

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E  
AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL  
DEZEMBRO 1988

*Este exemplar corresponde à  
redação final da tese  
defendida por José Roberto Favilla Jr  
e aprovada pela Comissão Julgadora  
em 21/11/88*

SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIAGNOSTICO  
DE UNIDADES DE DISCO

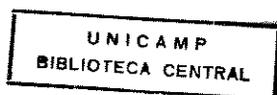
Por: José Roberto Favilla Júnior *JR*

Orientadores: Prof.Dr. Wagner C. Amaral

Prof.Dr. Fernando A.C.Gomide

Tese apresentada à Faculdade de  
Engenharia Elétrica FEE - UNICAMP  
como parte dos requisitos exigidos  
para a obtenção do título de MESTRE  
EM ENGENHARIA.

Campinas - 1988



## AGRADECIMENTOS

Aos professores Wagner Amaral e Fernando Gomide, pela valiosa orientação, dedicação, interesse e agradável convivência.

A Anita, minha esposa, pela compreensão e incentivo durante toda essa etapa.

A todos os amigos da UNICAMP, em especial aos pertencentes ao Departamento de Engenharia da Computação e Automação Industrial.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial, ao Ovídio Moura pelo incentivo e apoio para a realização desse trabalho.

A minha família, pelo apoio e segurança.

## RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema especialista para diagnóstico de unidades de disco que auxilia os usuários no diagnóstico de problemas detectados durante o processo de teste dessas unidades.

Inicialmente apresenta-se o princípio de funcionamento das unidades de disco e seu processo de teste e diagnóstico. Considerações são feitas em relação a utilização de sistemas especialistas em processos de teste e diagnóstico.

A seguir apresenta-se a modelagem formal do problema. Frames e regras de produção são utilizadas para a representação do conhecimento. A implementação da base de conhecimento é apresentada e discutida.

Por fim, o desempenho do sistema especialista desenvolvido nesse trabalho é avaliado. Os resultados e as conclusões obtidas com a utilização desse sistema são discutidos.

## INDICE

Introdução Geral.....1

### CAPITULO I: FORMULAÇÃO E DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

I.1 - Introdução.....	6
I.2 - Definições.....	6
I.3 - Unidades de disco IBM 3380 modelos J e K.....	9
I.3.1 - Introdução.....	9
I.3.2 - Descrição física.....	10
I.3.3 - O HDA.....	15
I.3.4 - Descrição funcional.....	18
I.3.5 - O formato COUNT KEY DATA - CKD.....	19
I.4 - Fabricação e teste.....	22
I.4.1 - Introdução.....	22
I.4.2 - Processo de teste.....	23
I.5 - Sistemas especialistas: definições e características.....	25
I.5.1 - Considerações sobre a utilização de sistema especialista.....	28
I.6 - Sistema especialista para diagnóstico das unidades de disco 3380-J/K.....	29
I.6.1 - Diagnóstico das unidades 3380-J/K.....	29
I.6.2 - Vantagens da utilização de um sistema especialista.....	30
I.7 - Conclusões.....	31

## CAPITULO II: MODELAGEM FORMAL DO PROBLEMA

II.1 - Introdução.....	33
II.2 - Representação do conhecimento.....	33
II.2.1 - Métodos baseados em regras de produção.....	35
II.2.2 - Métodos baseados em frames.....	36
II.3 - Sistemas de produção.....	37
II.3.1 - Máquina de inferência.....	38
II.3.1.1 - Sistemas de produção com encadeamento para frente.....	38
II.3.1.2 - Sistemas de produção com encadeamento para trás.....	39
II.4 - Teste e diagnóstico das unidades 3380-J/K.....	40
II.5 - Modelagem do problema.....	43
II.6 - Requisitos do ambiente de desenvolvimento.....	48
II.7 - Conclusões.....	49

## CAPITULO III: IMPLEMENTAÇÃO

III.1 - Introdução.....	51
III.2 - Escolha do ambiente de desenvolvimento.....	51
III.3 - O ambiente de desenvolvimento Personal Consultant Plus - PC PLUS.....	53
III.3.1 - Definições.....	55
III.3.2 - Características principais.....	56
III.3.3 - Recursos de teste oferecidos.....	62

III.4 - Desenvolvimento da base de conhecimento.....	62
III.4.1 - Características utilizadas na implmentação da base de conhecimento.....	64
III.4.2 - Exemplo de implementação de um frame.....	64
III.4.3 - Testes durante a fase de implementação.....	69
III.5 - O sistema especialista "DEUT".....	77
III.5.1 - Interface homem-máquina.....	78
III.6 - Conclusões.....	80

CAPITULO IV: RESULTADOS

IV.1 - Introdução.....	89
IV.2 - Preparação dos usuários.....	89
IV.3 - Fase de liberação para os usuários.....	90
IV.3.1 - Realimentação de informações pelos usuários.....	90
IV.4 - Influência de sistemas especialistas em processos produtivos.....	92
IV.5 - Avaliação do sistema especialista "DEUT".....	94
IV.6 - Resultados.....	96
IV.7 - Conclusões.....	98

CAPITULO V: CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

V.1 - Conclusões.....	100
V.2 - Perspectivas.....	101

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	102
---------------------------------	-----

## INTRODUÇÃO GERAL

A aplicação de computadores em sistemas de processamento de dados tem crescido rapidamente nos últimos vinte e cinco anos, tendo atualmente uma influência grande em nossa sociedade. Como exemplos podem ser citados: a consulta do saldo em terminais bancários, a reserva de passagens aéreas, os sistemas de desenvolvimento auxiliado por computador, automação por computador de processos de manufatura, base de conhecimento de sistemas especialistas, etc. Inicialmente esses sistemas de processamento de dados utilizavam fitas magnéticas como meio de armazenamento de grandes quantidades de informação, e o processamento era executado a nível de tarefa, sendo apenas uma tarefa executada de cada vez. Atualmente, os sistemas de processamento de dados são mais poderosos, permitindo que muitas tarefas diferentes sejam executadas concorrentemente. Eles ainda possuem uma grande capacidade de armazenamento de informação em meios magnéticos, acessíveis diretamente sem a intervenção humana (on-line) em contraste com o que ocorre com as fitas magnéticas.

A esses sistemas de armazenamento magnético de informações de acesso direto dá-se o nome de Dispositivos de Armazenamento de Acesso Direto - DASD (do inglês Direct Access Storage Devices).

Desde a década de 50 tem-se pesquisado, desenvolvido e aprimorado diferentes modelos de unidades de disco - DASD (01). Na tabela I apresentam-se os diferentes modelos desenvolvidos pela IBM bem como suas principais características.

O contínuo aperfeiçoamento sofrido pelas unidades de disco tem exigido um processo de fabricação e teste cada vez mais sofisticado. Especificações mais rigorosas são necessárias para se conseguir que cada módulo dessas unidades atendam às características funcionais necessárias. Paralelamente, o processo de teste foi se tornando cada vez mais complexo para atender aos requisitos funcionais exigidos. Nesse processo de teste é verificado não somente o aspecto funcional, isto é, se a máquina está realizando uma função determinada, mas também se essa função está sendo realizada dentro das especificações funcionais exigidas. Estes testes têm por objetivo assegurar o perfeito funcionamento da máquina, não só no instante do teste, mas também evitar que qualquer parâmetro que não satisfaça as especificações funcionais possa colocar em risco o desempenho da máquina ao longo do tempo.

Produto	Ano de Lançamento	Capacidade de Armazenamento (MB)	Tempo Médio de Acesso (ms)	Taxa de Transferência (kB/s)
350	1957	10	600	10
1405	1961	10	450	50
1301	1962	28	165	90
2314	1966	29.3	60	312
3330	1971	100	30	806
3340	1973	69.8	25	885
3350	1976	317.5	25	1198
3370	1979	571.3	20	1859
3375	1980	819.7	19	1859
3380 MOD.A	1981	2520	16	3000
3380 MOD.D	1985	2520	15	3000
3380 MOD.E	1985	5040	17	3000
3380 MOD.J	1987	2520	12	3000
3380 MOD.K	1987	7560	16	3000

TABELA I: Características principais dos modelos de DASD

Quando, durante o teste das unidades de disco 3380-J/K, detecta-se um problema funcional, uma análise detalhada do mesmo deve ser realizada visando identificar o componente que falhou e então substituí-lo. Na análise desse problema é fundamental a experiência do operador. Quanto maior sua experiência e conhecimento da máquina, maior será sua rapidez no diagnóstico do problema.

Uma das fases mais complexas do teste é o diagnóstico dos discos magnéticos HDA (do inglês: Head Disk Assembly). Através de uma análise detalhada do problema pode-se, em diversos casos, recuperar o disco, isto é, corrigir o defeito apresentado pelo mesmo. Entretanto, devido à complexidade da operação esta análise é realizada somente por um especialista.

Esse trabalho tem por objetivo a implementação de um sistema especialista para auxiliar no diagnóstico das unidades de disco 3380-J/K.

A implementação desse sistema especialista, visa tornar disponível aos operadores responsáveis pelo teste da máquina um "especialista" que possa ser consultado sempre que necessário e que auxilie no diagnóstico das unidades de disco, otimizando assim o processo de teste/diagnóstico.

O capítulo I apresenta a formulação e descrição do problema de teste e diagnóstico das unidades de disco. Definições de termos técnicos referentes às unidades de disco e seu princípio de funcionamento são apresentados com a finalidade de proporcionar um melhor entendimento desse trabalho. A definição de sistema especialista é apresentada e considerações são feitas em relação à utilização de sistemas especialistas em uma aplicação. Os objetivos do sistema especialista para diagnósticos das unidades de disco são expostos e suas vantagens são discutidas.

O capítulo II apresenta a modelagem formal do problema visando a implementação do sistema especialista proposto. Como um dos aspectos fundamentais no desenvolvimento de sistemas especialistas é a representação do conhecimento, os métodos de representação do conhecimento são discutidos, dando-se ênfase aos métodos utilizados nesse trabalho. Em seguida, são apresentados os sistemas de produção e os métodos de encadeamento utilizados pela máquina de inferência. A estrutura do processo de teste e diagnóstico é apresentada e uma modelagem para a estruturação da base de conhecimento é proposta. Por último, estabelece-se, baseado na modelagem proposta, os requisitos do ambiente de desenvolvimento.

A implementação do sistema especialista é apresentada no capítulo III. Inicialmente, compara-se os ambientes de desenvolvimento disponíveis e escolhe-se aquele mais adequado. Em seguida, as principais características do ambiente de desenvolvimento escolhido são apresentadas. O desenvolvimento da base de conhecimento é discutido e um exemplo de um dos frames é apresentado. O ambiente de consulta do sistema especialista é apresentado, discutindo-se sua interface homem-máquina.

O capítulo IV apresenta os resultados obtidos com a implementação do sistema especialista - "Diagnostic Expert for Unit Testing" - "DEUT". Inicialmente, alguns aspectos práticos em relação a preparação e liberação do "DEUT" para os usuários são discutidos. Em seguida, considerações são feitas em relação à influência de sistemas especialistas em processos produtivos, mostrando que quanto maior o grau de conhecimento intelectual exigido pelo processo, maior o resultado obtido pelos sistemas especialistas. A influência do "DEUT" no processo de teste das unidades de disco é avaliada. Os resultados obtidos com a implementação do "DEUT" são apresentados.

As conclusões em relação à utilização de sistemas especialistas para auxílio em processos de teste e diagnóstico são apresentadas no capítulo V.

Neste trabalho os termos técnicos, relativos às unidades de discos, não serão traduzidos para o português, sempre que for considerado que possa haver perda de significado e ou precisão do termo original. Na implementação do sistema especialista "DEUT" utiliza-se inglês com a finalidade de utilizá-lo em outros países que fabricam o mesmo tipo de unidade de disco.

CAPÍTULO I

FORMULAÇÃO E DESCRIÇÃO

DO PROBLEMA

## I.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo a formulação e a descrição do problema de diagnóstico das unidades de disco durante o processo de teste e quais são as vantagens da utilização de um sistema especialista para auxílio neste diagnóstico.

Apresentamos inicialmente algumas definições de termos técnicos relacionados às unidades de disco e em seguida, as unidades de disco utilizadas para o desenvolvimento desse trabalho. Com a finalidade de permitir um melhor entendimento do sistema especialista, a descrição funcional das unidades é apresentada ressaltando-se a complexidade da análise dos discos magnéticos (HDA), que normalmente exige um grau de conhecimento adicional. Descreve-se também o formato "Count Key Data" da trilha de dados do HDA.

É então apresentado o processo de teste das unidades de disco, fornecendo subsídios a modelagem do problema a ser discutida no capítulo II.

A definição de um sistema especialista é apresentada. Então, considerações são feitas quanto à utilização de sistemas especialistas em uma aplicação.

Por fim, discute-se o sistema especialista proposto para o diagnóstico das unidades de disco, apresentando as vantagens de sua utilização.

## I.2 - DEFINIÇÕES

Com o objetivo de facilitar a compreensão desse trabalho por pessoas não familiares com unidades de disco, as definições dos principais termos técnicos utilizados no texto são apresentados.

Definição I.1: UNIDADE 3380 J/K

Unidade de discos magnéticos IBM da família 3380, são compostas por dois modelos: J com capacidade de armazenamento de 2,52 Gbytes e modelo K com capacidade de armazenamento de 7,56 Gbytes.

Definição I.2: HDA

Sigla do nome "Head Disk Assembly", é constituído pelo conjunto de discos magnéticos, das cabeças de

escrita/leitura, dos mecanismos de acesso e do envoltório mecânico.

Definição I.3: CONTROLLER

Circuitos eletrônicos cuja função é permitir a comunicação entre a unidade controladora de armazenamento e os "devices".

Definição I.4: DEVICE

Constituído por: um mecanismo de acesso (discos e cabeças associadas a eles), os circuitos eletrônicos necessários para acessar, escrever e ler os dados.

Definição I.5: UNIDADE CONTROLADORA DE ARMAZENAMENTO

Unidade que controla o armazenamento das informações nos discos magnéticos. Ela se localiza entre a Unidade Central de Processamento (CPU) e as unidades de discos magnéticos.

Definição I.6: UNIDADE A

Unidade 3380-J/K composta por 4 devices e por 2 controllers. Permite a comunicação com a unidade controladora de armazenamento.

Definição I.7: UNIDADE B

Unidade 3380-J/K composta por 4 devices. Ela se comunica com a unidade controladora de armazenamento através da unidade A.

Definição I.8: STRING

Conjunto de unidades de disco conectadas, utilizando a unidade A como meio de comunicação com a unidade controladora de armazenamento.

Definição I.9: STRING "2-PATH"

String formado por uma unidade A e até 3 unidades B, tanto do modelo J quanto do modelo K. Como cada unidade A contém dois controllers, um string "2-path" dispõe de 2 caminhos de interligação entre a unidade controladora de armazenamento e os devices.

Definição I.10: STRING "4-PATH"

String formado por duas unidades A e até 6 unidades B, tanto do modelo J quanto do modelo K. Como cada unidade A contém 2 controllers, um string "4-path" dispõe de 4

caminhos de interligação entre a unidade controladora de armazenamento e os devices.

**Definição I.11: CILINDRO**

Conjunto de 15 trilhas que são acessadas ao mesmo tempo por um mecanismo de acesso.

**Definição I.12: TRILHA**

Faixa circular bastante estreita do disco magnético na qual os dados são escritos.

**Definição I.13: SISTEMA DE ESCRITA/LEITURA**

Conjunto constituído pelos circuitos eletrônicos, cabos e cabeças de escrita/leitura responsáveis pelo processo de escrever ou ler informações nos discos magnéticos.

**Definição I.14: CÓDIGO DE CORREÇÃO DE ERRO (ECC)**

Do inglês, Error Correction Code, permite a identificação e correção dos erros durante o processo de leitura.

**Definição I.15: CABEÇA DE ESCRITA/LEITURA**

Cabeça que permite a escrita e a leitura de informações sobre uma trilha do disco magnético.

**Definição I.16: SISTEMA SERVOMECANISMO**

Ou simplesmente sistema servo, controla a movimentação das cabeças de escrita/leitura sobre a superfície dos discos magnéticos permitindo o acesso à informação desejada.

**Definição I.17: CABEÇA SERVO**

Cabeça apenas de leitura cuja função é ler os padrões especiais gravados na superfície de um dos discos, gerando assim informação de posicionamento para o sistema servo.

**Definição I.18: SUPERFÍCIE DE SERVO**

Superfície de um dos discos que constituem o HDA onde são escritos padrões especiais que permite ao sistema servo posicionar o mecanismo de acesso sobre as trilhas.

**Definição I.19: ACTUADOR**

Conjunto mecânico constituído por 4 braços rigidamente conectados, 15 cabeças de escrita/leitura, 1 cabeça servo, um sistema de rodízios que permite seu movimento em apenas

uma direção e por uma bobina que permite controlar seu movimento.

Definição I.20: VOICE COIL MOTOR (VCM)

Motor linear constituído por uma bobina (que faz parte do atuador) e por um ímã permanente. Da interação de campos magnéticos do ímã permanente e o da bobina (quando se aplica corrente elétrica na mesma) consegue-se força para movimentar o atuador. Controlando a corrente da bobina, consegue-se controlar o posicionamento do atuador.

Definição I.21: SISTEMA DE AR

Conjunto de filtros de ar, cuja função é filtrar o ar que circula pelo HDA. O grau de impureza do ar deve ser bastante elevado para impedir que partículas de impurezas danifiquem os discos magnéticos ou as cabeças.

I.3 - UNIDADES DE DISCO IBM 3380 MODELOS J E K

I.3.1 - INTRODUÇÃO

Os modelos J e K da família 3380 são os modelos mais recentes e representam o estado da arte em termos de DASD. Esses novos modelos apresentam as seguintes características:

- Maior capacidade de armazenamento de dados: o modelo K possibilita o armazenamento de 7,56 Gb por unidade, capacidade essa de armazenamento nunca antes alcançado em uma única unidade.

- Maior disponibilidade dos dados: apresentam 4 diferentes caminhos (four data transfer paths) para a transferência de dados. Os modelos anteriores só apresentavam 2 caminhos para a transferência de dados.

- Menor tempo de acesso aos dados: eles dispõem de um sistema servomecanismo digital para controlar o acesso aos dados, o que permite obter características importantes, como: melhor desempenho, maior confiabilidade, auto-reconhecimento do tipo de disco utilizado (J ou K), maior facilidade de se implementar modificações (através da mudança de software), etc.

- Maior capacidade de correção de erro: o código de correção de erro (ECC - Error Correction Code) dos modelos anteriores foi modificado, conseguindo-se aumentar a capacidade de correção de erro da máquina.

- Tecnologia mais avançada: utilização de um menor número de componentes (maior grau de integração) e utilização de tecnologia CMOS, diminuindo o consumo de energia da máquina.

A tabela II apresenta algumas das características das unidades 3380 modelos J e K.

### I.3.2 - DESCRIÇÃO FÍSICA DA MÁQUINA

Cada unidade 3380 J/K contém dois conjuntos de discos magnéticos e 4 conjuntos de mecanismos de acesso que posicionam as cabeças de escrita/leitura sobre as superfícies dos discos. A tecnologia de filme-fino empregada na construção dessas cabeças permite ler e escrever dados em densidades bem maiores do que nas unidades de disco antecessoras.

Em cada conjunto de discos magnéticos seus dois conjuntos de mecanismos de acesso, juntamente com as cabeças estão contidas num envoltório denominado HDA (Head-Disk-Assembly), cuja finalidade é proteger as superfícies dos discos contra impurezas e manter o conjunto disco-mecanismo de acesso-cabeça perfeitamente alinhados.

Cada conjunto de mecanismo de acesso associado com as superfícies dos discos e os circuitos eletrônicos correspondentes constitui um sistema de armazenamento (storage device). Assim tem-se dois devices em um HDA e quatro devices em uma unidade de disco. Cada device tem um único endereço e opera independentemente dos outros devices da unidade.

Existem dois tipos de unidade de disco: unidade A e unidade B. A unidade A além dos quatro devices contém ainda dois controllers. A unidade B contém somente 4 devices.

A figura I.1 ilustra a composição das unidades de disco 3380 J/K, mostrando a unidade-A e a unidade-B.

A figura I.2 apresenta um diagrama esquemático da constituição física de uma unidade-A. As fontes de alimentação fornecem as tensões para os circuitos eletrônicos, o sistema de filtragem de ar fornece ar livre de impurezas para os HDAs, os motores lineares permitem o posicionamento dos mecanismos de acesso e dois motores de indução farão girar os discos magnéticos.

