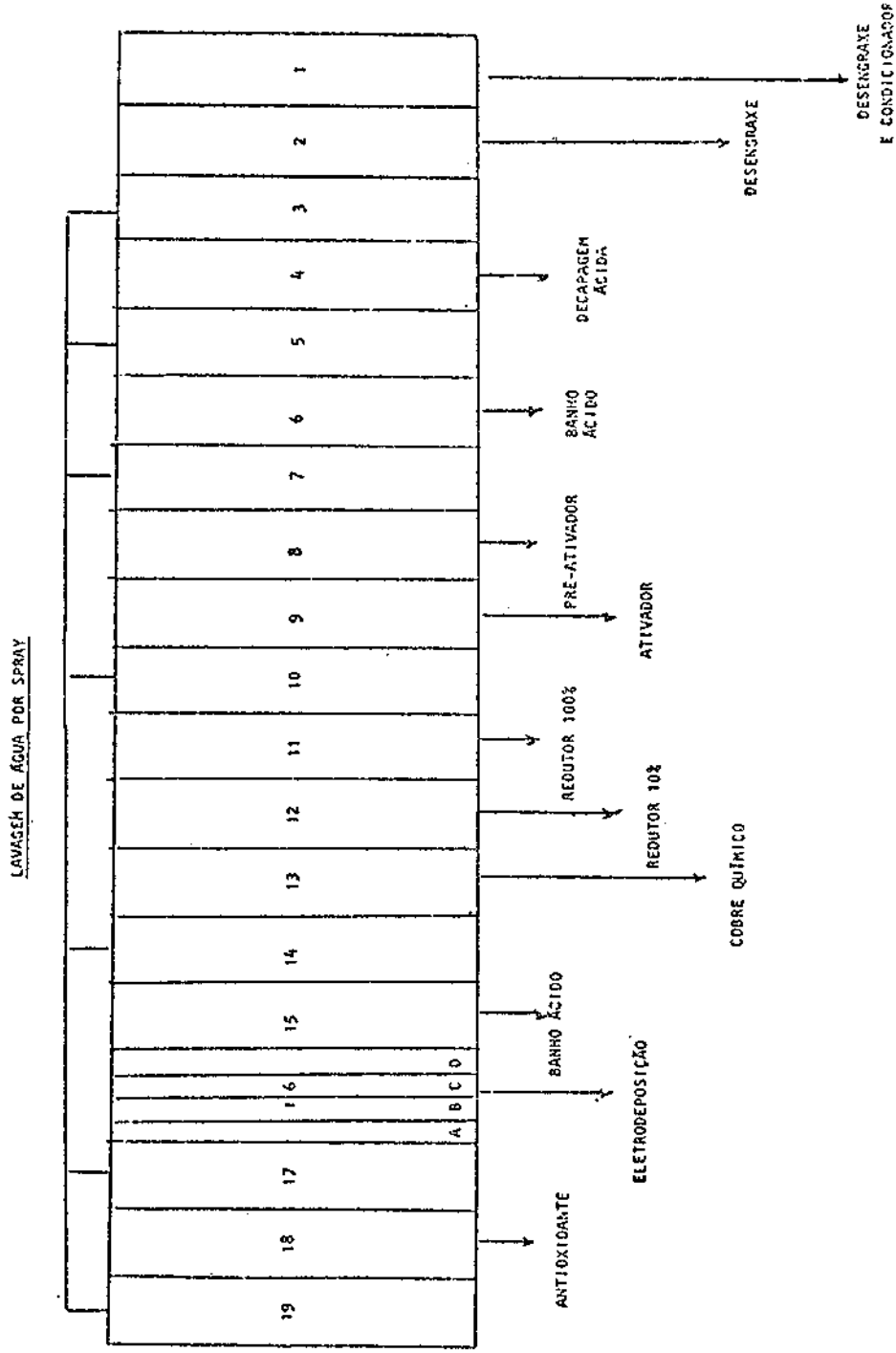


Fig. 2.3 - Linha de metalização

2.3.2.2.b - ELETRODEPOSIÇÃO DE OURO

Alguns circuitos impressos sofrem, conforme a especificação técnica, a deposição de ouro de maneira seletiva em pontos de contato elétrico.

Como um material resistente a corrosão o ouro não sofre o ataque da atmosfera, de álcalis, soluções salinas, da água e da maioria dos ácidos. Seu potencial de oxidação negativo torna-o ideal ao contato com superfícies de baixa resistência elétrica. Sua baixa resistência ao atrito e ao desgaste mecânico é contornada por sua eletrodeposição com níquel e cobalto.

Pode-se dividir o processo de douração em três etapas: eletrodeposição de níquel, ouro "flash" e foleação.

A eletrodeposição de níquel forma uma camada que servirá de superfície para a deposição do ouro. Esta camada aumenta grandemente a resistência do ouro ao desgaste além de agir como uma barreira à difusão entre o cobre e o ouro. Esta eletrodeposição ocorre em um banho ácido (pH 3,5 - 4,5) aquecido (50 C) e com agitação. As substâncias principais da solução são: sulfato de níquel, cloreto de níquel e ácido bórico.

O níquel iônico é reduzido ao estado metálico conforme a reação a seguir.



Na fase do ouro "flash" , ocorre a eletrodeposição de uma fina camada de ouro e níquel . O ouro é um metal nobre e facilmente desloca de outros metais menos nobres que ele. A formação desta camada evita que ocorra o deslocamento. O banho é levemente acidificado por um ácido orgânico (pH 4,8 - 5,0) com forte agitação

para garantir uma deposição uniforme. O ouro está na forma de cianeto e o níquel como um complexo estável.

Na etapa de foleação, ocorre uma reação rápida de eletrodeposição. As características de dureza, resistência a abrasão e boa ductilidade são obtidas pela deposição de ouro juntamente com cobalto que se encontra na forma de um complexo estável. O banho é levemente ácido. O ouro se encontra na forma de cianeto.

Após a área a ser dourada sofrer uma limpeza manual e enxagüe sob água abundante a placa passa por uma série de banhos químicos citados a seguir:

Tanque 1 - Desengraxante de emersão: banho de alto teor umectante, medianamente alcalino. Visa a remoção de compostos de polimento.

Tanque 2 - Lavagem a água.

Tanque 3 - Desengraxante eletrolítico: banho de elevada alcalinidade que remove contaminantes (óxidos, gorduras e outras substâncias) que possam impedir a perfeita aderência do níquel. A peça também sofre uma leve decapagem, para aumentar a superfície de deposição.

Tanque 4 - Lavagem em água.

Tanque 5 - Banho ácido: ácido sulfúrico 5% atua na superfície da placa de modo de a condicionar para a eletrodeposição de níquel.

Tanque 6 - Lavagem a água.

Tanque 7 - Eletrodeposição de níquel.

Tanque 8 - Lavagem à água.

Tanque 9 - Banho ácido: ocorre uma leve decapagem do níquel pela ação do ácido clorídrico 5%.

Tanque 10 - Lavagem em água deionizada.

Tanque 11 - Ouro "flash".

Tanque 12 - Água de recuperação: visa a recuperação do ouro que por ventura deslocar.

Tanque 13 - Folesção de ouro.

Tanque 14 - Água de recuperação.

Tanque 15 - Selagem.

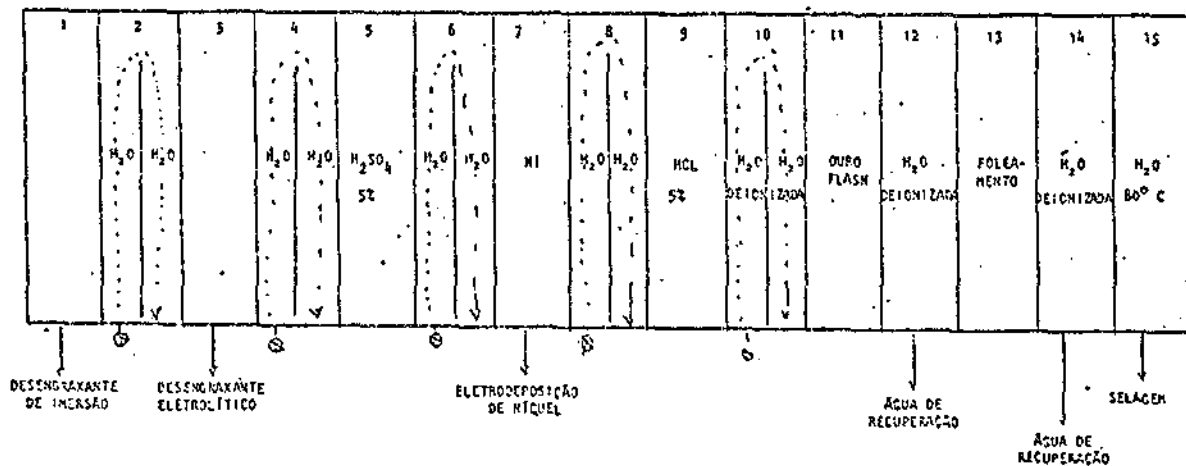


Fig. 2.4 - Linha de douração

2.3.2.3 - DEPOSIÇÃO DE ESTANHO/CHUMBO

A deposição de estanho/chumbo desempenha duas funções: a de proteção do cobre exposto e a de fornecer um substrato para a soldagem dos componentes.

O método utilizado no Laboratório é conhecido como sistema de nivelamento de solda por ar quente. A placa é mergulhada em um banho da liga eutética de estanho/chumbo em fusão a 450 F. Ao ser retirada do banho um mecanismo de jateamento de ar quente nivela a liga depositada sobre o cobre exposto e remove os resíduos indesejáveis das superfícies dielétricas da placa.

Após sofrer uma etapa de limpeza química e sofrer uma leve decapagem no cobre exposto, a placa é presa ao transportador do equipamento ocorrendo as seguintes etapas descritas a seguir:

- a) Placa no transportador.
- b) A placa é mergulhada no tanque de fluxo. O fluxo elimina o ar da superfície do laminado evitando a oxidação do estanho/chumbo e remove os possíveis óxidos existentes.
- c) A placa é retirada do fluxo e mergulhada durante alguns segundos na liga em fusão. Nesta etapa ocorre a aderência do estanho/chumbo no cobre exposto.
- d) Ao sair do banho, a uma velocidade controlada, a placa recebe jatos de ar quente comprimido que removem a solda não aderida na superfície da placa e nivelam a solda depositada no cobre exposto. Obtêm-se uma camada de 3 a 5 micra.

A Figura 2.5 ilustra o procedimento.

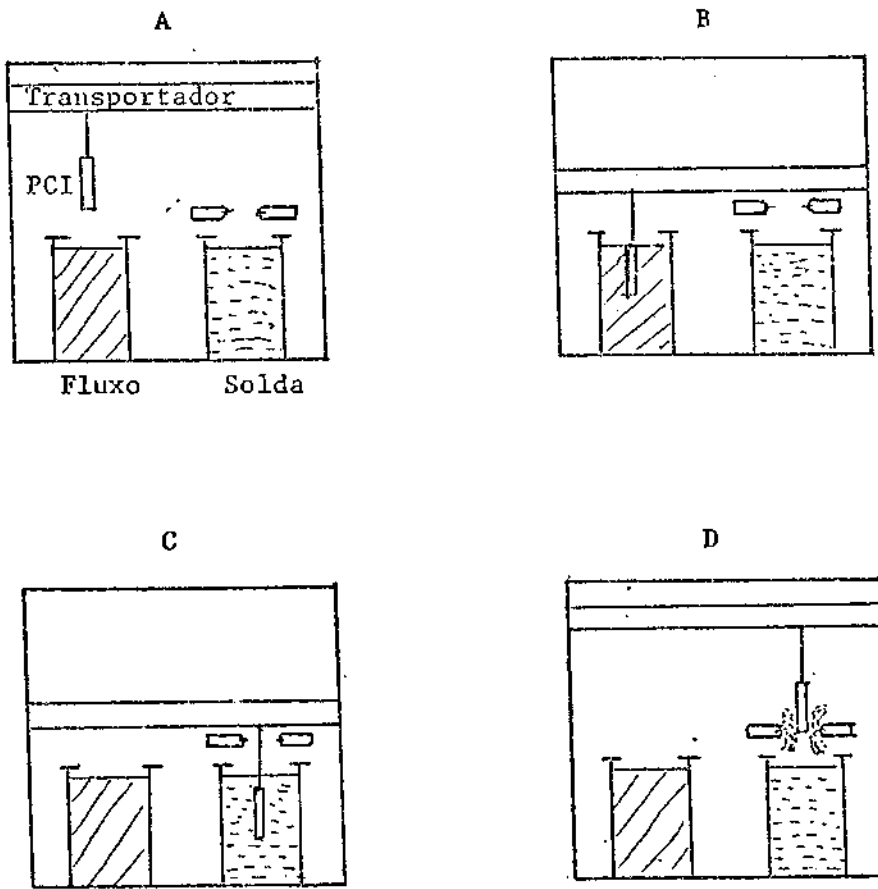


Fig. 2.5 - Processo de deposição de estanho/chumbo

2.3.2.4 - TRANSFERÊNCIA DE IMAGEM POR FOTOPOLÍMEROS

Nesta etapa é impresso no laminado uma cópia exata do circuito confeccionada em um material orgânico fotossensível. Este material tem a propriedade de sofrer mudanças em sua estrutura quando exposto a determinados comprimentos de onda da luz.

A placa já com o fotopolímero aderido as faces, e com os respectivos fotolitos casados, sofre a incidência de feixes de fótons na banda do ultravioleta. As áreas do fotopolímero protegidas pela emulsão fotográfica não sofrerão nenhuma alteração em sua estrutura. O material polimerizado permanecerá insolúvel a ação posterior do solvente. O material não polimerizado será dissolvido.

Operacionalmente o processo está dividido em:

- Limpeza mecânica e secagem

- Laminação

- Registro

- Exposição

- Revelação

A limpeza, já citada anteriormente no processo mecânico, deve garantir a perfeita aderência do fotopolímero na superfície do cobre.

A laminação consiste na deposição do fotopolímero nas faces do laminado. O fotopolímero utilizado encontra-se acondicionado entre uma camada de polietileno e outra de poliéster conforme a ilustração da Figura 2.6.

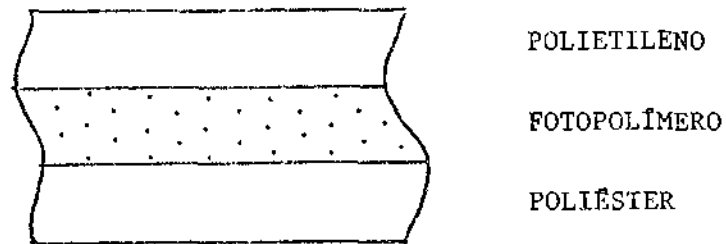


Fig. 2.6 - Corte de uma camada de filme seco

Este material conhecido como filme seco é comercializado em rolos sendo de ação negativa. Ou seja, depois de sofrer a reação de polimerização o fotopolímero torna-se insolúvel a ação do solvente.

A seguir é descrito o processo. A placa sofre um pré-aquecimento na entrada do laminador, passando entre dois rolos que exercem pressão de modo a promover a aderência do fotopolímero. A camada de polietileno é retirada automaticamente antes da laminação. O poliéster permanece sobre o fotopolímero exercendo a função de proteção (Conforme Figura 2.7).

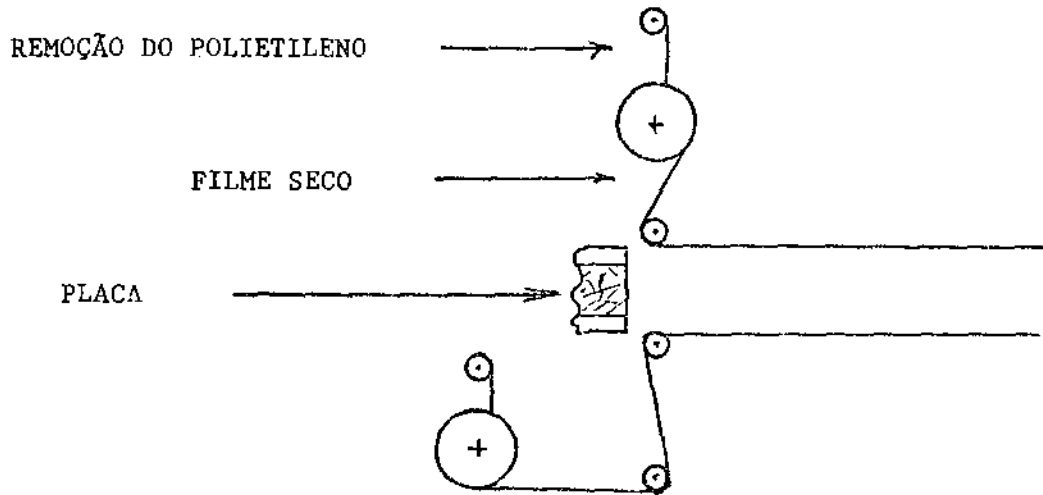


Fig. 2.7 - Laminação com filme seco

No registro, o operador ajusta o fotolito sobre as faces laminadas. Na etapa de exposição ocorre a polimerização das áreas expostas a incidência de fótons na banda do ultravioleta. O tempo adequado de exposição está na razão direta da intensidade da luz, da temperatura, do tipo de fotopolímero e do equipamento. A placa com os fotolitos casados é colocada em uma moldura que possui um sistema de vácuo que promove um íntimo contato entre as superfícies do fotopolímero e do fotolito. A exposição é realizada pela ação de uma fonte de luz colimada conforme a representação da Figura 2.8.

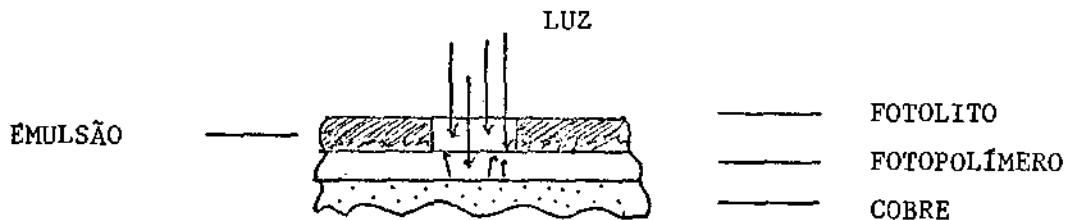


Fig. 2.8 - Exposição do filme seco

Na revelação, após a estabilização dimensional do fotopolímero, a camada de poliéster é retirada e os painéis sofrem a ação do solvente. Esta etapa é realizada com pressão, temperatura e velocidade de avanço das placas controladas.

No final deste processo é obtida a definição do desenho do circuito pelo fotopolímero (Conforme Figura 2.9).

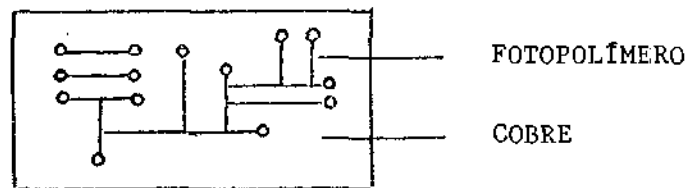


Fig. 2.9 - Definição do circuito em filme seco

Todas estas operações são executadas em sala limpa. O ambiente deve estar isento de partículas em suspensão com rígido controle de temperatura e umidade do ar. A iluminação deve ser de luz amarela de modo a evitar a sensibilização dos fotopolímeros.

Outra aplicação do filme seco na produção é sua utilização como acabamento externo protetor. Este material viabiliza a proteção do cobre exposto das pista de circuitos densos sem o problema de curto que seria originado pela deposição de estanho/chumbo. Além disto, oferece boa resistência a altas temperaturas, ao desgaste mecânico e possibilita a utilização de processos automáticos para a soldagem dos componentes. Neste processo o fotopolímero é depositado em toda a superfície da placa com excessão dos pontos de contato elétrico. Utiliza-se um fotolito onde a emulsão representa somente as formas das áreas que devem ficar descobertas.

Após a exposição, ao passar pela revelação as áreas antes protegidas pela emulsão fotográfica são dissolvidas.

A placa antes de sofrer a laminação passa por limpeza mecânica, química e por um a etapa de secagem.

A limpeza química dos sete primeiros tanques da metalização promove a retirada dos contaminantes da superfície da placa. A limpeza mecânica e a secagem garantem uma superfície aspera isenta de umidade para receber a deposição do fotopolímero.

O processo de laminação é realizado pela utilização de um laminador provido de uma câmara de vácuo. A laminação é executada controlando-se a temperatura e pressão interna da câmara e velocidade de transporte das placas.

Na exposição são polimerizadas as áreas desprotegidas do fotopolímero. Após da revelação a placa é submetida a cura ultravioleta que promoverá o grau de polimerização desejado. A retirada da umidade residual, oriunda da revelação é feita em estufa.

2.3.2.5 - GRAVAÇÃO ÁCIDA

A gravação ácida ou "etching" é o último passo do processo químico subtrativo. É obtido, sobre a base dielétrica, o circuito pela remoção do cobre não protegido pelo material resistente. A Figura 2.10 representa o processo.

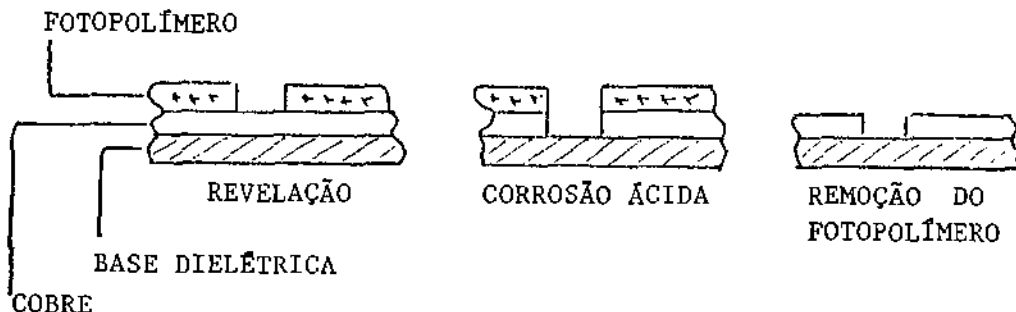


Fig. 2.10 - Processo de gravação ácida

A boa definição da forma do circuito após o "etching", além das condições de operação depende muito da qualidade do produto obtido pela transferência de imagem.

Quaisquer defeitos como por exemplo, curtos, má aderência, estrangulamento de pistas etc., devem ser evitados. A obtenção de um circuito mau definido na gravação ácida gera uma perda irreversível.

2.3.2.5.a - SOLUÇÃO CORROSORA

A corrosão é obtida pela ação do cloreto cúprico. Sua ação corrosora no cobre em solução aquosa dá-se conforme a seguinte reação (Schlabach, 1979):

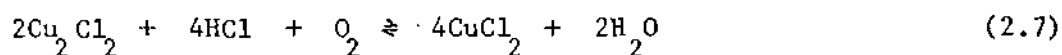


A taxa de corrosão desta solução é muito baixa. O cloreto cuproso é um composto insolúvel forçando a reação inversa. No entanto, na presença de um excesso de íons cloro, o cloreto cuproso é solubilizado como um complexo clorídrico conforme a reação a seguir:

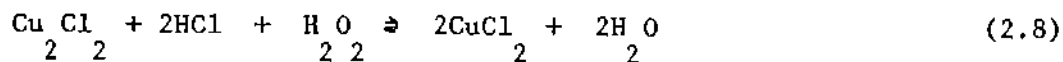


x pode ser 2 ou 3

A regeneração desta solução é possível pela oxidação do cobre do estado cuproso a cúprico conforme a reação 2.7.



O agente oxidante utilizado é o peróxido de hidrogênio. Desta maneira, a reação anterior pode ser reescrita como:



Pode-se obter um aumento da taxa de corrosão pela adição de ácido clorídrico e/ou água oxigenada na solução corrosora.

2.3.2.5.b - SISTEMA FECHADO COM REGENERAÇÃO

Este sistema proporciona uma maneira prática para se obter uma taxa constante de corrosão pela regeneração automática da solução corrosora já utilizada. O tanque de estoque da solução já utilizada possui um par de eletrodos. A medida em que a solução perde seu poder oxidante o potencial detectado diminui. Quando o potencial de oxidação atinge um dado limite inferior é acionada automaticamente uma bomba que injeta ácido clorídrico, água oxigenada e água ácida oriunda da limpeza pós-corrosão no tanque de solução já utilizada. Deste modo o potencial de oxidação da solução começa a aumentar. Quando este, atingir um dado valor superior ocorre o desligamento automático das bombas.

O sistema é composto das seguintes partes:

- corrosão ácida
- lavagem de água ácida e de água
- inspeção
- retirada do fotopolímero
- lavagem em água
- secagem

A retirada do fotopolímero ocorre pela ação de uma solução que o desprende do cobre. Atualmente, está se utilizando soda caustica.

A Figura 2.11 mostra um corte da máquina corrosora.