Características	3380-J	3380-K
Capacidade de Armazenamento de Dados por Unidade (M Bytes)	2520	7560
Capacidade de Armazenamento de Dados por String 2-Path (M Bytes)	10080	30240
Capacidade de Armazenamento de Dados por String 4-Path (M Bytes)	20160	60480
HDAS por Unidade	2	2
Devices por Unidade	4	4
Cilindros de Dados por Device	885	2655
Bytes por Cilindro	712140	712140
Bytes por Trilha	47476	47476
Tempo Médio de Acesso (ms)	12	16
Velocidade Rotacional dos Discos (RPM)	3623	3623
Taxa de Transferência (M Bytes/s)	3.0	3.0

TABELA II: Características principais das unidades de disco 3380 modelos J e K

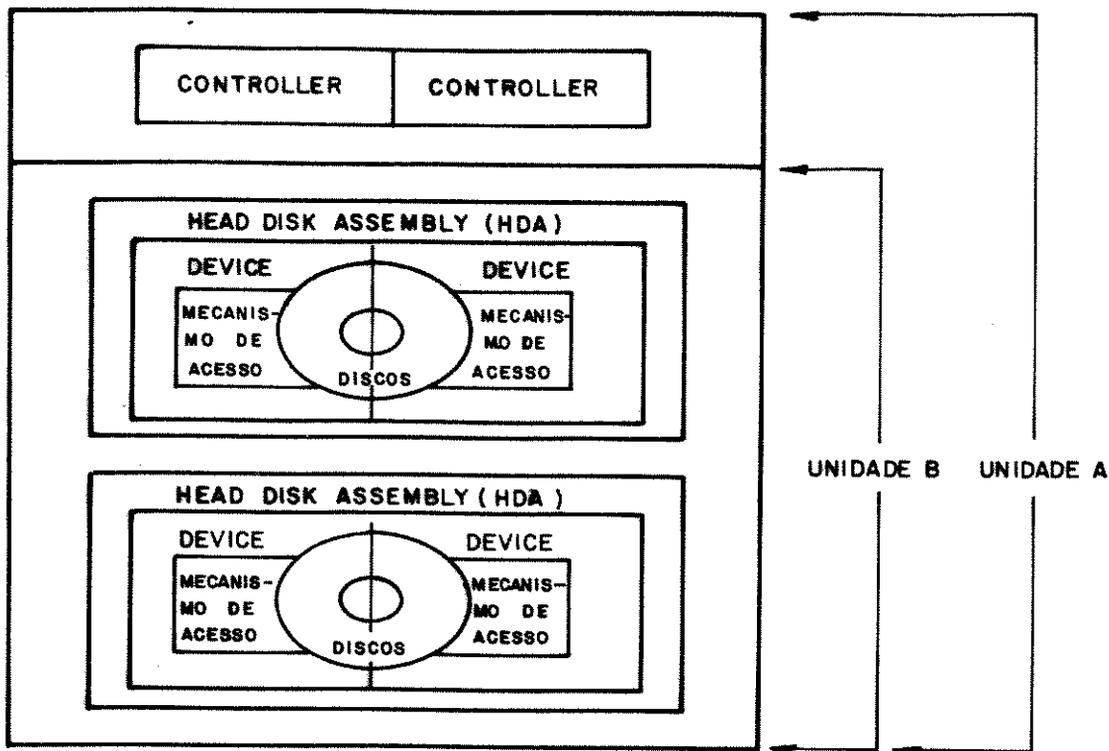


FIG. I.1 : Composição das unidades de disco 3380 - J/K

As unidades A e B podem ser interconectadas para constituir o que se denomina de string. Até 3 unidades B podem ser interconectadas a uma unidade A. A unidade A que é denominada de cabeça do string, contém os controllers que são os elementos de interligação entre os devices e a unidade controladora de armazenamento. Para possibilitar 4 caminhos de transferência de dados pode-se interligar num mesmo string até 2 unidades A e até 6 unidades B.

A figura I.3A mostra um string "2-path" e a figura I.3B um string "4-path".

CONEXÕES COM UNIDADE CONTROLADORA DE ARMAZENAMENTO

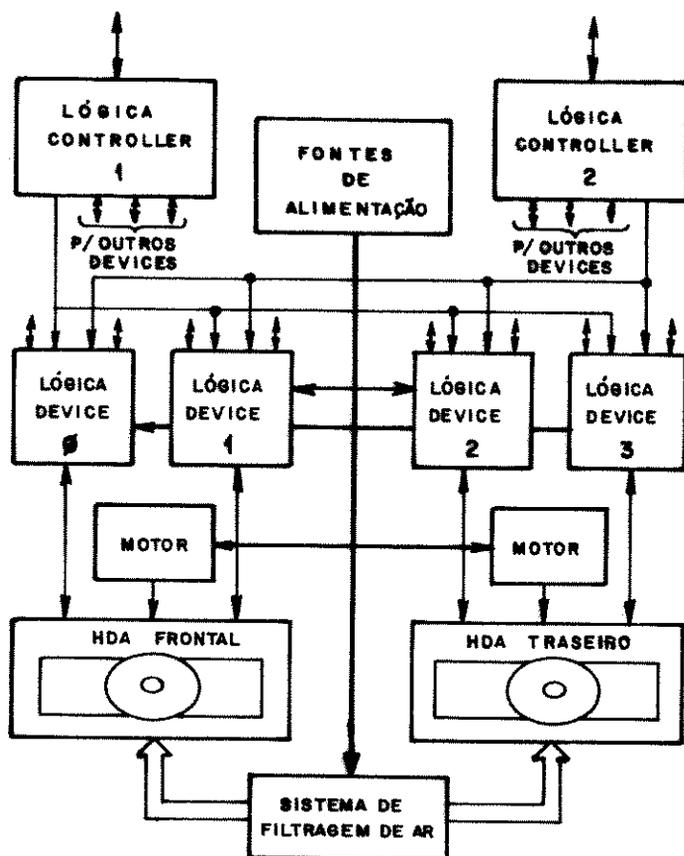


FIG.I. 2 : Unidade de disco 3380 - Diagrama esquemático.

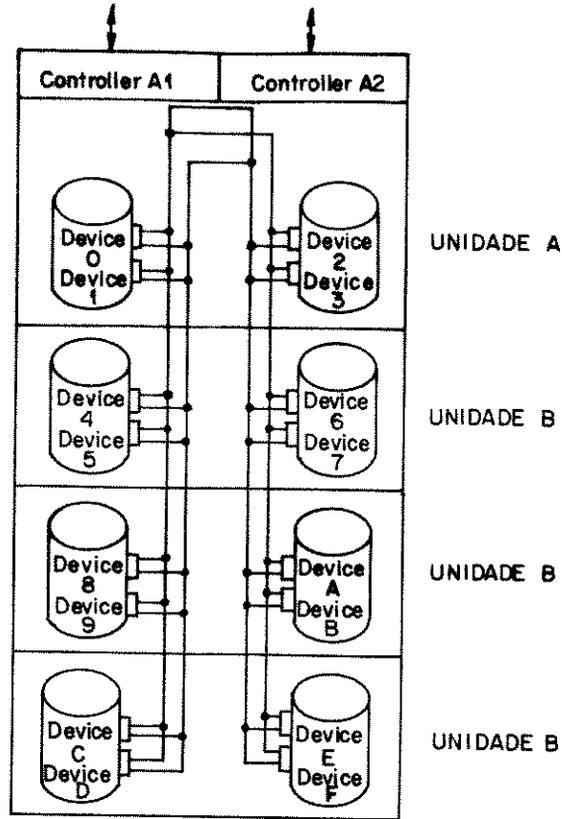


FIG. I. 3A : Configuração de um "STRING 2-PATH"

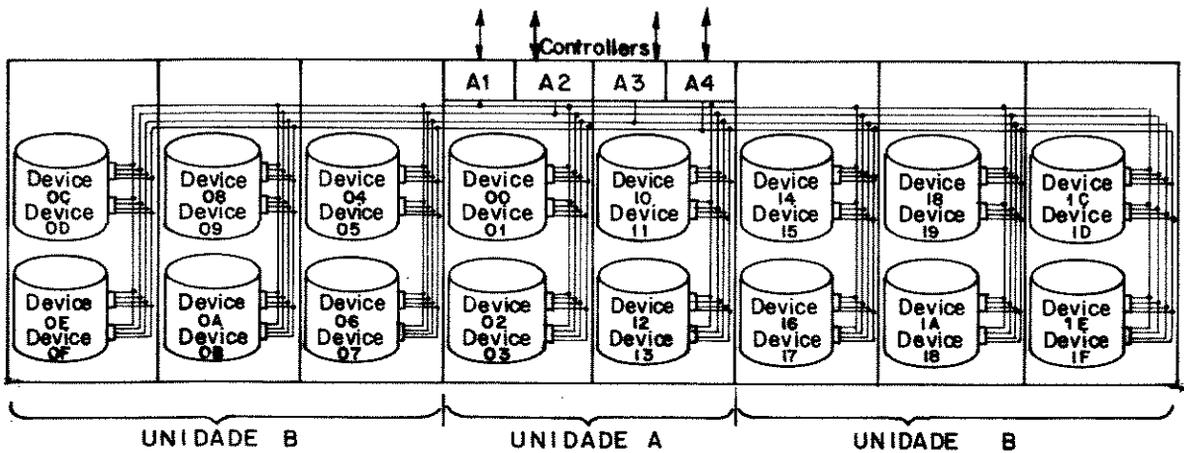


FIG. I. 3B : Configuração de um "STRING 4\_PATH"

### 1.3.3 - O HDA

O HDA é o principal componente das unidades de disco. Cada unidade de disco contém 2 HDAs. Como neste trabalho estuda-se os dois novos integrantes da família 3380, os modelos J e K, tem-se dois tipos de HDAs a considerar: o HDA modelo J e o HDA modelo K. Basicamente a única diferença entre esses HDAs é a capacidade de armazenamento. Cada HDA modelo J pode armazenar 1,26 GBytes enquanto cada HDA modelo K pode armazenar 3,78 GBytes de informação.

O aspecto físico do HDA é apresentado na figura I.4A e um desenho esquemático na figura I.4B.

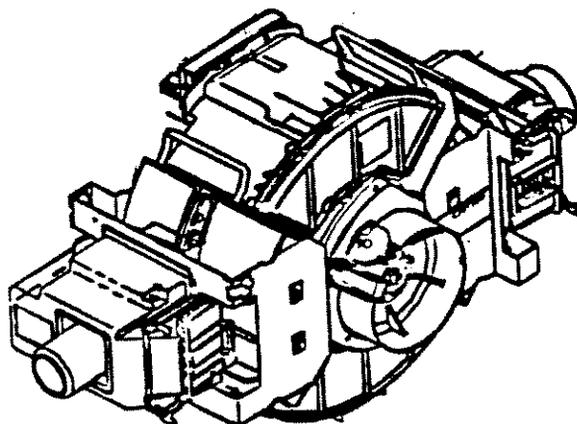


FIG.I. 4A : HDA - Aspecto físico

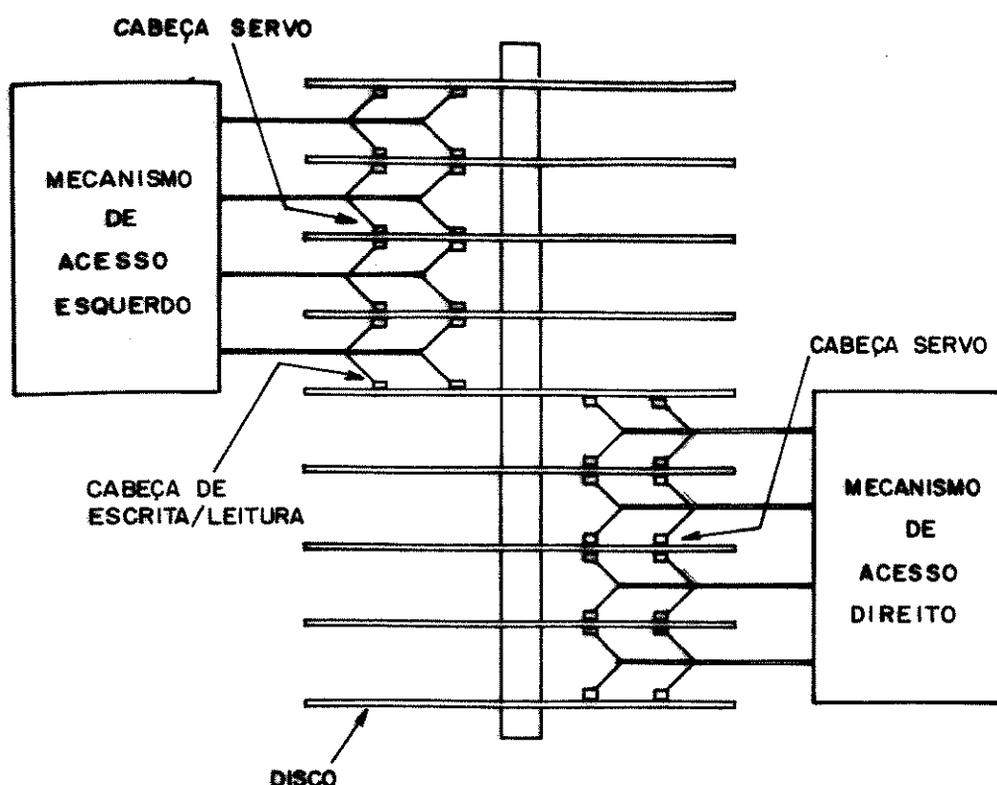


FIG. I.4B : HDA - Desenho esquemático.

Como pode ser observado na figura I.4B um HDA é constituído de um empilhamento de 9 discos magnéticos, montados sobre um mesmo eixo, por dois mecanismos de acesso e pelo envoltório físico que permite aos discos e aos mecanismos de acesso um perfeito alinhamento, além da proteção das cabeças e dos discos magnéticos contra impurezas externas.

Cada mecanismo de acesso por sua vez é constituído por: 4 braços, cada qual com 4 cabeças, um motor linear chamado de VCM (Voice Coil Motor) que permite o posicionamento do mecanismo de acesso sobre as trilhas de dados. Cada mecanismo de acesso contém 15 cabeças de escrita/leitura e somente uma cabeça de leitura, denominada cabeça servo. A cabeça servo lê padrões especiais escritos na superfície de servo que são utilizados pelo sistema servomecanismo para o posicionamento do mecanismo de acesso.

A figura 1.5 ilustra a divisão da superfície de um dos discos magnéticos em diversas áreas.

Pode-se notar que cada disco contém duas bandas de dados, cada qual acessada por uma cabeça específica. Circundando ambos os lados de cada banda de dados existem duas bandas de segurança, chamadas de "Guard bands", "outer" e "inner" conforme o lado da banda de dados em que estão localizados.

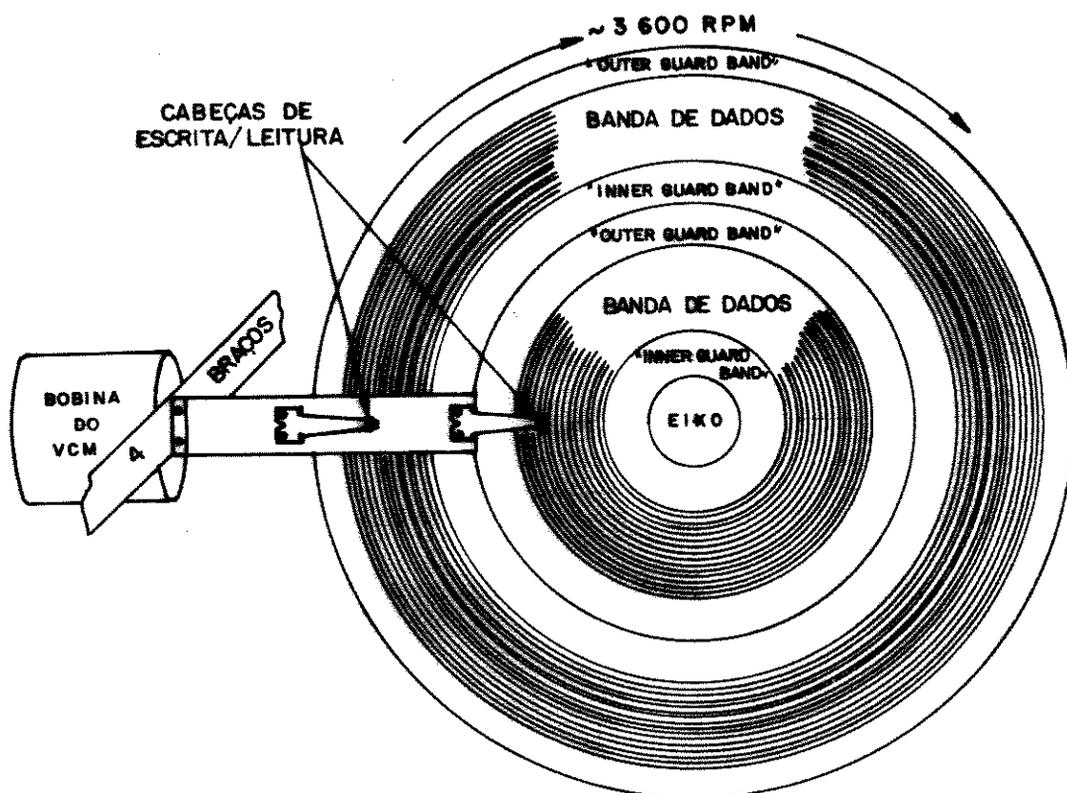


FIG. I.5 : Divisão da superfície de um disco magnético.

Os discos que compõe o HDA são colocados em rotação por meio de um motor de indução. Giram a uma velocidade de 3623 RPM. No instante de partida, as cabeças de escrita/leitura assim como a cabeça servo estão posicionados nos "outer guard bands". A medida que os discos ganham velocidade as cabeças começam a voar sobre os discos. A altura de vôo das cabeças é bastante pequena (da ordem de 300 nanômetros) conseguindo assim ler e escrever em densidades bastante grandes. Devido à altura de vôo das cabeças ser bastante reduzida, partículas interna ao HDA podem ser fatais para a cabeça, ou provocar a destruição da superfície do disco, e conseqüentemente a perda da informação armazenada. Por esta razão é necessário um sistema sofisticado para filtragem de ar.

O mecanismo de acesso controlado pelo sistema servomecanismo é o responsável pelo posicionamento das cabeças de escrita/leitura sobre as trilhas. Como todas as cabeças que compõem um mecanismo de acesso estão ligadas a ele, todas se movimentam em conjunto. Como cada cabeça acessará uma trilha, um total de 15 trilhas, que contém dados, é acessado num dado instante (a cabeça servo acessa a trilha da superfície de servo que contém informação somente para o sistema servo). A esse conjunto de 15 trilhas acessado num dado instante denomina-se cilindro, por descrever geometricamente no espaço um cilindro. Assim, quando se deseja acessar uma dada informação tem-se que especificar: qual o número do cilindro e qual o número da cabeça de escrita/leitura.

Como é mostrado na tabela II, o HDA modelo J contém 885 cilindros e o HDA modelo K contém 2655 cilindros.

#### I.3.4 - DESCRIÇÃO FUNCIONAL

Para que uma unidade de disco possa ser interligada a um sistema de processamento de dados necessita-se da Unidade Controladora de Armazenamento. Os sistemas IBM, em estudo, utilizam as Unidades Controladoras de Armazenagem modelo 3880 ou modelo 3990.

Essas unidades se ligam de um lado ao canal de uma CPU, e do outro lado aos controllers das unidades 3380. Ao conjunto 3880-3380 denomina-se "Storage Facility".

Uma vez recebido um comando da CPU pela unidade 3880, a mesma traduz esse comando para uma série de outros comandos que são, então, enviados a unidade 3380. Na unidade 3380 cada comando é decodificado e dependendo do seu tipo é executado pelo próprio controller, ou transferido aos devices para a sua execução. Daí, a classificação dos comandos em: comandos de controller e comandos de device.

Para que um device execute comandos provenientes do controller, é necessário que inicialmente o device receba um comando de seleção do controller. Quando um device recebe um comando de seleção do controller ou, em outras palavras, o controller seleciona um device, uma ligação lógica é estabelecida entre o controller e o device selecionado.

Em sequência, a unidade 3880 envia um comando de acesso ao cilindro desejado (onde está armazenada ou será escrita a informação). O processo de mover o mecanismo de acesso de um cilindro para outro denomina-se "seek".

Uma vez acessado o cilindro desejado, deve-se selecionar a cabeça com a qual será realizada a operação de escrita ou leitura. Depois de selecionada a cabeça desejada inicia-se o processamento da trilha com uma série de comandos de escrita/leitura específicos para cada campo da trilha, realizando-se assim a operação de escrita ou leitura desejada.

### 1.3.5 - O FORMATO COUNT KEY DATA - CKD

Fisicamente pode-se imaginar uma trilha como sendo uma circunferência. Para se indicar o início e o final da trilha utiliza-se uma marcação especial chamada INDEX.

Cada trilha é dividida em 1554 partes. Cada uma dessas partes é chamada de célula. Portanto, uma trilha possui 1554 células numeradas de 0 a 1553. Cada célula tem uma capacidade de armazenamento de 34 bytes de informação.

Essas 1554 células são agrupadas em grupos de 7. Cada um desses grupos denomina-se setor. Logo, uma trilha possui 222 setores, numerados de 0 a 221.

Para identificar a trilha e indicar onde estão os possíveis defeitos da mesma, existe no começo de cada trilha uma área chamada "HOME ADDRESS". O HOME ADDRESS contém as seguintes informações: número do cilindro, número da cabeça, localização dos defeitos da trilha e o estado da trilha: trilha normal, trilha defeituosa ou trilha alternativa.

A informação é escrita na trilha em elementos chamados de RECORDS. A formatação da trilha define o número e o tamanho dos records. Quanto maior o número de records menor o tamanho de cada um deles e menor a capacidade de armazenamento da trilha.

Assim, toda trilha tem o mesmo formato básico: INDEX, HOME ADDRESS, RECORD 0 e demais records de dados (numerados de R1 a Rn).

Por sua vez, cada RECORD é composto por 3 campos: COUNT, KEY e DATA. O campo COUNT contém as mesmas informações encontradas no HOME ADDRESS e a informação do número do RECORD ao qual ele pertence. O campo KEY contém informações que visam auxiliar o método de busca de informação. É um campo opcional. Depende do método de acesso a informação adotado. O campo DATA contém os dados.

No final de cada um destes campos, sejam eles, HOME ADDRESS, COUNT, KEY ou DATA, são escritos 12 bytes que formam o código de correção de erro (Error Correction Code - ECC), cuja finalidade é permitir a detecção e a correção de erros durante o processo de leitura.

Separando cada um dos diversos campos da trilha que contém informação existem espaços chamados GAP.

No início das áreas da trilha que contém informação são escritos alguns bytes com a função de sincronizar a operação de escrita ou de leitura. Esses bytes são chamados de SYNC BYTES.

Com a finalidade de indicar o início de um RECORD, uma marcação especial, chamada ADDRESS MARK, é escrita no GAP que precede o início do RECORD (antes do campo de COUNT do record).

Existe, no HOME ADDRESS, indicadores de localização de defeitos visando permitir que partes defeituosas da trilha sejam utilizadas. Para evitar a escrita da informação numa área defeituosa da trilha, esses indicadores de localização dos defeitos são utilizados pela máquina durante o processamento da trilha. Uma trilha pode conter no máximo sete defeitos. Para se pular uma área defeituosa, um conjunto de tres células é utilizado. Quando uma trilha não apresentar nenhuma área defeituosa, os indicadores do posicionamento dos defeitos estarão indicando as últimas vinte e uma células que compõem a trilha (sete grupos de tres células cada). Esses indicadores de localização dos defeitos são chamados de SKIP CONTROL INFORMATION.

A figura I.6 ilustra o formato de uma trilha.

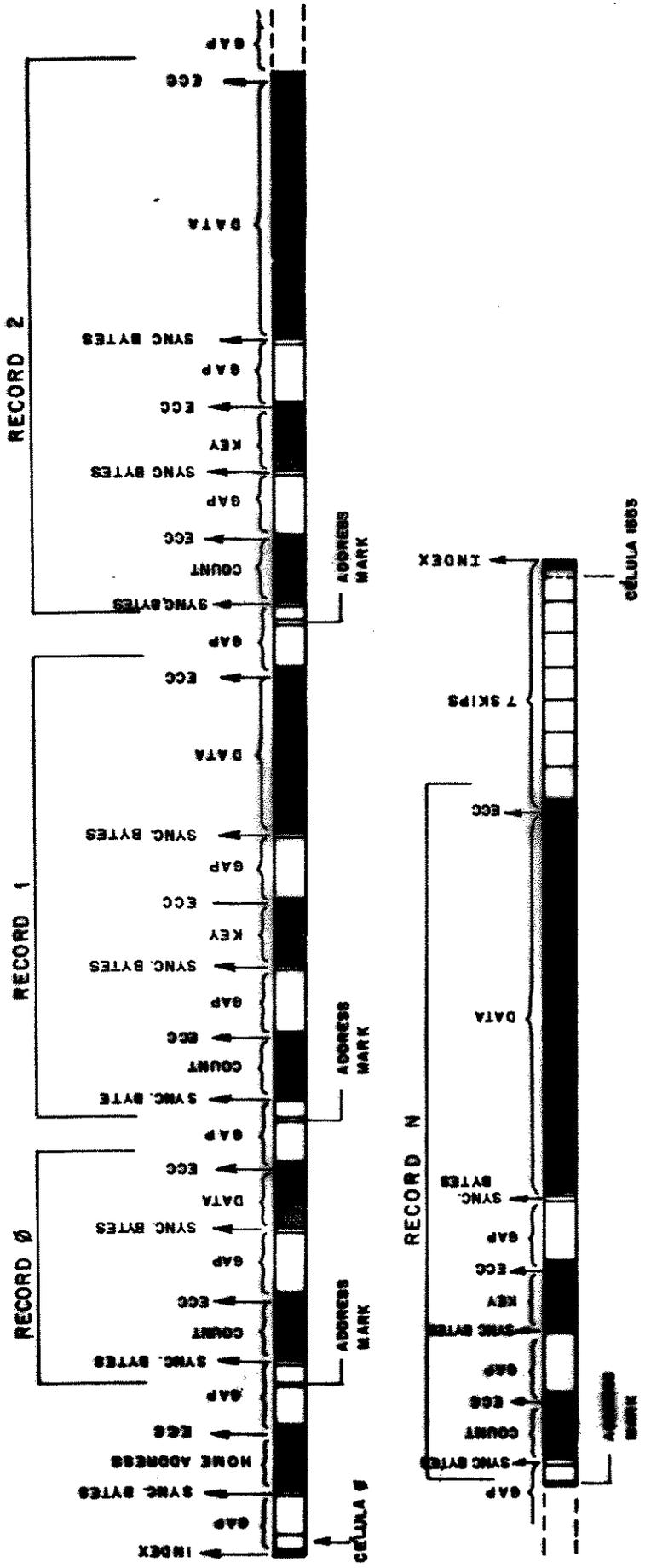


FIG. I.6 : Formato de uma trilha "COUNT-KEY-DATA-CKD"

## I.4 - FABRICAÇÃO E TESTE

### I.4.1 - INTRODUÇÃO

Diferentes localidades da IBM distribuídas ao redor do mundo são responsáveis pela produção das unidades 3380 J/ K. Dentre as principais localidades podemos destacar : Estados Unidos, Alemanha, Japão e Brasil.

As unidades fabricadas no Brasil visam a atender o mercado do Brasil, América Latina e Canadá.

Visando obter uma mesma qualidade para essas unidades de disco em todas as partes de mundo, procura-se adotar o mesmo processo produtivo em todas as fábricas. Sempre que uma localidade propõe uma mudança no processo produtivo visando melhorá-lo, essa mudança é analisada e se aprovada é adotada nas outras localidades. Com isso, a IBM, além de conseguir uma padronização no processo produtivo consegue que todas localidades incorporem as melhorias sugeridas por algumas delas.

A seguir descreve-se esse processo produtivo. A figura I.7 apresenta um fluxograma que ilustra o processo de fabricação e teste das unidades 3380 J/K.

As unidades de disco 3380-J/K são montadas em duas fases. A primeira fase compreende a montagem de toda a máquina, exceto os HDAs e os circuitos eletrônicos. Nesta etapa, o teste das fontes de alimentação e a distribuição de tensões para as diversas partes da máquina é realizado.

Na segunda fase, são montados os HDAs e os circuitos eletrônicos. Inicia-se então os preparativos para o teste da unidade. A máquina é conectada ao testador, onde são executados os testes funcionais e paramétricos.

Uma vez terminado o teste da unidade, iniciam-se os preparativos para o teste final. A finalidade desse teste é simular as condições de operação da máquina.

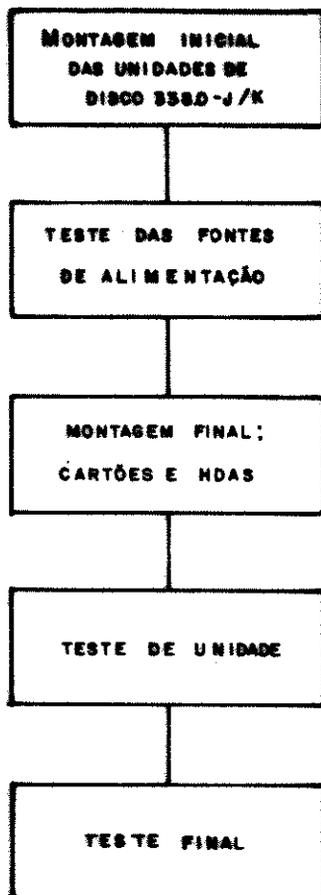


FIG. I.7 - Processo de fabricação e teste das unidades de disco 3380-J/K

#### 1.4.2 - PROCESSO DE TESTE

Conforme mencionado, o processo de teste das unidades 3380 J/K é dividido em duas fases:

##### A - FASE 1: TESTE DA UNIDADE

O objetivo desse teste é verificar o aspecto funcional da máquina. Esse teste verifica se a máquina está satisfazendo todas as especificações funcionais. Por exemplo, um teste inicial é verificar se o sistema de acesso (SISTEMA SERVO) consegue acessar corretamente um dado cilindro. Outro teste é verificar se o tempo de acesso satisfaz as especificações exigidas.

Esse teste é realizado por um testador especialmente projetado para essa finalidade denominado Sistema de Teste OLYMPUS.

O Teste da Unidade é dividido em 10 etapas, cada uma com uma finalidade específica:

- PREPARATIVOS INICIAIS: conexão da máquina ao sistema de teste, conexão entre máquina modelo A e máquina modelo B, partida dos discos (processo de POWER ON) e medição da pressão do sistema de ar para assegurar que não existe vazamentos.

- OPERAÇÃO 1: Teste de comunicação: testa a comunicação entre os controllers e o testador, entre os controllers e os devices. Testa ainda os circuitos de DPS (Dynamic Path Selection).

- OPERAÇÃO 2: Testa o sistema de acesso (sistema servo), sistema de posicionamento rotacional e verifica se todas as voltagens estão dentro da faixa de valores especificados, assim como seus respectivos "ripples".

- OPERAÇÃO 3: Testa os circuitos que compõem o sistema de escrita/leitura.

- OPERAÇÃO 4: Testa os circuitos que são responsáveis para gerar os códigos de correção de erro (ECC).

- OPERAÇÃO 5: Testa todos os circuitos e os comandos de autodiagnóstico da máquina.

- OPERAÇÃO 6: Teste de escrita/leitura visando analisar o desempenho do HDA.

- OPERAÇÃO 7: Testa o desempenho da máquina em escrita/leitura, acessando cada cilindro sequencialmente.

- OPERAÇÃO 8: Testa o desempenho da máquina em escrita/leitura aleatoriamente, visando simular uma condição de operação real.

- OPERAÇÃO 9: Testa a superfície de servo e verifica a integridade dos cilindros que compõem o "HOME ADDRESS MAP". Instrui o operador na finalização do teste.

Cada uma dessas operações é composta por uma série de programas de teste, cada um com uma finalidade específica.

O tempo de execução do teste da unidade varia de acordo com o grau de conhecimento, assistência e treinamento dos operadores, variando de 12,2 a 23,9 horas para o modelo J e de 18,2 a 35,8 horas para o modelo K.

## B - FASE 2: TESTE FINAL

Este teste tem como objetivo de verificar o desempenho da máquina nas condições reais de operação, isto é, conectada a um sistema de processamento de dados, simulando uma operação real, de tal modo que possíveis falhas que ocorreriam nas primeiras horas de funcionamento da máquina, apareçam enquanto a máquina ainda estiver na fábrica.

Este teste é realizado por um sistema de processamento de dados convencional, porém com um conjunto de programas especialmente desenvolvidos para essa finalidade.

Este teste tem a duração de 75 horas.

Após o término do processo de teste a unidade de disco 3380 J/K está pronta para ser operada.

## I.5 - SISTEMAS ESPECIALISTAS: DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

Sistemas especialistas são programas que usam conhecimentos e procedimentos de inferência na solução de problemas que normalmente só podem ser resolvidos por especialistas humanos (OB).

Nos programas convencionais, baseados em algoritmos, o conhecimento é inserido dentro do programa código, como uma sequência de operações determinadas sobre os dados. Nos sistemas especialistas, existe uma separação entre o conhecimento utilizado para resolver o problema e o programa código que o manipula para a obtenção da solução desejada. Esta separação facilita a modificação do conhecimento, por exemplo, adição de novos fatos, sem interferir com o programa utilizado para manipulá-lo (OS).

A arquitetura básica de um sistema especialista pode ser vista na figura I.8.

Vemos aí, que um sistema especialista é composto pelos seguintes módulos:

- i) uma base de dados que contém a representação simbólica dos fatos característicos da área de aplicação e a informação do estado atual do problema, estado esse que varia à medida que o módulo de inferência atua sobre os dados;

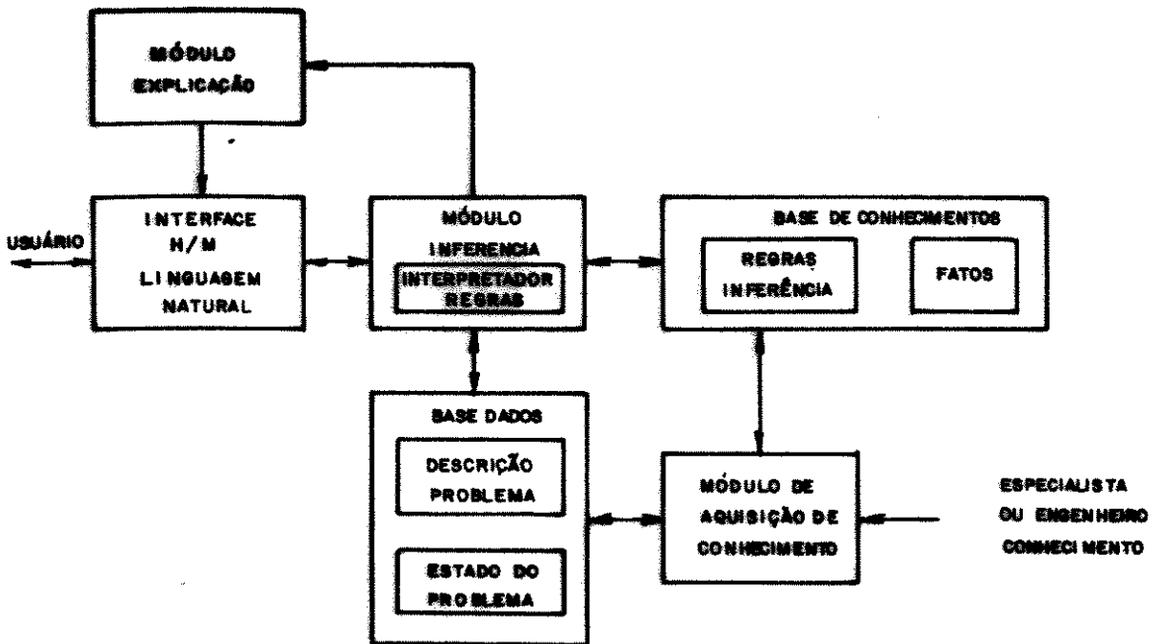


FIG. 1.8 : Arquitetura básica de um sistema especialista.

ii) uma base de conhecimentos que contém a representação do conhecimento (regras, frames) que usam as informações da base de dados para tomar uma decisão;

iii) um módulo ou máquina de inferência, que controla o fluxo de informação no sistema e aplica a base de conhecimentos à base de dados, para obter novos dados e conhecimentos;

iv) um módulo de explicação que permite ao sistema explicar como uma conclusão é obtida;

v) um módulo de aquisição de conhecimento que é utilizado pelo especialista ou engenheiro do conhecimento para o desenvolvimento do sistema;

vi) uma interface homem-máquina que permite a comunicação entre o sistema e o usuário.

As mais importantes características de um sistema especialista são a quantidade de conhecimento que constitui a base de conhecimento e a maneira pela qual o conhecimento é manipulado através de um raciocínio simbólico, para se atingir a solução de um problema específico. Como consequência a escolha, a forma e a interpretação dos símbolos utilizados na representação do conhecimento são pontos críticos na elaboração de um sistema especialista. Um sistema especialista deve possuir uma base de conhecimento transparente e flexível (05).

Como flexibilidade entende-se a capacidade de adquirir novo conhecimento e modificar o conhecimento anterior (05).

Transparência é a capacidade de um sistema especialista explicar seu raciocínio (04, 05). Os usuários de um sistema especialista constantemente fazem uso da habilidade do sistema em explicar o raciocínio utilizado para alcançar uma dada conclusão. Portanto, é importante que os sistemas especialistas sejam capazes de explicar sua linha de raciocínio e de responder questões relativas a esse raciocínio. Para tanto, um sistema especialista deve possuir conhecimento sobre seu próprio modo de operação (04). O conhecimento que um sistema especialista tem sobre sua forma de raciocinar é denominado metaconhecimento ou conhecimento de segunda ordem, que significa conhecimento sobre conhecimento.

A habilidade de examinar seu processo de raciocínio e explicar sua operação confere aos sistemas especialistas as seguintes vantagens sobre os programas convencionais:

i) o usuário acredita nos resultados obtidos com o sistema especialista, pois é capaz de acompanhar passo a passo a obtenção desta solução, aumenta a confiança da solução;

ii) o desenvolvimento do sistema é mais rápido, devido à facilidade de detecção e correção de erros;

iii) a operação do sistema é explícita ao invés de implícita como nos programas convencionais;

iv) torna-se fácil prever e testar os efeitos de mudanças sobre a operação do sistema.

Um sistema especialista também deve dispor de uma interface homem-máquina eficiente, para permitir uma interação fácil e adequada com o usuário.

O usuário de um sistema especialista pode ser uma pessoa especializada, com grande conhecimentos na área. Neste caso, o sistema especialista deve ser capaz de extrair dele conhecimento novo, a fim de aumentar sua base de conhecimentos. O usuário também pode ser um iniciante, neste caso, o sistema especialista deve ser capaz de lhe transmitir informações suficientes, auxiliando-o na resolução de um problema específico.

Desta forma os programas que compõem a interface homem-máquina de um sistema especialista, incluem ferramentas de edição, para facilitar a aquisição e modificação do conhecimento especializado ou dos dados contidos na base de dados. Esta interface contém ainda software de entrada e

saída, que ajudam o usuário a fornecer ou receber informações do sistema especialista.

### 1.5.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SISTEMA ESPECIALISTA

Apresenta-se aqui, o critério básico considerado para decidir se uma aplicação deve ser implementada utilizando um programa convencional ou fazendo uso de um sistema especialista.

Um dos pontos a serem considerados é se a aplicação a ser desenvolvida é bastante dependente da utilização de fórmulas matemáticas. Nesse caso, um programa convencional provavelmente seria a melhor escolha. Na aplicação proposta é mínimo o uso de fórmulas matemáticas.

Outro ponto a ser considerado é se o problema a ser resolvido depende de um esforço intelectual. No caso desta aplicação, o processo de diagnóstico das unidades de disco depende de conhecimento de como diagnosticar o problema e de idéias do que deve ser feito numa determinada situação. Neste caso, um sistema especialista também é a melhor escolha.

Considera-se, em geral, um sistema especialista apropriado para uma aplicação se esta apresenta uma ou mais das seguintes características:

- a aplicação envolve diagnóstico ou análise de dados;
- o processo de decisão do especialista, ou resposta esperada pelo usuário envolve um grau de incerteza. Por exemplo, se o especialista considerar que se as condições 1 e 2 estiverem presentes, o resultado R é esperado em 80% dos casos ou um usuário pode responder uma dada pergunta feita pelo sistema dizendo: "Estou cerca de 90% certa de que a resposta é sim";
- o especialista humano pode resolver o problema num tempo razoável: de uns poucos minutos até umas poucas horas;
- muitas das informações necessárias podem ser estruturadas como um conjunto de condições de relação da forma: se a condição 1 for verdadeira e a condição 2 for igual a F então a conclusão alcançada é C.

- o conhecimento sobre a aplicação pode evoluir, isto é, novos conhecimentos são obtidos ao longo do tempo. O sistema especialista permite que estes conhecimentos sejam facilmente inseridos na base de conhecimento.

## I.6 - SISTEMA ESPECIALISTA PARA DIAGNÓSTICO DAS UNIDADES 3380-J/K.

### I.6.1 - DIAGNÓSTICO DAS UNIDADES 3380-J/K.

Quando, durante o processo de teste das unidades 3380 J/K, detecta-se um problema, o operador analisa as informações geradas pela sistema de teste, com o objetivo de diagnosticar o problema.

Para se identificar o componente defeituoso, o operador analisa os sintomas do problema. Nessa análise o operador visa:

- isolar a área da máquina que esta apresentando problema (onde o componente defeituoso se encontra)

- analisar o sintoma do problema procurando identificar qual é o componente defeituoso.

Uma vez identificado o componente defeituoso, o mesmo é substituído e a máquina retorna ao processo de teste. Dependendo do componente substituído alguns programas de teste são executados novamente visando uma cobertura total no teste do novo componente.

Nos casos em que se detecta algum problema no HDA, uma análise minuciosa do mesmo é necessária. Dependendo da gravidade do problema pode-se recuperar o HDA, isto é, arrumar o defeito, e em outros casos não. Inúmeros fatores que devem ser levados em consideração durante essa análise. Diversas são as especificações e as condições que devem ser levadas em consideração durante a análise de um problema com HDA, tornando-a complexa.

Por exemplo, no caso de uma trilha apresentar erro de leitura devido a um defeito na superfície do disco, um osciloscópio deve ser usado para analisar este defeito. Se o tamanho deste defeito estiver dentro de uma faixa permitida, pode ser alocado um "skip" a esse defeito de tal modo que essa região do disco seja evitada, durante o processo de escrita e leitura. Nos casos em que o tamanho desse defeito for maior que o valor limite especificado, o HDA deverá ser rejeitado.

Devido à complexidade dessa análise, uma pessoa com um treinamento bastante profundo, isto é, um especialista é necessário. Essa análise normalmente é feita por um engenheiro devidamente treinado.

A análise de um problema de HDA é bastante complexa e sempre que uma rejeição do HDA for necessária, a máquina deve voltar ao início do processo de teste, perdendo assim todo o teste realizado até o instante da falha. Outro aspecto importante dessa análise é o fato de que uma análise errônea pode comprometer o desempenho da máquina ao longo do tempo. Por outro lado, uma rejeição inadequada de um HDA ocasiona um gasto adicional desnecessário, fato também válido para qualquer outro componente substituído inadequadamente.

Outro aspecto importante a ser considerado é relativo à disponibilidade do ESPECIALISTA em análise de HDAs. As unidades 3380 J/K são fabricadas em regime ininterrupto. O ESPECIALISTA em análise de HDAs não está disponível constantemente. Assim, dependendo do instante de tempo em que um problema de HDA é detectado, o teste da máquina pode ter que ser interrompido por muito tempo a espera de um especialista para analisar o problema.

Os fatos acima mostram claramente que a disponibilidade de um SISTEMA ESPECIALISTA para auxílio ao diagnóstico das unidades 3380-J/K acarretará inúmeras vantagens, conforme descrito na seção seguinte.

#### I.6.2 - VANTAGENS NA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA

Como vantagens da utilização de um sistema especialista para o auxílio no diagnóstico das unidades de disco, podem ser citadas:

- melhor consistência na análise de um problema: o sistema especialista considera sempre todos os fatores exigidos nas especificações de teste, enquanto que um especialista humano pode, por motivos variados, deixar de considerar algum fator.

- disponibilidade do sistema especialista: a disponibilidade do sistema especialista é um fator bastante importante, pois evita que a máquina fique parada aguardando por um especialista para diagnosticá-la. A utilização do sistema especialista implica na diminuição do tempo médio de teste, acarretando um aumento da produtividade.

- diminuição de recursos de mão de obra qualificada exigida no processo: o treinamento exigido dos operadores diminui, pois estes tem agora a assitência constante de um especialista.'

- melhoria gradativa do sistema especialista: o sistema especialista pode ser continuamente melhorado, com a inclusão de novas experiências adquiridas tanto pelos especialistas, quanto pelos operadores. Toda a experiência estará disponível a todos os usuários. Essa experiência não mais é perdida, fato que normalmente ocorre quando um especialista muda de projeto.