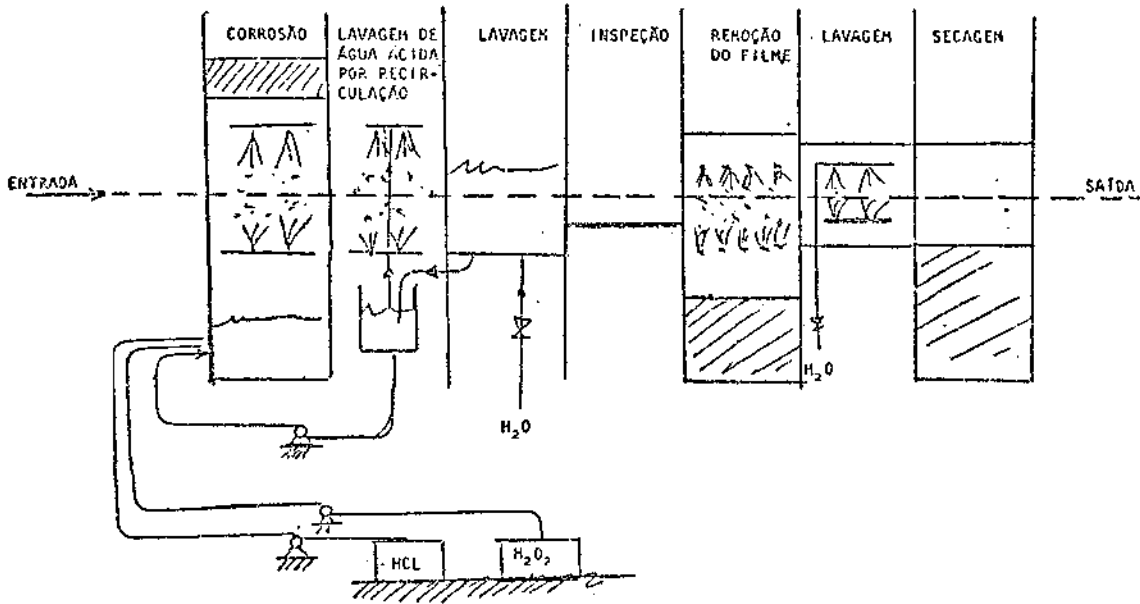


Fig. 2.11 - Vista lateral simplificada da corrosora

CAPÍTULO 3

MODELAGEM

Sistemas, modelos e simulação. Para estas três palavras encontra-se várias definições na literatura. Sendo a boa definição aquela que fornecer idéias que promovam atingir a um dado objetivo estatuido.

O objetivo aqui estatuido é gerar uma ferramenta que permita uma maior compreensão da dinâmica da linha de produção do Laboratório de Circuito Impresso do INPE e a realização de diversos experimentos que forneçam subsídios para o planejamento e o controle de sua produção.

Sistema é aqui entendido como uma parte da realidade que é objeto de estudo ou de interesse. Portanto, o sistema é uma parte do mundo real. Descrevê-lo ou representá-lo em todos os seus aspectos é uma tarefa árdua a não ser que algumas simplificações sejam feitas.

O modelo é o resultado do esforço em representar a realidade. Para isto, fronteiras são delineadas em torno do assunto de interesse e partes da realidade são substituídas por suposições. Os elementos do sistema e respectivas interações são identificados e expressos formalmente. Com isto, procura-se apresentar a realidade sob uma nova forma que permita predizer o que acontecerá se certas ações forem tomadas (Bratley, 1983).

A técnica de estruturar o sistema de maneira modular é empregada no desenvolvimento do projeto de simulação de maneira a promover uma melhor apresentação, análise e modelagem deste. Esta ferramenta permite o detalhamento do sistema de forma organizada até um nível de detalhe que possibilita a geração da estrutura do sistema de programas computacionais antes de estes serem codificados. Esta opção está ligada diretamente a linguagem e a metodologia de simulação adotadas.

A simulação, aqui considerada, possibilitará atingir o objetivo anteriormente apresentado pela geração de um modelo da linha de produção do Laboratório de Circuito Impresso do INPE que seja manipulável em um sistema computacional.

A credibilidade ou sucesso da realização da simulação residirá na obtenção de resultados similares aos observados no mundo real dadas a ocorrência das mesmas ações. A similaridade dos resultados deverá estar dentro dos limites de precisão requeridos. Para esta classe de simulação, por hipótese, os resultados típicos deverão estar dentro de uma faixa de 20% em torno dos valores reais.

Neste capítulo é descrita a obtenção do modelo e no capítulo quatro é apresentada a maneira de como este modelo é transformado em um modelo computacional, ou seja, traduzido em programas.

3.1 - DESCRIÇÃO SIMPLIFICADA DO SISTEMA

O Laboratório de Circuito Impresso é descrito, neste ítem, pela utilização de técnicas ilustrativas que simbolizam de maneira clara e resumida seus elementos e respectivas interações (Figura 3.1).

Para isto, o sistema é analisado em sua dimensão física. A seqüência temporal e as relações de dependência das partes do sistema não serão abordadas. Assim, como não serão utilizadas relações lógicas do tipo e ou ou (Gane, 1984).

A meta desta descrição é explicitar o sistema de uma forma estruturada que auxilie na modelagem. Sendo esta descrição o padrão de referência a partir do qual será descrito o modelo computacional.

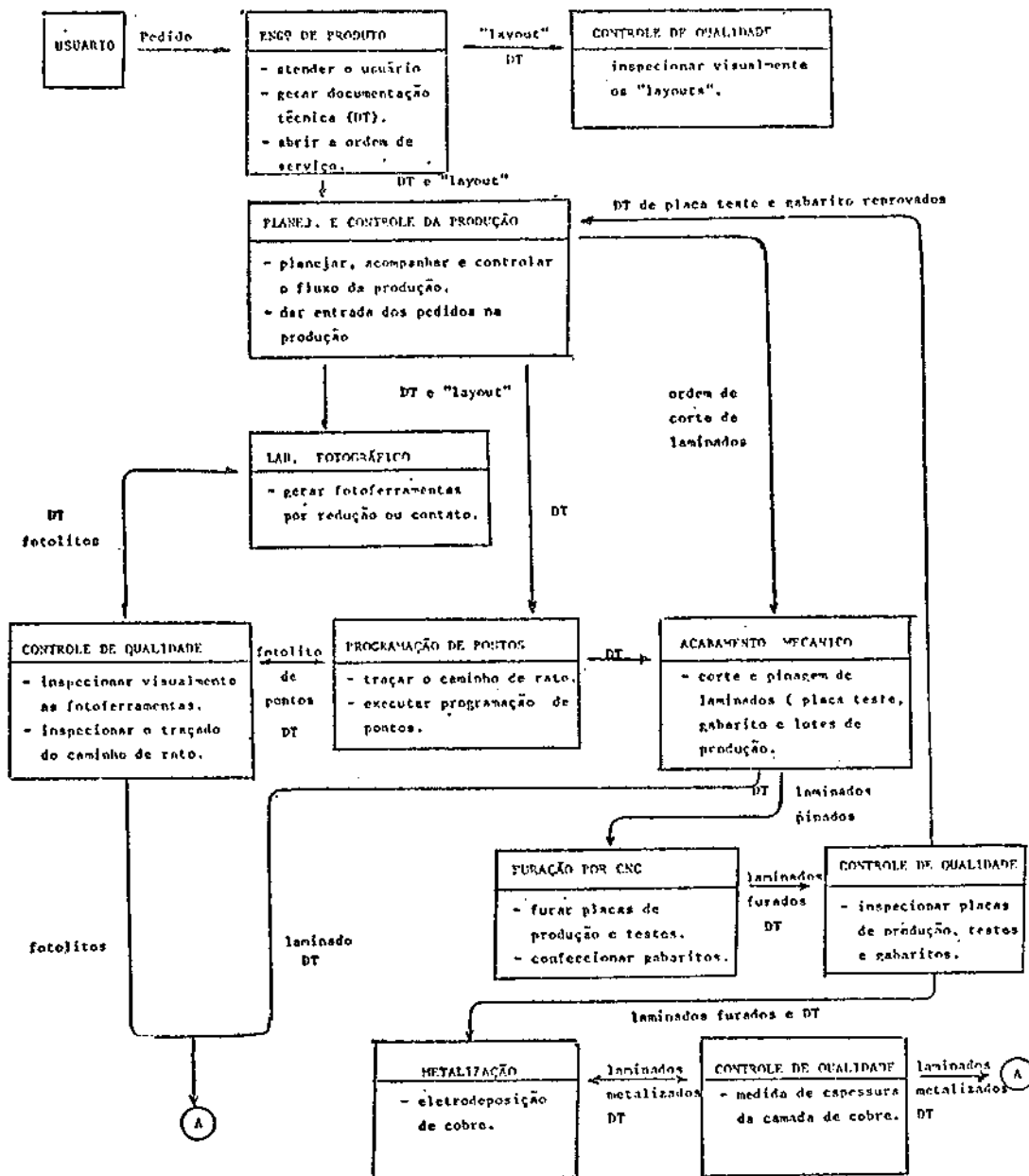


Fig. 3.1 - Representação simplificada do sistema

(continua)

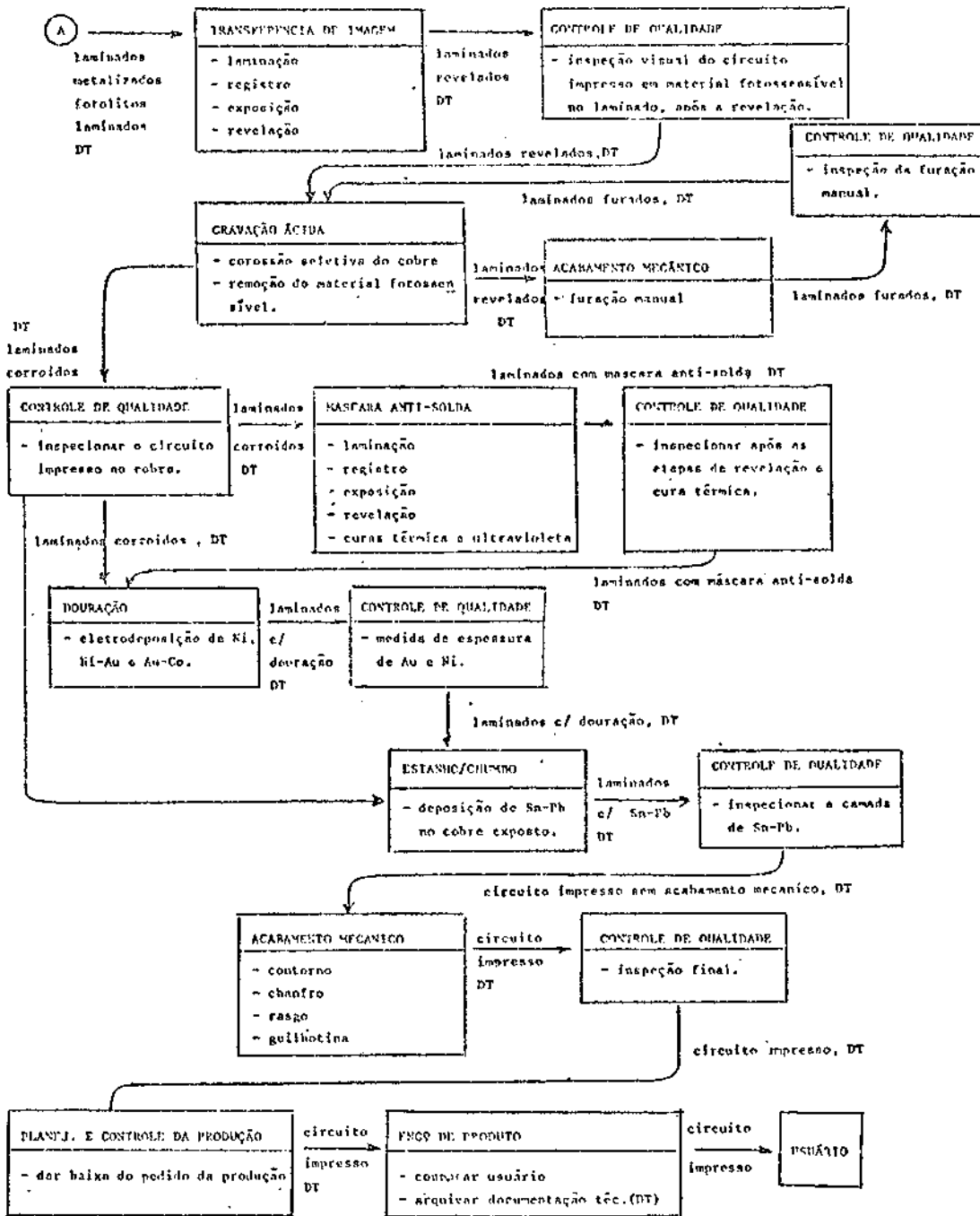


Fig. 3.1 - Conclusão .

Na construção da representação gráfica são utilizados alguns símbolos que são apresentados a seguir:

- a) Entidade Externa: representa uma fonte ou destino de transações. Na representação será simbolizada por um quadrado. Esta figura traduz o usuário que chega ao laboratório para solicitar a execução de um serviço.
- b) Transformações : representam uma mudança no estado do sistema, a representação são simbolizadas por retângulos subdivididos em dois campos: no campo superior será nomeada a transformação e no campo inferior será explicitado o que sucede na transformação. As filas de espera de atendimento são consideradas contidas nas respectivas transformações. As transformações que representam o sistema estão listadas abaixo:

- Engenharia de Produto
- Planejamento e Controle da Produção
- Controle de Qualidade
- CAD/CAM
- Laboratório Fotográfico
- Programação de Pontos
- Furação por Controle Numérico
- Transferência de Imagem
- Gravação Ácida
- Máscara Anti-solda

Estanho/Chumbo

Acabamento Mecânico

- c) Transações: designam os vínculos entre as transformações sem estabelecer idéia de seqüenciamento. Admite-se que através das transações fluem as entidades entre as transformações. Na representação são simbolizadas por uma seta, tal que a ponta indica o sentido do fluxo.
- d) Entidades : traduzem os elementos do sistema observado. Na representação são indicadas por sua nomeação junto a transação correspondente. Existem doze tipos de entidades no sistema estando agrupadas em dois blocos: confecção de circuito impresso (bloco 1) e não confecção de circuito impresso (bloco 2). O primeiro bloco contém os seguintes tipos de circuitos impressos: microonda sem furo, microonda com furo não metalizado, microonda com furo metalizado, protótipo, metalizado, convencional com furação manual e convencional com furação por controle numérico. O segundo bloco contém as seguintes opções: geração de fotolito e programação de pontos; geração de fotolito, programação de pontos e furação CNC; programação de pontos; programação de pontos e furação CNC ; e furação CNC.

Para melhor visualização serão nomeados, juntos as transações em lugar das entidades, os produtos que fluem na linha de produção. Como por exemplo: documentação técnica (DT), fotolito, painéis, etc. Assim, o produto fotolito pode estar representando uma entidade do primeiro ou segundo bloco conforme sua posição no fluxo.

3.2 - MODELAGEM FÍSICA

As mudanças de estado do sistema denominadas transações na descrição simplificada do sistema, serão denominadas de estações de trabalho no modelo. Para viabilizar a modelagem algumas transformações foram agrupadas em uma única estação de trabalho e uma desconsiderada. Estes procedimentos são mostrados na Figura 3.2.

TRANSFORMAÇÕES	ESTAÇÕES DE TRABALHO
Eng de Produto	Recepção
PCP	
Transf. de Imagem	Filme Seco
Máscara Anti-solda	
CAD/CAM	DESCONSIDERADO

Fig. 3.2 - Alterações feitas as transformações

O sistema CAD/CAM teve o início de suas atividades de prestação de serviço em outubro de 1986. Por estar em fase inicial de operação a obtenção de dados amostrais que conduzam a estatísticas confiáveis foi impossível.

As demais transformações citadas na descrição do sistema correspondem cada uma a uma estação de trabalho, as quais são citadas a seguir: Laboratório Fotográfico, Programação de Pontos, Gravação Ácida, Douração, Estanho/Chumbo, Acabamento mecânico e Controle de Qualidade.

As estações de trabalho possuem um ou mais servos que realizam serviços nas entidades. Podendo estar organizados em estruturas de série ou paralelo e tendo somente dois estados: ociosos ou ocupados.

Cada estação de trabalho possui características próprias quanto a(s):

- relações lógico-matemáticas que descrevem a sua dinâmica.
- distribuição de serviços entre seus servos.
- alteração das características das entidades, das relações entre elas e/ou da variação de seu número.
- filas de espera para armazenar entidades que estão aguardando o término de serviço de algum servo.

3.2.2 - ÍNDICE DE CASSAÇÃO

Os índices de perdas irreversíveis e de retrabalhos são tratados estocasticamente. Sendo gerados conforme uma distribuição uniforme. A cada estação de trabalho, conforme dados levantados na linha de produção, correspondem um parâmetro médio de cassação e um número máximo de perdas que uma dada entidade poderá sofrer.

TABELA 3.1

ÍNDICES DE CASSAÇÃO POR ESTAÇÃO DE TRABALHO

ESTAÇÕES DE TRABALHO	PARÂMETRO DE CASSAÇÃO	N. DE PERDAS
Laboratório Fotográfico	5 %	1
Programação	10 %	3
Furação CNC	1 %	0
Metalização	10 %	1
Filme Seco	10 %	3
Gravação Ácida	10 %	0
Estanho/Chumbo	5 %	3
Douração	10 %	1
Acabamento Mecânico	1 %	0

A decisão da cassação ocorre na estação de trabalho Controle de Qualidade. Sendo considerada a geração da quantidade de peças cassadas como de natureza estocástica comportando-se segundo uma distribuição uniforme. É considerada como de 10% a chance de que mais de 10% das peças de uma dada entidade sejam cassadas.

Nas estações de trabalho onde o número de perdas é zero as cassações são irreversíveis.

3.3 - MODELAGEM TEMPORAL

A unidade de tempo adotada na modelagem é o minuto. Tendo um dia de trabalho a duração de 840 minutos: inicia as 6:30 horas até as 23 horas incluindo duas horas e meia destinadas à refeições. Com excessão das estações de trabalho de Furação por Controle Numérico e Programação de Pontos, as demais trabalham oito horas por dia. A estação de trabalho Furação por Controle Numérico

inicia as 6:30 horas encerrando as 23 horas. A estação de trabalho Programação de Pontos inicia as 8 horas encerrando as 23 horas.

O avanço do tempo se dá de maneira estocástica ou determinística. Os tempos de processo máquina não apresentam variações significativas no tempo de operação sendo considerados como de natureza determinística. Os tempos de operação onde o fator humano tem grande influência são considerados de natureza estocástica.

Cada estação de trabalho possui um procedimento de avanço de tempo singular devido a natureza diversa dos processos.

A obtenção dos dados amostrais foi realizada com o Laboratório em funcionamento no período de janeiro a agosto de 1987. O teste utilizado para verificação do comportamento dos dados amostrais em relação a distribuição foi o teste do Quiquadrado. Trabalhou-se com um nível de confiança maior que 0,9. O número de dados amostrais sempre foi maior que 50.

3.3.1 - CHEGADA DE USUÁRIOS

Aceita-se que a ocorrência do acontecimento chegada de um usuário ao sistema é modelado pela distribuição de Poisson. Isto é, seja v uma quantidade positiva a taxa média de acontecimentos por unidade de tempo que satisfaz as seguintes considerações (Mood, 1974):

- i) A probabilidade que exatamente um acontecimento venha a ocorrer dentro de um pequeno intervalo de tempo de comprimento k é aproximadamente igual a vk .
- ii) A probabilidade de mais de um acontecimento dentro de um pequeno intervalo de tempo k é pequeníssima quando comparada a probabilidade de apenas um acontecimento ocorrer no mesmo intervalo de tempo.
- iii) O número de acontecimentos dentro de intervalos de tempo não sobrepostos são independentes.

Então v é a média i da distribuição de Poisson.

Sabe-se que uma situação de espera de chegada de usuários é distribuída conforme Poisson com uma média i , então o intervalo de tempo entre chegadas é exponencialmente distribuído com média $1/i$. Portanto o tempo de chegada entre os usuários é modelado conforme uma distribuição exponencial.

A média i obtida foi de 12,73 usuários por dia. Aplicando o teste do Quiquadrado em dados amostrais obteve-se um nível de confiança de 0,975 com três graus de liberdade.

3.3.2 - EXECUÇÃO DES SERVIÇOS

A maior parte das estações de trabalho possuem os tempos de serviço de natureza não determinística pelo fato da ação dos operadores. Para modelar as características estocásticas das estações utilizar-se-ã o Teorema do Limite Central, a Lei Forte dos Grandes Números e a Lei Fraca dos Grandes Números.

O teorema do Limite Central diz que a média X_n de uma amostra aleatória de qualquer distribuição com uma variância finita σ^2 e uma média μ é aproximadamente distribuída como uma variável aleatória normal com uma média μ e uma variância σ^2/n .

Nesta simulação aceita-se que o Teorema do Limite Central se aplica:

Seja $f(.)$ a densidade com uma média μ e uma variância finita σ^2 . Seja, X_n a média amostral de uma variável aleatória de tamanho n de $f(.)$. Seja a variável Z_n definida por:

$$Z_n = \frac{X_n - E(X_n)}{\text{Var}(X_n)} = \frac{X_n - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

Então a distribuição de Z_n aproxima-se da distribuição normal a medida que n tende ao infinito.

Pelo método da Máxima Verossimelhança (Maximum Likelihood) ou pelo método dos Momentos pode-se obter os estimadores não tendenciosos para μ e σ^2 . Sendo no caso da normal:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.2)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2 \quad (3.3)$$

Para determinar o valor de n , (número de observações ou de elementos da população amostral) sabe-se pela Lei Fraca dos Grandes Números que usando-se um número finito de valores de X_n , obtidos de uma amostra de tamanho n , pode-se obter quaisquer inferências sobre a $E(x) = \mu$.

Pela distribuição de $X_n \sim N(\mu, \sigma^2/n)$ pode-se estimar o intervalo de confiança para a média μ com um nível de confiança $(1 - \gamma)$ cujos extremos são $\bar{X}_n - t_{\gamma/2} \cdot S/\sqrt{n}$ e $\bar{X}_n + t_{\gamma/2} \cdot S/\sqrt{n}$. Sendo S o desvio amostral conforme a equação 3.4.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2} \quad (3.4)$$

Sendo $t_{\gamma/2}$ o valor crítico tal que $P\{t \geq \gamma/2\} = \gamma/2$ para uma variável T com distribuição de Student com $(n-1)$ graus de liberdade.

Se a precisão desejada nesta estimativa de μ for de ϵ no nível de confiança $(1-\gamma)$ pela Lei fraca dos Grandes Números sabemos que se n é qualquer inteiro maior ou igual que $\sigma^2/\delta\epsilon^2$, onde

$\varepsilon > 0$ e $0 < \delta < 1$ então $P \{ -\varepsilon < X_n - \mu < \varepsilon \} \geq 1 - \gamma$ tal que $\varepsilon > 0$
e $0 < \gamma < 1$. O tamanho da amostra deverá ser:

$$n \geq \left| t_{\frac{\gamma}{2}} \cdot \frac{S}{\varepsilon} \right|^2 \quad (3.5)$$

ou escrito de outra forma (Faria, 1983):

$$n \geq \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \gamma} \quad (3.6)$$

onde,

- n é o tamanho da amostra
- σ^2 é a variância populacional
- ε é a variação de x em relação a
- $1 - \gamma$ é igual ao nível de confiança

Este procedimento é possível pela suposição que as X_i observações do experimento são independentes.



CAPÍTULO 4

MODELAGEM COMPUTACIONAL

4.1 - GASP IV

O GASP IV é uma linguagem de simulação estruturada de forma modular em FORTRAN IV (Pritsker, 1969 e 1979). Esta linguagem fornece tanto a estrutura e terminologia para a geração do modelo como ferramentas de análise pela geração de dados estatísticos. Desta forma, o usuário obtém simultaneamente o programa computacional ao gerar o modelo. Devido a sua estrutura, o GASP IV, permite a realização de modificações em seu programa fonte assim como a inclusão de novas subrotinas. Podendo ser utilizado para a realização de simulações de natureza discreta e /ou continua

Os termos, discreta e/ou continua, referem-se ao tipo de mudanças que ocorrem no sistema em relação ao tempo. Na maioria das simulações o tempo é a principal variável independente. As demais, que tem seus valores alterados em função do tempo são denominadas variáveis dependentes. Logo, discreta e/ou continua referem-se a forma de comportamento das variáveis dependentes.

O GASP IV fornece ao usuário um conjunto de subrotinas de suporte para a leitura de dados de entrada, estoque e recuperação de informações, geração de informações, geração de números e variáveis aleatórias, cálculos estatísticos, avanço de tempo, seqüenciamento de eventos, geração de relatórios do estado do sistema e uma subrotina executiva que organiza e controla a performance das demais subrotinas.

A interação do usuário com a linguagem se dá concretamente pela geração de subrotinas que representam o comportamento do sistema. Estas subrotinas tem suas ordens de execução definidas pela subrotina executiva do GASP IV.

4.1.1 - CONCEITOS BÁSICOS

A simulação pelo GASP IV consiste em modular o sistema em duas dimensões: física e temporal. E, tornar estas dimensões elementos manipuláveis.

A manipulação do tempo dá-se pela definição dos eventos e das conseqüências oriundas pelo acontecimento destes. Sendo considerado um evento uma ocorrência que representa a execução de uma ação que valha a pena ser estudada.

O comportamento dinâmico do modelo é obtido pela modelagem dos eventos e pelo avanço de um evento a outro em relação ao tempo. Desta maneira, pelo seqüenciamento dos eventos dá-se atualização do tempo.

O gerenciamento do seqüenciamento dos eventos e a atualização do tempo são feitos pelo GASP IV. Cabendo ao usuário a definição das relações lógico-matemáticas que representam a ocorrência dos eventos.

A manipulação da dimensão física envolve sua decomposição em entidades. Sendo considerada entidades todos os elementos dentro da fronteira do sistema. As entidades são descritas e identificadas por suas características. Ou seja, aos elementos do sistema são conferidas certas qualidades que agregadas permitem sua identificação. As características que definem as entidades são denominadas de atributos.

Embora as entidades possam desempenhar diferentes atividades admite-se que elas possam ter atributos em comum que as conduzam a uma mesma necessidade ou serviço. O agrupamento de entidades é denominado fila no GASP IV. A inserção de uma entidade em uma fila implica que ela tem algo em comum as demais entidades da

fila. Na simulação discreta os valores dos atributos permanecem constantes entre a ocorrência dos eventos.

Os eventos no GASP IV em simulação discreta são denominados de eventos tempo. Sendo especificados para ocorrer em relação a uma dada quantidade de tempo. Os eventos de tempo são geralmente pensados como o próximo evento. Assim, pela atualização dos atributos de evento a evento o comportamento do sistema é estudado.

O sucesso da simulação está na definição das entidades e na programação dos eventos tal forma que a rodada dos programas computacionais gere saídas que representem o comportamento do sistema real.

4.1.2 - ESTRUTURA MODULAR

O programa de simulação do GASP IV é composto de duas partes: a do usuário e a do GASP IV propriamente dita. Para efeito de simplificação somente serão abordados os módulos referentes a simulação discreta.

Na parte do usuário deverão ser geradas as subrotinas para iniciação (Programa Principal e Subrotina INTLC), para definir os códigos dos eventos (Subrotinas EVNTS), para descrever o comportamento do sistema, para definir a impressão de dados finais e de diagnósticos de erros (Subrotina OPUT e Subrotina UERR). Deve ficar claro que pela estrutura modular do GASP IV cada evento é representado por uma subrotina.

A parte do GASP IV fornece as seguintes subrotinas: uma subrotina executiva que gerencia o fluxo de informações de maneira ordenada e chama as subrotinas necessárias ao processo de simulação desde a iniciação da primeira rodada até as saídas da última (subrotina GASP) ; subrotinas para iniciação (DATIN, CLEAR e SET); estoque e recuperação de informações (FILEM, RMOVE, CANCL, COPY e a função NFIND); coleta de dados (COLCT, TIMST, TIMSA, HISTO, GPLOT,

PRNTQ, e SUMRY); monitoramento e relatório de erros (MONTR e ERROR); funções para gerar variáveis e números aleatórios (DRAND, UNFRM, TRIAG, RNORM, RLOGN, ERLNG, NPSSN, GAM E GAMA); e subrotinas e funções para suportes diversos (funções SUMQ, PRODQ, GTABL e a subrotina GDLAY).

O usuário pode fazer alterações na parte do GASP IV pela manipulação do programa fonte. Um fluxo simplificado do GASP IV para o caso discreto é ilustrado na Figura 4.1 que mostra as interações entre as partes do usuário e do GASP IV.

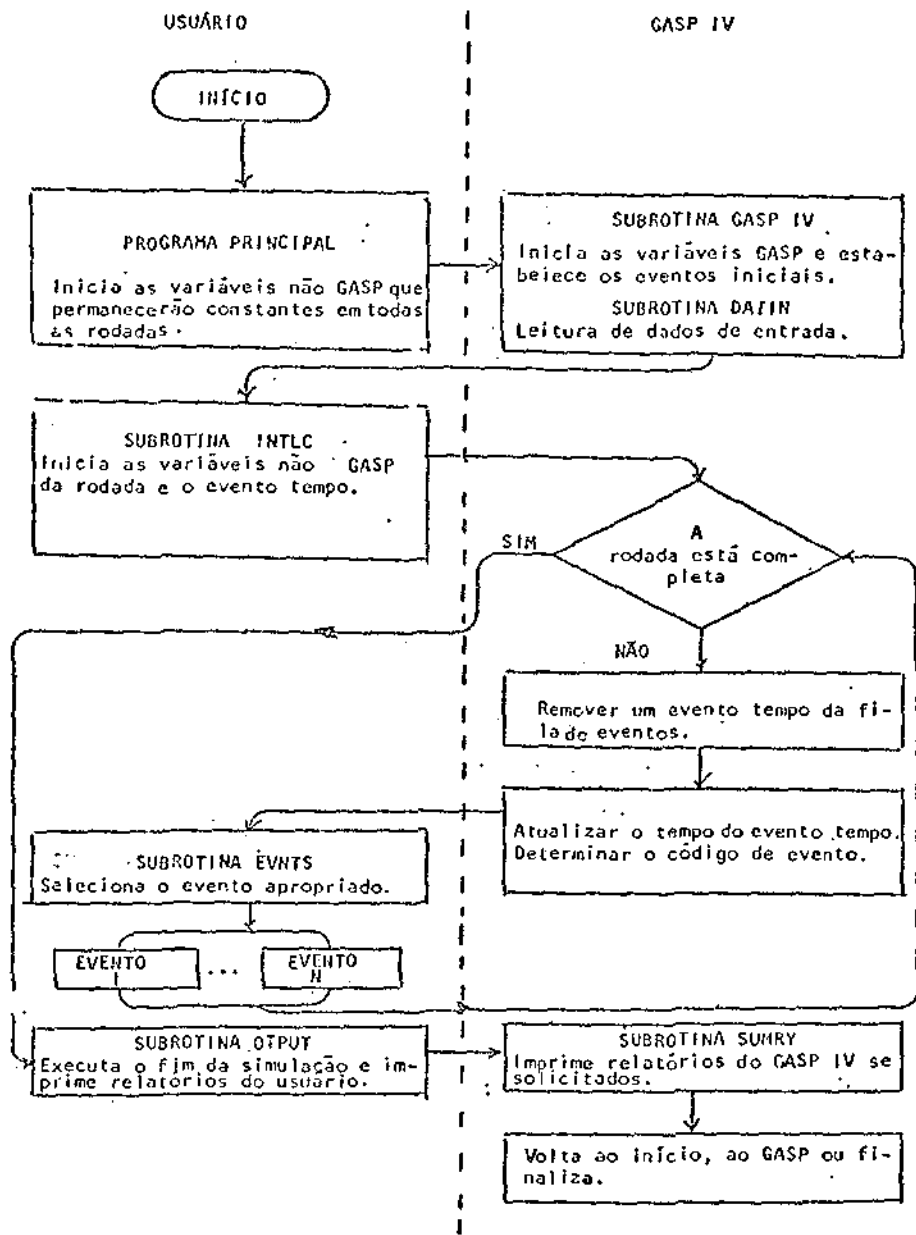


Fig. 4.1 - Fluxo de interações entre o GASP IV e usuário

No GASP IV as variáveis características da linguagem são denominadas variáveis GASP, sendo armazenadas em blocos COMMON não nomeados. As variáveis criadas pelo usuário, variáveis não GASP, são armazenadas em blocos COMMON nomeados.

O estoque de dados do sistema entidades/atributos é estabelecido por declarações de dados (DIMENSION e EQUIVALENCE). Um único vetor (NSET) é utilizado para armazenar todas as filas. Pelo artifício da declaração EQUIVALENCE(NSET(1),QSET(1)) é possível guardar em um único vetor dados reais e inteiros. Esta técnica viabiliza o uso de ponteiros que definem a dinâmica das filas. As subrotinas FILEM e RMOVE executam a entrada e saída respectivamente das entidades das filas.

A fila número 1 é dedicada exclusivamente ao calendário de eventos. No sistema de filas o reordenamento das entidades a cada entrada ou saída é feito conforme a opção do usuário dentre quatro prioridades conforme o atributo designado: LIFO, FIFO, primeiro o maior valor e primeiro o menor valor. Na fila um o atributo que estabelece a ordenação é sempre o atributo número 1 que indica o tempo atual. No caso da indicação de outro atributo este só será utilizado em caso de empate do atributo 1.

A seguir são apresentadas algumas limitações existentes no programa do GASP IV original:

- número de atributos descrevendo uma entidade menor ou igual a 25.
- número de filas menor ou igual a 100.
- número de parâmetros menor ou igual a 50.
- número de sementes para a geração de números aleatórios menor ou igual a 6.

- número de variáveis para as quais estatísticas são coletadas menor ou igual a 25.

Estas limitações não existem neste trabalho devido ao redimensionamento feito nos vetores do programa fonte do GASP IV.

O manual da linguagem oferece ao usuário vários exemplos aplicativos de simulação nos casos discreto e/ou contínuo. Assim, como uma descrição detalhada de seu "software" (Pritsker, 1979).

4.2 - ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

A modelagem do sistema real, conforme a filosofia do GASP IV, está construída sobre cinco figuras: entidades, atributos, filas, eventos e o tempo. A habilidade em definir e utilizar estas figuras determina o sucesso ou não da simulação. Para isto certas adequações em relação ao sistema real devem ser feitas de maneira a tornar estas figuras manipuláveis.

4.2.1 - ENTIDADES DO MODELO

As entidades são representadas no modelo computacional por um vetor unidimensional $X(i)$, sendo i menor ou igual a 25. Os atributos que definem a entidade são citados a seguir já sendo indicado o código i do vetor que armazena os atributos (vetor $ATRIB(i)$).

- 1) tempo.
- 2) evento.
- 3) número da ordem de serviço.
- 4) tempo de entrada no sistema.
- 5) código da entidade.

- 6) processo de geração de fotoferramentas.
- 7) maior dimensão da placa.
- 8) menor dimensão da placa.
- 9) maior dimensão do painel.
- 10) menor dimensão do painel.
- 11) número de faces para placa convencional ou número de placas de um lote interrompido.
- 12) número de placas solicitadas.
- 13) número de painéis em produção.
- 14) número de furos por placa.
- 15) número de repetições ou número de placas por painel.
- 16) aplicação de máscara anti-solda e de legenda.
- 17) número de diâmetros de furos.
- 18) confecção de gabarito.
- 19) eletrodeposição de ouro.
- 20) dígito de controle da estação de trabalho de Controle de Qualidade.
- 21) estação de origem do serviço.
- 22) servo em serviço.

- 23) número de placas reprovadas em uma dada estação de serviço.
- 24) tempo de entrada em uma dada fila de espera.
- 25) número total de placas perdidas de uma dada ordem de serviço.

Os atributos podem ser fornecidos pelo usuário ao programa por cartões de entrada ou podem ser gerados no decorrer da rodada de simulação por relações aritméticas. Neste trabalho os atributos são fornecidos de maneira interativa via terminal ou via cartões. A subrotina INTLC ao ser processada gera um questionário que solicita a definição dos atributos conforme o tipo de pedido escolhido.

Os atributos de uma entidade são explicitados a seguir quanto aos seus significados e valores que podem assumir: atributo 1, representa o tempo em que se encontra a entidade; atributo 2, identifica o evento em que a entidade está alocada; atributo 3, armazena o número da ordem de serviço; atributo 4, indica o tempo de entrada do pedido no Laboratório; atributo 5, armazena o código que identifica o tipo da entidade; atributo 6, indica o processo a ser utilizado na geração de fotoferramentas - $ATRIB(6)=1$, por redução e $ATRIB(6)=2$, por contato; os atributos 7 e 8 representam a maior e a menor dimensões da placa respectivamente (não são considerados os incrementos dimensionais efetuados na produção); os atributos 9 e 10 representam a maior e a menor dimensões do painel respectivamente (um painel pode ter mais de uma placa); atributo 11, indica o número de faces de uma placa convencional - $ATRIB(11)=1$, uma face e $ATRIB(11)=2$ duas faces - ou o número de placas de um lote interrompido a espera para ser executado; atributo 12, indica o número de placas solicitadas pelo usuário; atributo 13, representa o número de painéis em produção; atributo 14, indica o número de furos a serem executados em uma placa por furação CNC; atributo 15, representa o número de placas por painel

no caso de a entidade pertencer ao bloco 1 ou o número de repetições a serem executadas na etapa de programação se a entidade pertencer ao bloco 2 (repetição é o número de vezes que a programação de uma placa pode ser repetida em um mesmo painel - número de repetições + 1 = número de placas por painel); atributo 16, define se vai ser executada ou não a deposição da máscara anti-solda e a confecção do fotolito de legenda para a serigrafia (ATRIB(16)=0, não tem máscara anti-solda, ATRIB(16)=1 tem só máscara anti-solda e ATRIB(16)=2 tem máscara anti-solda e legenda); atrib(17), armazena o número de diâmetros dos furos; atributo 18, define a execução de gabarito (ATRIB(18)=1, sim e ATRIB(18)=0, não; atributo 19, define a eletrodeposição de ouro (ATRIB(19)=1, sim e ATRIB(19)=0 não; atributo 20, armazena o dígito de controle da estação de trabalho Controle de Qualidade (conforme seu valor é definido o tipo de controle a ser executado e sua prioridade); atributo 21, indica o código da estação de origem; atributo 22, indica qual servo que está atendendo a entidade; atributo 23, indica o número de placas reprovadas em uma dada estação de trabalho referentes a uma entidade; atributo 24, armazena o tempo de entrada de uma dada entidade em uma fila de espera; e o atributo 25, indica o número total de perdas irreversíveis da entidade.

Os atributos 3,5,6,7,8,11,12,14,16,18 e 19 são fornecidos pelo usuário conforme o tipo de entidade solicitada. O atributo 15, quando utilizado por uma entidade do bloco 1, deve ser definido pelo usuário. Os demais atributos são gerados por relações lógico-matemáticas existentes em determinadas subrotinas.

As filas na linguagem GASP IV, como já foi dito , representam um agrupamento de entidades. Na modelagem as filas são utilizadas para armazenar entidades que estão a espera do término de serviço de um servo. Um mesmo servo pode ter mais de uma fila para a execução de um mesmo tipo de serviço (uma para pedidos normais e outra para pedidos priorizados).

4.2.2 - EVENTOS

Pela estrutura adotada a cada estação de trabalho correspondem dois eventos : evento início de atividades da estação e evento fim de atividades da estação.

A subrotina no modelo computacional correspondente ao evento início de atividades, através de relações definidas, representa a modelagem da entrada de uma entidade em uma dada estação de trabalho e o envio desta entidade a subrotina do evento fim de atividade correspondente.

A Figura 4.2 ilustra o fluxograma do evento início de atividade .

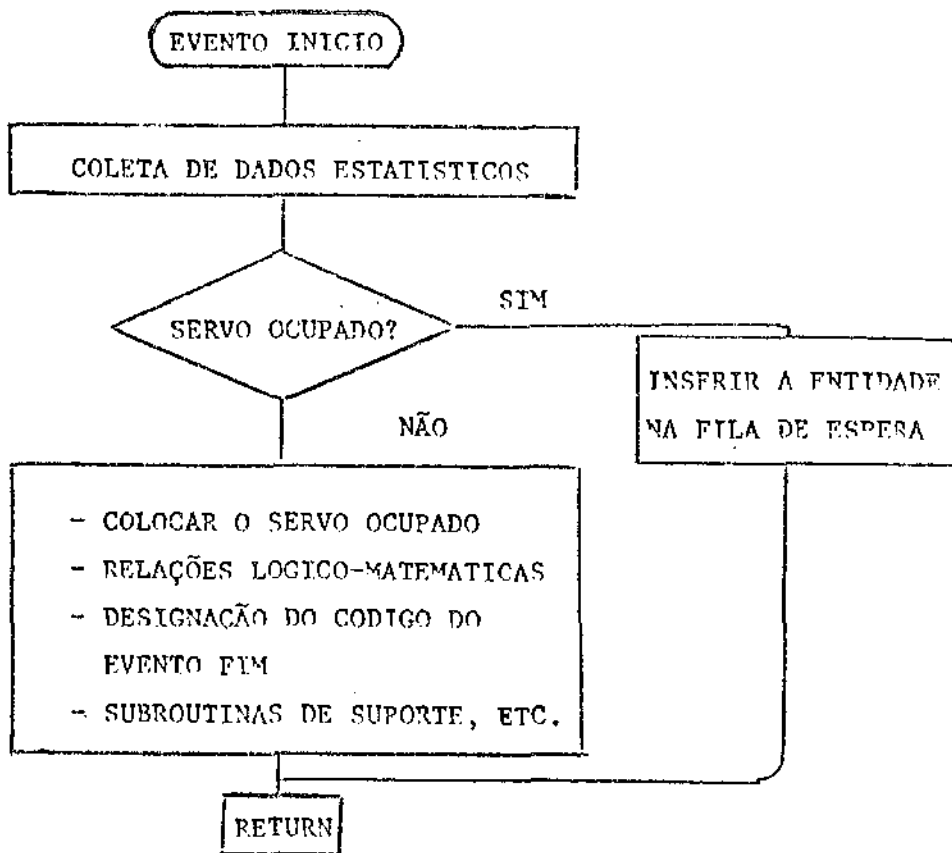


Fig. 4.2 - Fluxograma do evento início de atividade

A subrotina representativa de um evento fim de atividade traduz a modelagem da saída de uma entidade da estação de trabalho e a retirada do primeiro pedido da fila de espera caso exista.

A Figura 4.3, ilustra o fluxograma de uma subrotina de evento fim de atividade.

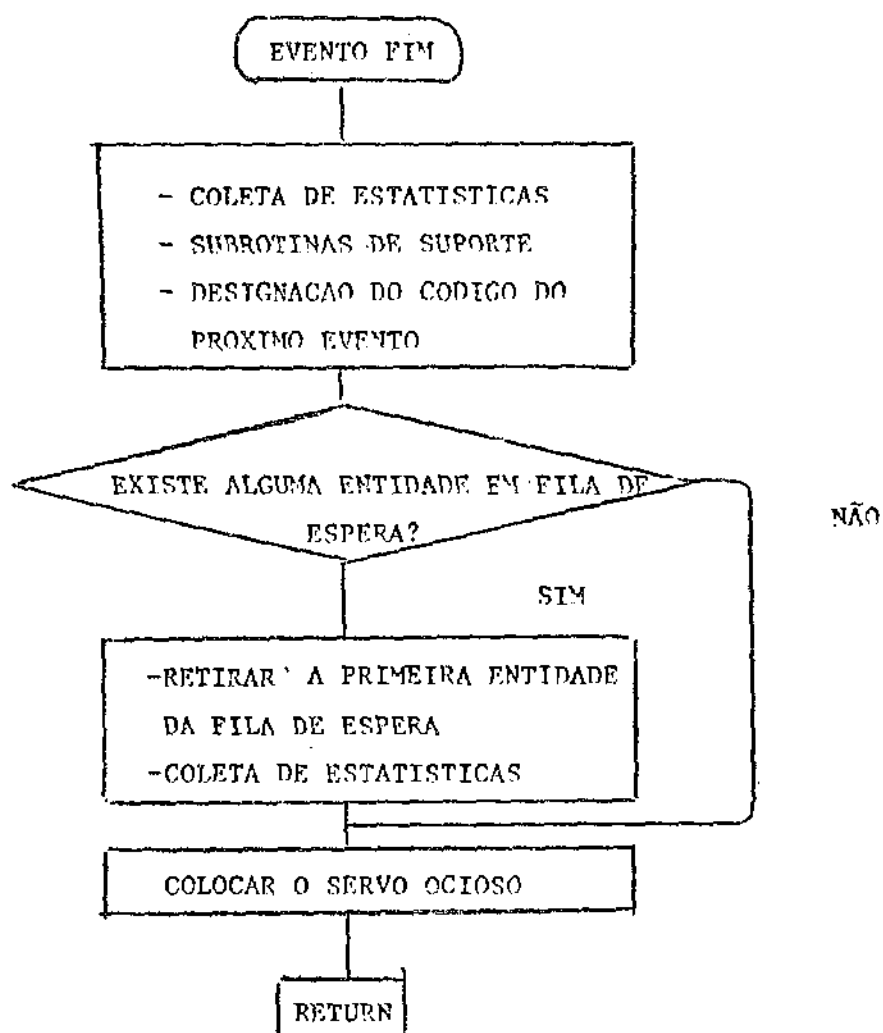


Fig. 4.3 - Fluxograma do evento fim de atividade

Desta maneira, as onze estações de trabalho correspondem a vinte e dois eventos. A Tabela 4.1 relaciona as estações de trabalho com os eventos.

TABELA 4.1

ESTAÇÕES DE TRABALHO E EVENTOS DO MODELO COMPUTACIONAL

ESTAÇÕES DE TRABALHO	EVENTOS
Recepção	UCHEG FIMCHE
Lab. Fotográfico	FILME FIMFIL
Programação	PROG FIMPRO
Furação CNC	FURAC FIMFUR
Metalização	METAL FIMET
Fotopolímero	FILSEC FIMSEC
Gravação Ácida	GRAVA FIMGRA
Douração	DOURA FIMDOU
Estanho/Chumbo	SNPB FIMSN

(continua)

Tabela 4.1 - Conclusão

ESTAÇÕES DE TRABALHO	EVENTOS
Acab. Mecânico	MEC FIMEC
Contr. de Qualidade	CCQ FIMCCQ

4.2.3 - DESCRIÇÃO DOS EVENTOS

A dinâmica das estações é descrita através da codificação das subrotinas dos eventos de início e fim de cada estação de trabalho. Na modelagem da dimensão física procurou-se representar o seqüenciamento das atividades da forma mais similar possível com a realidade. Não havendo suposições relevantes a serem citadas. Salienta-se que não são feitos balanços de massa em relação aos insumos utilizados nos processos químicos.

Na dimensão temporal aceita-se que os intervalos de tempo entre as chegadas de usuários são independentes e exponencialmente distribuídos. ou seja, a distribuição do número de usuários do número de usuários que chegam ao Laboratório em um dado intervalo de tempo é aceita como sendo de Poisson.

Aceita-se também, pelo Teorema do Limite Central que a distribuição de todos os tempos amostrados no Laboratório aproxima-se da normal.

A descrição simplificada do modelo será feita em termos de entidades, estações de trabalho, eventos e filas. As alterações nos atributos serão omitidas de maneira a não tornar a descrição exaustiva. Toda vez que houver a citação da execução de serviço por um

servo estará associada a geração de um tempo de serviço de distribuição normal.

a) Estação de trabalho Recepção - eventos UCHEG E FIMCHE

A entidade externa usuário chega a estação em intervalos de tempo exponencialmente distribuídos. o servo SERE se ocioso recebe o usuário, caso contrário este é armazenado na fila de espera 2. O servo SERE poderá executar três ações conforme o valor do atributo 5 da entidade: se a entidade pertencer ao bloco de não confecção de circuito impresso o servo a remeterá ao servo do planejamento e controle da produção SERPCP; se a entidade pertencer ao bloco confecção de circuito impresso e já tiver toda a documentação gerada será remetida ao servo da engenharia de produto SEREP, caso contrário será remetida a estação de trabalho de Controle de Qualidade (evento CCQ) para a inspeção da documentação.

O servo SEREP, se estiver ocioso, recebe a entidade oriunda da estação de trabalho Controle de Qualidade (evento FIMCCQ) ou do servo SERE caso contrário a entidade é colocada na fila de espera 3. A documentação técnica referente a entidade é preenchida pelo servo SEREP. Após a entidade é remetida ao servo SERPCP.

O servo SERPCP, se ocioso, recebe a entidade oriunda do servo SEREP ou da estação de trabalho Controle de Qualidade caso a entidade esteja com o serviço já finalizado. Se o servo SERPCP estiver ocupado a entidade oriunda do servo SEREP irá para a fila de espera 4 e a entidade com o serviço já executado irá para a fila de espera 50.

O servo SERPCP executa duas funções: dá baixa na produção dos pedidos executados e designa a estação de trabalho apropriada à entidade introduzindo-a na produção.

b) Estação de trabalho Laboratório Fotográfico - eventos FILME e FIMFIL

A entidade ao chegar a estação pode ser oriunda das estações de trabalho Recepção (servo SERPCP) ou Controle de Qualidade caso as fotoferramentas tenham sido reprovadas. Se o servo estiver ocupado a entidade poderá ir para a fila 6, caso seja a primeira vez que chegue, ou para a fila 7 se for oriundo da estação de trabalho Controle de Qualidade. Conforme os valores dos atributos 5, 6, 9, 10, 11, 15, 16 e 20 é modelada a execução da geração das fotoferramentas por redução ou contato, com ou sem montagem e da operação do processador Cronalith 24 L. Após o término da execução do serviço a entidade é enviada à estação de trabalho Controle de Qualidade.

c) Estação de trabalho Programação - eventos PROG e FIMPRO

Nesta estação estão alocados dois servos: SERPA com filas de espera 7 e 8 e SERPB com filas de espera 9 e 10. As filas de espera 8 e 10 são para serviços priorizados. Os serviços que chegam a esta estação de trabalho podem ser oriundos da estação de trabalho Recepção (servo SERPCP) ou da estação de trabalho Controle de Qualidade.

O servo SERPA executa o traçado do caminho de rato e o cálculo de gabarito no período da tarde. O servo SERPB executa os serviços de programação de pontos, de gabarito e as adaptações indicadas pelo controle de qualidade.

O servo SERPA envia a entidade referente a execução de caminho de rato à estação de trabalho Controle de Qualidade e a entidade referente ao cálculo de gabarito ao servo SERPB para este executar sua programação.

O servo SERPB envia as programações à estação de trabalho Acabamento Mecânico (evento MEC) para o corte e pinagem da placa teste e/ou gabarito.

d) Estação de trabalho Furação CNC - eventos FURAC e FIMFUR

A entidade que chega a esta estação é oriunda da estação de trabalho Acabamento Mecânico. Nesta estação está alocado o servo SERFU com filas de espera 19, 20 e 21. O servo SERFU trabalha das 6:30 horas as 12 horas com o bloco de confecção de circuito impresso e de não confecção de circuito impresso quanto a entidades que utilizam o serviço de programação (placa teste). Das 13:30 horas as 22:30 horas o servo SERFU executa o bloco de não confecção de circuito impresso quanto a furação. Os serviços de placa teste, confecção de gabarito e furação de circuitos impressos executados na parte da manhã são enviados para a estação de trabalho Controle de Qualidade.

Os serviços executados na parte da tarde e noite referentes a somente furação tem seu controle de qualidade executado pelo próprio servo SERFU. As entidades deste caso são enviadas à estação de trabalho Recepção (servo SERPCP) onde é dada a baixa da produção.

e) Estação de trabalho Metalização - eventos MET e FIMET

A entidade que chega a esta estação é proveniente da estação de trabalho Controle de Qualidade. O servo SERME tem associadas as filas de espera 24, 25, 26 e 27.

O servo SERME executa o serviço de operação da linha de metalização. Os painéis são passados pela politriz, metalizados e novamente sofrem a ação da politriz.

Após a execução do serviço, passagem pelos banhos químicos, a entidade é enviada para a estação de trabalho Controle de Qualidade.

f) Estação de trabalho Filme Seco - eventos FILSEC e FIMSEC

As entidades que chegam a esta estação são oriundas das estações de trabalho controle de Qualidade e Acabamento Mecânico.