- redução do tempo de aprendizagem do processo produtivo: o sistema pode minimizar a parcela de tempo produtivo referente à aprendizagem do processo, aumentando a produtividade.

- auxílio na aprendizagem do processo de diagnóstico: o operador pode consultar o sistema especialista quantas vezes forem necessárias e com isso assimiliar o raciocínio seguido pelo sistema especialista para diagnóstico do defeito. Além disso, durante uma consulta, o sistema especialista sempre informa qual a finalidade do teste que detetou a falha, fazendo com que o operador conheça melhor o processo de teste.

- diminuição da carga de trabalho do especialista: o sistema especialista comporta-se como um especialista, deste modo a presença do especialista humano somente é necessária para solucionar novos problemas.

## I.7 - CONCLUSÕES

Neste capítulo apresentou-se o problema de diagnóstico, durante o processo de teste das unidades de disco e como a utilização de um sistema especialista para auxílio ao diagnóstico pode otimizar esse processo.

Embora as discussões estejam baseadas no processo de teste/diagnóstico das unidades de disco, essas podem ser extrapoladas para processos de teste/diagnóstico de outros processos. Para tal, as considerações da seção 1.5.1 se aplicam.

Como vantagens globais da utilização do sistema especialista podem ser citadas: aumento da qualidade do diagnóstico (maior precisão na identificação do defeito), aumento da produtividade e consequente diminuição do custo do produto.

CAPÍTULO II

MODELAGEM FORMAL

DO PROBLEMA

## II.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo desse capítulo é a modelagem do problema de diagnóstico das unidades de disco, a partir da qual será feita a implementação do sistema especialista.

Inicialmente apresentam-se os métodos de representação do conhecimento utilizados em Inteligência Artificial, e discute-se os métodos utilizados nesse trabalho: regras de produção e frames.

Apresenta-se, em seguida, os sistemas de produção que utilizam as regras de produção para resolver problemas. Discute-se o funcionamento da máquina de inferência e os processos de encadeamento para frente e encadeamento para trás.

Discute-se então o processo de diagnóstico das unidades de disco. As informações que devem ser consideradas durante o processo de diagnóstico das unidades de disco e o nível de detalhamento adequado ao sistema especialista, visando tornar a consulta um processo eficiente são apresentadas.

A modelagem do problema é então realizada. Em seguida, apresenta-se o processo de desenvolvimento de uma representação do conhecimento.

Por fim, considerando-se a modelagem do problema, os requisitos do ambiente de desenvolvimento são especificados.

## II.2 - REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO

Uma das áreas mais importantes da Inteligência Artificial é a de representação de conhecimento. Uma representação do conhecimento é uma combinação de estruturas de dados e procedimentos de interpretação que são usados dentro de sistemas para melhorar o seu comportamento inteligente (08).

Vários esquemas de representação de conhecimento tem sido desenvolvidos para diversas aplicações. As vantagens oferecidas por cada um dependem fortemente da aplicação. Desses esquemas os mais importantes são: lógica, procedimentos, redes semânticas, regras de produção, dependências conceituais, frames e roteiros.

Sistemas especialistas manipulam uma grande quantidade de conhecimento especializado e distinto: o conhecimento sobre o problema específico a resolver, o conhecimento geral

de como resolver o problema, o conhecimento de como interagir com o usuário, etc (04, 05). Portanto, a escolha da representação de conhecimento torna-se um ponto crítico na elaboração de qualquer sistema especialista.

Os vários esquemas disponíveis em inteligência artificial para representação do conhecimento podem ser usados separadamente ou em conjunto para construir sistemas especialistas. A escolha de cada um desses esquemas considera:

i) a capacidade de representar o conhecimento necessário para a solução dos problemas da área de interesse;

ii) a capacidade de adquirir novas informações e,

iii) a capacidade de manipular as estruturas de representação existentes, para obter novas estruturas que corresponderão ao conhecimento inferido.

Também é importante que a estrutura de conhecimento seja capaz de incorporar informações adicionais, que aumentem a eficiência da máquina de inferência.

Os vários esquemas de representação de conhecimento baseiam-se no fato de que entidades complexas podem ser descritas como uma coleção de atributos e valores associados.

A mais completa forma de descrição de um fato é através da tripla associativa:

#### OBJETO X ATRIBUTO X VALOR

que pode ser interpretada como "objeto" tem "atributo" com "valor". O nome geral das triplas associativas é uma característica do domínio do problema, e "atributo" é um nome geral do conjunto de valores. Por exemplo, o atributo COR pode ter como valores azul, verde ou vermelho. Portanto, a descrição de um objeto é uma combinação única dos valores dos vários atributos, no conjunto de todas as possíveis descrições (espaço de descrição).

As duas formas de representação de conhecimento mais utilizadas na construção de sistemas especialistas são as regras de produção e os frames (04, 05). A seguir discute-se cada uma delas.

### II.2.1 - MÉTODOS BASEADOS EM REGRAS DE PRODUÇÃO

Nesse método, os conhecimentos são representados através de pares condição-ação chamados de regras de produção. Uma regra de produção é uma expressão da forma "se tal condição é satisfeita, então esta ação é apropriada". Durante a execução do sistema, se a parte esquerda de uma regra de produção for satisfeita ela pode disparar, isto é, a ação indicada pelo lado direito é executada.

As regras de produção capturam, num esquema manejável de representação, os conhecimentos sobre o que fazer numa certa situação. Apesar desse tipo de representação de conhecimento se constituir basicamente de procedimentos, o formalismo de regra de produção apresenta várias das vantagens dos esquemas declarativos, principalmente a modularidade. Além disso, a estrutura das regras de produções é semelhante ao modo das pessoas descreverem como resolvem os seus problemas. Por este motivo, o esquema de representação através de regras de produção tem sido muito usado como base de desenvolvimento de sistemas especialistas, sendo que atualmente, a maioria deles utiliza uma variação de tal esquema (08).

Métodos baseados em regras de produção usam sentenças do tipo SE condição ENTÃO ação. Quando a situação corrente satisfaz a parte "SE" de uma regra, a ação especificada na parte "ENTÃO" é executada. Estas ações são do tipo: calcular o valor de um determinado atributo, escolher estratégias de controle na máquina de inferência, enviar mensagens de advertência, etc.

Um conjunto de regras de produção específicas sobre uma área constituem uma base de conhecimento sobre essa área. As bases de conhecimentos dos sistemas especialistas constam de fatos e heurísticas. Os fatos são aquelas informações amplamente divulgadas e de domínio público, enquanto que as heurísticas são aquelas regras de bom senso e suposições razoáveis que são mais particulares e que caracterizam o nível de perícia na tomada de decisão dentro de uma área.

Nos métodos baseados em regras de produção, tanto o conhecimento factual (ex.: condições iniciais do problema), como o heurístico (ex.: estratégia de resolução de problemas) são descritos na forma SE\_ENTÃO. A operação destes sistemas é controlada por um interpretador de regras que analisa os antecedentes (condição) das regras, e executa seus consequentes (conclusão). Este procedimento simplifica o funcionamento da máquina de inferência. A utilização de regras também facilita a explicação do raciocínio que o sistema especialista utilizou para obter alguma conclusão particular, pois os consequentes de uma determinada regra

podem ser utilizados como antecedentes para outra regra, até se alcançar a conclusão ou diagnóstico desejado. Esse encadeamento sucessivo de regras é denominado cadeia de inferências.

As regras fornecem um modo formal e simples de representar recomendações, diretivas, estratégias além de serem bastante apropriadas, quando a área de conhecimento requer muita heurística (04), como é o caso do processo de diagnóstico de uma dada máquina. A cadeia de inferência formada naturalmente pelas sucessivas regras executadas, também fornece um modo simples de explicação de raciocínio, pois sempre que o usuário desejar uma explicação, a cadeia de inferência pode ser mostrada passo a passo, indicando o caminho utilizado para se obter a conclusão questionada.

### II.2.2 - MÉTODOS BASEADOS EM FRAMES

A representação do conhecimento baseada em frames utiliza uma rede de nós conectados por arcos, e organizada em hierarquia, onde os nós dos níveis superiores representam conceitos mais gerais enquanto os nós dos níveis inferiores representam conceitos mais específicos. Cada nó representa um conceito que pode ser descrito por atributos e valores associados a este nó, os arcos são as relações existentes entre os conceitos. Os nós dos níveis inferiores possuem automaticamente as propriedades dos nós do nível superior da hierarquia (04).

Neste tipo de representação, o conhecimento é representado como uma coleção de fatos estáticos (invariantes no tempo) acompanhado por um conjunto de procedimentos para manipulá-los. Esta representação facilita a adição de novos fatos ao sistema, sem alterações, nem dos fatos antigos, nem dos procedimentos para manipulá-los.

Os frames contêm informações sobre os vários aspectos dos objetos ou situações que eles descrevem (04, 05). A estrutura de um método baseado em frames, sugere que eles devem ser utilizados em áreas onde a forma e o conteúdo dos dados representam uma condição fundamental na solução do problema, como exemplo, em interpretação de imagens e cenas ou em compreensão da fala (04).

Considera-se como métodos baseados em frames as redes semânticas, os frames propriamente ditos, os scripts e as redes de dependência conceitual. Uma descrição mais detalhada destes e de outros métodos de representação de conhecimento pode ser encontrada em (06).

Como vantagens da utilização de frames como método de representação do conhecimento podem ser citadas:

i) O conhecimento específico para cada tipo de diagnóstico é agrupado. O acesso e a manipulação desse conhecimento se torna mais eficaz;

ii) Os frames permitem a estruturação do conhecimento de maneira similar à utilizada por especialista para a solução de um problema: partindo do geral e indo para o específico;

iii) A estrutura em árvore dos frames fornece as propriedades adequadas de hierarquia. Isto é, parte-se do geral (por exemplo, da operação em que o problema foi detectado) para o específico (detalhamento das causas da falha);

iv) Facilidade da implementação da base de conhecimento, permitindo que a mesma seja implementada modularmente (por frame).

### II.3 - SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Sistemas de produção são os sistemas utilizados em inteligência artificial para resolver problemas que utilizam regras de produção para representar o conhecimento. São constituídos de três partes distintas: a Base de Dados, a Base de Conhecimentos e a Máquina de Inferência. A Base de Dados contém os dados relativos à solução do problema procurada, a Base de Conhecimentos é o conjunto de Regras de Produção que contém todo o conhecimento codificado na forma SE\_ENTAO e a máquina de Inferência realiza o controle do sistema (05).

Para a operação do sistema de produção, a máquina de inferência aplica o conjunto de regras sobre a base de dados. Cada regra contém uma ou mais condições que, se satisfeitas pela base de dados, colocam a regra em condição de ser executada. A máquina de inferência seleciona uma dessas regras e a executa, gerando uma nova base de dados. Em sequência, novas regras são selecionadas e executadas até que a base de dados satisfaça o objetivo desejado.

Construir um sistema especialista utilizando sistema de produção requer a especificação da base de conhecimento: conjunto de regras de produção, fatos e heurísticas associados com a área; da estratégia de controle utilizada pela máquina de inferência para resolver os problemas e da base de dados global, onde se armazena a informação sobre o estado atual do sistema.

As inferências realizadas por um sistema de produção são obtidas pela aplicação das regras de produção sobre a base de dados. As regras constituem asserções em forma implicacional do tipo

SE <condição> ENTAO <ação>

As regras representam a estrutura da base de conhecimentos e obedecem a uma hierarquia em relação ao conhecimento que representam. As regras superiores são as denominadas metaregras, que são regras sobre regras e representam um conhecimento de segunda ordem. Essas regras direcionam a máquina de inferência para as áreas aplicáveis ao objetivo presente.

A hierarquia na representação do conhecimento também determina a solução de conflitos entre regras. Normalmente, a base de conhecimentos guia a máquina de inferência em direção à regra que possui as seguintes características: é uma metaregra, é mais geral que as outras (ocupa um nível mais alto na hierarquia), é confirmada por redundância, (pode ser inferida por diferentes caminhos).

### II.3.1 - MAQUINA DE INFERENCIA

A máquina de inferência seleciona uma regra da base de conhecimentos e a aplica à base de dados, gerando uma nova base de dados. Este procedimento é repetido até que a nova base de dados corresponda ao objetivo desejado. Para realizar a seleção e aplicação das regras a máquina de inferência utiliza-se de estratégias de controle. Estas estratégias de controle são classificadas em encadeamento para frente, encadeamento para trás e encadeamento misto, conforme o procedimento de seleção e execução das regras.

#### II.3.1.1 - SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ENCADEAMENTO PARA FRENTE

Com essa estratégia de controle, a máquina de inferência funciona em modo de encadeamento para frente ("forward chaining"), ou seja, parte-se de um estado inicial da base de dados e procura-se atingir o estado objetivo.

Nesta estratégia de controle a máquina de inferência analisa os antecedentes (condições) de todas as regras da base de conhecimentos, e seleciona, se houver, um conjunto

de regras que tenham seus antecedentes satisfeitos. Este conjunto de regras é organizado de acordo com a hierarquia da base de conhecimentos e a regra de maior prioridade é executada, isto é, seus consequentes (ações) são executados.

Após a execução da regra de maior prioridade, existem duas possíveis estratégias a seguir. A primeira é recomeçar a procura de um novo conjunto de regras e executar novas regras. A segunda é continuar executando as regras selecionadas em ordem de prioridade até que todas as regras do conjunto de regras tenham sido utilizadas. Em seguida, recomeça-se a procura de um novo conjunto de regras.

A estratégia de controle com encadementamento para frente é também conhecida como raciocínio antecedente, controle dirigido por dados ou controle "bottom-up".

#### II.3.1.2 - SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM ENCADEAMENTO PARA TRAS

Nesta estratégia de controle a máquina de inferência funciona em modo de encadementamento para trás ("backward chaining"), ou seja, parte-se de um objetivo final, e através da aplicação de um movimento reverso atinge-se o estado inicial da base de dados. Cada movimento para trás produz um estado sub-objetivo, a partir do qual o estado objetivo pode ser alcançado com um movimento para frente.

A máquina de inferência analisa os consequentes das regras na base de conhecimentos procurando uma regra que executada gera o objetivo desejado. Quando mais de uma regra é encontrada, forma-se um conjunto de regras organizado hierarquicamente e uma regra (por exemplo, de maior prioridade) é selecionada. Os antecedentes da regra selecionada são testados para verificação de sua validade. Se válidos, a regra é executada e sua conclusão é acrescentada a base de conhecimento como o fato. Se os antecedentes não são satisfeitos porque uma ou mais premissas são falsas, uma outra regra é selecionada e testada. Se uma ou mais premissas de um antecedente de uma regra selecionada são indefinidos, estes antecedentes se tornam sub-objetivos, e forma-se um conjunto de regras para se resolver esse sub-objetivo, repetindo-se o procedimento acima para os vários sub-objetivos criados.

Desse modo a máquina de inferência trabalha formando sub-objetivos (hipóteses que devem ser estabelecidas para estabelecer a hipótese original) que devem ser avaliados até que o objetivo original possa ser alcançado ou não haja mais regras a analisar.

## II.4 - TESTE E DIAGNÓSTICO DAS UNIDADES 3380-J/K

Conforme descrito no capítulo I, o processo de teste das unidades 3380-J/K é composta por duas fases:

fase 1: teste da unidade

fase 2: teste final

O sistema especialista aqui proposto visa auxiliar no diagnóstico de problemas detectados durante o teste da unidade.

Conforme mencionado anteriormente, o teste da unidade é composto por um conjunto de 10 etapas, cada uma com uma finalidade específica, conforme descrito no capítulo I.

Cada uma dessas operações é composta por uma série de programas de teste, que analisam o funcionamento específico de um circuito, procurando verificar que o mesmo esteja operando conforme as especificações funcionais.

Para ilustrar como é realizado o teste da unidade, apresenta-se os procedimentos de teste da operação 2. Esta operação tem por objetivo testar o seguinte:

- sistema de acesso
- sistema de posicionamento rotacional
- os valores das voltagens e "ripples"

Esses testes, tem como objetivo:

- assegurar a operação correta de todos os circuitos que compõe esse sistema;
- assegurar que os tempos de acesso estejam dentro da faixa de valores especificados;
- verificar o funcionamento dos circuitos de proteção aos dados. Esta proteção é importante para o caso que ocorra algum problema no funcionamento do sistema de acesso;
- medir a resistência da bobina do VCM para assegurar que a mesma esteja dentro da faixa de valores especificados;
- medir a capacidade do sistema servo de realizar a operação de manter as cabeças de escrita/leitura sobre as trilhas (track following);

- medir a simetria dos sinais indicadores de erro de posição;

- assegurar que os circuitos responsáveis pelo posicionamento correto nos diferentes segmentos da trilha estejam trabalhando adequadamente (estes circuitos são responsáveis pelo processamento da trilha);

- garantir que as tensões e seus respectivos "ripples" estejam dentro da faixa de valores especificados.

Como se pode notar, a operação 2 é composta por uma série de programas de teste, cada um com uma finalidade bastante específica. O mesmo acontece com as outras operações que compõem o teste da unidade.

A figura II.1 apresenta um diagrama que ilustra o exposto acima.

O teste da unidade é realizado sequencialmente, da operação 1 até a operação 9. Quando uma operação está sendo executada, todos os programas de teste que compõem esta operação são executados um a um, sequencialmente.

Quando uma condição anormal no funcionamento da máquina é detectada por um programa de teste, o teste é interrompido no instante em que o problema é detectado. Neste caso, o sistema de teste apresenta ao operador uma tela de erro onde todas as informações disponíveis são mostradas.

As informações principais apresentadas nessa tela de erro são:

- programa no qual o problema foi detectado, geralmente indicado por um número;

- controller através do qual o teste estava sendo executado;

- device no qual a falha ocorreu;

- cilindro acessado

- cabeça de escrita/leitura selecionada no instante da falha;

- comando que estava sendo executado no instante da falha;

- valores de vários bytes gerados pelos circuitos de auto-diagnóstico da máquina, juntamente com sua decodificação.

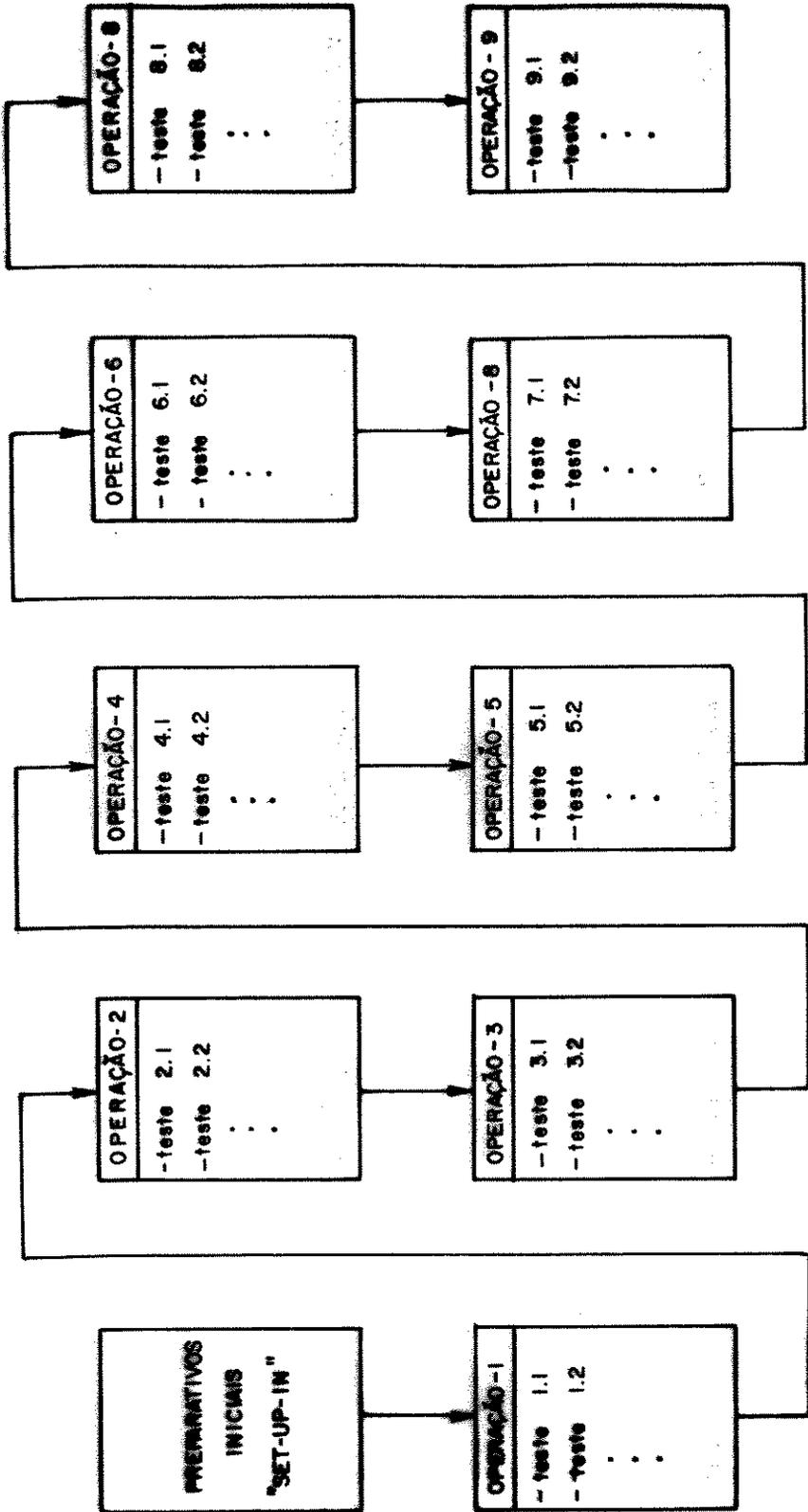


FIG. II.1 : Diagrama esquemático do teste da unidade

Baseado nas informações fornecidas pelo sistema de teste, o operador deve realizar a análise do problema, para detectar a causa do mesmo.