Nesta estação estão alocados os servos SERSA com filas de espera 36, 37, 38 e 39, SERSB com filas de espera 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 38, 39, 40 e 41, e SERSC com filas de espera 42 e 43.

O servo SERSA é responsável pela laminação, corte de rebarbas de filme seco, registro, laminação e exposição dos serviços referentes a transferência de imagem e máscara anti-solda.

O servo SERSB é responsável pelo corte de rebarbas dos laminados, limpeza química, limpeza mecânica e revelação. O servo SERSB faz junto com o servo SERSA a laminação, corte de rebarbas de filme seco, registro e exposição do serviço de máscara anti-solda.

A entidade ao chegar pela primeira vez à estação é designada ao servo SERSB. Se este estiver ocioso ela é atendida. Caso contrário, irá para a fila de espera 28 ou 29 se o serviço for transferência de imagem e para a fila de espera 32 ou 33 se o serviço for máscara anti-solda.

Após sofrer os processos de corte de rebarbas dos laminados, limpeza mecânica e secagem térmica - no caso de transferência de imagem - ou de limpeza química, limpeza mecânica e secagem térmica - no caso de máscara anti-solda, a entidade é dirigida ao servo SERSA.

No caso de o serviço desejado ser transferência de imagem e o servo SERSA estiver ocupado a entidade irá para a fila de espera 36 ou 37. Estando SERSA ocioso, a entidade sofre os processos de laminação, registro e exposição sendo dirigida a SERSB para a revelação.

Caso a entidade solicite máscara anti-solda SERSA e SERSB deverão estar ociosos. Caso contrário, a entidade irá para a fila de espera 38 ou 39. No caso de ser atendida a entidade sofrerá os processos de laminação registro e exposição. Sendo encaminhada a SERSB para ser revelada.

No processo de revelação, caso SERSB esteja ocupado a entidade irá para a fila de espera 40 ou 41. No caso de ser atendida a entidade após a revelação é encaminhada à estação de trabalho de Controle de Qualidade.

A entidade que sofreu o processo de máscara anti-solda, após a aprovação pelo controle de qualidade retorna direcionada ao servo SERSC. O servo SERSC representa os processos de curas ultravioleta e térmica. Se SERSC estiver ocupado a entidade irá para a fila de espera 42 ou 43. Após ser atendida a entidade é enviada à estação de trabalho Controle de Qualidade.

As filas 30, 31, 34 e 35 são utilizadas pelo servo SERSB para entidades que estravazam sua capacidade de serviço em relação ao tempo disponível.

g) Estação de trabalho Gravação Ácida - eventos GRAVA e FIMGRA

O servo SERGRA alocado nesta estação também está alocado na estação de trabalho Estanho/Chumbo. Nesta estação ele opera na parte da manhã após realizar a limpeza na máquina de deposição de estanho/chumbo. Tem relacionadas as filas de espera 44 e 45.

O servo SERGRA executa as tarefas de corrosão do cobre, inspeção visual e retirada do filme protetor pela operação da máquina automática de corrosão com sistema fechado de regeneração de solução corrosora.

Após a execução do serviço o servo SERGRA o envia à estação de trabalho Controle de Qualidade.

h) Estação de trabalho Douração - eventos DOURA e FIMDOU

As entidades que chegam a esta estação são oriundas da estação de trabalho Controle de Qualidade.

Nesta estação está alocado o servo SERDOU com filas de espera 48 e 49. O servo opera a linha de eletrodeposição de ouro no período da tarde. Pela manhã ele dá apoio a estação de trabalho de Metalização. Após a execução do serviço a entidade é enviada à estação de trabalho Controle de Qualidade.

i) Estação de trabalho Estanho/Chumbo - eventos SNPB e FIMSN

Os pedidos que chegam a esta estação são oriundos da estação de trabalho Controle de Qualidade. O servo alocado é SERGRA no período da tarde. Tendo as filas de espera 46 e 47.

O servo SERGRA executa limpeza química nas placas e opera a máquina de deposição de estanho/chumbo na parte da tarde. Após a execução do serviço a entidade é enviada à estação de trabalho Controle de Qualidade.

j) Estação de trabalho Acabamento Mecânico - eventos MEC e FIMEC

As entidades que chegam a esta estação podem ser oriundas das estações de trabalho Recepção (servo SERPCP), Controle de Qualidade ou Programação de Pontos.

Nesta estação estão alocados dois servos: SERMEA com fila de espera 22 e SERMEB com fila de espera 23

O servo SERMEA executa serviços de corte de painéis, furação manual e acabamento final de placas. Os serviços de pinagem de

painéis são encaminhados ao servo SERMEB. Os serviços de furação manual e acabamento final após execução são enviados à estação de trabalho Controle de Qualidade.

O servo SERMEB executa serviços de pinagem de painéis e de alomoxarifado. As entidades referentes a serviços de pinagem são encaminhadas à estação de trabalho Furação CNC. Os painéis que não sofrem furação CNC são encaminhados a estação de trabalho Filme Seco para a impressão da imagem do circuito.

k) Estação de trabalho Controle de Qualidade - eventos CCQ e FIMCCQ

Nesta estação chegam as entidades advindas das estações de trabalho Recepção, Laboratório Fotográfico, Programação de Pontos, Furação CNC, Metalização, Filme Seco, Gravação Ácida, Estanho/Chumbo e Acabamento Mecânico. Após concluído o controle de qualidade a entidade é designada pelo atributo 2 à próxima estação de trabalho. Nesta estação estão alocados quatro servos com as respectivas filas de espera associadas:

- servo SERCA, filas de espera 11 e 12.
- servo SERCB, filas de espera 13 e 14.
- servo SERCC, filas de espera 15 e 16.
- servo SERCD, filas de espera 17 e 18.

O servo SERCA executa prioritariamente serviços de inspeção visual oriundos da estação de trabalho Recepção com exceção dos serviços relativos a entidades do tipo microonda. Não executa controle de qualidade em entidades oriundas das estações de serviço de Metalização e Douração.

Os servos SERCB e SERSC executam todos os serviços com excessão das entidades oriundas das estações de trabalho Recepção, Metalização, Douração e do tipo microondas.

O servo SERCD executa todos os controles de qualidade referentes a placas do tipo microonda e nas entidades oriundas das estações de trabalho de Metalização e Douração.

4.3 - MODELO COMPUTACIONAL COMPLETO

O modelo computacional contem duas partes: a do usuário e a do GASP IV. As rotinas que são escritas pelo usuário são as que descrevem os eventos, programa principal, INTLC e OPUT.

A Figura 4.4 representa a estrutura do GASP IV quanto as subrotinas a serem escritas pelo usuário e as fornecidas pelo GASP IV.

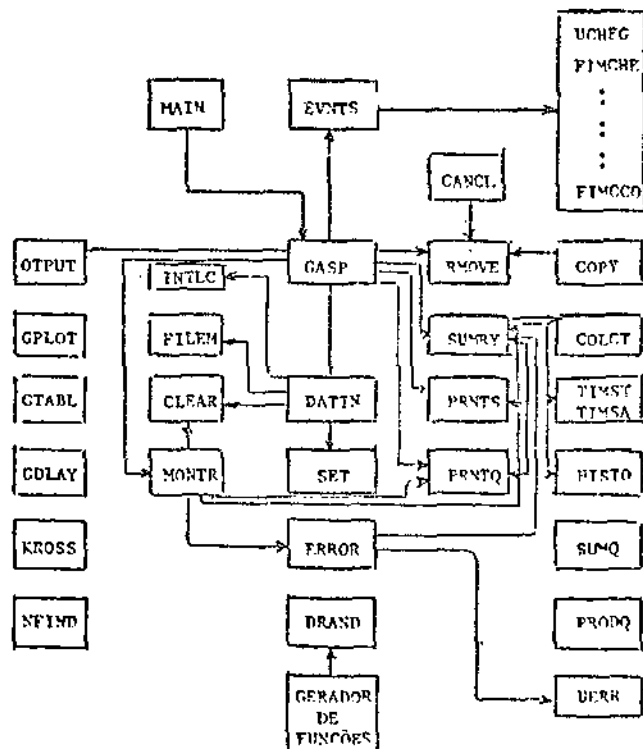


Fig. 4.4 - Modelo computacional completo

O programa principal a ser escrito pelo usuário inicia as variáveis não GASP que permanecerão constantes em todas as rodadas além de chamar subrotina GASP. O programa principal deverá ter o seguinte formato:

```

C* PROGRAMA PRINCIPAL
  DIMENSION NSET (xxx)
  DIMENSION QSET (xxx)
  COMMON (variáveis GASP )
  COMMON (variáveis não GASP)
  EQUIVALENCE (NSET(1),QSET(1))
C* inicia variáveis não GASP
C* inicia códigos de leitura
C* NCRDR e de impressão NPRNT
  CALL GASP
C* se mais rodadas são desejadas
C* colocar uma declaração GO TO
C* ou reiniciar as variáveis
C* não GASP ou chamar a subrotina
C* GASP
  STOP
  END

```

A primeira ação da subrotina GASP é chamar a subrotina DATIN, que inicia todas as variáveis GASP seja por declaração aritmética ou por leitura de dados. As entidades e os eventos também podem ser iniciados por DATIN.

A subrotina DATIN chama a subrotina INTLC (parte do usuário), a qual é utilizada para iniciar as variáveis não GASP a cada rodada. Nesta simulação esta subrotina inicia os atributos no sistema GASP IV.

Durante a simulação a subrotina GASP obtém os atributos pela remoção do primeiro evento da fila 1 (a fila dos eventos). É

chamada então a subrotina EVNTS(IX) (parte do usuário) que através do código do evento IX chama a subrotina de evento apropriada. Sua codificação é a seguinte:

```

SUBROUTINE EVNTS(IX)
DIMENSION NSET(1)
COMMON QSET(1)
COMMON ( variáveis GASP )
COMMON ( variáveis não GASP )
EQUIVALENCE (NSET(1),QSET(1))
GO TO (1,2,...,n) IX
1 CALL EVENTS A
GO TO n+1
2 CALL EVENTS A
GO TO n+1
.....
.....
n CALL EVNTS n
n+1 RETURN
END

```

Após o processamento das declarações de uma dada subrotina que representa um evento é feito o retorno à subrotina GASP que deverá chamar a próxima subrotina. Este procedimento se repete até que a rodada termine, sendo chamada a subrotina OTPUT (parte do usuário).

A subrotina OTPUT fornece ao usuário mecanismo para obter cálculos finais da simulação e obter impressão de qualquer informação que não seja oferecida pela subrotina SUMRY do GASP IV.

4.4 - MODELAGEM DA ESTAÇÃO DE TRABALHO RECEPÇÃO

Como uma ilustração da modelagem computacional a codificação dos eventos da estação de trabalho Recepção: eventos UCHEG

E FIMCHE. Esta descrição detalhada será feita somente para esta estação de trabalho.

Na modelagem desta simulação são aceitas as seguintes suposições:

- Os intervalos de tempo entre a chegada dos usuários são independentes e exponencialmente distribuídos.
- Os intervalos de tempo de atendimento dos servos SERE E SEREP são independentes e com distribuição normal.
- O tempo de atendimento do servo SERPCP não apresenta variações consideráveis sendo considerado constante.
- O relógio do sistema está na unidade do minuto.
- A prioridade das filas de espera dos servos da estação é dada pelo atributo um (tempo).
- A fila de saída de serviço do servo SERPCP tem prioridade sobre a fila de entrada de serviço.
- O tempo de atendimento do servo SERE inclui o preenchimento da documentação referente a abertura de uma ordem de serviço.
- O tempo de atendimento do servo SEREP inclui a análise e preenchimento da documentação técnica da entidade e sua atuação na linha produção.

4.4.1 - EVENTO UCHEG

A entidade externa usuário chega a engenharia de produto em intervalos de tempo exponencialmente distribuídos com uma média de 37.73 minutos. O tempo de chegada de usuário é gerado na subrotina INTLC.

Após a declaração da variáveis GASP e não GASP verifica-se se a entidade chega no período de trabalho da estação: das 8hs as 17.30hs. Caso isto não ocorra o atributo 1 da entidade é atualizado ao tempo de início mais próximo de atividade da estação. Dado que a entidade chegou a estação em horário de atendimento é verificado se é a primeira vez que ela chega a estação ou se já está concluída.

Se o atributo 22 (servo em serviço) estiver com o valor zero é a primeira vez que a entidade chega. Se o atributo 20 (dígito de controle da estação de trabalho Controle de Qualidade) for igual a 100 a entidade está concluída.

Dado que alguma das relações lógicas citadas anteriormente ocorra, por uma declaração do tipo "GO TO" o comando é desviado para após a realização da atualização do número de usuários e coleta de estatísticas.

Se nenhuma das alternativas ocorrer o número de entidades que chegam ao Laboratorio é atualizado ($PEDS = PEDS + 1$) e são coletados dados para a geração estatísticas de PEDS (TIMST) e para o traçado de um histograma da frequência de PEDS em relação ao tempo (HISTO).

o servo SERE é designado para atender o pedido ($ATRIB(22)=1$). Neste ponto ocorre a declaração "CONTINUE" referente aos pedidos que não chegam pela primeira vez a estação ou que já estão concluídos.

Através de uma declaração "GO TO" calculado, em relação ao atributo 22, é designado o servo que irá atender a entidade: $ATRUB(22)=1$, SERE ; $ATRIB(22)=2$, SEREP e $ATRIB(22)=3$, SERPCP. No caso do serviço ser designado para o servo SERE como primeiro passo é feita a verificação se ele está ocupado. Caso positivo, a entidade será inserida na fila de espera 2. Estando o servo livre é verificado se a entidade é oriunda da fila de espera 2 pelo valor do atributo 24 (

tempo de entrada em uma fila de espera). Caso positivo, uma declaração "GO TO" o desviará do cálculo de estatísticas de tempo zero de espera. Se o pedido não veio da fila de espera 2 e não existem entidades nesta fila são coletados dados para o cálculo de estatísticas do tempo de espera das entidades em relação a SERE (COLCT) e para o traçado de um histograma do número de entidades em relação ao tempo de espera (HISTO). Caso o pedido não seja oriundo da fila 2 e existam entidades nesta fila de espera a entidade será inserida na fila 2. Neste ponto ocorre a declaração "CONTINUE" das entidades que não são oriundas da fila 2. O servo SERE é colocado ocupado (SERE=1).

É feita a verificação se o pedido é antigo, ou seja, se a entidade já possui documentação arquivada no Laboratório. Isto é verdade se o atributo 5 tiver valor menor que zero. Caso contrário, o atributo 20, dígito de controle da estação Controle de Qualidade, assume o valor 12. A seguir é executado um procedimento de finalização: ATRIB(22)=1 indicando a estação de origem, ATRIB(24)=0, o atributo dois assume o código do evento FIMCHE, a entidade é introduzida na fila de eventos pela declaração CALL FILEM(1) e o comando do programa retorna a subrotina GASP pela declaração RETURN.

No caso de o pedido ser novo é verificado se há necessidade de gerar fotoferramentas e se já foi feita a inspeção visual do "layout" pela estação de trabalho Controle de Qualidade. Se o valor do atributo 5 for maior ou igual a 13 não há necessidade gerar fotoferramentas. Se o atributo 21 for igual a 21 a entidade é oriunda da estação de trabalho Controle de Qualidade. Caso alguma destas relações lógicas ocorra o atributo 20 assume o valor 3. Caso contrário, o atributo 20 assume o valor 1. A seguir repete-se o procedimento de finalização.

No caso de a entidade ser atendida pelo servo SEREP é repetido o procedimento análogo ao executado em relação ao servo SERE quanto a verificação se a entidade é oriunda de fila de espera, da existência de entidades na respectiva fila de espera caso a entidade

tenha ATRIB(24)= 0 e coleta de dados para as subrotinas COLCT e HISTO. a fila de espera do servo SEREP é a fila 3.

Caso o pedido venha a ser atendido, o servo SEREP é colocado como ocupado e o atributo tempo é atualizado. a seguir é calculado o tamanho do painel de produção (atributos 9 e 10) pela manipulação dos atributos 7 e 8.

As placas metalizadas devem ter um incremento de 30 mm na dimensão maior da placa (ATRIB(8)) e um incremento de 45 mm na menor dimensão (ATRIB(7)). As placas sem furação CNC devem ter um incremento de 20 mm nas duas dimensões. No caso de uma placa manual com furação CNC, que não é metalizada, é feito um incremento de 30 mm na maior dimensão e de 20 mm na menor dimensão. Estes incrementos são normas reais da produção.

Após a determinação do tamanho do painel é verificado se são obedecidas as dimensões mínimas (120 por 170 mm) de modo a se decidir se será executado ou não o procedimento de montagem no processo de geração de fotolitos. No caso de o número de placas solicitadas ser menor que 100 e tendo sido atendidas as dimensões mínimas ou se o número máximo de placas por painel for 2 não haverá montagem. São determinados então o número de placas por painel (ATRIB(15)) e o número de painéis em produção (ATRIB(13)). A entidade após a execução destas tarefas é enviada para o evento FLMCHE pela subrotina GASP. Se a entidade for designada para o servo SERPCP é feita uma verificação análoga a dos servos anteriores para decidir se a entidade será atendida ou não. A fila de espera para a entrada de pedidos do servo SERPCP é a fila 4. A fila de espera para a saída de pedidos é a 50. Os pedidos concluídos são armazenados na fila 51. O servo é colocado no estado de ocupado (SERPCP=1) e o atributo do tempo é atualizado em 15 unidades, sendo executado o procedimento de finalização.

A, seguir o evento UCHEG é representado na Figura 4.5.

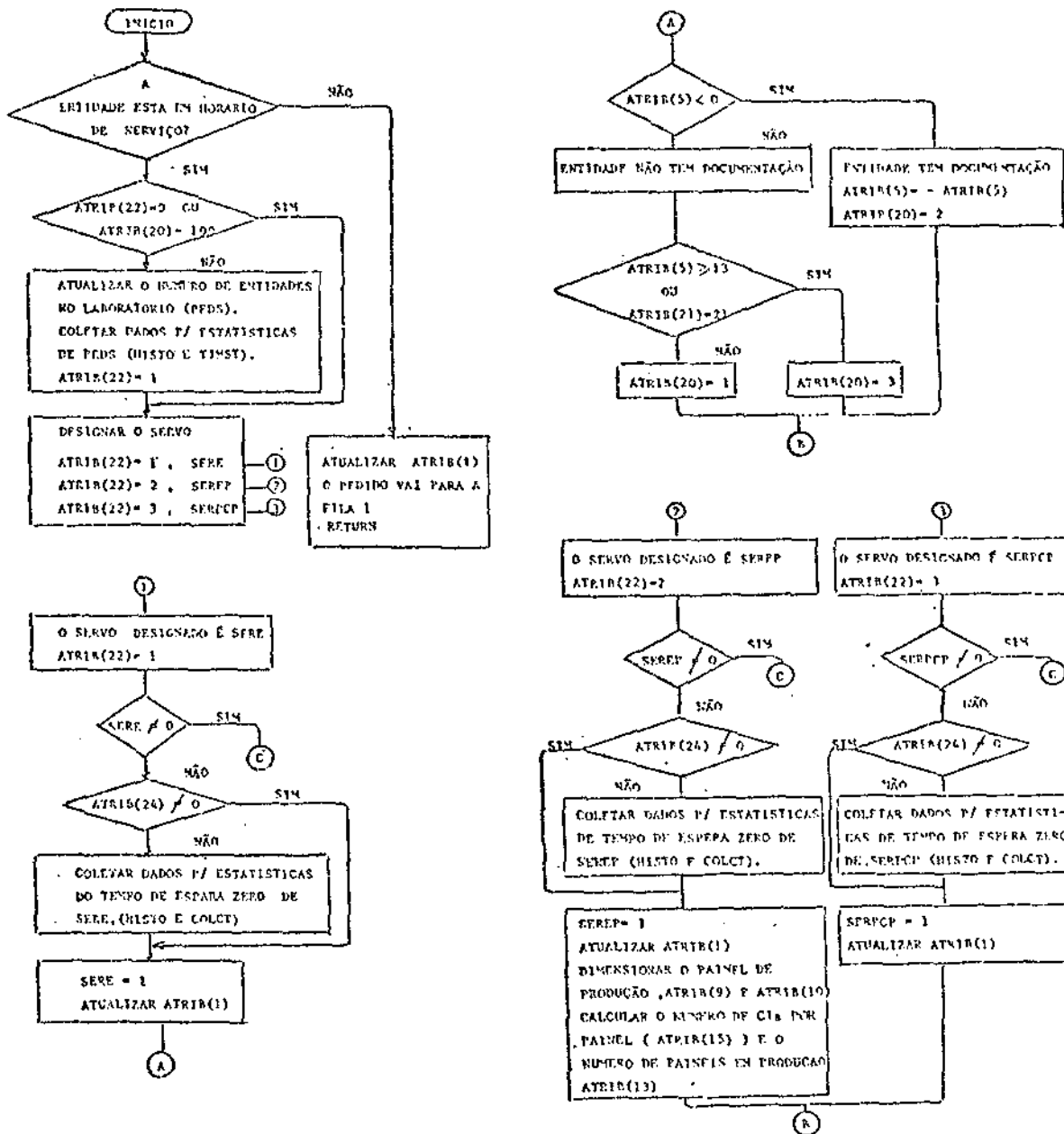


Fig. 4.5 - Fluxograma do evento UCHEG

(continua)

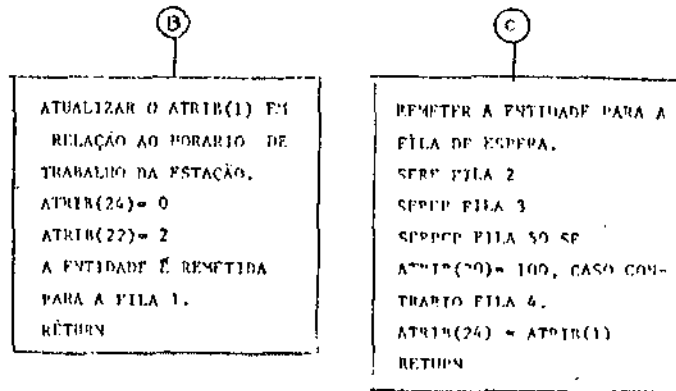


Fig. 4.5 - Conclusão

4.4.2 - EVENTO FIMCHE

A saída da estação é feita pela subrotina FIMCHE. Após as declarações dos blocos "COMMON" nomeados e não nomeados a entidade é designada a um servo por uma declaração de "GO TO" calculado em relação ao atributo 22.

Se a entidade for direcionada para o servo SERE ela poderá ser enviada ou para a estação de trabalho de Controle de Qualidade (evento CCQ, ATRIB(2)=21) ou para o servo SEREP (ATRIB(2)=1).

O servo é colocado ocioso e por uma declaração "GO TO" o comando do programa é deslocado para a execução da inclusão da entidade na fila dos eventos e verificação se existem entidades na fila de espera 2. Este procedimento será para efeito de simplificação denominado de procedimento A.

Estando a entidade direcionada para o servo SEREP, o atributo 2 permanece inalterado e o atributo 22 assume o código do servo SEREP, ou seja, três. A seguir é executado o procedimento A em relação ao servo SEREP e a fila de espera 3.

Caso a entidade seja direcionada ao servo SERPCP é verificado se o valor do atributo 20 é igual a 100. Caso positivo é atualizada a variável não GASP PEDS (número de entidades no Laboratório) e são coletadas estatísticas para TISMT e HISTO. A entidade é armazenada na fila 51.

Se a entidade não estiver concluída, conforme os valores dos atributos 5 e 20, ela será designada a outra estação de trabalho. Se o valor do atributo 5 for igual a 15 a entidade é enviada para a estação de trabalho Acabamento Mecânico (ATRIB(2)=19) para a pinagem de painéis.

Se o valor do atributo 5 for negativo a entidade já possui documentação. Não sendo necessário, conforme o tipo de entidade a confecção de fotolitos e a programação de pontos. Neste caso, se a entidade pertencer ao bloco de confecção de circuito impresso ela seguirá para a estação de trabalho Acabamento Mecânico para que seja efetuado o corte do painel. Caso a entidade seja nova e tiver geração de fotoferramentas esta segue para a estação de trabalho Laboratório Fotográfico (ATRIB(2)=3). As entidades dos tipos programação e programação/furação seguem para a estação de trabalho Programação de Pontos (ATRIB(2)=5). A entidade do tipo furação é designada para a estação de trabalho Furação CNC (ATRIB(2)=7). Após a designação das entidades o procedimento A é realizado. A fila de espera neste caso é a fila 4 ou 50.

Na remoção das entidades das filas de espera primeiro verifica-se se existe alguma entidade na fila considerada. Caso positivo através da subrotina RMOVE é retirada a primeira entidade da fila de espera definida. É calculado o tempo de espera da entidade e são coletados dados para o cálculo de estatísticas e traçado de histograma.

Finalizando, a entidade é inserida na fila de eventos e o comando volta a subrotina GASP.

A seguir, o evento FIMCHE é representado por seu fluxograma na Figura 4.6.