O sistema especialista proposto auxilia o operador no diagnóstico do problema, indicando uma série de testes que devem ser realizados para localizar o problema. Em primeiro lugar é necessário determinar se o problema é devido a uma falha no controller ou no device.

Se a falha estiver localizada no controller, o sistema especialista deve indicar quais os componentes que mais provavelmente são os causadores de cada tipo de falha (dependendo do teste que estava sendo executado).

Se for identificado que a falha é causada pelo device, o sistema especialista deve auxiliar na identificação do problema dentro do device (lógica ou HDA). Se a falha for de lógica, o sistema especialista deve apontar os componentes mais prováveis de falha (para o programa de teste específico). Se for problema de HDA, o sistema especialista deve auxiliar o operador na análise do HDA, procurando identificar a causa do problema e se o HDA pode ou não ser recuperado.

## II.5 - MODELAGEM DO PROBLEMA

Conforme discutido na seção II.4 o processo de teste das unidades de disco é constituído por 10 etapas, cada qual com um número específico de programas de teste. Cada um desses programas de teste tem uma finalidade específica e, na maioria das vezes, independe dos outros programas de teste, mesmo que pertençam a mesma operação.

Assim, como cada programa de teste tem um objetivo específico, é necessário um tratamento diferente para cada um desses programas para poder-se diagnosticar o problema detectado pelo mesmo. Considerando-se essa diferença significativa de contexto no tratamento dos diversos programas de teste, optou-se pela utilização de um sistema de produção organizado em frames, cada qual com uma finalidade específica de analisar um programa de teste.

Baseado nestes fatos, optou-se pela estrutura apresentada na figura II.2 para implementação do sistema especialista.

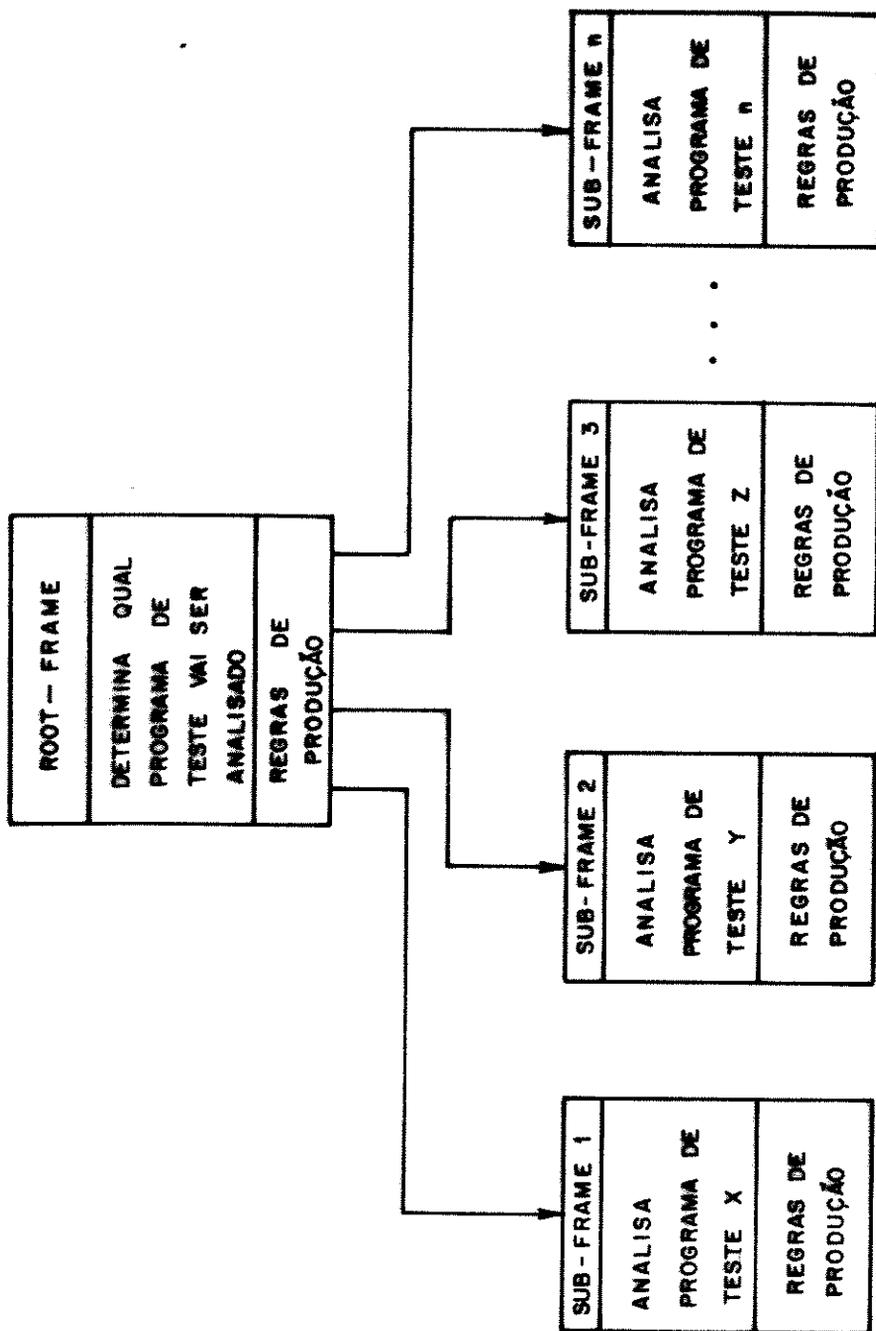


FIG. II.2 -- Estrutura adotada para implementação do sistema especialista

Como pode se notado da figura II.2, foram utilizados dois níveis de frames para se estruturar o problema. O primeiro nível de frame possibilita o correto encadeamento do frame de segundo nível, que é responsável pela análise detalhada do problema. O frame de primeiro nível descreve para o operador a finalidade do teste, visando com isso auxiliar na aprendizagem do processo de teste.

Alguns dos programas não necessitam de um segundo nível de frame, pois com as informações apresentadas pelo primeiro nível de frame pode-se identificar as possíveis peças defeituosas. Cada um desses frames é composto por um conjunto de regras de produção e constitui um subconjunto da base de conhecimento.

Na implementação de cada um dos frames que compõe o sistema especialista são consideradas as seguintes informações:

- 1) finalidade do teste;
- 2) área da máquina (circuitos) sob teste;
- 3) especificações funcionais;
- 4) se uma falha pode ter como causa um problema de HDA;
- 5) experiência em diagnóstico de um especialista e
- 6) informações obtidas a partir do sistema de teste.

Um outro aspecto considerado na implementação desses frames é que se pressupõe um grau mínimo de conhecimento dos operadores do processo de teste. O sistema especialista deve indicar os procedimentos globais de diagnóstico de um defeito e não descer a um nível elementar. Por exemplo, durante o processo de diagnóstico de um problema, o sistema especialista mostra ao operador qual programa de diagnóstico deve ser executado e não detalha como se executa esse programa (passo a passo).

Esse aspecto é considerado bastante importante, pois caso uma estratégia de auxílio ao diagnóstico passo a passo fosse adotada, o tempo de consulta ao sistema especialista seria aumentado consideravelmente. Muitas das informações fornecidas pelo sistema não seriam realmente importantes e o operador poderia ficar sobrecarregado por informações de importância secundária. Assim, o sistema especialista mostra apenas a estratégia de diagnóstico a ser seguida, indicando em termos globais os testes que devem ser executados em cada caso, com a finalidade de diagnosticar o problema.

Outro ponto que é considerado no desenvolvimento dos frames é o aspecto da auto-suficiência de informação. Sempre que possível, toda a informação necessária para o diagnóstico de um dado problema deve ser fornecida pelo próprio sistema especialista, evitando assim que o operador tenha que consultar alguma outra fonte de informação para concluir o diagnóstico do problema.

Uma vez considerados esses aspectos, inicia-se a análise de cada um dos programas de teste, procurando-se definir o processo de diagnóstico para cada um desses programas. O processo de diagnóstico é implementado utilizando-se um fluxograma que facilita a implementação do frame e a definição das regras de produção.

Um exemplo desse fluxograma é apresentado na figura II.3. Neste tipo de representação, o objetivo do frame é colocado no triângulo da parte superior do fluxograma. A finalidade do frame é obter um valor (conclusão) para este objetivo. A cada atributo do frame está associado uma pergunta, cuja finalidade é descobrir o valor daquele atributo durante uma consulta. Por exemplo, consideremos o atributo abaixo, que pode receber os seguintes valores:

ATRIBUTO:

VALORES:

ERRO NAO CORRIGIVEL POR ECC

TIPO DE ERRO DE LEITURA

ERRO CORRIGIVEL POR ECC

ERRO PERMANENTE

A pergunta apresentada ao usuário para a obtenção do valor para esse atributo pode ser:

"Qual o tipo de erro de leitura detectado por este teste ?"

e dependendo da especificação das propriedades do atributo, o usuário deve respondê-la escolhendo dentre uma série de alternativas (entrando com um valor, etc).

No fluxograma, para cada atributo estão associados os valores esperados. Dependendo da resposta do usuário, a máquina de inferência decide quais regras devem ser consideradas. As conclusões obtidas pelo sistema especialista estão também representadas no fluxograma.

A partir do fluxograma, a definição das regras é feita da seguinte maneira:

SE <atributo-a = valor-esperado-2> E <atributo-b = valor-esperado-5>

ENTAO <frame-objetivo = conclusão-III>

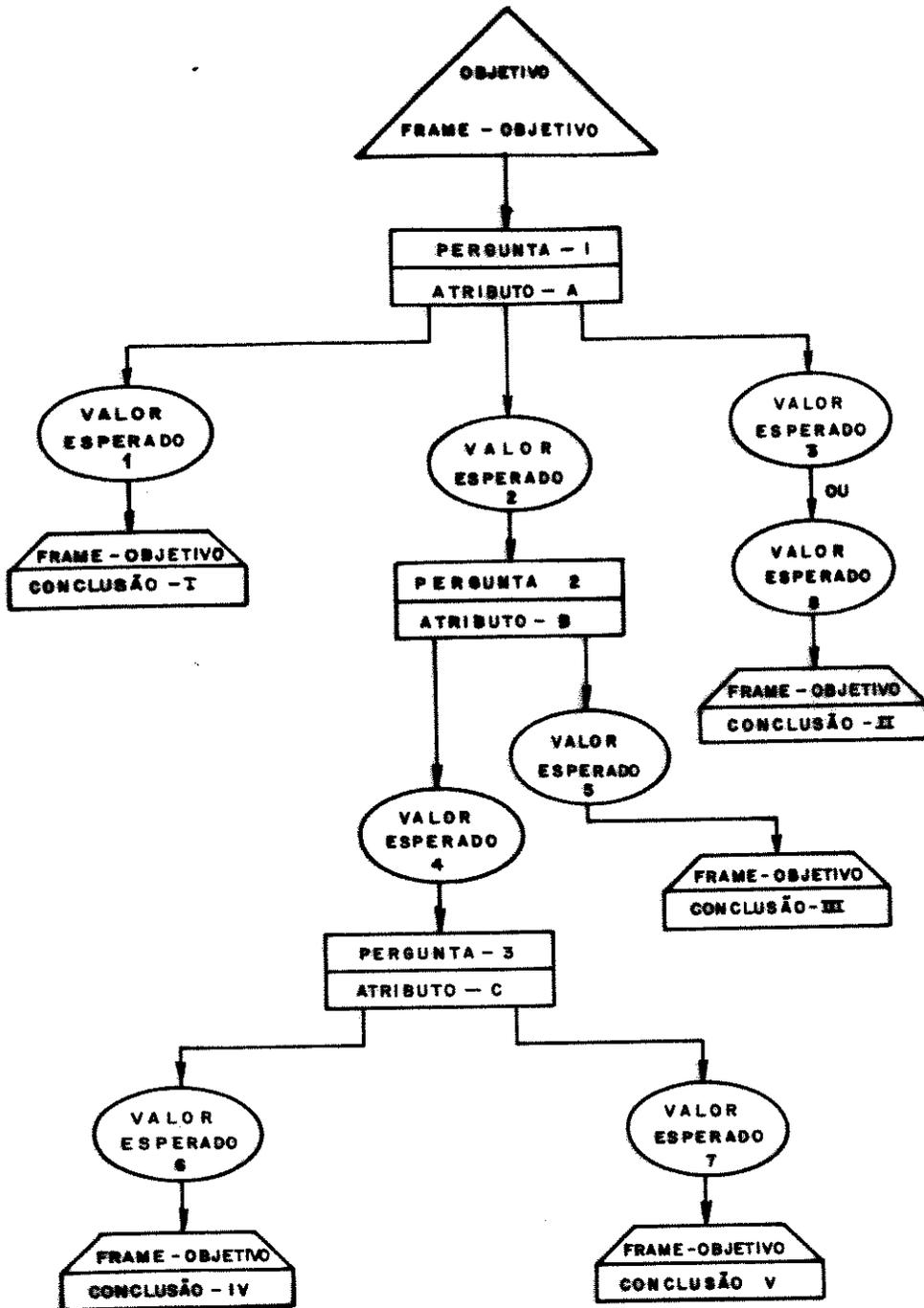


FIG. II. 3 : Fluxograma utilizado para a implementação de um frame

as demais regras podem ser escritas de maneira idêntica.

Nesse exemplo, o frame possui 3 atributos, 5 regras e pode obter 5 conclusões diferentes.

Utilizando-se esse método para obtenção das regras de produção, nenhuma regra disparará uma outra, isto é, o conseqüente de uma regra não é o antecedente de outra regra. Assim, este método apresenta as seguintes vantagens:

i) maior modularidade das regras, facilitando o processo de desenvolvimento e modificação da base de conhecimento e

ii) maior intelegibilidade, implicando numa maior facilidade de compreensão das mesmas.

## II.6 - REQUISITOS DO AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Baseado na modelagem do problema, procurou-se identificar um ambiente de desenvolvimento adequado para a implementação do sistema especialista proposto.

As características fundamentais procuradas na análise dos ambientes de desenvolvimento existentes foram:

- capacidade de trabalhar com frames;
- capacidade de trabalhar com regras de produção;
- interface homem-máquina eficiente;
- recursos de suporte ao desenvolvimento disponíveis: (editores de texto, facilidades de teste oferecidas);
- confiabilidade do ambiente de desenvolvimento;
- facilidade de operação com o ambiente de desenvolvimento;
- a possibilidade de usar como máquina um computador pessoal IBM-PC, visando ganhar maior experiência nesse ambiente. Produtos futuros tendem a usar computadores pessoais como controladores de sistemas de teste;
- recursos oferecidos pelo ambiente de desenvolvimento não só satisfazendo as condições atuais, mas dando possibilidades de melhoramentos posteriores: habilidade de trabalhar com incertezas, acesso a

dados externos, habilidade de interfaceamento direto com o processo (on-line), possibilidade de definir meta-conhecimento, etc.

## II.7 - CONCLUSOES

Este capítulo mostrou como é feita a modelagem do problema de teste das unidades de disco para tornar possível a implementação do sistema especialista proposto.

Um dos aspectos fundamentais abordados nesse capítulo é a análise global do problema o que levou a optar-se por uma estrutura baseada em frames e em regras de produção.

Outro ponto importante são as considerações feitas em relação à escolha do ambiente de desenvolvimento adotado.

CAPÍTULO III

IMPLEMENTAÇÃO

### III.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo a implementação da base de conhecimento do sistema especialista "DEUT".

Inicialmente faz-se uma comparação entre os ambientes de desenvolvimento disponíveis com a finalidade de escolher do mais adequado para a aplicação proposta.

A seguir apresenta-se o ambiente de desenvolvimento adotado: PERSONAL CONSULTANT PLUS (PC PLUS). As definições dos principais termos utilizados no PC PLUS são apresentadas, assim como suas características principais do PC PLUS, e os recursos de teste disponíveis pelo mesmo.

Apresenta-se então, o desenvolvimento da base de conhecimento, e discute-se as principais características utilizadas. Como exemplo, apresenta-se o desenvolvimento de um frame típico, neste caso o PC3012X.

Por último, o ambiente de consulta oferecido pelo PC PLUS é apresentado. O sistema especialista "DEUT" é discutido e é proposta uma interface homem-máquina visando adequá-la a aplicação proposta.

### III.2 - ESCOLHA DO AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Depois da modelagem do problema e da definição dos requisitos necessários ao ambiente de desenvolvimento, uma análise comparativa dos ambientes de desenvolvimento disponíveis faz-se necessária. Os seguintes ambientes de desenvolvimento são considerados:

- "Expert System Environment" - ESE: programa oferecido comercialmente pela IBM para facilitar o desenvolvimento e a utilização de sistemas especialistas. É executado sob o sistema operacional IBM-VM/CMS (mainframe). É composto por dois ambientes distintos:

i) "Expert System Development Environment" - ESDE: é o ambiente de desenvolvimento oferecido pelo ESE. O ESDE apresenta os seguintes recursos:

- utilização de regras de produção;

- utilização de duas estratégias de controle da máquina de inferência: encadeamento para frente ("forward chaining") e encadeamento para trás ("backward chaining");

- utilização do conceito de frames (denominado "Focus Control Block");

- tratamento de incertezas;

- editores de texto;

- capacidade de acessar dados/arquivos externos.

ii) "Expert System Consultation Environment" - ESCE: é o ambiente de consulta oferecido pelo ESE. O ESCE juntamente com a base de conhecimento constitui o produto final a ser utilizado pelo usuário.

- "Knowledge Network Engineering Tool" - KNET: é um sistema baseado em computador pessoal para desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento. O KNET é executado sob o sistema operacional DOS de computadores pessoais da linha PC-compatível.

KNET pode representar conhecimento de três formas: tabelas de decisão, estruturas de decisão ("networks") e regras de produção. Porém, durante o processo de desenvolvimento, o conhecimento pode ser expresso somente na forma de tabelas e posteriormente transformado nas outras formas citadas acima.

KNET apresenta as seguintes recursos:

- tabelas de decisão;

- tratamento de incertezas;

- editor de texto para suporte ao desenvolvimento;

- "Personal Consultant Plus" - PC PLUS: é um ambiente para desenvolvimento de sistemas especialistas baseado em LISP. é executado sob o sistema operacional DOS de computadores pessoais da linha PC-compatível. Dentre as principais características apresentadas pelo PC PLUS pode-se destacar:

- possibilidade de trabalhar com regras de produção e frames;

- capacidade de trabalhar com encadeamento para trás e encadeamento para frente;

- ambiente de desenvolvimento e teste altamente interativo;

- possibilidade de manusear incertezas;

- interface "window-oriented" com a disponibilidade de "on-line help";

- capacidade de acessar dados/arquivos externos;
- capacidade de iteragir diretamente com o processo;
- capacidade de manusear gráficos.

Neste trabalho adotou-se o ambiente de desenvolvimento adotado é o PC PLUS devido as seguintes razões:

- pode-se representar o conhecimento tanto por frames como por regras de produção, o que facilita bastante a implementação da base de conhecimento;

- baixo custo do hardware necessário para suportar a aplicação (computador pessoal);

- portabilidade do sistema: a versão final é composta apenas de discos flexíveis, sendo facilmente transportável para outras máquinas (outros computadores pessoais da linha PC);

- perspectivas do projeto: o PC PLUS atende às perspectivas sugeridas para futuros projetos nessa mesma linha.

### III.3 - O AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO PERSONAL CONSULTANT PLUS

O ambiente de desenvolvimento "Personal Consultant Plus", ou simplesmente PC PLUS, foi desenvolvido pela Texas Instruments em 1985 com a finalidade de tornar disponível uma ferramenta para desenvolvimento de sistemas especialistas. É escrito em PC Scheme, que é um dialeto do LISP (09, 10).

O PC PLUS é constituído por duas partes principais:

- um ambiente de desenvolvimento, propriamente dito, cuja finalidade é prover recursos para o desenvolvimento de uma aplicação (base de conhecimento específica);

- um ambiente de consulta que permite interagir com a base de conhecimento desenvolvida, de tal forma a obter auxílio do sistema especialista para a resolução de um dado problema.

Utilizando o PC PLUS um "engenheiro do conhecimento" pode implementar uma base de conhecimento específica. Essa base de conhecimento juntamente com o ambiente de consulta, constituem um sistema especialista.

A figura III.1 ilustra a constituição do PC PLUS e o processo de desenvolvimento de uma aplicação específica.

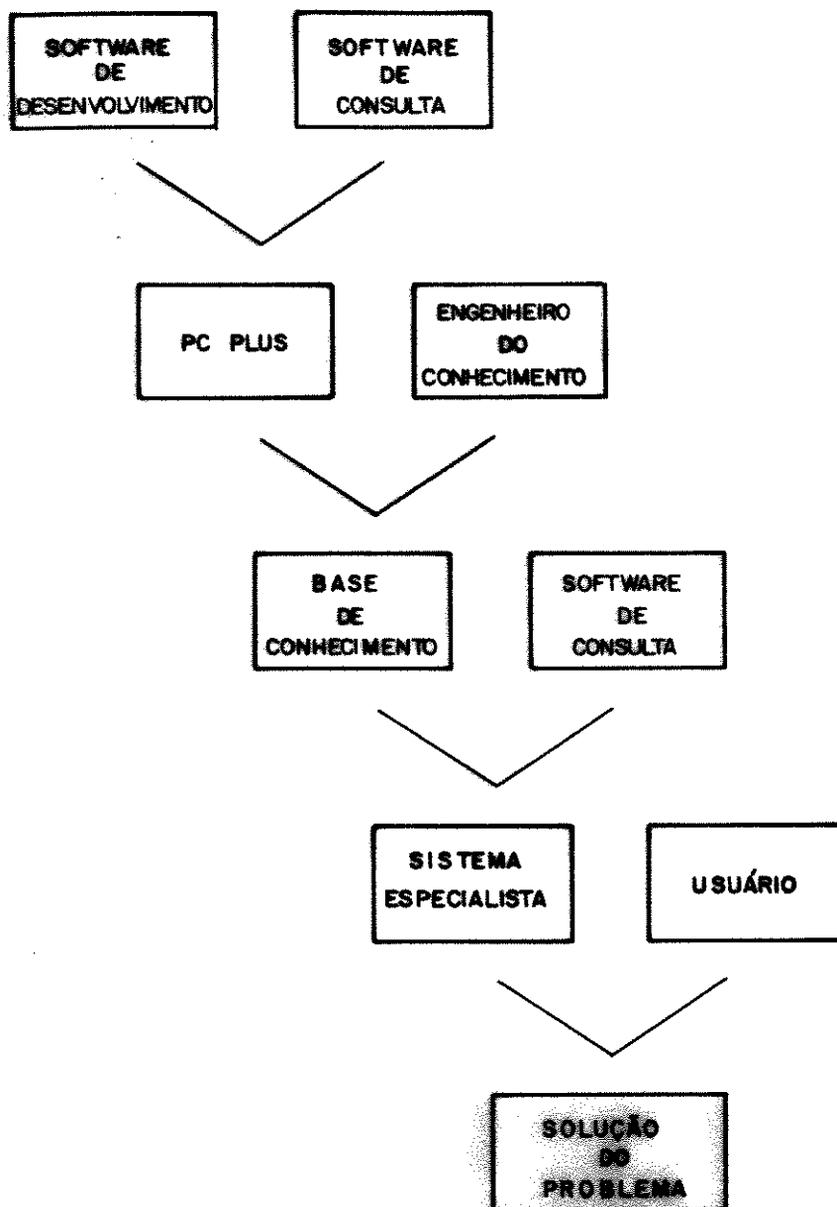


FIG. III. 1 : Constituição do PC plus e processo de desenvolvimento de um sistema especialista.

### III.3.1 - DEFINIÇÕES

Para um melhor entendimento das características do PC PLUS, apresenta-se a seguir definições dos principais termos utilizados. Para se evitar perda de significado devido a tradução, e manter compatibilidade com a nomenclatura utilizada pelo PC PLUS, utiliza-se os termos originais em inglês.

#### Definição III.1: ROOT FRAME

É o frame de mais alto nível hierarquico de uma base de conhecimento. Esse frame é chamado automaticamente quando se inicia uma consulta ao sistema especialista.

#### Definição III.2: SUB-FRAME

É qualquer frame que não seja um root-frame. Um sub-frame pode ser originário de um root-frame ou de um outro sub-frame.

#### Definição III.3: GOAL

É o atributo cujo valor procura-se determinar durante uma consulta. Um frame pode ter um ou mais "goals".

#### Definição III.4: PARAMETER

É um nome geral de um conjunto de valores que um objeto pode assumir. É um atributo desse objeto. Permite a descrição de fatos.

#### Definição III.5: VARIABLE

É uma forma de representação de informação que não afeta o processo de inferência. É global em relação à base de conhecimento.

#### Definição III.6: RULE

É uma expressão do tipo SE\_\_ENTÃO que expressa relações entre parameters (atributos).

#### Definição III.7: META-RULE

É uma expressão de meta-conhecimento. Ela determina a estratégia mais eficiente a ser utilizada para o processamento do conhecimento expresso na base de conhecimento, aumentando sua eficiência.

### Definição III.8: TRANSLATION

Expressa a tradução de um nome. É utilizado quando o sistema especialista se comunica em inglês.

### Definição III.9: DOMAIN

É uma variável que controla o texto que aparece na parte superior da tela apresentada pelo sistema especialista. Define a finalidade do sistema especialista.

## III.3.2 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

A seguir, descreve-se algumas das características do PC PLUS.

### i) BASE DE CONHECIMENTO

No PC PLUS a base de conhecimento é estruturada em frames. Uma base de conhecimento pode conter um root-frame e diversos sub-frames, estes organizados em diferentes níveis. Os nomes root-frame e sub-frame referem-se apenas à posição hierárquica deste na base de conhecimento, não tendo nenhum outro significado.

O texto (cabecalho) que existe na parte superior da tela indicando o nome do sistema especialista é definido pela variável DOMAIN, por sua vez definida no root-frame. DOMAIN especifica a área de atuação do sistema especialista.

Quando a máquina de inferência necessita testar uma regra contida em um sub-frame, ela chama não somente este sub-frame mas também todos os sub-frames entre este e o root-frame e deve satisfazer todos os "GOALS" dos sub-frames intermediários.

No PC PLUS a máquina de inferência pode operar com a base de conhecimento utilizando encadeamento para frente e/ou encadeamento para trás.

### ii) FRAMES

Os frames são utilizados para estruturar a base de conhecimento. Cada base de conhecimento contém pelo menos um frame, denominado root-frame e uma ou mais sub-frames.

Considere a base de conhecimento organizada conforme a figura III.2.

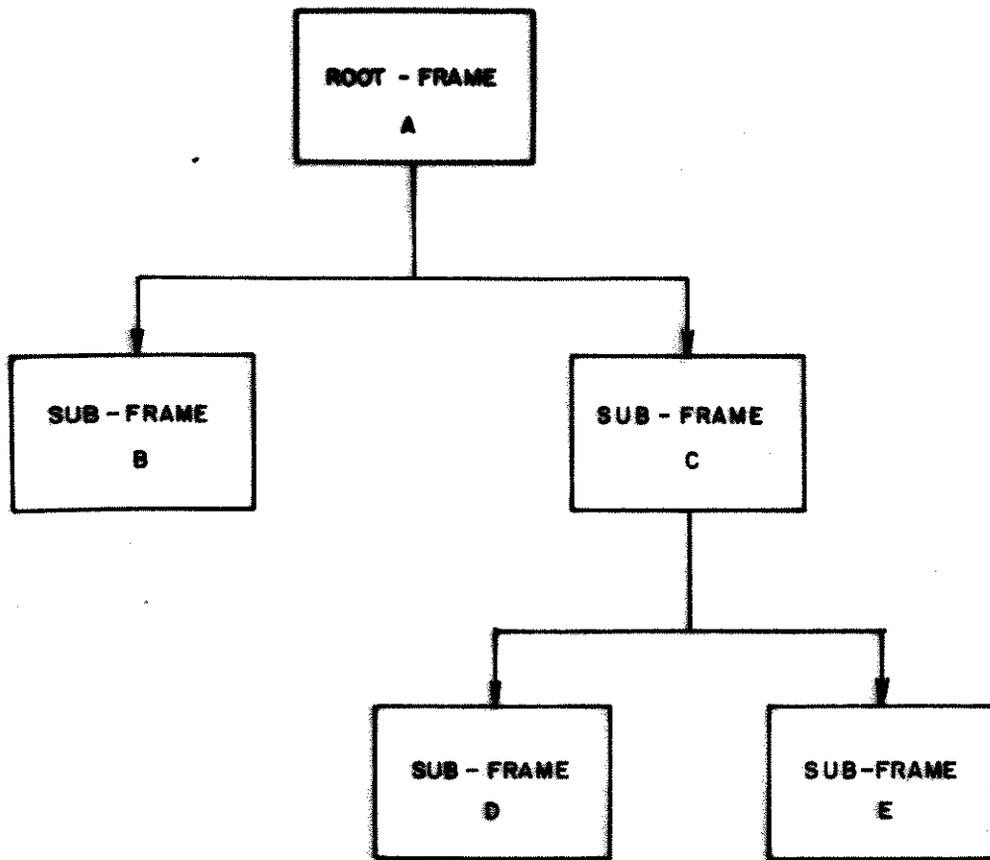


FIG. III.2 : Base de conhecimento estruturada em frames.

Nessa figura, A é um root-frame. A tem dois sub-frames: B e C. Os sub-frames D e E são sub-frames de C.

O conceito de hierarquia entre frames resulta nas seguintes propriedades:

- O root-frame A tem acesso aos parameters do root-frame A e pode chamar regras no próprio root-frame A e nos sub-frames B, C, D e E.

- O sub-frame B tem acesso aos parameters do root-frame A e do sub-frame B e pode chamar regras no sub-frame B.

- O sub-frame C tem acesso aos parameters do root-frame A e do sub-frame C e pode chamar regras nos sub-frames C, D e E.

- O sub-frame D tem acesso aos parameters dos sub-frames D, C e do root-frame A e pode chamar regras no sub-frame D.

- O sub-frame E tem acesso aos parameters dos sub-frames E, C e do root-frame A e pode chamar regras no sub-frame E.

Essas propriedades devem ser levadas em consideração durante o desenvolvimento de uma base de conhecimento.

Cada frame é definido por:

a) PROPERTIES: são as propriedades que definem o comportamento do frame. São divididas em:

a.1) TRANSLATION: é um texto que descreve o frame. Este texto é incluído pelo PC PLUS em traduções durante uma consulta.

a.2) GOALS: é uma lista de um ou mais parameters cujos valores o PC PLUS tenta determinar durante uma consulta. Cada frame deve ter seus próprios GOALS.

a.3) DISPLAYRESULTS: apresenta na tela os resultados alcançados por um frame durante uma consulta.

a.4) PROMPTEVER: controla o texto apresentado na tela inicial, apresentando o sistema especialista.

a.5) PROMPT1ST: permite o controle da chamada de um sub-frame, pela primeira vez, apresentando ao usuário uma pergunta.

a.6) IDENTIFIER: define o nome que identifica o frame. Este nome é utilizado durante a chamada do frame, para identificar quais os parameters e regras que o constituem.

b) PARAMETERS: as informações contidas nos parameters são utilizadas para alcançar uma conclusão.

Por exemplo, na base de conhecimento implementada, o "FAILING-OPERATION" é um parameter. Esse parameter pode receber os seguintes valores: "SET-UP-IN, POWER, OPERATION-1, OPERATION-2 até OPERATION-9.

Quando um parameter é criado, deve-se definir suas características que indicam a maneira como o PC PLUS irá operar com esse parameter:

b.1) TRANSLATION: descreve brevemente o parameter. é utilizado no lugar do nome do parameter durante a tradução das regras para o inglês ou quando se utiliza o recurso de explicação de como uma conclusão foi alcançada (HOW).

b.2) TYPE: determina como o PC PLUS irá tratar o parameter e qual o tipo de valor que esse parameter poderá assumir ("yes" ou "no", "ask-all", "singlevalued", "multivalued"). Ele também determina qual o tipo de pergunta o PC PLUS irá fazer para obter um valor para esse parameter.

b.3) PROMPT: determina qual a frase que o PC PLUS utilizará para perguntar ao usuário o valor para o parameter.

b.4) CERTAINTY-FACTOR-RANGE: permite que seja associado um grau de incerteza na alocação de um valor a um parameter.

b.5) HELP: permite a explicação detalhada de uma pergunta, facilitando o processo de consulta.

c) RULES: as regras são expressas no PC PLUS através da linguagem ARL - "Abbreviated Rule Language" (12). Em geral, ARL permite:

- determinar se as condições expressas na premissa da regra são ou não satisfeitas;
- realizar cálculos aritméticos;
- especificar valores;
- imprimir textos;
- apresentar gráficos;
- aceder a programas ou dados externos ao PC PLUS.

Como exemplo, considere a seguinte regra:

SE a resistência da bobina for maior que 12,0 Ohms, então o HDA deve ser rejeitado.

Em ARL essa regra tomaria a forma:

```
IF RESISTENCIA-DA-BOBINA > 12.0  
  
THEN HDA = REJEITADO
```

d) META-RULES: permitem com que meta-conhecimento seja incorporado à base de conhecimento. META-RULES determinam a estratégia mais eficiente de operação da base de conhecimento.

e) VARIABLES: permitem uma maneira de incluir informações na base de conhecimento que não afetam o processo de inferência. São globais em relação à base de conhecimento. Essas características permitem que as variables substituam os parameters em algumas circunstâncias.

As variables diferem dos parameters nos seguintes aspectos:

- a máquina de inferência não leva em consideração os valores assumidos pelas variables;

- não podem apresentar fator de certeza;

- são globais a base de conhecimento e não estão restritas as propriedades de hereditariedade dos frames.

f) FUNCTIONS: realizam operação sobre um conjunto de objetos (parameters, regras ou frames) e retornam com um subconjunto desses objetos, dependendo da operação especificada. Por exemplo, pode-se especificar uma function que olhe em todas as regras de um frame e verifique quais foram disparadas. Como resultado tem-se uma lista de regras que foram disparadas.

g) TEXTAGS: utilizado para especificar trechos de texto que devem ser repetidos na base de conhecimento, minimizando assim a quantidade de informação a ser digitada durante o desenvolvimento da base de conhecimento.

Para que um root-frame chame um sub-frame, mecanismos devem ser fornecidos ao root-frame para causar e controlar o encadeamento dos sub-frames adequadamente durante uma consulta.

Durante o processo de desenvolvimento de um frame no PC PLUS, é necessário especificar as propriedades acima mencionadas.

### iii) MANUSEIO DE FRAMES

A chamada do root-frame é feita quando o usuário inicia uma consulta. Um sub-frame é chamado em duas situações:

- quando é necessário obter um valor para uma regra, no processo normal de encadeamento para trás,

- quando na regra disparada a função CONSIDERFRAME é especificada.

Para controlar o número de vezes que um frame é chamado, a propriedade OCCURRENCES é disponível. OCCURRENCES pode ter os seguintes valores: "exactly-once", "at-least-once", "at-most-once", "unkown". O PC PLUS utiliza o valor especificado para OCCURENCES para determinar qual mensagem é apresentada: "promptever", "promptist", "prompt2nd" ou uma combinação desses valores.

#### iv) COMANDOS DE DESENVOLVIMENTO

O ambiente de desenvolvimento do PC PLUS oferece uma série de comandos que permitem o manuseio da base de conhecimento durante o desenvolvimento. Os principais comandos são apresentados a seguir:

a) ADD: permite adicionar um novo elemento à base de conhecimento;

b) MODIFY: permite modificar um parameter ou uma regra;

c) COPY: permite duplicar o texto de uma regra facilitando a edição de uma nova regra;

d) ERASE: apagar um elemento da base de conhecimento;

e) EXIT: sai do ambiente do PC PLUS e retorna ao DOS;

f) MOVE: move uma regra de um grupo a outro;

g) PRINT-KB: permite imprimir a base de conhecimento, utilizando 3 tipos de notação: ARL, Inglês e LISP;

h) RENAME: permite mudar o nome de um frame ou um parameter;

i) SAVE-KB: guarda a base de conhecimento em um arquivo;

j) TRANSLATE: apresenta a tradução em inglês de uma regra;

k) TREE: apresenta uma configuração gráfica da estrutura da base de conhecimento;

l) COMANDOS DE FORMATAÇÃO: permitem a formatação do texto a ser apresentado pelo sistema especialista durante uma consulta. Como exemplo podem ser citados: ATTR (cor) - permite a especificação da cor em que o texto deve ser impresso; TAB X - permite a especificação de tabulações; LINE X - permite que seja especificado quantas linhas devem ser puladas, etc. Todos os comandos de formatação são precedidos por dois pontos (:).

O PC PLUS permite imprimir a base de conhecimento, utilizando-se 3 tipos de notação: ARL, Inglês e LISP. Esse recurso é bastante interessante para se documentar a base de conhecimento.

### III.3.3 - RECURSOS DE TESTE OFERECIDOS

Para se testar a base de conhecimento implementada, deve-se executar muitas consultas, procurando-se verificar todas as conclusões esperadas.

Para facilitar o processo de teste da base de conhecimento, o PC PLUS oferece alguns recursos de teste, apresentados a seguir:

- REVIEW: permite testar todas as possíveis combinações para verificar se o sistema especialista esta obtendo a conclusão correta. Ele permite revisar e/ou modificar as respostas dadas, pelo usuário, ao sistema especialista durante uma consulta.

- PRINT CONCLUSIONS: disponível no final de uma consulta, permite escrever a história da consulta na tela, na impressora, ou em um arquivo.

- SAVE PLAYBACK FILE: disponível em qualquer pergunta durante uma consulta ou no final da consulta, permite guardar as respostas dadas durante uma consulta a fim de revê-las posteriormente.

- GET PLAYBACK FILE: permite executar automaticamente uma consulta previamente criada utilizando-se SAVE PLAYBACK FILE.

### III.4 - DESENVOLVIMENTO DA BASE DE CONHECIMENTO

O sistema especialista "DEUT", desenvolvido neste trabalho, é composto por uma base de conhecimento organizada na estrutura de frames. Apresenta dois níveis de frames:

- o primeiro nível é formado por um root-frame cujo objetivo é determinar qual o programa de teste detectou a falha. Além disso, este root-frame pode chamar um segundo nível de frame, quando uma análise detalhada do problema detectado pelo programa de teste for necessária;

- o segundo nível é formado por diversos sub-frames cujo objetivo é a análise detalhada do problema detectado pelo programa de teste. O tipo de tratamento a ser dado em cada um desses frames é bastante diversificado, dependendo exclusivamente da finalidade do programa de teste.

Para o desenvolvimento da base de conhecimento foram utilizadas as informações disponíveis procurando-se organizá-las de acordo com a modelagem proposta para o problema. Foram consideradas informações do tipo:

- descrição detalhada dos programas de teste que constituem cada uma das 9 operações e as informações sobre como diagnosticar problemas detectados durante os preparativos iniciais "set-up-in" da máquina;

- área da máquina (circuitos sob teste);

- especificações funcionais da máquina;

- critérios de aprovação/rejeição em cada teste;

- experiência e o conhecimento acumulado por um especialista em diagnóstico;

- informações obtidas a partir do sistema de teste;

- dados referente ao histórico de falhas por programa de teste.

O root-frame tem como objetivos:

- permitir ao usuário definir qual programa de teste será analisado;

- informar ao usuário qual é a finalidade do programa de teste (descrição do programa), visando dar uma idéia de quais circuitos da máquina deverão ser testados quando um problema for detectado;

- auxiliar o usuário na determinação de qual a área da máquina está apresentando problema. Para tal, a unidade de disco é dividida em 5 partes:

- controller

- device (lógica ou HDA)

- conexões (cabos)

- fontes de alimentação

- sistema de ar

- chamar o sub-frame adequado para proceder a uma análise detalhada do problema.

Depois de implementado o root-frame iniciou-se a implementação dos sub-frames. Os sub-frames, por sua vez, têm como objetivo:

- interagir com o usuário, fazendo uma série de perguntas, solicitar a realização de testes com o intuito diagnosticar o problema.

A base de conhecimento é composta por um total de 10 frames (um root-frame e nove sub-frames).

Uma das vantagens da utilização de frames para estruturar a base de conhecimento é que cada estratégia de diagnóstico pode ser implementada independentemente das demais, facilitando-se o desenvolvimento da base de conhecimento. A medida que cada sub-frame é desenvolvido o sistema especialista se torna mais eficiente.

#### III.4.1 - CARACTERISTICAS UTILIZADAS NA IMPLEMENTAÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

A base de conhecimento do sistema especialista "DEUT" é estruturada em frames. Para controlar a chamada aos sub-frames utilizou-se a função CONSIDERFRAME. Durante uma consulta, um sub-frame pode ser chamado no máximo uma vez, assim a propriedade OCCURRENCES recebe o valor "at-most-once" para todos os sub-frames.

O processo de encadramento para trás é utilizado pois o objetivo do "DEUT" é alcançar uma conclusão para um dado fato, isto é, conhecendo que um programa de teste falhou, o sistema especialista necessita descobrir qual a causa de falha (componente defeituoso)

#### III.4.2 - EXEMPLO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM FRAME

Vai-se considerar a implementação do sub-frame PC3012X.

O primeiro passo é a elaboração de um fluxograma conforme discutido no capítulo II, modelagem do problema. A figura III.3 apresenta o fluxograma do sub-frame PC3012X. Este sub-frame tem como objetivo diagnosticar as falhas detectadas pelo programa de teste PC3012X.

Este frame possui 14 parameters (atributos) e 20 regras, podendo obter 20 conclusões diferentes para o diagnóstico do programa de teste PC3012X.