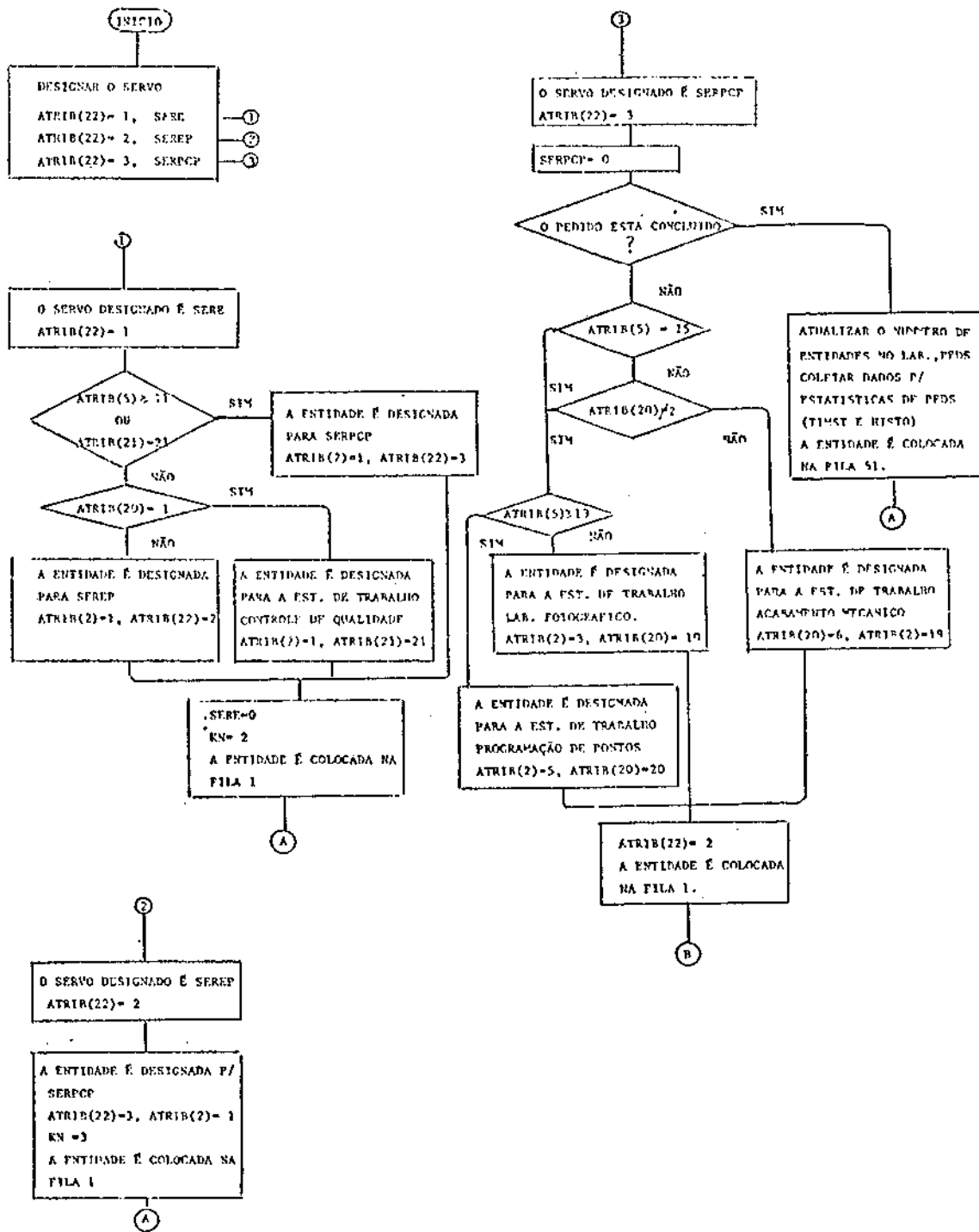


Fig. 4.6 - Fluxograma do evento FIMCHE

(continua)

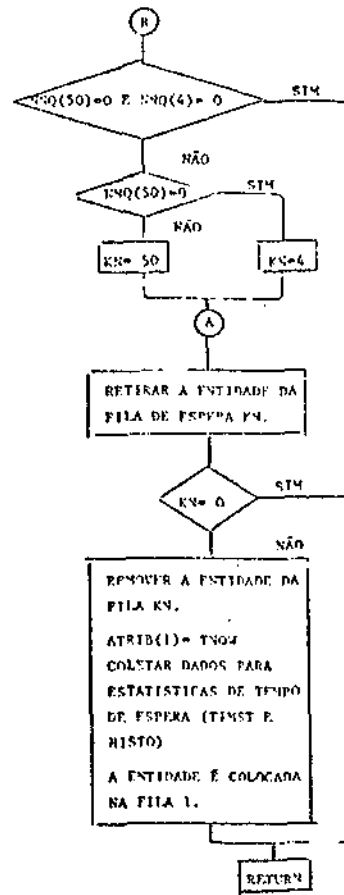


Fig. 4.6 - Conclusão

As listagens dos eventos UCHEG e FIMCHE estão nos apêndices A e B respectivamente.

CAPÍTULO 5

VALIDAÇÃO DO MODELO

É impossível assegurar em simulação que um modelo representa o respectivo sistema real. Deste modo, validar o modelo aqui traduz o grau de confiança da aplicabilidade e de correção dos resultados obtidos do modelo em relação ao sistema real (Shannon, 1975).

Nesta etapa é feita a verificação de quanto o objetivo da simulação foi atingido. No presente caso, a obtenção de uma compreensão do comportamento da linha de produção do Laboratório de Circuito Impresso do INPE que permita obter dados confiáveis que auxiliem nas atividades de seu planejamento, controle e acompanhamento. O método para validar o grau de confiança deste modelo de simulação será a comparação dos resultados obtidos no modelo computacional versus resultados reais, dadas as mesmas entradas.

Salienta-se que na obtenção dos tempos reais são descartados intervalos de tempo referentes a feriados, problemas técnicos e de manutenção.

A seguir são apresentados três casos. Os pedidos contidos em cada caso estão dentro do período de tempo em que foram coletados os dados amostrais utilizados para a geração dos tempos de natureza estocástica. Neste período não houveram alterações significativas na dinâmica das estações que justificassem uma nova modelagem. A ordem de entrada dos pedidos no modelo computacional é a mesma ordem de abertura das ordens de serviço no Laboratório.

5.1 - CASOS

O primeiro caso contém doze ordens de serviço que foram solicitadas entre 29 de janeiro a 3 de fevereiro de 1987.

Os pedidos que deram entrada neste período estão identificados na Tabela 5.1.

TABELA 5.1

PEDIDOS DO CASO 1

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
119	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	- sem documentação - fotolito por contato ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 393x110 ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração: ATRIB(19)=0 - face simples: ATRIB(11)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 140: ATRIB(14)
120	programação ATRIB(15)=13	- 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 623 - uma repetição: ATRIB(15)
121	programação ATRIB(5)=13	- 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 796 - 5 repetições: ATRIB(15)

(continua)

Tabela 5.1 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
122	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 183x99,50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração: ATRIB(19)=0 - face simples: ATRIB(11)=1 - solicitado 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 55: ATRIB(14)
123	programação ATRIB(5)=13	<ul style="list-style-type: none"> - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 476: ATRIB(14) - três repetições: ATRIB(15)
124	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 168x166: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 1 diâmetro de furo: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitado 2 circuitos: ATRIB(12)

(continua)

Tabela 5.1 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
125	geração de fotolito e programação ATRIB(5)=11	<ul style="list-style-type: none"> - número de furos 291: ATRIB(14) - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 346: ATRIB(14) - zero repetições: ATRIB(15)
126	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 154X100: ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração: ATRIB(19)=0 - face simples: ATRIB(11)=1 - solicitado 3 circuitos: ATRIB(12)
127	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - 1000 placas a serem beneficiadas: ATRIB(12) - número de furos 1648: ATRIB(14)
129	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - dimensões (mm) 127x115: ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração: ATRIB(19)=0

(continua)

Tabela 5.1 - Conclusão

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
130	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - face simples: ATRIB(11)=1 - solicitado 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 130: ATRIB(14) - sem documentação - dimensões (mm) 43,7x40,1: ATRIB(7) e ATRIB(8) - com douração: ATRIB(19)=1 - face dupla: ATRIB(11)=1 - solicitado 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 342: ATRIB(14)
131	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 144x119,50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16) = 0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitado 3 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 342: ATRIB(14)

A ordem de serviço 128 não deu entrada por se tratar de um serviço de deposição de estanho/chumbo, o qual não está modelado.

O segundo caso contém 24 ordens de serviço que foram solicitadas entre 25 a 30 de junho de 1987. Os pedidos que pertencem a este caso estão relacionados na Tabela 5.2.

TABELA 5.2

PEDIDOS DO CASO 2

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1295	metalizado ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: - ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 135x49: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 3 diâmetros de furos: - ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 119: ATRIB(14)
1296	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: - ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 52x37: - ATRIB(7) e ATRIB(8)

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1297	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem douração: ATRIB(19)=0 - face dupla: ATRIB(11)=12 - solicitado 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 46: ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 337x290: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com serigrafia: ATRIB(16)=2 - com douração: ATRIB(19)=1 - com gabarito(18)=1 - solicitado 3 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 3463: ATRIB(14)
1299	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 179.50x47.50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - com douração: ATRIB(19)=1 - face simples: ATRIB(11)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número furos 28: ATRIB(14)

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1300	microonda sem furo ATRIB(5)=1	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 29x16: ATRIB(7) e ATRIB(8) - solicitado 1 circuito: ATRIB(12)
1301	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução; ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 81x81: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 2 diâmetros de furos; ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - com gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitado 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 73: ATRIB(14)
1303	metalizado ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1305	convencional CNC ATRIB(5)=6	<ul style="list-style-type: none"> - dimensões (mm) 84.50x55 ATRIB(7) e ATRIB(8) - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 135: ATRIB(14) <ul style="list-style-type: none"> - com documentação - dimensões (mm) 102x76.50 ATRIB(7) e ATRIB(8) - 2 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - face dupla: ATRIB(11)=2 - solicitado 4 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 1052: ATRIB(14)
1306	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - dimensões (mm) 245x157: ATRIB(7) e ATRIB(8)

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1308	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - 1 diâmetro de furo: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda; ATRIB(16)=0 - com douração: ATRIB(19)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 2342:ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões(mm) 159x150.50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 7 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração:ATRIB(19)=0 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitado 3 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 692: ATRIB(14)
1309	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - dimensões (mm) 252.50x72.50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração:ATRIB(19)=0 - face simples: ATRIB(11)=1

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1310	programação ATRIB(5)=13	<ul style="list-style-type: none"> - solicitado 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 120: ATRIB(14) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 713: ATRIB(17) - três repetições: ATRIB(15)
1311	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - dimensões (mm) 249x112: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com máscara anti-solda: ATRIB(16)=1 - com douração: ATRIB(19)=1 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 595: ATRIB(14)

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1312	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 111x83: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 3 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 50: ATRIB(14)
1318	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - dimensões (mm) 245x105: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 325: ATRIB(14)

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDOS	CARACTERÍSTICAS
1319	furação ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - 240 placas para beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 2703: ATRIB(14)
1324	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - dimensões (mm) 120x67: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 2 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem douração: ATRIB(19)=0 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 260: ATRIB(14)
1325	microonda sem furo ATRIB(5)=1	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 55x42: ATRIB(7) e ATRIB(8) - solicitado 1 circuito: ATRIB(12)
1326	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 250x111,50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 7 diâmetros de furos: ATRIB(17)

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1327	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - com máscara anti-solda: ATRIB(16)=1 - com douração: ATRIB(19)=1 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitados 8 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 791: ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 250x 111,50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 7 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com máscara anti-solda: ATRIB(16)=1 - com douração: ATRIB(19)=1 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 791: ATRIB(14)
1328	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - dimensões (mm) 216,80x86: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 3 diâmetros de furos: ATRIB(17)

(continua)

Tabela 5.2 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1330	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - com douração: ATRIB(19)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 690: ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por contato ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 101x60: ATRIB(7) e ATRIB(8) - com douração: ATRIB(19)=1 - face simples: ATRIB(11)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 93: ATRIB(14)
1331	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 31x28,40: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 3 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0

(continua)

Tabela 5.2 - Conclusão

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
1332	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem douração: ATRIB(19)=0 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitados 4 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 24: ATRIB(14) - com documentação - dimensões (mm) 121x71,50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração: ATRIB(19)=0 - face dupla: ATRIB(11)=2 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 71: ATRIB(14)

As ordens de serviço abertas neste período e não modeladas foram: 1302, 1304, 1307 e 1329. Estas ordens são referentes a serviços ao Laboratório Fotográfico não destinados à produção; 1314, 1315, 1316, 1317 e 1323 que foram canceladas; 1320, 1321 e 1322 referentes a serviços de fotopltagem (não existente no modelo); e 1313 referente a deposição somente de estanho chumbo.

O terceiro experimento contém 42 ordens de serviço que foram solicitadas entre 30 de março e 6 de abril de 1987. Os pedidos deste caso estão listados na Tabela 5.3.

TABELA 5.3

PEDIDOS DO CASO 3

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
556	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 219,50x118: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 3 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - com douração: ATRIB(19)=1 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 495: ATRIB(14)
557	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 290x200: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 6 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com serigrafia: ATRIB(16)=2 - com douração: ATRIB(19)=1 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 2438: ATRIB(14)

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
559	microonda sem furo ATRIB(5)=1	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 41x39: ATRIB(7) e ATRIB(8) - solicitado 1 circuito: ATRIB(12)
561	convencional CNC ATRIB(5)=6	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 53x46: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - face dupla: ATRIB(11)=2 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 31: ATRIB(14)
562	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 235x147: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17)

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
563	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 643: ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 103,50x71: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 216: ATRIB(14)
564	programação ATRIB(5)=13	<ul style="list-style-type: none"> - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 2502 - zero repetições: ATRIB(15)
565	programação ATRIB(5)=13	<ul style="list-style-type: none"> - 6 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 1875 - zero repetições: ATRIB(15)

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
566	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 49x33: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 8: ATRIB(14)
567	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 25x35: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 2 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 8: ATRIB(14)

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
568	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 250X111: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 6 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com máscara anti-solda: ATRIB(16)=1 - com douração: ATRIB(19)=1 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 1324: ATRIB(14)
569	furação ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - 350 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 2291: ATRIB(14)
570	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - 111 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 1225
571	programação ATRIB(5)=13	<ul style="list-style-type: none"> - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 1225 - zero repetições: ATRIB(15)

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
572	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - 220 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos, 1046: ATRIB(14)
573	programação ATRIB(5)=13	<ul style="list-style-type: none"> - 3 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 1046 - zero repetições: ATRIB(15)
574	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 100x86.50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração: ATRIB(19)=0 - face dupla: ATRIB(11)=2 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 110: ATRIB(14)
575	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - dimensões (mm) 157x97.50: ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração: ATRIB(19)=0 - face simples: ATRIB(11)=1 - solicitados 4 circuitos: ATRIB(12)

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
581	programação ATRIB(5)=13	<ul style="list-style-type: none"> - número de furos 110: ATRIB(14) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 1199 - zero repetições: ATRIB(15)
582	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - 256 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 330: ATRIB(14)
583	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - 256 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 204: ATRIB(14)
584	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 280x245: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com máscara anti-solda: ATRIB(16)=1 - com douração: ATRIB(19)=1 - com gabarito: ATRIB(18)=1

(continua)

Tabela 5.3 - continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
585	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 2331: ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 280x245: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com máscara anti-solda: ATRIB(16)=1 - com douração :ATRIB(19)=1 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 2979: ATRIB(14)
587	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 139x54: ATRIB(7) e ATRIB(8): - sem douração: ATRIB(19)=0 - face simples: ATRIB(11)=1

(continua)

Tabela 5.3 - continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
588	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 75:ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 77x54: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 5 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com máscara anti-solda: ATRIB(16)=1 - sem douração: ATRIB(19)=0 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitados 8 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 224: ATRIB(14)
590	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 99,5x69,5: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
591	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 184: ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(16)=1 - dimensões (mm) 99,5x69,5: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)= 0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 208: ATRIB(14)
592	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 99x69.50: ATRIB(7) e ATRIB(8)

(contínua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
593	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitados 2 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 184: ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 76.70x60 ATRIB (7) e ATRIB(8) - 3 diâmetros de furos: ATRIB(17) - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitados 6 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 49: ATRIB(14)

(continua)

Tabela 5.3 -- Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDOS	CARACTERÍSTICAS
595	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - 210 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 1869: ATRIB(14)
596	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 190x76,7: ATRIB(7) e ATRIB(8) - com douração: ATRIB(19)=1 - face dupla: ATRIB(11)=2 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 400: ATRIB(14)
597	microonda sem furo ATRIB(5)=1	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 41x39: ATRIB(7) e ATRIB(8) - solicitado 1 circuito: ATRIB(12)
599	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
		<ul style="list-style-type: none"> - dimensões (mm) 223x199,7: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 7 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com máscara anti-solda: ATRIB(6)=1 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitados 3 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 1589: ATRIB(14)
601	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - 57 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 1039
602	programação ATRIB(5)=13	<ul style="list-style-type: none"> - 2 diâmetros de furos: ATRIB(17) - número de furos 1039 - zero repetições: ATRIB(15)
604	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 176,55x130,7: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 8 diâmetros de furos: ATRIB(17)

(continua)

Tabela 5.3 - Continuação.

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
605	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - sem máscara anti-solda: ATRIB(16)=0 - sem douração: ATRIB(19)=0 - com gabarito: ATRIB(18)=1 - solicitado 1 circuito: ATRIB(12) - número de furos 1466: ATRIB(14) - 184 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 1245: ATRIB(14)
606	furação ATRIB(5)=15	<ul style="list-style-type: none"> - 184 placas p/ beneficiamento: ATRIB(12) - número de furos 1198: ATRIB(14)
607	convencional com furação manual ATRIB(5)=7	<ul style="list-style-type: none"> - sem documentação - fotolito por contato: ATRIB(6)=2 - dimensões (mm) 120x160: ATRIB(7) e ATRIB(8) - sem douração: ATRIB(19)=0 - face simples: ATRIB(11)=1 - solicitados 3 circuitos: ATRIB(12)

(continua)

Tabela 5.3 - Conclusão

ORDEM DE SERVIÇO	PEDIDO	CARACTERÍSTICAS
608	metalizada ATRIB(5)=5	<ul style="list-style-type: none"> - número de furos 78: ATRIB(14) - sem documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 95x55: ATRIB(7) e ATRIB(8) - 4 diâmetros de furos: ATRIB(17) - com máscara anti-solda: ATRIB(16)=1 - sem douração: ATRIB(19)=0 - sem gabarito: ATRIB(18)=0 - solicitados 16 circuitos: ATRIB(12) - número de furos 178: ATRIB(14)
609	microonda sem furo ATRIB(5)=1	<ul style="list-style-type: none"> - com documentação - fotolito por redução: ATRIB(6)=1 - dimensões (mm) 46x36,5: ATRIB(7) e ATRIB(8) - solicitado 1 circuito: ATRIB(12)

As ordens de serviço abertas neste período e não simuladas são: 560, 576, 577, 580, 589 e 603 referentes a solicitações de serviço de fotolitos não ligados à produção; 558, 598 e 596 devido a problemas técnicos não deram entrada na linha de produção no período considerado; e a ordem de serviço 584 referente a um circuito impresso de alta complexidade. Este serviço foi fruto de uma cooperação técnica entre o Laboratório e uma empresa privada.

5.1.1 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

A variação média dos tempos de execução dos pedidos no modelo computacional em relação aos tempos reais é uma maneira de verificar o grau de confiabilidade assegurado para esta classe de simulação.

A variação média dos tempos simulados em relação aos tempos reais de execução dos pedidos é calculada conforme a fórmula 5.1.

$$\Delta T_p = \sum_{i=1}^n \left| \frac{TS_i - TR_i}{TR_i} \right| \quad (5.1)$$

n
, n=1,2,...,I
, 1 ≤ i ≤ n : I

onde,

ΔT_p : é a variação média dos tempos simulados em relação aos tempos reais de execução de n pedidos.

n : é o número de pedidos.

TS_i : é o tempo de execução total obtido pelo modelo computacional do i-ésimo pedido.

TR_i : é o tempo de execução total real do i-ésimo pedido.

As Tabelas 5.4, 5.5 e 5.6 mostram para os respectivos casos, as relações para cada pedido dos tempos real e simulado e a variação absoluta destes.

TABELA 5.4

VARIAÇÕES ABSOLUTAS DO CASO 1

ORDEM DE SERVIÇO	TEMPO SIMULADO (min)	TEMPO REAL (min)	VARIAÇÃO ABSOLUTA (%)
119	3677,00	3735,00	1,55
120	806,20	2940,00	72,58
121	1082,20	2520,00	57,03
122	3558,90	2760,00	28,94
123	1515,30	2520,00	39,99
124	3541,90	4410,00	19,70
125	1506,40	2520,00	40,22
126	3502,40	4410,00	20,58
127	5858,00	5880,00	0,37
129	3456,10	3448,00	0,23
130	3454,10	3090,00	11,78
131	6754,20	6730,00	0,36

A variação média do caso 1 é de 24,44 % com um desvio padrão amostral de 2,401.

TABELA 5.5

VARIAÇÕES ABSOLUTAS DO CASO 2

ORDEM DE SERVIÇO	TEMPO SIMULADO (min)	TEMPO REAL (min)	VARIAÇÃO ABSOLUTA (%)
1295	4601,00	5880,00	21,75
1296	2843,80	3043,00	6,54
1297	7042,00	7560,00	6,85
1299	1908,05	2520,00	24,26
1300	1927,00	2205,00	12,60
1301	3565,00	4650,00	23,33
1303	4198,60	4758,00	11,75
1305	2263,60	2706,00	16,35
1306	1811,11	4200,00	56,87
1308	5154,90	5858,00	12,33
1309	1770,40	2204,00	19,67
1310	697,60	990,00	29,50
1311	3822,60	5040,00	24,15
1312	4193,60	4200,00	0,15
1318	2089,00	3596,00	41,90
1319	1697,60	1680,00	1,04
1324	2025,20	3630,00	44,21
1325	2849,10	2695,00	5,41
1326	7640,70	8400,00	9,04
1327	5331,00	6720,00	20,60
1328	2823,00	3870,00	27,05
1330	3639,00	4200,00	13,35
1331	4898,00	5040,00	2,81
1332	1883,00	2730,00	31,02

A variação média do caso 2 é de 19,77 % com um desvio padrão amostral de 1,48.

TABELA 5.6

VARIAÇÕES ABSOLUTAS DO CASO 3

ORDEM DE SERVIÇO	TEMPO SIMULADO (min)	TEMPO REAL (min)	VARIAÇÃO ABSOLUTA (%)
556	2865,00	5880,00	51,27
559	1946,70	1570,00	23,99
561	4464,50	4560,00	2,09
562	5314,00	5528,00	3,87
563	5234,00	6006,00	12,85
564	752,60	4200,00	82,08
565	714,60	2940,00	75,69
566	6921,10	6720,00	1,50
567	5101,90	5130,00	0,55
568	6448,40	7560,00	14,60
569	2598,60	2520,00	3,12
570	2982,60	2856,00	0,04
571	1333,60	1620,00	17,68
572	3475,00	3630,00	4,27
573	872,60	1680,00	48,06
574	2881,20	3330,00	13,47
575	2075,10	2667,00	22,19
581	891,70	1080,00	17,43
582	3493,00	3360,00	3,95
583	4315,00	4200,00	2,74
584	6150,00	7560,00	18,65
585	7026,00	8400,00	16,35
587	2742,00	3070,00	11,27

(continua)

Tabela 5.6 - Conclusão

ORDEM DE SERVIÇO	TEMPO SIMULADO (min)	TEMPO REAL (min)	VARIAÇÃO ABSOLUTA (%)
588	9929,00	10920,00	9,08
590	6017,00	6210,00	3,10
591	4379,00	5040,00	13,11
592	4338,00	5880,00	26,22
593	5755,00	6720,00	14,03
595	4783,00	5040,00	5,10
596	2639,00	2790,00	5,41
597	3390,00	2769,00	22,43
599	7578,00	8700,00	12,90
600	5857,00	6240,00	6,13
601	5202,00	5880,00	11,53
602	1663,00	1680,00	1,01
604	7014,00	7560,00	7,22
605	6597,00	6300,00	4,71
606	6772,00	6720,00	0,77
607	4406,00	3150,00	39,87
608	10078,00	12600,00	12,08
609	1758,00	1500,00	17,20

A variação média do caso 3 é de 16,09% com um desvio padrão amostral de 1,889.

Utilizando os dados das Tabelas 5.4, 5.5 e 5.6 são traçados dois gráficos para cada caso (Figura 5.51 a 5.56). O primeiro relaciona os pedidos ordenados pela ordem de término de execução (simulada e real). O segundo gráfico relaciona os pedidos, igualmente ordenados aos gráfico anterior, com as variações dos tempos simulados em relação aos tempos reais.

A ordem de saída dos pedidos indicada pelo número da ordem de serviço do modelo computacional é:

- CASO 1: 120, 121, 123, 125, 122, 119, 129, 124, 126, 130, 127 e 131.
- CASO 2: 1310, 1299, 1300, 1309, 1306, 1305, 1319, 1332, 1324, 1296, 1318, 1325, 1301, 1328, 1311, 1303, 1330, 1312, 1295, 1308, 1331, 1327, 1326 e 1297.
- CASO 3: 564, 565, 573, 571, 581, 559, 556, 569, 575, 570, 602, 587, 609, 574, 596, 572, 582, 597, 561, 583, 567, 563, 592, 562, 591, 595, 607, 568, 593, 601, 590, 566, 600, 584, 585, 605, 606, 604, 599, 588 e 608.

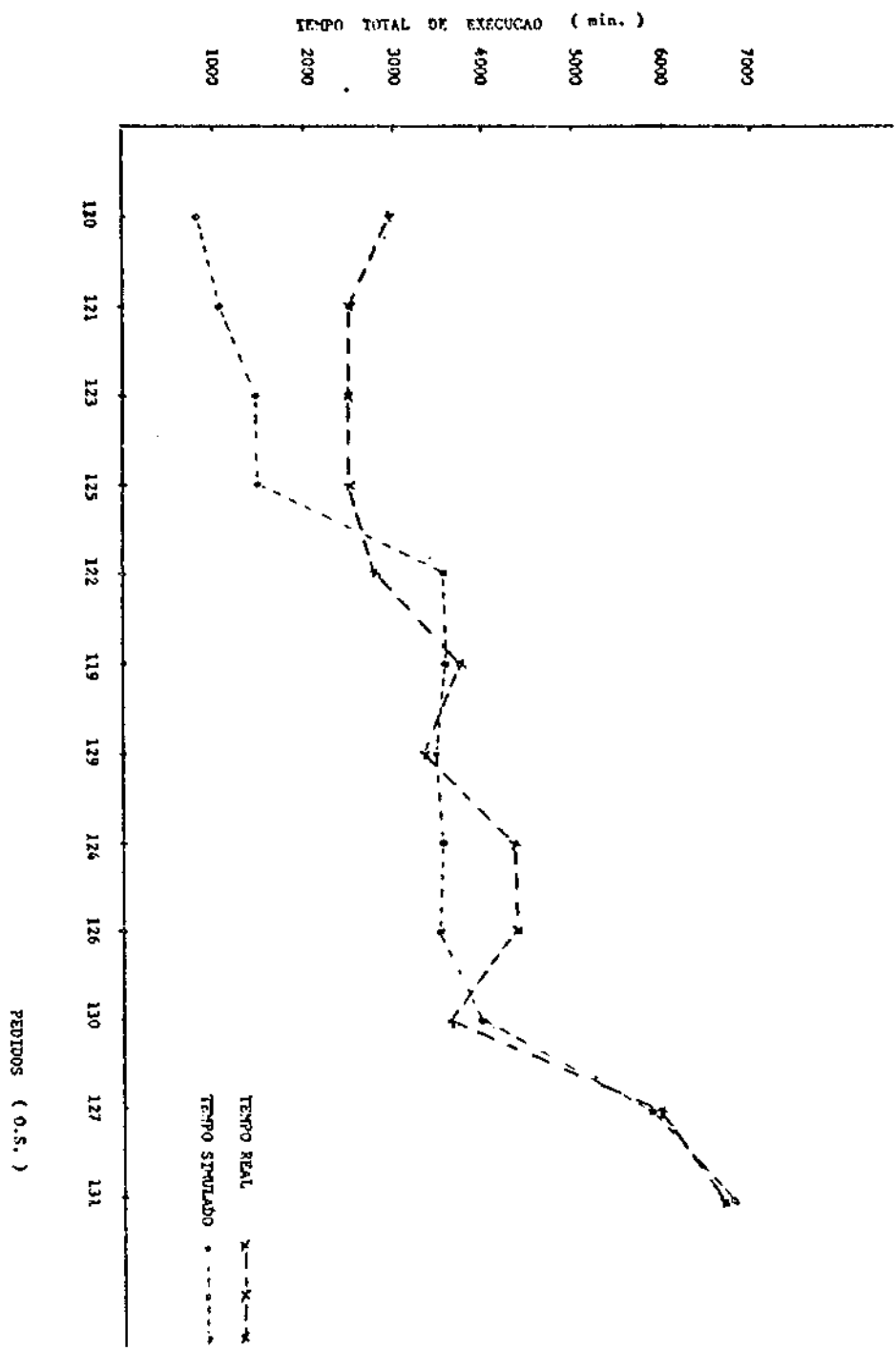


Fig. 5.1 - Gráfico dos tempos de execução totais dos pedidos do caso I.

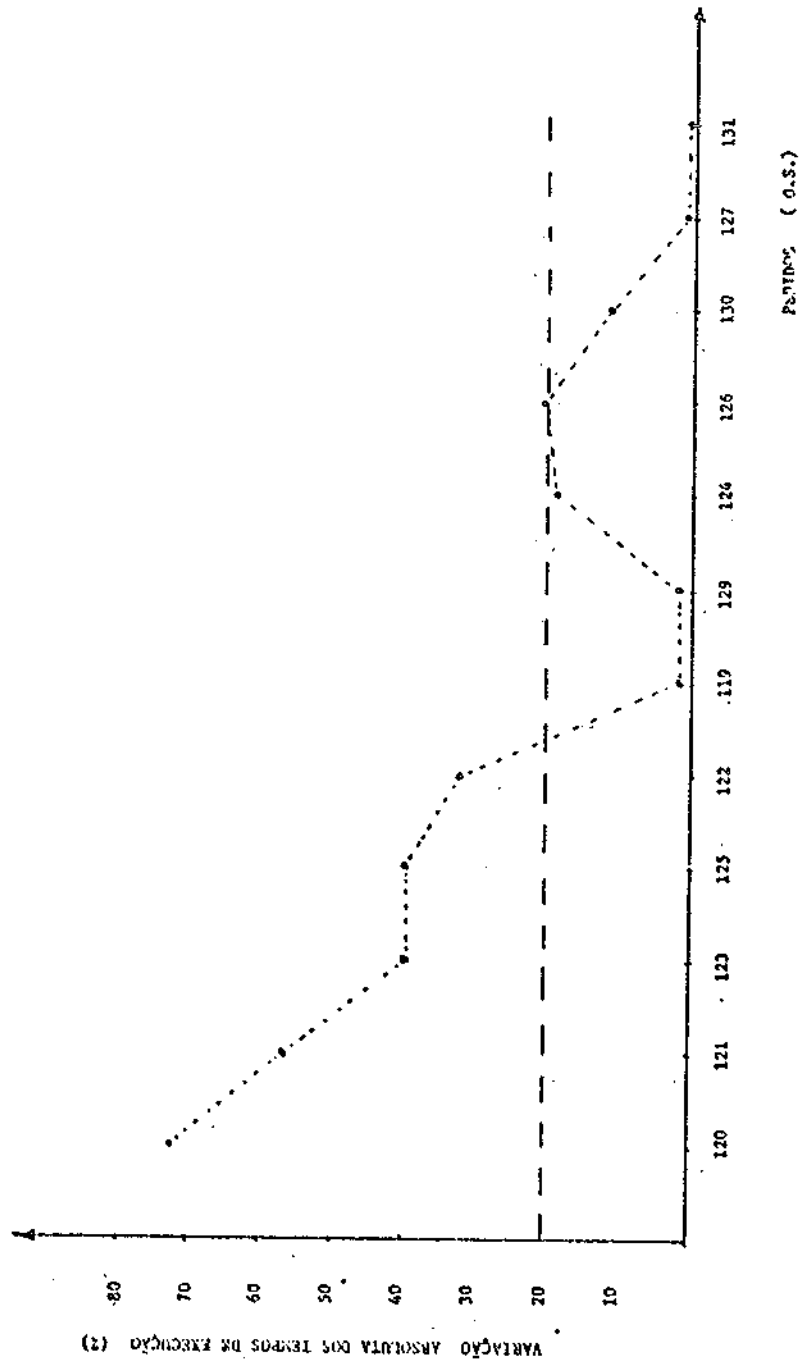


Fig. 5.2 - Gráfico da variação absoluta dos tempos de execução dos pedidos do caso 1

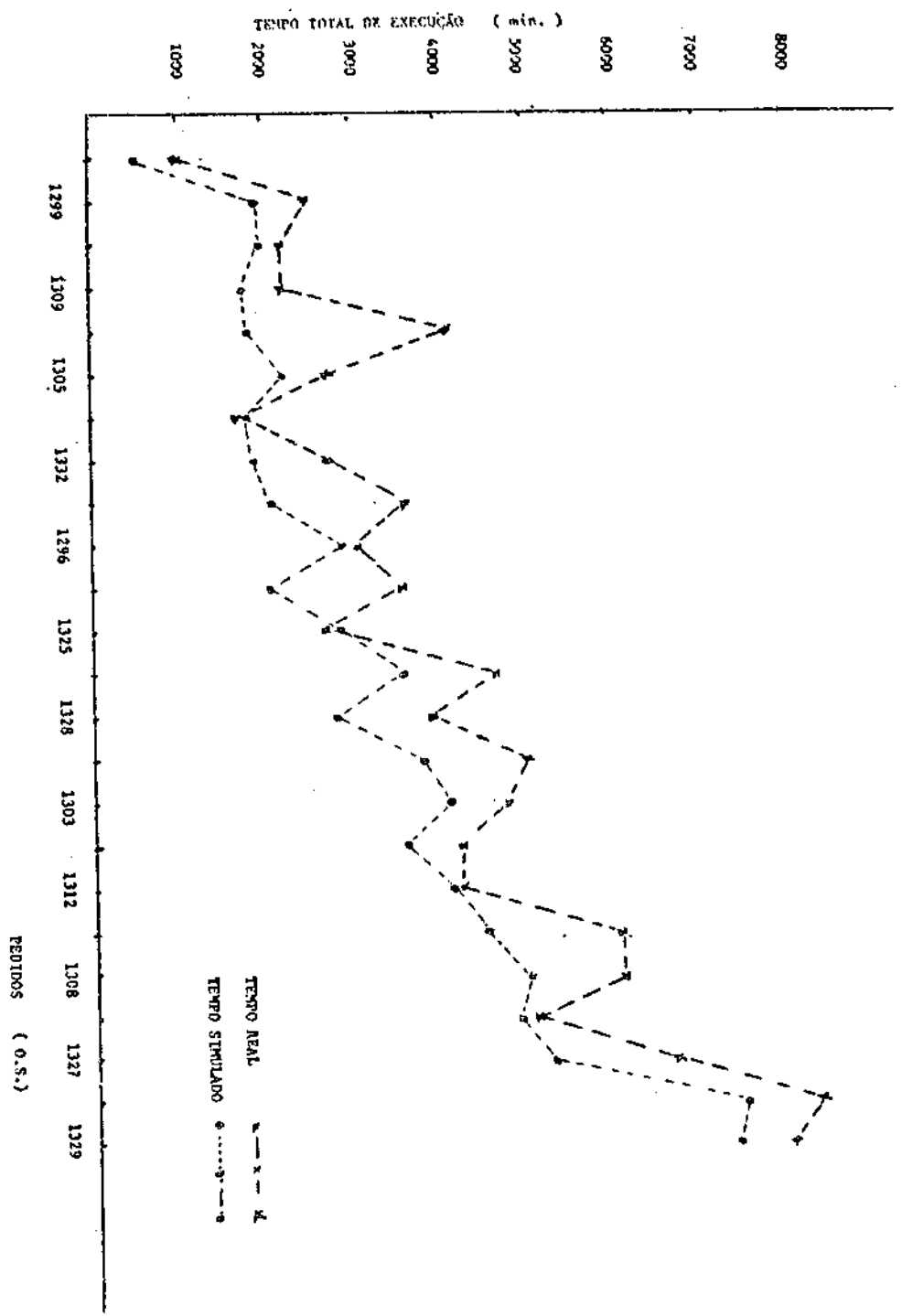


Fig. 5.3 - Gráfico dos tempos de execução totais dos pedidos do caso 2.

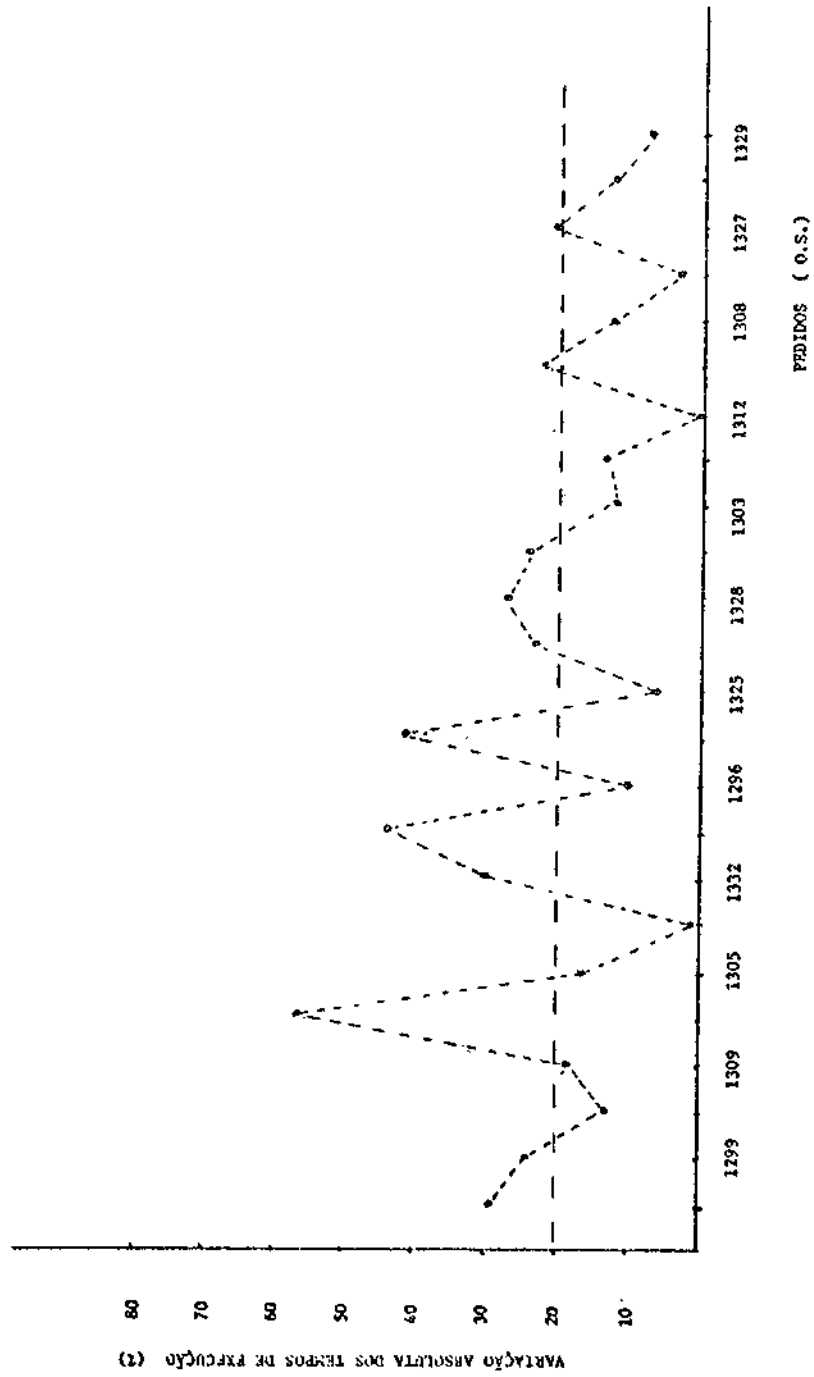


Fig. 5.4 - Gráfico da variação absoluta dos tempos de execução dos pedidos do caso 2.

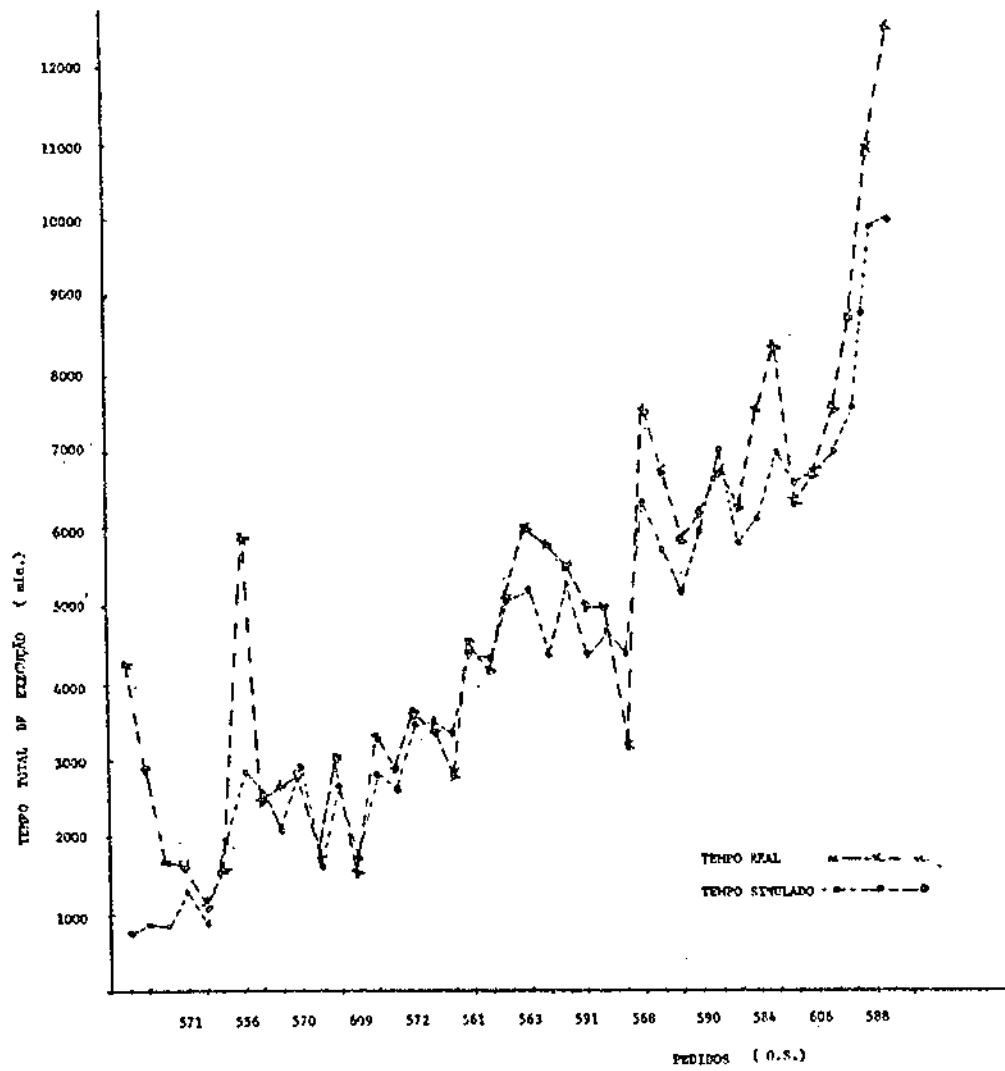


Fig. 5.5 - Gráfico dos tempos de execução totais dos pedidos do caso 3

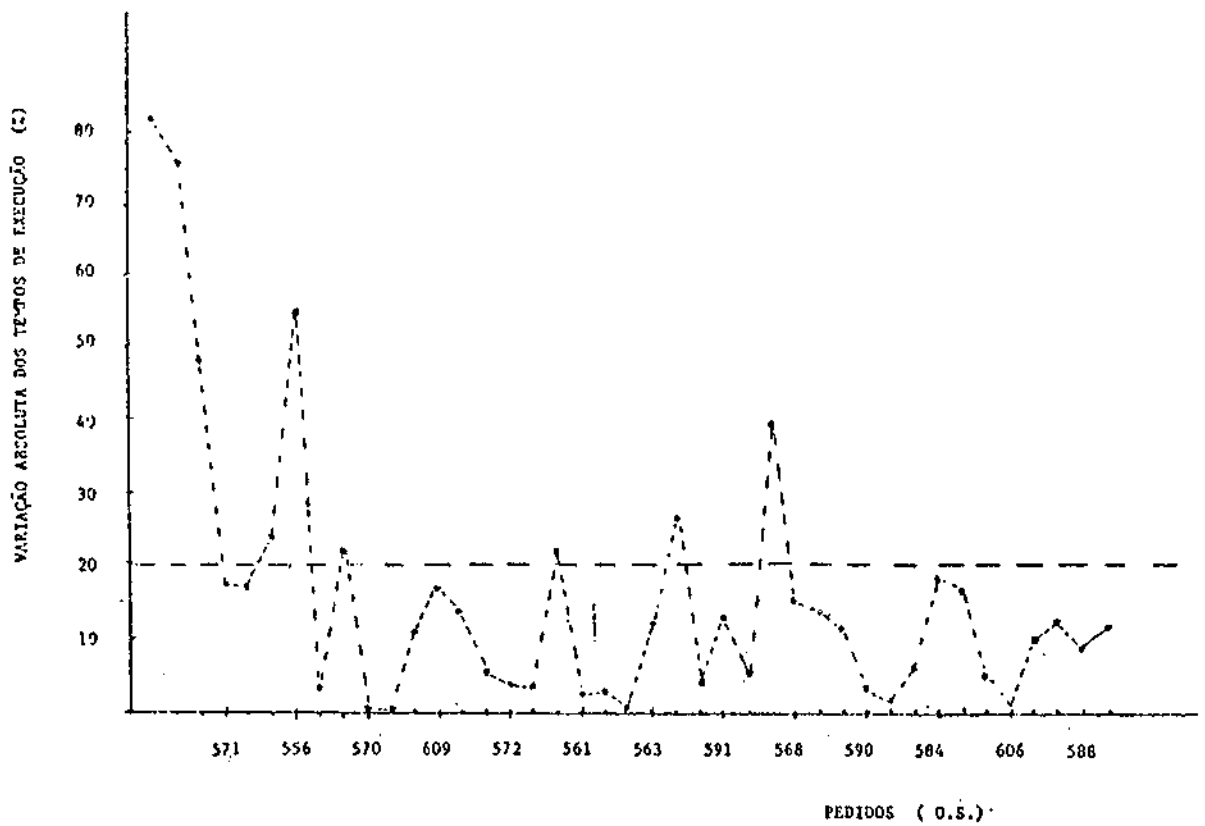


Fig. 5.6 - Gráfico da variação absoluta dos tempos de execução dos pedidos do caso 3

Dos resultados obtidos dos casos 1, 2, e 3 pode-se fazer os seguintes comentários:

- i) Comparando as variações médias dos tempos reais de execução, ve-se que a medida que o número de pedido simulados aumenta a variação média tende a diminuir.

TABELA 5.7

COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES MÉDIAS DOS CASOS

CASOS	NÚMERO DE PEDIDOS	VARIAÇÃO MÉDIA (%)
1	12	24,44
2	24	19,27
3	42	16,09

- ii) Os primeiros pedidos que saem do modelo computacional apresentam os maiores valores tempos simulados em relação aos reais. A Tabela 5.8 mostra o somatório das variações absolutas dos 40% primeiros pedidos que saem em relação aos restantes. Deve se observar que o tipo de entidade é determinante nesta análise. As entidades que percorrem um caminho mais curto na linha de produção tem chance de apresentar maiores variações do que outras que percorrem um caminho maior por sofrerem menos as ações das filas de espera.

TABELA 5.8COMPARAÇÃO DA VARIACÃO TOTAL DE 40% DOS PEDIDOS EM RELAÇÃO
AOS RESTANTES

CASOS	PRIMEIROS 40%	RESTANTES 60%
1	47,75	7,80
2	25,44	15,98
3	21,23	12,80

Os dados dos tempos reais de execução dos pedidos não permitem serem extraídas informações de tempos parciais de execução por estações de trabalho precisos. Sendo possível fazer-se uma validação dos tempos médios de serviço das estações de trabalho para pedidos do grupo 2 (confecção de circuito impresso) se estas forem devidamente agrupadas. Os pedidos do segundo bloco possuem um documento de ordem de serviço mais detalhado onde cada operador anota o dia e o horário de término de execução de suas tarefas.

As estações de trabalho são agrupadas em quatro blocos conforme segue:

- Primeiro bloco : Recepção (entrada de pedidos), Programação, Acabamento Mecânico (corte de laminados) e Furação CNC (placa teste e gabarito).
- Segundo bloco : Furação CNC e Filme Seco (transferência de imagem).

- Terceiro bloco : Gravação Ácida, Acabamento Mecânico (furação manual), Filme Seco (máscara anti-şolda) e Duração.
- Quarto bloco : Estanho/Chumbo , acabamento Mecânico (Acabamento final) e Recepção (saída de pedidos, PCP).

A variação média dos tempos simulados em relação aos tempos reais de execução de serviço das estações agrupadas é calculada pela fórmula 5.2.

$$\Delta TE_j = \sum_{i=1}^n \left| \frac{TE_{ij} - TER_{ij}}{TER_{ij}} \right| \quad (5.2)$$

$$j = 1, 2, 3, 4.$$

$$n = 1, 2, \dots, I;$$

$$1 \leq i \leq n, I;$$

onde,

ΔTE_j : é a variação média dos tempos simulados em relação aos tempos reais em relação aos tempos reais do j-ésimo bloco.

TE_{ij} : é o tempo de duração simulado do serviço sofrido pelo i-ésimo pedido no j-ésimo bloco.

TER_{ij} : é o tempo de duração real do serviço sofrido pelo i-ésimo pedido no j-ésimo bloco.

n : é o número de pedidos

Os tempos de serviço da estação de trabalho Controle de Qualidade serão agregados as respectivas estações de trabalho quando do controle de saída.

As Tabelas 5.9 e 5.10 mostram os tempos simulados e reais para os pedidos de confecção de circuito impresso do caso 1 em relação aos quatro blocos. a ordem de serviço 125 é referente a um circuito que deixou a linha após a execução da placa teste (ATRIB(5)=11).

TABELA 5.9

TEMPOS REAIS DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO AGRUPADAS DO CASO 1

ORDEM DE SERVIÇO	BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4
119	1140	1770	735	90
122	1146	722	800	92
124	1168	1096	1511	662
125	2500	-	-	-
126	1715	849	1741	105
129	1120	940	1288	100
130	1287	633	1070	100
131	3360	2126	974	450
TOTAL	13436	8109	7939	1599

TABELA 5.10

TEMPOS SIMULADOS DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO AGRUPADAS DO CASO

1

ORDEM DE SERVIÇO	BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4
119	981,50	147,56	2451,00	96,94
122	1029,37	912,59	1534,94	82,00
124	2459,30	877,41	78,18	127,00
125	1505,00	-	-	-
126	998,87	697,40	1682,15	142,00
129	997,10	1327,00	1020,00	112,00
130	1440,00	834,00	1038,65	141,35
131	5542,00	959,93	120,00	132,27
TOTAL	14954,24	5737,89	7924,92	833,56

A partir dos dados das Tabelas 5.9 e 5.10 obtém-se a variação média dos tempos de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 1.