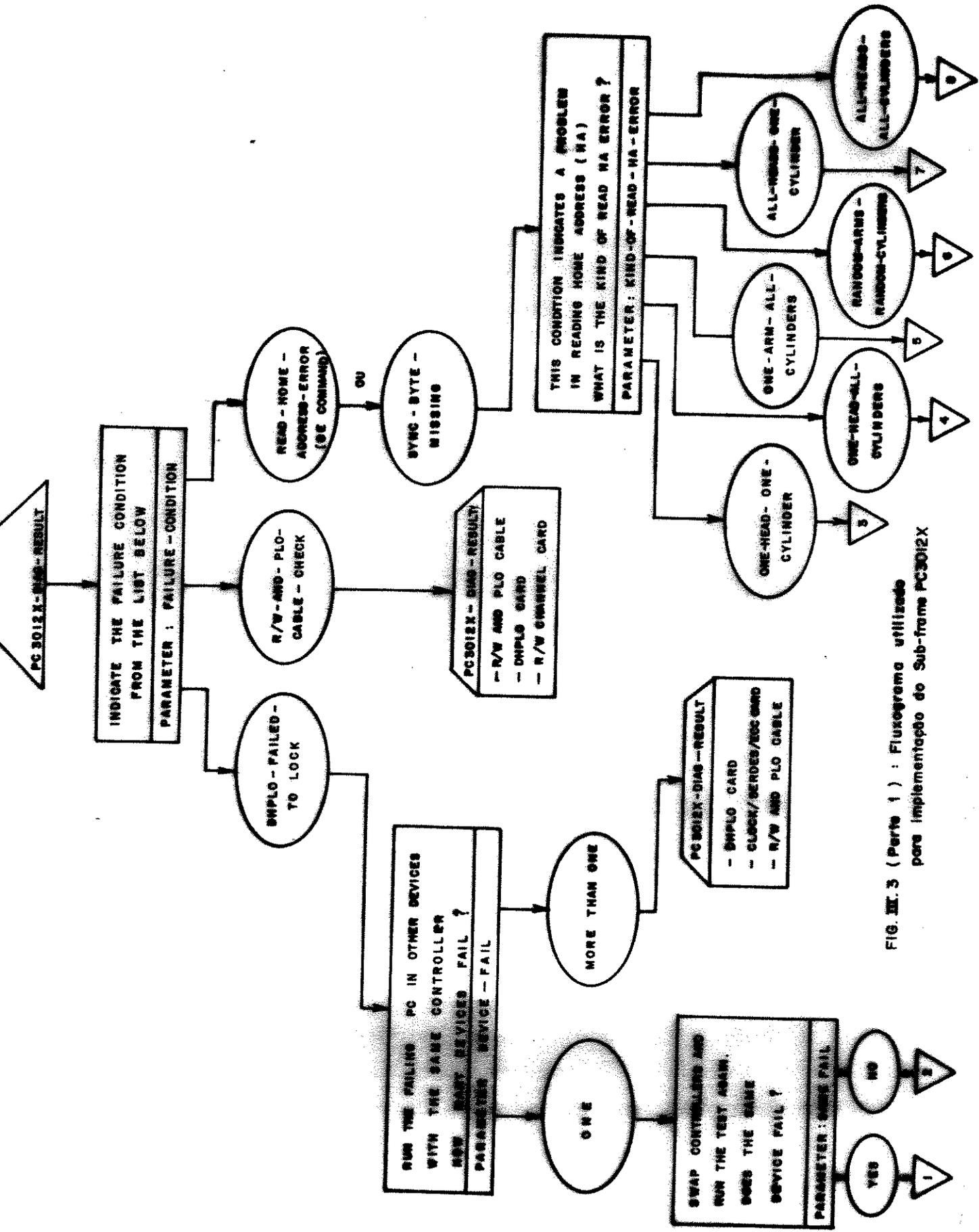


FIG. III.3 (Parte 1) : Fluxograma utilizado para implementação do Sub-frame PC3012X

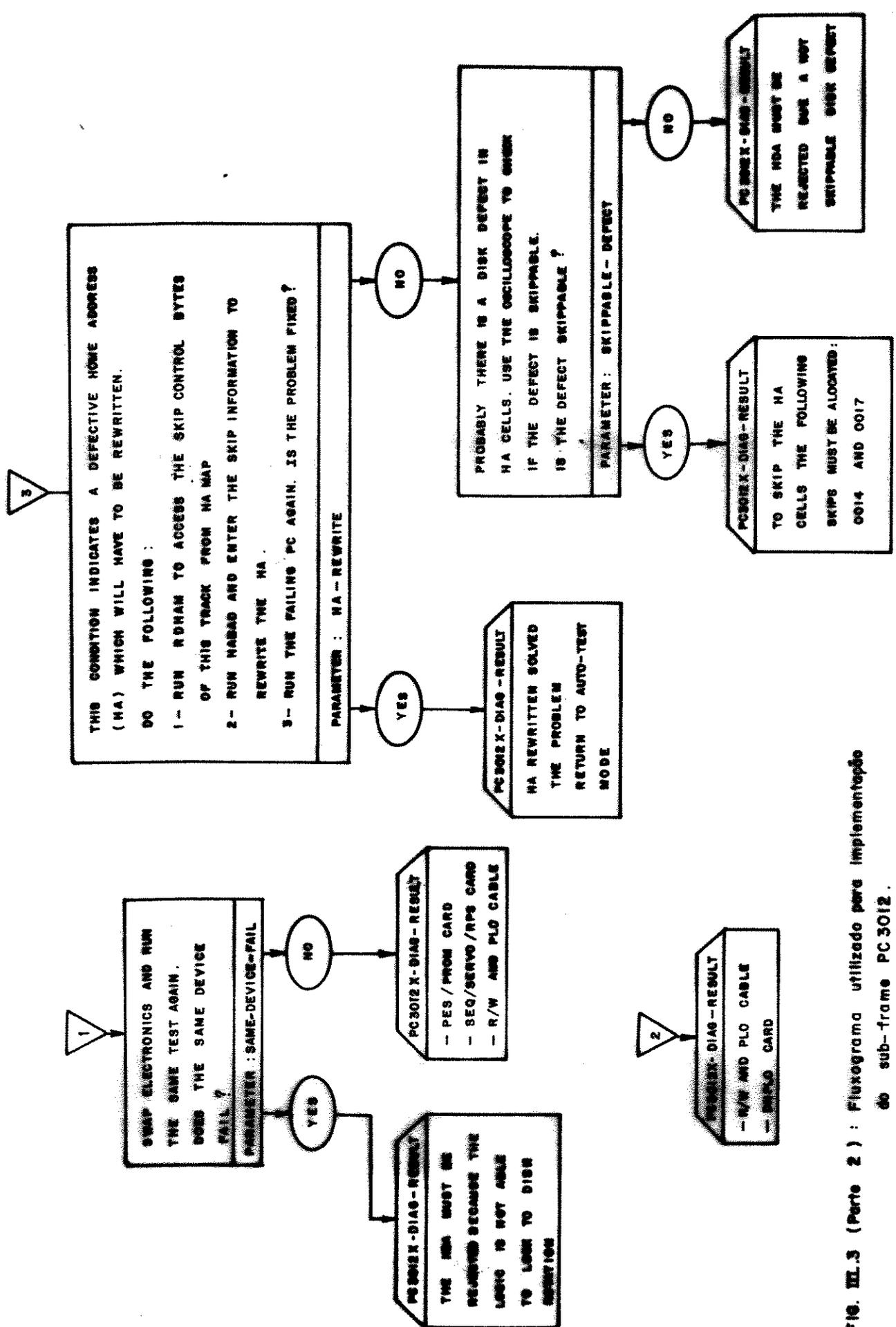


FIG. III.3 (Parte 2) : Fluxograma utilizado para implementação do sub-frame PC3012.

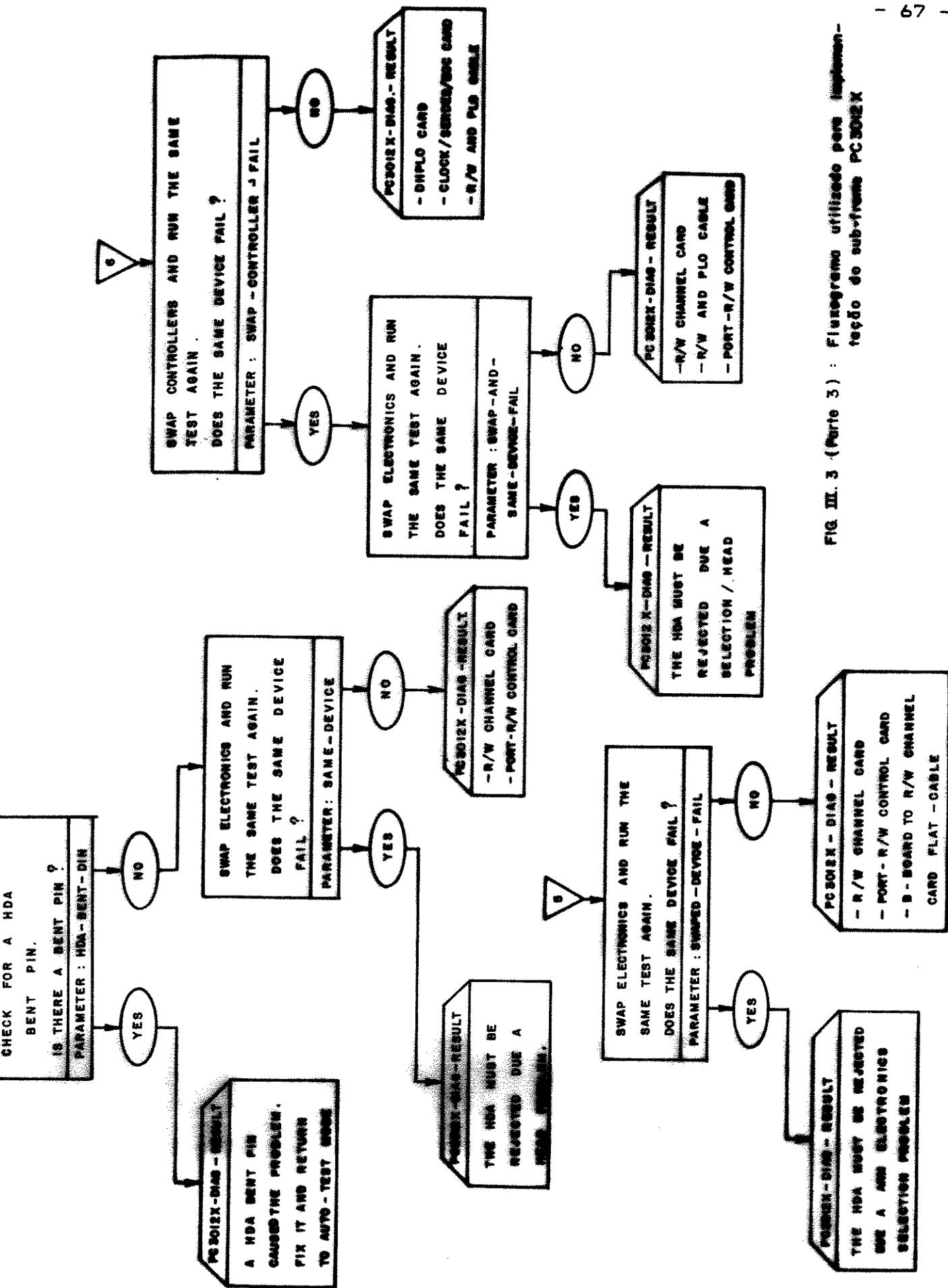


FIG III. 3 (Parte 3) : Fluxograma utilizado para implementar o teste do sub-frame PC3012X

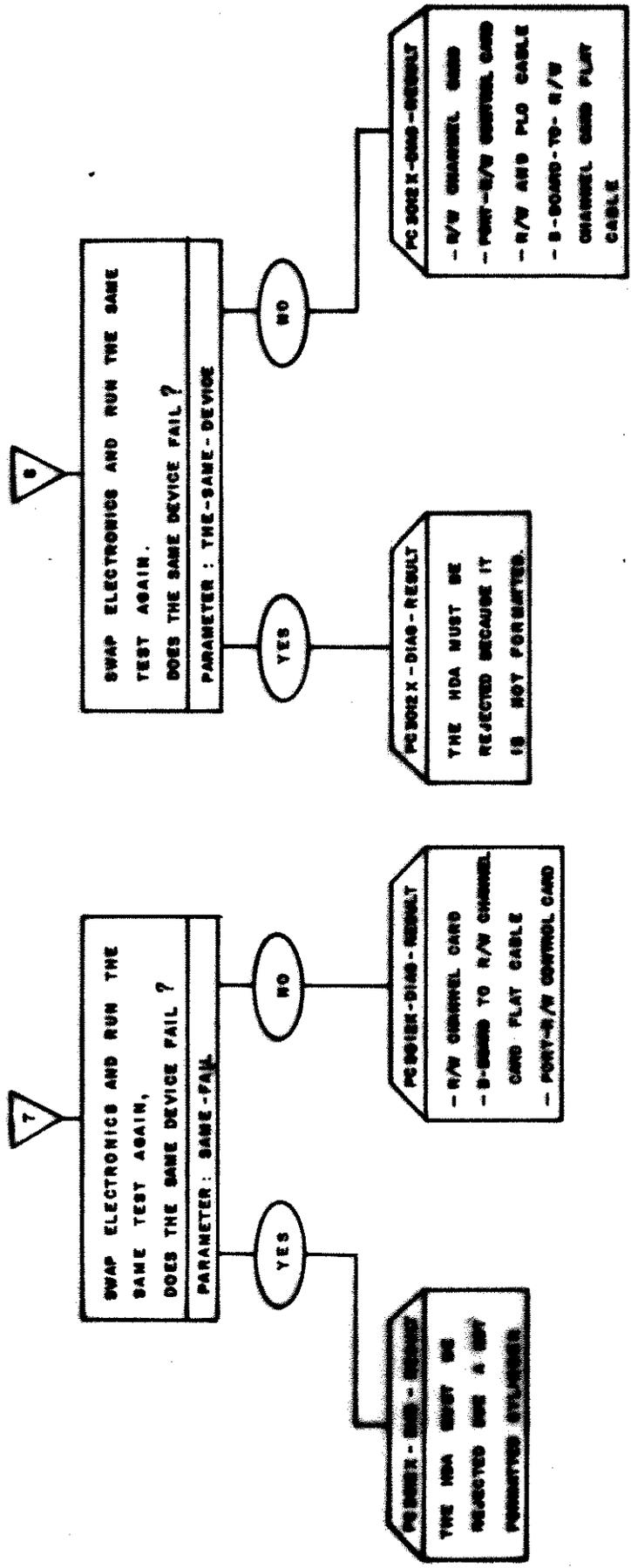


FIG. III.3 (Parte 4) : Fluxograma utilizado para implementação do Sub-Frame PC 3012X

As figuras III.4-A até III.4-M ilustram alguns detalhes desse frame. A figura III.4-A mostra que o frame é constituído por: PROPERTIES (conjunto de propriedades do frame), PC3012X-PARMS (conjunto de parameters do frame) e PC3012X-RULES (conjunto de regras do frame).

As demais figuras III.4-B até III.4-M apresentam detalhes adicionais do frame. A função "HELP" é obtida pressionando-se a tecla "F1". Esta função apresenta informações adicionais sobre o item no qual o cursor estiver posicionado.

### III.4.3 - TESTES DURANTE A FASE DE IMPLEMENTAÇÃO

Uma vez implementada a base de conhecimento deve-se testá-la a fim de verificar se a mesma está funcionando adequadamente.

Durante o seu teste, deve-se estar atento em relação aos seguintes pontos:

- as conclusões alcançadas pelo sistema;
- a interação entre as regras;
- o conteúdo das regras;
- se as perguntas aparecem em uma ordem correta;
- comunicação entre o sistema especialista e o usuário.

Deve-se estar bastante atento quanto à clareza da comunicação do sistema especialista. Deve-se procurar fazer perguntas bem objetivas ao usuário, procurando evitar ambiguidade e fornecendo explicações mais detalhadas sempre que necessário. Para isso pode-se usar a função "HELP".

Deve-se procurar verificar se as mensagens geradas pelo "WHY" para cada pergunta e pelo "HOW" para cada conclusão são claras. Caso não sejam, a tradução do parâmetro deve ser modificada.

Os problemas com a base de conhecimento são geralmente causados por regras incorretas, incompletas ou pela ausência das mesmas. Uma regra incorreta causa problemas com o fluxo da lógica e destrói a validade da lógica.