TABELA 5.11VARIAÇÃO MÉDIA DOS TEMPOS DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO
AGRUPADAS DO CASO 1

BLOCOS	1	2	3	4
VARIAÇÃO MÉDIA %	11,30	29,30	0,18	47,48

A variação média total dos tempos de serviço das estações de serviço agrupadas do caso 1 é de 22,15 %.

As Tabelas a seguir, 5.12 e 5.13 mostram os tempos reais e simulados para os pedidos de confecção de circuito impresso do caso 2 em relação aos quatro blocos.

TABELA 5.12

TEMPOS REAIS DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO AGRUPADAS DO CASO 2

ORDEM DE SERVIÇO	BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4
1295	2703	2129	275	774
1295	1170	840	990	43
1297	5348	1012	1140	60
1299	1250	960	150	160
1300	1275	465	405	60
1301	1231	1845	674	900
1303	2823	1498	417	20
1305	780	1095	135	696
1306	698	1897	1085	520
1308	2939	1603	120	1218
1309	295	1175	690	44
1311	558	1990	1637	855
1312	737	2394	186	883
1318	930	1860	185	621
1324	888	1327	705	710
1325	1045	995	645	10
1326	2928	1812	3240	420
1327	1533	1747	3360	80
1328	510	2525	751	84
1330	1195	840	1410	755
1331	2005	2125	70	840
1332	1110	840	228	552
TOTAL	33951	32974	18498	10304

TABELA 5.13

TEMPOS SIMULADOS DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO AGRUPADAS DO CASO

2

ORDEM DE SERVIÇO	BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4
1295	2665,53	1059,13	781,34	95,00
1296	1025,89	1615,91	78,00	124,00
1297	3298,92	934,54	2257,09	542,45
1299	968,50	900,00	25,00	15,00
1300	791,00	574,39	465,66	95,95
1301	2107,40	862,51	180,00	415,09
1303	2914,29	1009,31	180,00	95,00
1305	557,29	973,76	539,55	193,00
1306	161,21	443,84	900,00	305,95
1308	3260,50	1541,50	180,00	173,00
1309	117,88	1461,02	80,00	111,50
1311	470,98	1746,62	1095,00	510,00
1312	2195,60	1711,85	180,00	106,15
1318	64,22	1208,17	664,61	152,00
1324	116,15	1622,05	180,00	107,00
1325	1030,10	960,00	758,00	101,00
1326	1571,88	1733,89	3228,87	1106,06
1327	1149,65	1075,63	2991,23	114,49
1328	108,00	2479,97	136,08	98,95
1330	1302,00	900,00	221,30	1215,70
1331	3126,00	917,97	690,93	173,10
1332	574,07	882,07	197,93	229,00
TOTAL	29576,61	26623,06	16000,59	6079,39

Obtem-se a partir das Tabelas 5.12 e 5.13 a variação média dos tempos de serviço do modelo computacional em relação aos tempos reais de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 2.

TABELA 5.14

VARIAÇÃO MÉDIA DOS TEMPOS DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO
AGRUPADAS DO CASO 2

BLOCOS	1	2	3	4
VARIAÇÃO MÉDIA %	12,88	19,26	13,50	41,00

A variação média total dos tempos de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 2 é de 21,66%.

As Tabelas 5.15 e 5.16 mostram os tempos reais e simulados para os pedidos de confecção de circuito impresso do caso 3.

TABELA 5.15

TEMPOS REAIS DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO AGRUPADAS DO CASO 3

ORDEM DE SERVIÇO	BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4
556	2370	2610	720	180
559	600	777	180	13
561	2897	1373	135	155
562	2519	1875	213	921
563	3765	1980	125	136
566	4830	1560	68	262
567	3152	1620	68	290
568	3207	2430	1835	88
574	882	610	1310	528
575	785	228	1437	217
584	1752	2468	2520	820
585	2587	1740	2663	1410
587	1373	525	1035	137
588	3245	3540	3655	480
590	2070	3182	213	745
591	1835	2730	65	410
592	3503	1908	57	412
593	4290	1860	60	510
596	315	120	1725	630
597	2017	300	415	37
599	2860	3360	1790	690
600	3503	2283	262	92
604	3588	3240	85	646
607	1444	477	1025	204
608	6060	2640	2340	1560
609	420	770	300	10
TOTAL	65869	46306	24301	11583

TABELA 5.16

TEMPOS SIMULADOS DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRAB. AGRUPADAS DO CASO 3

ORDEM DE SERVIÇO	BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4
556	1712,98	820,02	170,65	91,35
559	65,61	841,64	934,45	100,00
561	3249,88	941,62	180,00	93,00
562	3244,59	1552,41	180,00	337,00
563	3234,10	1742,43	145,41	112,06
566	3166,45	3458,88	68,77	127,00
567	3147,05	1074,22	605,63	275,00
568	3674,88	883,34	1781,83	108,35
574	1873,98	730,82	178,40	98,00
575	139,92	1577,18	180,00	178,00
584	3248,78	1287,35	1517,27	96,60
585	3503,82	776,70	2642,78	102,70
587	1378,00	900,00	354,00	110,00
588	2602,04	3261,08	2643,18	1422,70
590	4021,69	1743,66	139,65	112,00
591	2390,65	1808,33	83,02	97,00
592	2620,20	1435,80	180,00	102,00
593	3249,50	1692,50	180,00	633,00
596	1124,11	912,89	397,76	204,24
597	1139,08	1898,01	210,91	142,00
599	3430,00	2812,00	1183,00	153,00
600	3851,00	1740,00	180,00	86,00
604	3314,43	2394,27	657,28	648,02
607	1446,00	1737,50	1017,50	205,00
608	4760,28	1797,73	2659,99	860,00
609	563,00	747,06	352,94	95,00
TOTAL	66152,02	40637,44	18824,42	6589,02

A partir das Tabelas 5.15 e 5.16 obtêm-se a variação média dos tempos de serviço do modelo computacional em relação aos tempos reais de serviço das estações de trabalho agrupadas do caso 3.

TABELA 5.17

VARIAÇÃO MÉDIA DO TEMPO DE SERVIÇO DAS ESTAÇÕES DE TRABALHO
AGRUPADAS DO CASO 3

BLOCOS	1	2	3	4
VARIAÇÃO MÉDIA %	0,43	12,24	22,53	43,11

A variação média total dos tempos de serviço das estações de trabalho agregadas no caso 3 é de 19,58 %

Com os dados das Tabelas 5.9 a 5.17 são traçadas dois gráficos para cada caso (Figura 5.7 a 5.12). O primeiro gráfico relaciona as estações de trabalho agregadas com o tempo de execução de serviço (real e simulado). O segundo gráfico relaciona as estações de trabalho agrupadas com a variação absoluta dos tempos de execução.

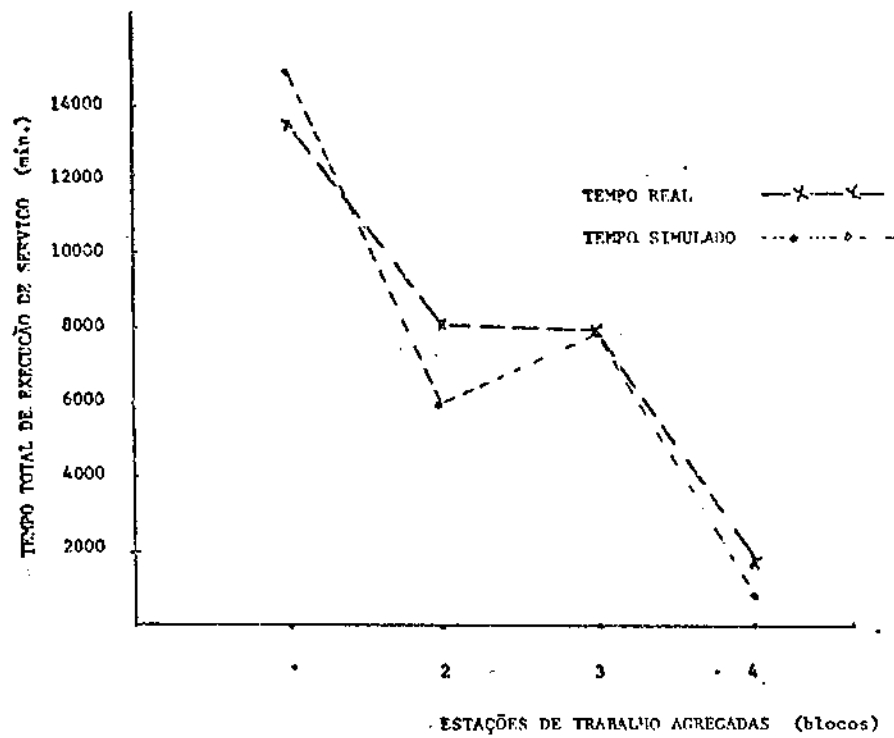


Fig. 5.7 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus tempo de execução de serviço do caso 1.

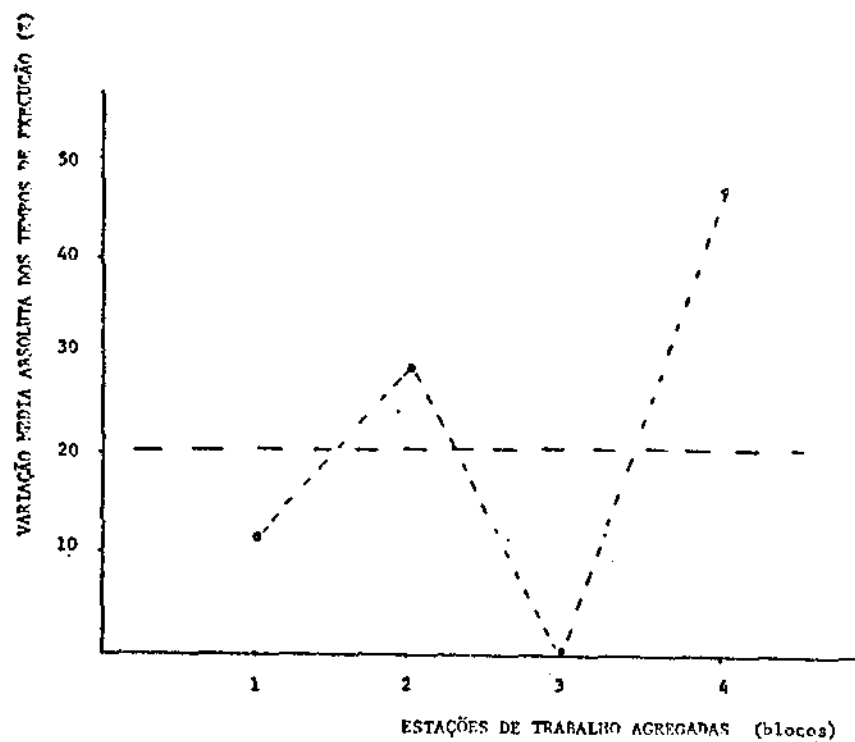


Fig. 5.8 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus variação média absoluta dos tempos de execução do caso 1.

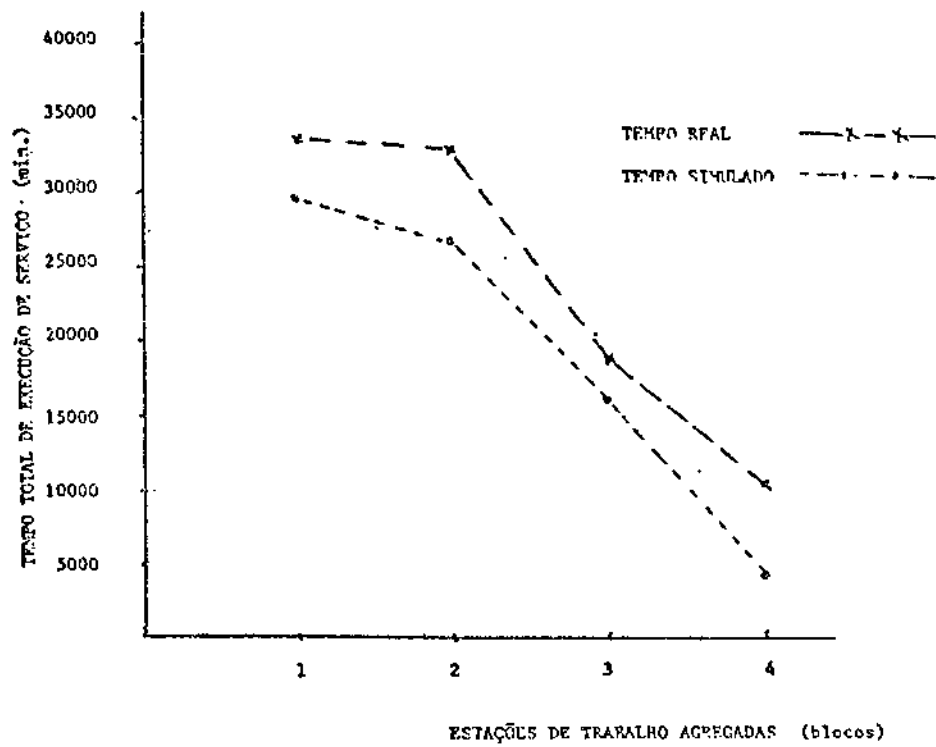


Fig. 5.9 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus tempo de serviço de execução do caso 2.

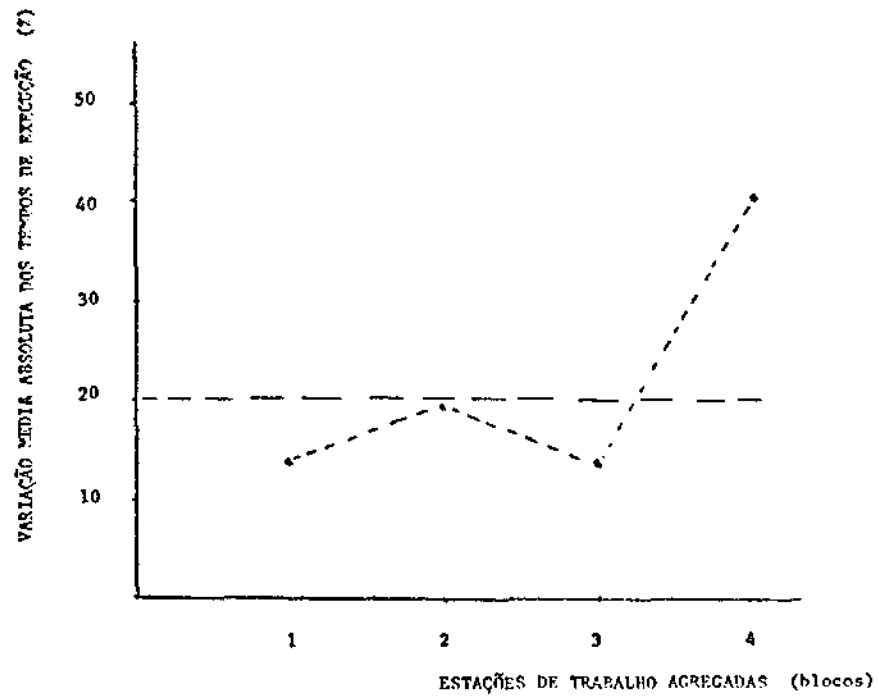


Fig. 5.10 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus variação média absoluta dos tempos de execução do caso 2.

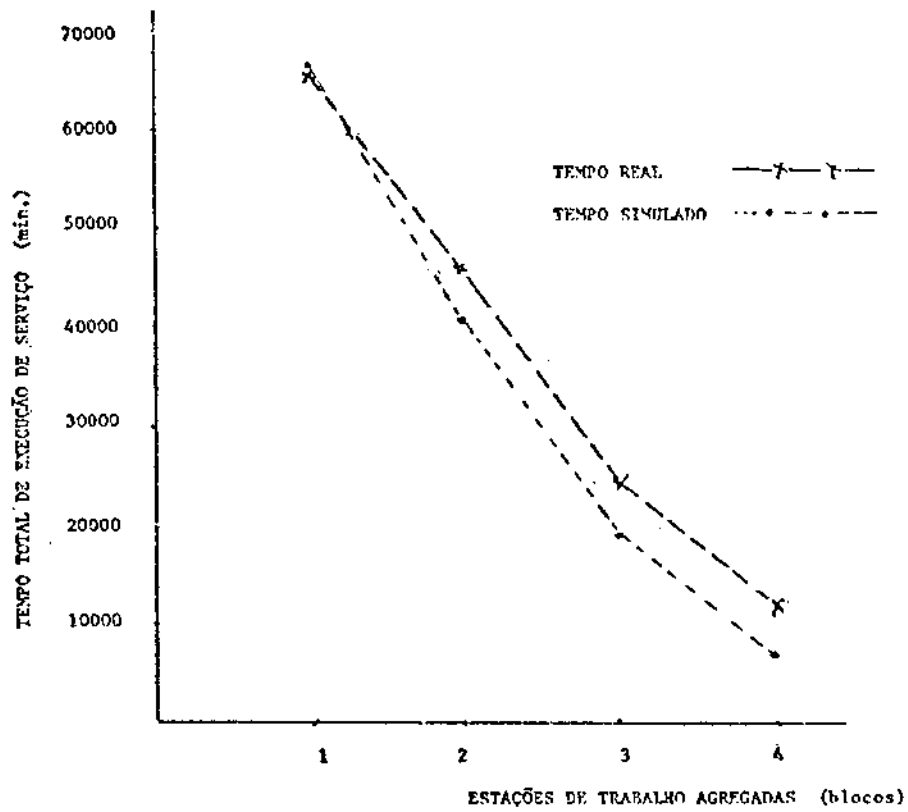


Fig. 5.11 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus tempo de execução de serviço do caso 3.

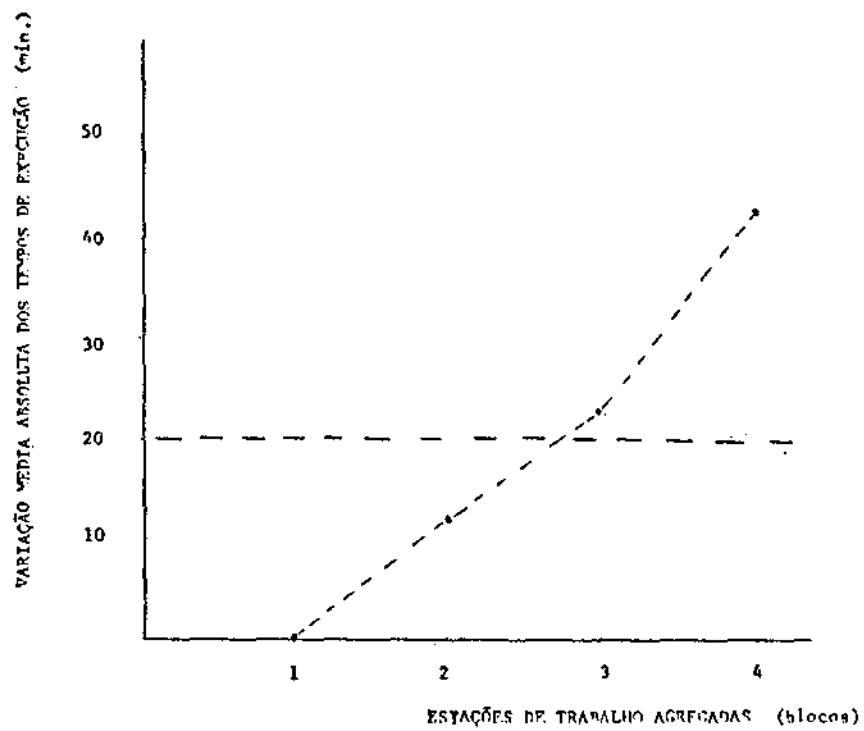


Fig. 5.12 - Gráfico das estações de trabalho agrupadas versus variação média absoluta dos tempos de execução do caso 3.

Dos resultados obtidos sobre as estações de trabalho agrupadas dos casos 1, 2, e 3 pode-se fazer os seguintes comentários:

- i) Comparando-se as variações médias totais observa-se que a medida que o número de pedidos simulados aumenta a variação média total tende a diminuir (ver Tabela 5.18).

TABELA 5.18

COMPARAÇÃO DAS VARIAÇÕES MÉDIAS TOTAIS DO TEMPO DE EXECUÇÃO

CASOS	NÚMERO DE PEDIDOS	VARIAÇÃO MÉDIA TOTAL %
1	8	22,15
2	22	21,66
3	26	19,58

- ii) O bloco 4 é o que apresenta os menores tempos de execução dos três casos. Sendo também o que possui as maiores variações médias (ver Tabela 5.19).

TABELA 5.19

COMPARAÇÃO DOS TEMPOS DE SERVIÇO E DA VARIAÇÃO MÉDIA DO BLOCO 4 EM
RELAÇÃO AOS OUTROS BLOCOS

	BLOCOS	TEMPO REAL (min.)	TEMPO SIMULADO (min.)	VARIAÇÃO MÉDIA %
C A S O 1	1	13436,00	14954,24	11,30
	2	8109,00	5737,89	29,33
	3	7939,00	7924,92	0,18
	4	1599,00	833,56	47,87
C A S O 2	1	33915,00	29576,61	12,88
	2	32974,00	26623,06	19,26
	3	18498,00	16000,59	13,50
	4	10304,00	6079,39	41,00
C A S O 3	1	65869,00	66152,02	0,43
	2	46306,00	40637,44	12,44
	3	24301,00	18824,42	22,53
	4	11583,00	6589,02	43,11

5.1.2 - COMENTÁRIOS SOBRE OS RESULTADOS

O modelo computacional inicia a simulação considerando a linha totalmente vazia. Deste modo, devido as condições iniciais do modelo, somente são obtidos resultados mais confiáveis após um certo intervalo de tempo que permita ao modelo representar o Laboratório em seu regime normal de operação. Sendo o modelo de natureza estocástica,

a medida que aumentar o tempo de duração da simulação aumentará a confiabilidade dos resultados obtidos.

Tanto as variações médias em relação aos tempos de execução dos pedidos assim como as variações médias em relação aos tempos de serviço das estações de trabalho agrupadas estão em torno de uma faixa de 20%.

Devido aos resultados obtidos das variações médias de tempo de execução por pedido, as variações médias dos tempos de execução de serviço das estações de trabalho agrupadas não devem apresentar maiores valores se fossem considerados a totalidade de pedidos dos três casos.

Com referência as variações médias obtidas do bloco 4, observa-se que no modelo computacional geralmente a estação de trabalho Controle de Qualidade envia no mesmo dia os pedidos concluídos para o PCP. Em contrapartida, no sistema real na maioria das vezes a estação de trabalho Controle de Qualidade entrega o pedido concluído para o PCP somente no dia seguinte independente do horário em que está termina a execução do controle.

Deste modo, o tempo desta ação (pedido concluído sendo enviado da estação de trabalho Controle de Qualidade para o PCP) gerado no modelo computacional apresenta geralmente um valor menor que o observado no sistema real por não estar atualizado com o acréscimo do período da noite (das 17:30 horas do dia anterior as 8 horas da manhã seguinte).

5.2 - EXPERIMENTO

Como uma utilização do modelo como uma ferramenta de auxílio ao planejamento e controle da produção a seguir é ilustrado o experimento de verificação do gargalo na linha de produção referente ao caso 3.

É simulado o comportamento da linha de produção considerando-se um número de usuários fixos e variando-se o valor do tempo médio que modela o acontecimento "chegada de um usuário ao Laboratório".

Foram realizadas 13 rodadas do caso 3. Pela comparação dos tempos médios de espera de execução de serviço dos servos, o gargalo de produção foi observado na estação de trabalho Recepção no servo SERE.

A Tabela 5.20 relaciona os tempos médios de espera dos serviços do servo SERE obtidos conforme a variação do tempo médio de chegada entre os usuários (λ) ao Laboratório.

TABELA 5.20

TEMPOS MÉDIOS DE ESPERA DOS SERVIÇOS DO SERVO SERE CONFORME A VARIAÇÃO DO TEMPO MÉDIO DE CHEGADA DOS USUÁRIOS (λ)

λ (min.)	TEMPO MÉDIO DE ESPERA (min.)
1,00	341,50
5,00	321,80
7,73	282,30
10,00	257,20
15,00	114,34
17,73	63,34
20,00	24,14
25,00	16,58
27,73	7,86
30,00	4,25
35,00	5,61
37,73	2,19
47,75	1,16

Se os dados da Tabela 5.20 forem plotados, Figura 5.13, observa-se que o tempo médio de espera dos serviços do servo SERE apresenta um comportamento descrito por uma função exponencial em relação a diminuição dos intervalos médios de tempo de chegada entre os usuários.

Admitindo-se, por exemplo, que um pedido não deva esperar mais que 15 minutos para ser atendido pelo servo SERE, pode-se inferir que se o intervalo de tempo entre as chegadas de usuários fosse menor que aproximadamente 25 minutos, o servo SERE não teria capacidade de atendê-los a contento.

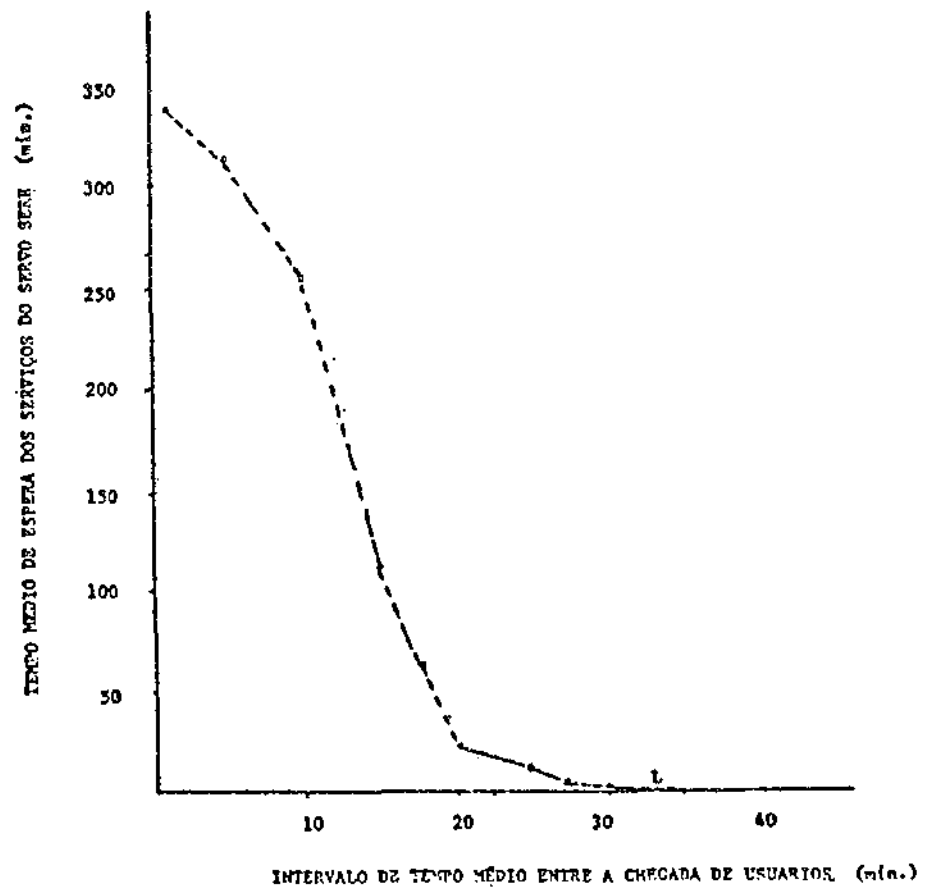


Fig. 5.13 - Gráfico do intervalo de tempo médio entre a chegada de usuários versus tempo médio de espera do servo SERE.



CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Na elaboração deste modelo de simulação as maiores dificuldades foram enfrentadas na adaptação e operacionalização do GASP IV e na descrição através de relações lógico-matemáticas da dinâmica da linha de produção.

A escolha da linguagem GASP IV se deu por ser esta, na época do início deste trabalho, a única disponível no Instituto para este tipo de simulação. Salienta-se que a utilização desta linguagem somente se tornou possível depois da manipulação de seu programa fonte.

Por ser a fabricação de um circuito impresso um trabalho de características artesanais, ou seja, a qualidade e o tempo de execução do serviço dependem preponderantemente da habilidade do operador, foi exigida uma minuciosa e exaustiva observação das características e do comportamento das estações de trabalho do Laboratório. Foram coletados diversos dados amostrais e realizadas diversas modelagens no intento de obter uma representação o mais fiel possível do sistema real devido ao fator humano.

Analisando o comportamento dos resultados típicos obtidos através do modelo computacional pode-se afirmar que o modelo simula com um bom nível de confiabilidade a dinâmica da linha de produção. Tanto os tempos simulados de execução dos pedidos, assim como os tempos simulados de execução de serviço das estações de trabalho apresentam resultados em torno de uma faixa de 20 % em relação aos dados reais. Devido a natureza estocástica do modelo, para uma grande quantidade de pedidos simulados o grau de confiabilidade tende a aumentar pela convergência dos valores em torno dos valores médios amostrados e pela diminuição da influência do problema das condições iniciais de partida do modelo computacional.

O modelo computacional permite ser facilmente manipulado através de seu programa fonte. Possibilitando uma vasta gama de experimentos. Podem ser manipulados basicamente: na dimensão temporal - todos os tempos de execução dos serviços, dos horários de trabalho das estações e o tempo total de simulação; na dimensão física - qualquer um dos elementos do sistema modelado desde um atributo, um servo, a dinâmica de um serviço, a dinâmica de uma estação de trabalho até a dinâmica de todo o Laboratório se houver interesse.

Os dois parágrafos anteriores deixam patente o grau de sucesso desta simulação. O modelo obtido poder ser manipulado como uma ferramenta confiável que auxilie no planejamento, acompanhamento e controle da linha de produção do Laboratório de Circuito Impresso do INPE.

Como sugestão de prosseguimento deste trabalho, o modelo pode ser aprimorado de maneira a gerar opções de saída que contemplem informações mais específicas. Além dos resultados dos tempos de execução referentes a dimensão temporal, o modelo é capaz de fornecer informações do estoque de matéria-prima necessário para suprir uma demanda definida e dos custos dos respectivos produtos fabricados. Para isto devem ser elaboradas rotinas que através da utilização dos atributos gerem estes dados.

Atualmente o modelo computacional oferece os seguintes relatórios de saída: situação evento a evento de cada entidade em qualquer período de tempo desejado; situação de qualquer ou quaisquer filas em um dado instante; histogramas de frequência em relação a um dado período de tempo do número de entidades em situação de fila de espera em relação aos servos; estatísticas sobre os tempos de espera de serviço de cada servo, do número de entidades por estação em relação ao tempo e dos tempos de execução de serviço das estações de trabalho.

A documentação completa referente as este projeto de simulação está a disposição no Laboratório de Circuito Impresso do INPE.

• •
•

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COOMBS Jr., C.L. Printed circuits handbook. 2. ed. Nova Iorque, McGraw-Hill, 1979.
- BRATLEY, P.; FOX, B.L.; SCHRAGE, L.E. A guide to simulation. Nova Iorque, Springer-Verlag, 1983.
- FARIA, F.F. Apostila do curso MB-240 de simulação de sistemas discretos. São José dos Campos, CTA-ITA, 1983.
- GANE, C. Análise Estruturada de sistemas. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- MOOD, A.M. Introduction to the theory of statistics. 3. ed. Tokyo, Mc Graw-Hill Kogakusha, 1974.
- PRITSKER, A.A.B. Simulation with Gasp IV. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1969.
- PRITSKER, A.A.B. The Gasp IV simulation Language. Nova Iorque, John Wiley, 1979.
- SCHLABACH, T.D.; RIDER, D.K. Printed and Integrated circuits materials and processes. Nova Iorque, Mc Graw-Hill, 1963.
- SHANNON, R.E. Systems simulation, the art and science. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1975.

APÊNDICE A

LISTAGEM DA SUBROTINA UCHEG

```

C*****
C*          CHEGADA DE UM PEDIDO
C*****

          SUBROTINA UCHEG

      DIMENSION YX(1)

C*
C*          VARIÁVEIS CASP
C*
      COMMON / UCHEG / ATRIB(25),JEVAT,PEA,PEC(100),PLE(100),MSTOP,ACRUP,
*AAFC,VAAPT,VAAIR,VAFIL,VAO(100),VAVRY,VPRI,PPAR(50,4),TNG,TFEG
*TYCLR,TFYNA,TRIR(25),TISEI

C*
C*          VARIÁVEIS NAO CASP
C*
      COMMON / UCHEG / PELS,PELOS,FILSTR,PEFS,SERPA,SERPH,ADRATC,ADAPNO,
*QABA,ADPRTA,PCCC,PFUR,PFES,PFCA,PECSA,PEGGU,PVAL,PRIS,PMEL,SERE
*,SEREP,SERFC,SECA,SECA,SECO,SECO,SEFU,SEME,SERGA,SEDDU,SE
*BME,SERME,LANDIS,TEPLT,CARGA,SL?SA,SERUB,TLA,VUSEC,CURAVA,CUTUA
UCHEG / CHEGA / TEMCH
      WRITE(0,2130)
C*
C*      WRITE(1,3)(ATRIB(JK),JK=1,NAAIR)
      WRITE(0,3)(ATRIB(JK),JK=1,NAAIR)

C*
C*      VERIFICAR SE VEIC DA INSPECAO VISUAL
C*
      IF (ATRIB(4).GT.0) GO TO 1375
      ATRIB(1)=TNG+060
      ATRIB(4)=ATRIB(4)*(-1)
      CALL FILEM(1)
      CALL MONTR
      RETURN
1375  CONTINUE
      TEMCHU=840*(TNG/840-INT(TNG/840))

C*
C*          VERIFICAR O HORARIO DE ATENDIMENTO
C*
      IF((TEMCHU.LT.96).OR.(TEMCHU.GT.555)) GO TO 1123

C*
C*      VERIFICAR SE O PEDIDO VEM PELA PRIMEIRA VEZ.
C*
      IF((ATRIB(22).NE.0).OR.(ATRIB(20).EQ.100)) GO TO 10

C*
C*          ATUALIZACAO DO NUMERO DE LESAFIOS
C*
      PELS=PELS+1
      NUOT=PELS
      XX(1)=PELS
      CALL TIRST(XX(1),TNG+1)
      YX(1)=TNG
      CALL HISTO(XX(1),1)
      ATRIB(22)=1.0
C*
C*      WRITE(0,3)(ATRIB(JK),JK=1,NAAIR)
C*      WRITE(1,3)(ATRIB(JK),JK=1,NAAIR)
IC  CONTINUE
C*
C*      DEFINICAO DO SERVO
C*
      GO TO (101,102,103), ATRIB(22)

```

A.2

```

C*
101 CONTINUE
    WRITE(8,2)
C*    WRITE(1,2)
C*    WRITE(8,3)(ATTRIB(JK),JK=1,NNAIR)
C*    WRITE(1,3)(ATTRIB(JK),JK=1,NNAIR)
C*
C*    VERIFICAR SE O SERVO SERE ESTA OCUPADO
C*
C*    IF(SERV.NE.C) GO TO 11
C*
C*    STRE ESTA LIVRE
C*
C*    IF(ATTRIB(24).NE.C)GO TO 13
C*    IF(MAQ(2).NE.C)GO TO 11
C*
C*    TEMPO DE ESPERA ZERO
C*
C*    XX(1)=C.C
C*    CALL COLCT(XX(1),1)
C*    CALL HISTO(XX(1),2)
13 CONTINUE
    SERV = 1.0
    ATTRIB(1)=TACK+RNORP(1,1)+10
    X(1)=RNORP(1,1)
    CALL COLCT(XX(1),20)
    WRITE(8,501)TACK,RNORP(1,1)
    WRITE(1,501)TACK,RNORP(1,1)
C*
C*
C*    VERIFICAR SE O PEDIDO E ANTIGO
C*
C*    IF(ATTRIB(5).LT.C) GO TO 15
C*
C*    PEDIDO NOVO
C*
C*    IF((ATTRIB(5).CF.13).OR.(ATTRIB(21).EQ.21))GO TO 17
C*    ATTRIB(20)=1.C
C*    GO TO 12
17 CONTINUE
    ATTRIB(20)=3.C
    GO TO 12
15 CONTINUE
C*
C*    PEDIDO ANTIGO
C*
C*    ATTRIB(5)=ATTRIB(5)+(-1)
C*
C*    ATTRIB(20)=2
12 CONTINUE
    GO TO 200
C*
C*
102 CONTINUE
    WRITE(8,5)
C*    WRITE(1,5)
C*    WRITE(8,3)(ATTRIB(JK),JK=1,NNAIR)
C*    WRITE(1,3)(ATTRIB(JK),JK=1,NNAIR)
C*
C*    VERIFICAR SE O SERVO SERE ESTA OCIOSO
C*

```

```

C*      IF(SERFP.NE.0) GO TO 11
C*      SERFP ESTA LIVRE
C*
C*      IF(ATRIB(24).NE.0) GO TO 19
C*      IF(CNV(3).NE.0) GO TO 11
C*
C*      TEMPO DE ESPERA ZERO
C*
C*      XX(1)=0
C*      CALL COLOC(XX(1),2)
C*      CALL DISTR(XX(1),5)
19      CONTINUE
C*      SERFP=1.0
C*      ATRIB(1)=INOW+RANRNM(4,4)+5
C*      XX(1)=RANRNM(4,4)
C*      CALL COLOC(XX(1),21)
C*
C*      DIMENSIONAMENTO DA PLACA
C*
C*      IF((ATTRIB(5).GE.3).AND.(ATTRIB(5).LE.5)) GO TO 61
C*
C*      PLACAS NAO METALIZADAS
C*
C*      IF(ATTRIB(5).NE.0) GO TO 77
C*      ATRIB(9)=ATTRIB(7)+30
C*      GO TO 79
77      CONTINUE
C*      ATRIB(9)=ATTRIB(7)+20
79      CONTINUE
C*      ATRIB(10)=ATTRIB(8)+20
C*      GO TO 62
C*      CONTINUE
C*
C*      PLACAS METALIZADAS
C*
C*      ATRIB(9)=ATTRIB(7)+30
C*      ATRIB(10)=ATTRIB(8)+45
C*
C*      CONTINUE
C*      IF((ATTRIB(9).LT.170).AND.(ATTRIB(10).LT.120)) GO TO 63
C*      ATRIB(15)=1.0
63      CONTINUE
C*      IF((ATTRIB(12).LT.100).AND.(ATTRIB(15).EQ.1)) GO TO 64
C*      IF((ATTRIB(5).GE.3).AND.(ATTRIB(5).LE.5)) GO TO 65
C*
C*      PLACAS NAO METALIZADAS
C*
C*      IF(ATTRIB(5).NE.0) GO TO 85
C*      LPA=INT(305/ATTRIB(7)+15)
C*      GO TO 87
85      CONTINUE
C*      LPA=INT(395/(ATTRIB(7)+15))
87      CONTINUE
C*      LPI=INT(395/(ATTRIB(8)+15))
C*      GO TO 65
C*      CONTINUE
C*
C*      PLACAS METALIZADAS

```

```

C*          LMT=INT(370/(ATRIB(8)+15))
C*          LMA=INT(385/(ATRIB(7)+15))
66          CONTINUE
C*          IAR NUMERO MAXIMO DE PLACAS AO PAINEL 400>400
C*
C*          IAR=LMT*LMA
C*          U=ATRIB(9)
C*          T=ATRIB(10)
C*          IF(IAR.LE.2.0) GO TO 53
C*
C*          EXISTE MONTAGEM
C*
C*          IF(IAR.GE.10) GO TO 67
C*          IF((IAR.AE.5).OR.(IAR.AE.7)) GO TO 67
C*          IAR=IAR-1
67          CONTINUE
C*          IZ=20
C*          IF(ATRIB(12).LE.IZ) GO TO 68
C*          IZ=39
C*          IF(ATRIB(17).LE.IZ) GO TO 68
C*          IZ=59
C*          IF(ATRIB(12).LE.IZ) GO TO 68
C*          IZ=79
C*          IF(ATRIB(12).LE.IZ) GO TO 68
C*          IZ=89
C*          IF(ATRIB(12).LE.IZ) GO TO 68
C*          IZ=99
C*          IF(ATRIB(12).LE.IZ) GO TO 68
C*          IZ=100
68          CONTINUE
C*          ATRIB(15)=INT(IZ/10)
70          CONTINUE
C*          IF(ATRIB(15).LE.IAR) GO TO 69
C*          ATRIB(15)=ATRIB(15)-1.0
C*          GO TO 70
69          CONTINUE
C*          IF((ATRIB(15).AE.7).OR.(ATRIB(15).AE.5)) GO TO 71
C*          ATRIB(15)=ATRIB(15)-1.0
71          CONTINUE
C*          CALCULO DAS DIMENSÕES DO PAINEL
C*
C*          IF((ATRIB(5).GE.3.0).AND.(ATRIB(5).LE.5)) GO TO 51
C*
C*          PLACAS NAO METALIZADAS
C*
C*          IF(ATRIB(5).AE.6) GO TO 89
C*          JR=15
C*          GO TO 99
89          CONTINUE
C*          JR=5
99          CONTINUE
C*          JS=5
C*          GO TO 83
51          CONTINUE
C*          PLACAS METALIZADAS

```

A.5.

```

      JR=15
      JS=30
83      CONTINUE
      IF((ATRIB(15).LE.3).OR.(ATRIB(15).EQ.9)) GO TO 52
      T=((ATRIB(7)+15)*(ATRIB(15)/2))+JR
      U=((ATRIB(8)+15)*2)+JS
      GO TO 51
52      CONTINUE
      IF(ATRIB(15).EQ.9) GO TO 54
      T=((ATRIB(7)+15)*ATRIB(15))+JR
      U=((ATRIB(8)+15)*JS
      GO TO 53
54      CONTINUE
      T=((ATRIB(7)+15)*3)+JR
      U=((ATRIB(8)+15)*3)+JS
53      CONTINUE
      IF(T.GT.U) GO TO 55
      ATRIB(9)=U
      ATRIB(10)=T
      GO TO 56
55      CONTINUE
      ATRIB(9)=T
      ATRIB(10)=U
56      CONTINUE
      IF(ATRIB(9).GT.120) GO TO 157
      ATRIB(9)=120
157      CONTINUE
      IF(ATRIB(10).GT.120) GO TO 57
      ATRIB(10)=120
57      CONTINUE
C*      CALCULO DO NUMERO DE FALCIS EM PRODUCAO = ATRIB(15)
C*
      SA=ATRIB(12)/ATRIB(15)
      IF(SA.GT.1.0) GO TO 58
      ATRIB(13)=1.0
      GO TO 59
58      CONTINUE
      SE=(SA-INT(SA))*10
      IF(SL.GE.5) GO TO 75
      ATRIB(13)=INT(SA)+1
      GO TO 59
75      CONTINUE
      ATRIB(13)=INT(SA)+2.0
59      CONTINUE
      GO TO 76
64      CONTINUE
      ATRIB(13)=ATRIB(12)
      ATRIB(15)=1.0
C*
76      CONTINUE
      GO TO 200
C*
103      CONTINUE
C*
C*      VERIFICAR SE O SERVO SERPCF ESTA OCIOSO
C*
      IF(SERPCF.NE.0) GO TO 11
C*
C*      SERPCF ESTA LIVRE

```

```

C*      WRITE(8,1501)IE+CHU
C*      WRITE(1,1501)IE+CHU
C*      WRITE(9,3)(A1P1P(JK),JS=1,AAAT9)
C*      WRITE(1,3)(A1S1P(JK),JK=1,AAAT9)
      IF(ATTRIB(24).NE.0) GO TO 43
      IF((NAG(4).NE.0).OR.(NAG(50).NE.0))GO TO 11
C*
C*      TEMPO DE ESPERA ZERO
C*
      XX(1)=0.0
      CALL COLCT(XX(1),3)
      CALL HISTC(XX(1),4)
43      CONTINUE
      STRFCP=1.0
      ATRIB(1)=INCH+15.0
200     CONTINUE
      PALA=640+(ATTRIB(1)/64*(-1+(ATTRIF(1)/340))
      IF(PALA.LL.570)GO TO 1533
      ATRIB(1)=ATTRIB(1)+360
1533    CONTINUE
      ATRIB(2)=0
      ATRIB(2)=2
      ATRIB(2)=1
      CALL FITCH(1)
      CALL MONTR
      RETURN
11      CONTINUE
      IF(ATTRIB(20).NE.100)GO TO 1059
      IC=50
      GO TO 1062
1059    CONTINUE
      IC=ATTRIF(22)+1
1062    CONTINUE
      ATRIB(24)=INCH
      CALL FILE*(IC)
      WRITE(8,4)IC
C*      WRITE(1,4)IC
      CALL MONTR
      RETURN
C*
1123    CONTINUE
      IF(TEMCHU.L1.90)GO TO 1121
      ALRI=847-IE+CHU
      ATRIB(1)=ATTRIB(1)+ALRI+90
      GO TO 1124
1121    CONTINUE
      ATRIB(1)=ATTRIB(1)+90-IE+CHU
1124    CONTINUE
      CALL FILE*(1)
      CALL MONTR
      RETURN
2130   FORMAT(//,10X,'CCHEGOL UM PEDIDO CM LCHEGG,')
2       FORMAT(//,10X,'CCHEGOL UM PEDIDO EM SERECC,')
3       FORMAT(//,5(10X,5(F9.3,3X),),//)
4       FORMAT(//,10X,'PEDIDO SEGUE P/ FILE DE ESPERA (,13,CCHEGGG,')
5       FORMAT(//,10X,'CCHEGOL UM PEDIDO EM SERECC,')
501    FORMAT(//,10X,'TRD=1,F9.2,TRD*(1,1)=0,F9.2)
1501   FORMAT(//,10X,'CCHEGOL UM PEDIDO NO PCP, TEMCHU = 0,F9.2,')
C*

```


END



APÊNDICE B

LISTAGEM DA SUBROTINA FIMCHE

```

C*
C*

SUBROUTINE FIMCHE
C*
C*          VARIÁVEIS CASE
C*
COMMON /GC(1)/ ATRIB(25),JEVAT,PEA,PEE(100),PLE(100),YSTOP,KCHDR,N
*NAFC,KNAPT,KNATR,NMFL,NNG(100),NRY,NRNT,PPARM(50,4),TAC,TIMEG
*TTCLR,TIFIN,TRIB(25),TISEI
C*
C*          VARIÁVEIS NAO GASP
C*
COMMON /GC(1)/ PLOS,FPEDS,FILESP,PFEDS,SERPA,SERPB,ADRATL,ADAPRO,A
*JABAU,ADPRTA,PCCC,PFUR,MPEDS,PTDGR,PLDJA,FLDCC,FVAL,FRIS,FMCC,SENE
*,SEREP,SERFOP,SFPCA,SERCE,SERCC,SERCD,SERFU,SERME,SFNGRA,SERJOU,SE
*KREA,SERKET,GANDIS,ILMET,CARGA,SERSA,SERSR,ILA,NUSEC,CURAVA,CSTUFA
C*
DIMENSION YX(1)
WRITE(8,735)
C*
WRITE(1,735)
WRITE(8,3)ATTRIB(JK),JK=1,KNATF)
WRITE(1,3)ATTRIB(JK),JK=1,KNATF)
C*
GO TO (101,102,103),ATTRIB(22)
101 CONTINUE
C*
C*          PEDIDO VETO DE SERE
C*
IF((ATTRIB(5).GE.11).AND.(ATTRIB(21).EQ.21)) GO TO 51
IF(ATTRIB(20).EQ.1) GO TO 11
ATTRIB(21)=1.0
ATTRIB(27)=ATTRIB(70)
GO TO 13
11 CONTINUE
ATTRIB(2)=21
ATTRIB(21)=1.0
ATTRIB(27)=0
GO TO 13
51 CONTINUE
ATTRIB(2)=1
ATTRIB(22)=3
13 CONTINUE
SERE=0.0
KR=2.0
CALL FILEM(1)
CALL MONTP
GO TO 102
C*
102 CONTINUE
C*
C*          PEDIDO VETO DE SEREP
C*
ATTRIB(2)=1.0
ATTRIB(22)=3.0
SEREP=0.0
KR=3
CALL FILEM(1)
CALL MONTR

```

```

      GO TO 204
C*
103 CONTINUE
C*
C* PEDIDO VEIO DE SERPCP
C*
      SERPCP=0
      IF(ATTR(20).NE.100) GO TO 500
C*
      SAIDA DE PEDIDOS
C*
      PEDS=PFOS-1
      XX(1)=FOS
      CALL FMSF(XX(1),TAD,1)
      XX(1)=TAD
      CALL HISTO(XX(1),1)
      CALL FILEM(51)
      CALL MENIR
      WRITE(8,8754)TAD
      WRITE(1,8754)TAD
C*
      WRITE(1,3)(ATTR(JK),JK=1,NVAT)
C*
      WRITE(8,3)(ATTR(JK),JK=1,NVAT)
      SERPCP=0
      GO TO 501
500 CONTINUE
      IF(ATTR(5).EQ.15) GO TO 17
      IF(ATTR(20).NE.2) GO TO 15
C*
      PEDIDO VELHO
C*
17 CONTINUE
C*
      PEDIDO SEGUE PARA A MECANICA
C*
      WRITE(8,2)
      WRITE(1,2)
      ATTR(2)=19
      ATTR(20)=6
      GO TO 100
15 CONTINUE
      IF(ATTR(5).EQ.13) GO TO 15
C*
      PEDIDO SEGUE PARA O LABORATORIO FOTOGRAFICO
C*
      ATTR(2)=3.0
      ATTR(20)=16
      WRITE(8,4)
      WRITE(1,4)
      GO TO 100
C*
19 CONTINUE
C*
      PEDIDO SEGUE PARA A PROGRAMACAO
C*
      ATTR(20)=20
      ATTR(2)=5
      WRITE(1,5)
      WRITE(8,5)
100 CONTINUE
      ATTR(22)=0

```

B.3

```

AIRIS(21)=1
CALL FILEM(1)
CALL MONTP
501 CONTINUE
IF((NAG(50).EQ.0).AND.(NAG(4).EQ.0))GO TO 21
IF(NAG(50).EQ.0)GO TO 119
  KK=50
  GO TO 250
119 CONTINUE
  NN=4
250 CONTINUE
  SEFLP=C
200 CONTINUE
  IF(NAG(NN).EQ.0) GO TO 21
  CALL RYFV2(MF(NN),NN)
  ESP=TNJH-AIRIS(24)
  AIRIS(11)=INLW
  AIRIS(2)=1
  XX(1)=ESP
  IF(KK.EQ.50)KK=4
  KK=KK-1
  CALL CDECT(XX(1),NN)
  CALL HISTO(XX(1),NN)
  CALL FII(P(1))
  CALL MONTK
C*   WRITE(P,3)(AIRIS(JK),JK=1,NNATS)
C*   *RIE(1,3)(AIRIS(JK),JK=1,NNATS)
  21 CONTINUE
  RETURN
C*
  2  FORMAT(//,10X,2PEBIDC SECCIND PARA A MECANIC(,))
  3  FORMAT(//,5(10X,5CF7.3,3X),,))
  4  FORMAT(//,10X,2PEBIDC INDO PARA U LAB. FOTOGRAFICO-FINCH(,))
  5  FORMAT(//,10X,2PEBIDC SECCIND PARA A PROGRAMACAO-FINCH(,))
  6  FORMAT(//,10X,2PEBIDC SECCIND PARA A FURACAO-FINCH(,))
  0754  FORMAT(//,10X,2PEBIDC EXECIADO, TPC = ,F9.2,))
  735.  FORMAT(//,10X,2PEBIDC UN FELIC (A FINCH(,))
C*
  ENC

```