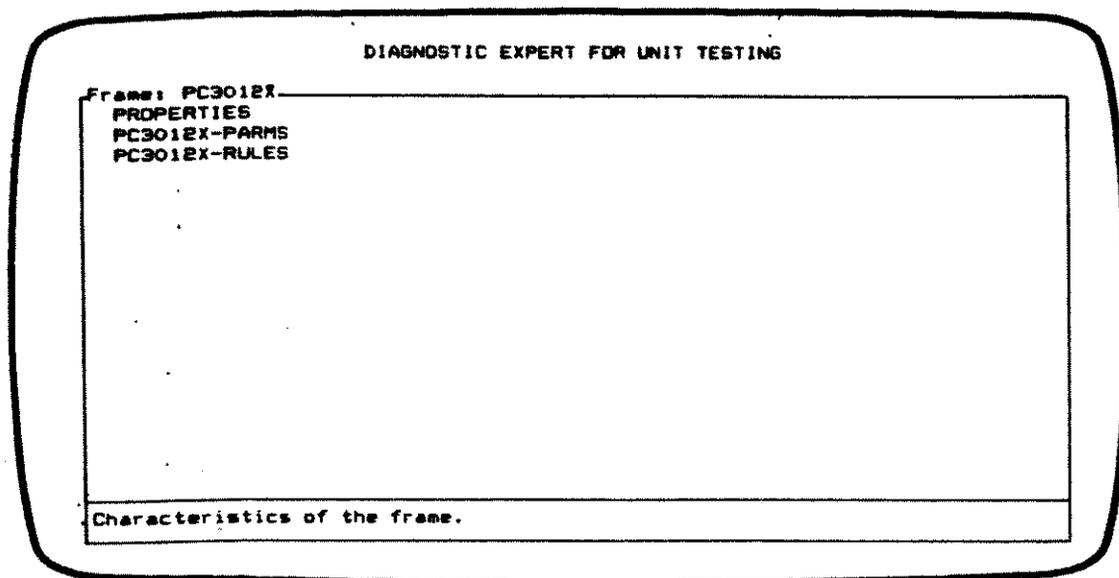


FIG. III.4A

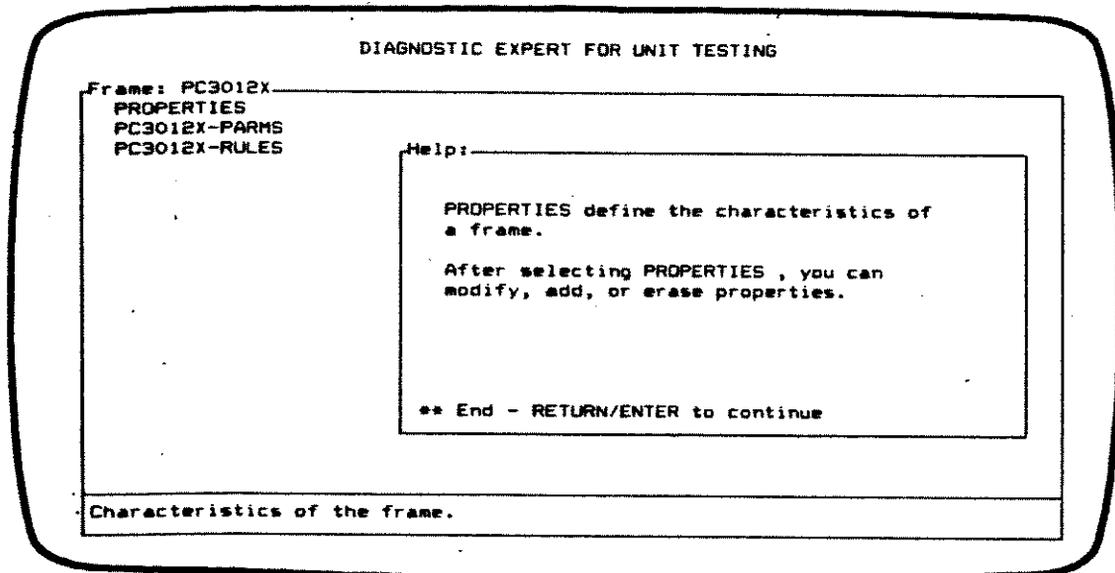


FIG. III.4B

FIG. III.4 - Detalhes da constituição do frame PC3012X

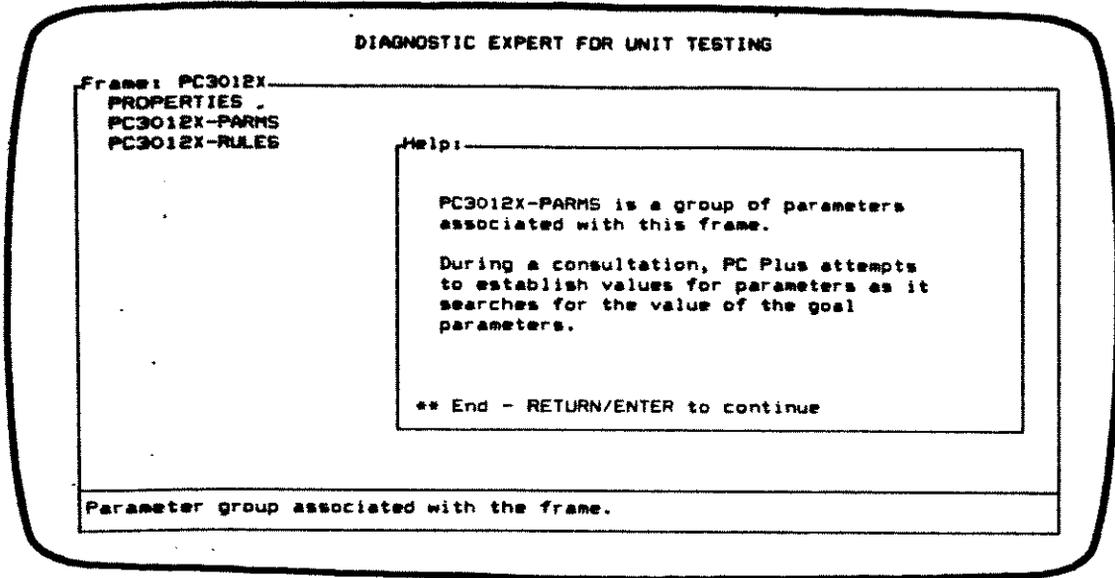


FIG. III.4C

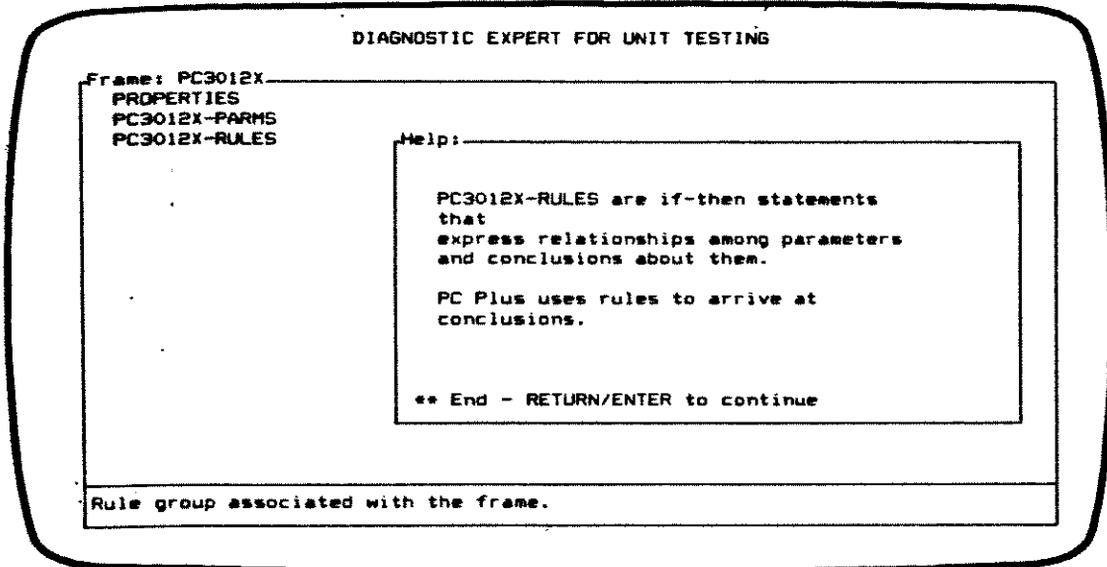


FIG. III.4D

FIG. III.4 - Detalhes da constituição do frame PC3012X

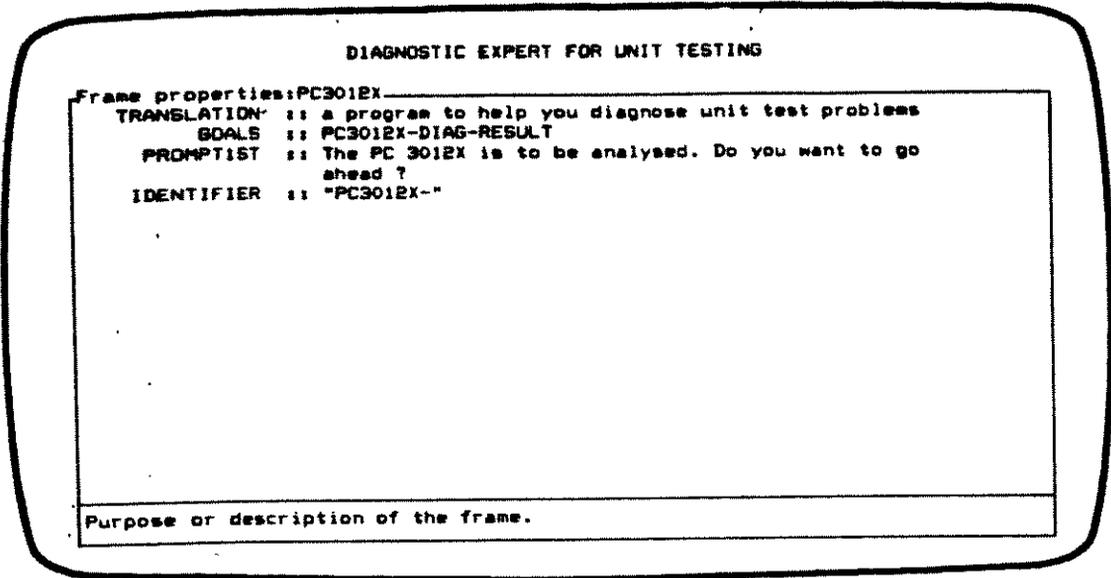


FIG. III.4E

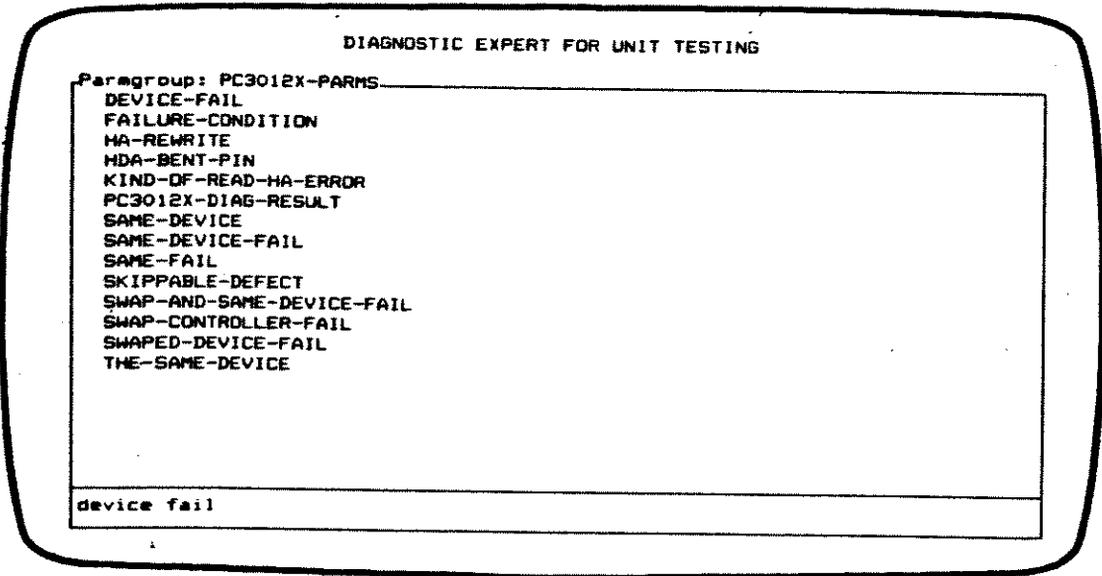


FIG. III.4F

FIG. III.4 - Detalhes da constituição do frame PC3012X

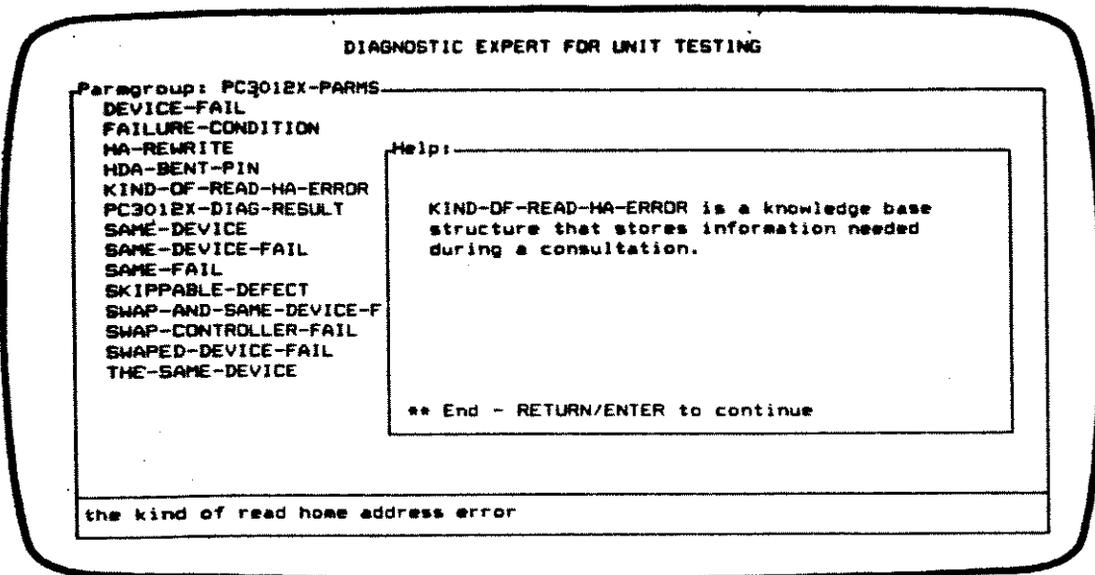


FIG. III.4G

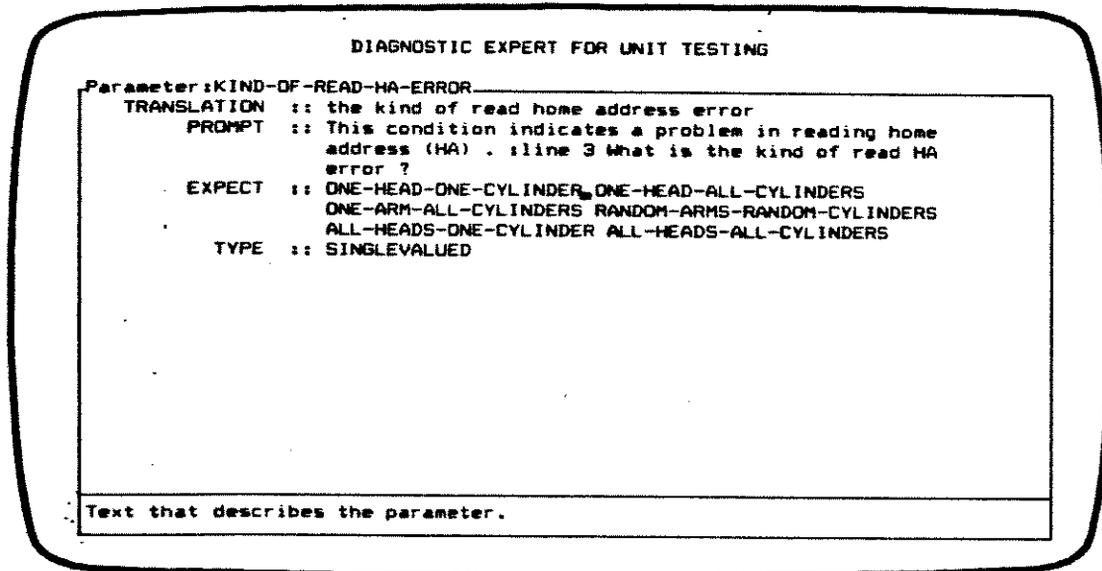


FIG. III.4H

FIG. III.4 - Detalhes da constituição do frame PC3012X

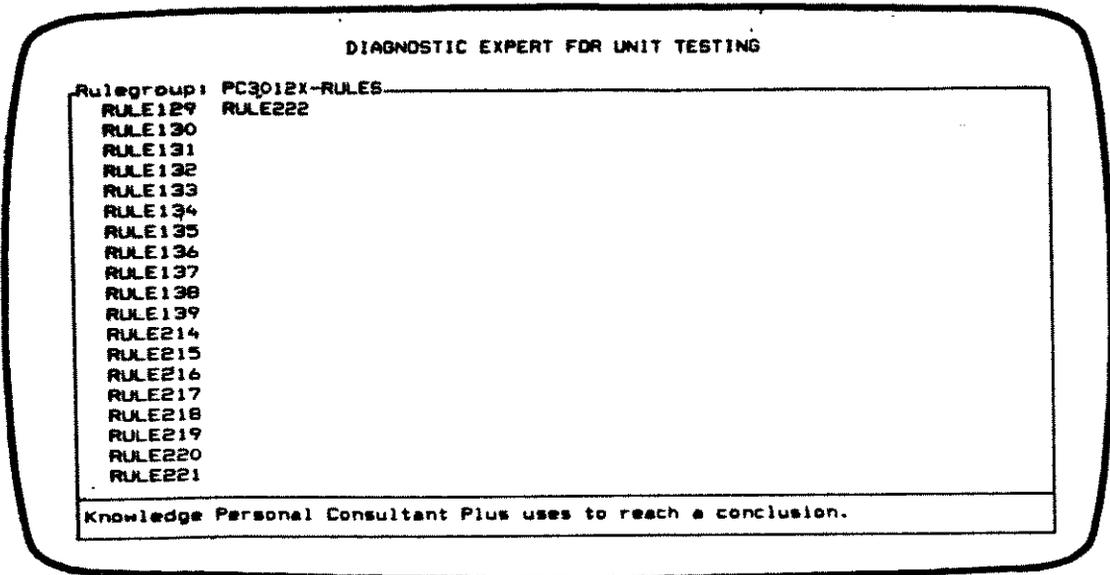


FIG. III.4I

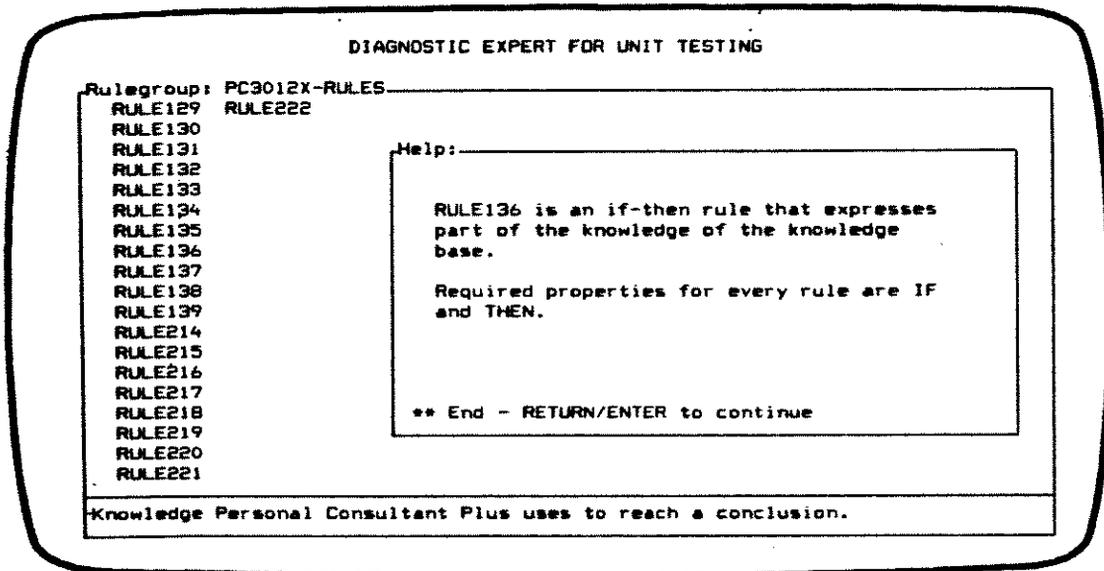


FIG. III.4J

FIG. III.4 - Detalhes da constituição do frame PC3012X

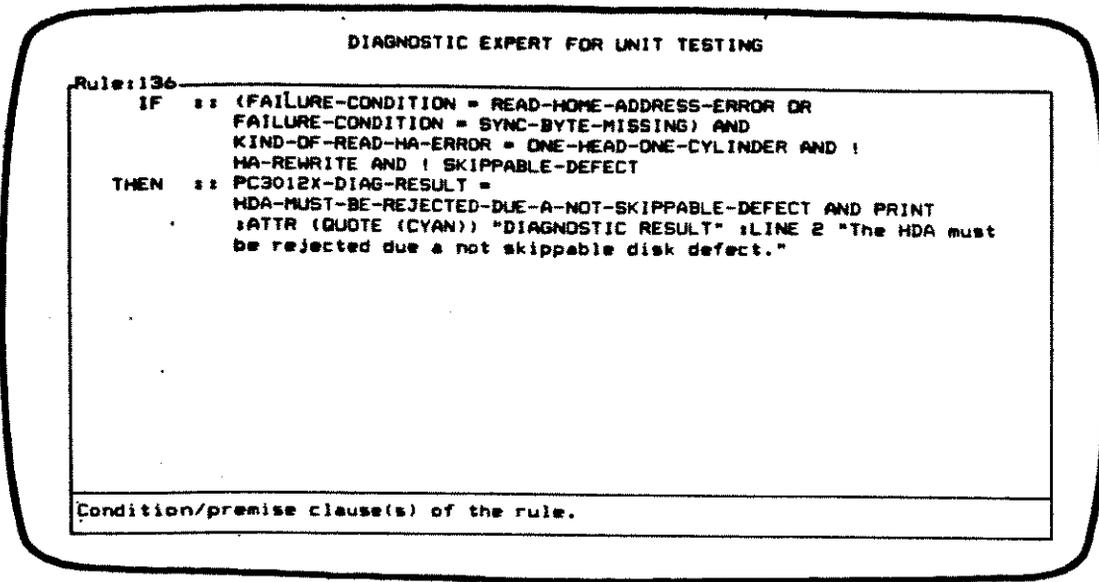


FIG. III.4K

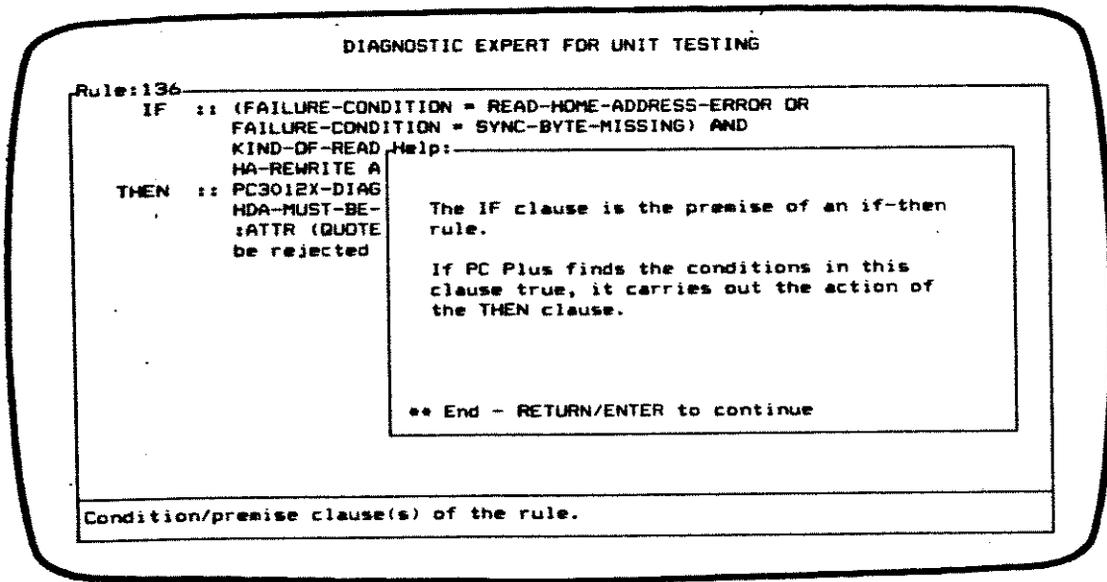


FIG. III.4L

FIG. III.4 - Detalhes da constituição do frame PC3012X

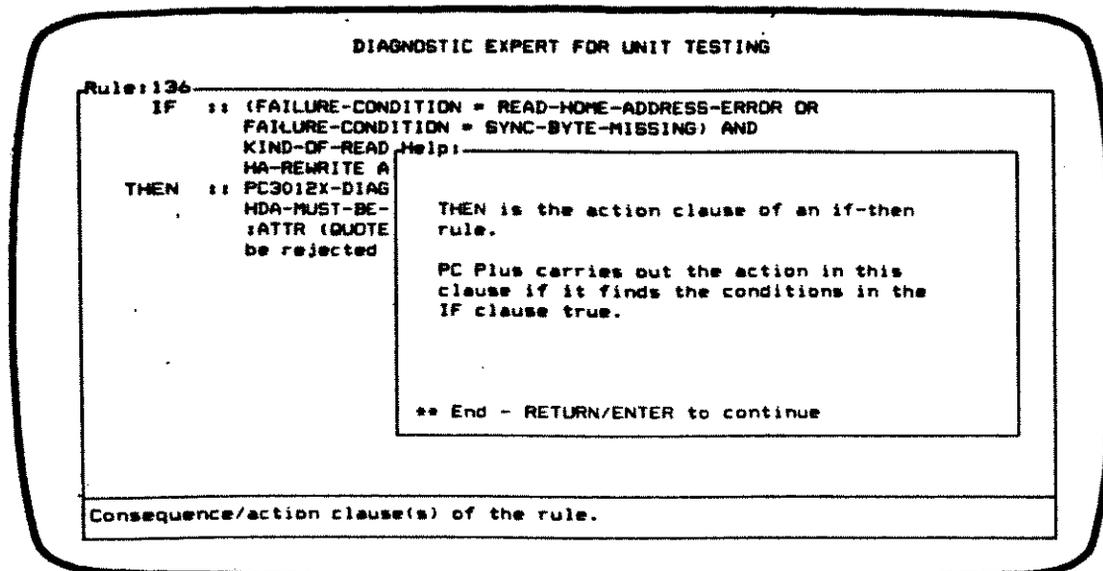


FIG. III.4M

FIG. III.4 - Detalhes da constituição do frame PC3012X

Na execução dos testes do "DEUT", adotou-se adotar uma metodologia de teste por frames, isto é, ao se terminar a implementação de um frame procurou-se testá-lo em seguida. Essa metodologia, juntamente com os recursos de teste oferecidos pelo PC PLUS facilitaram bastante o teste da base de conhecimento.

### III.5 - O SISTEMA ESPECIALISTA "DEUT"

A versão 1.1 o sistema especialista "DEUT" é composto por 10 frames, 222 regras, tendo a capacidade de analisar os problemas conhecidos pelos especialistas no processo de teste das unidades 3380-J/K.

O "DEUT" foi desenvolvido utilizando totalmente a língua inglesa devido aos seguintes fatores:

- a não necessidade de tradução dos termos técnicos;
- a implementação do sistema especialista em outras localidades IBM onde as unidades 3380-J/K são fabricadas (Estados Unidos, Alemanha e Japão) sendo o inglês bastante conhecido.

Quando um problema é detectado, o operador do testador faz uma análise inicial do tipo de problema para verificar se há ou não a necessidade de utilização do sistema especialista (dependendo de sua experiência, se o problema é conhecido ou não) para auxiliar no diagnóstico do problema.

Nos casos em que o operador sabe como diagnosticar o problema, ele não faz uso do sistema especialista. Caso seus recursos tenham esgotados (o problema é mais complexo do que esperado) ele pode recorrer ao sistema especialista. Mesmo para a classe de problemas conhecidos pela maioria dos operadores, o sistema especialista tem condições de auxiliar no diagnóstico. Isto é importante nos casos em que o operador é inexperiente.

Quando, pela análise inicial do tipo de problema, o operador verificar que a consulta ao sistema especialista "DEUT" é necessária, o operador deve imprimir o conteúdo da tela de erro apresentada pelo sistema de teste, e então iniciar o processo de consulta.

Durante a consulta o "DEUT" faz uma série de perguntas e solicita a execução de alguns testes. O operador deverá seguir as instruções, executando os testes indicados e

informando os resultados. Através dessa interação entre o "DEUT" e o operador, o problema é diagnosticado. O operador deve então substituir o componente que falhou e retornar a máquina ao processo de teste.

### III.5.1 - INTERFACE HOMEM-MAQUINA

O "DEUI" apresenta uma interface homem-máquina do tipo "window-oriented". Esse recurso torna bastante fácil a interação com o sistema. Através de uma série de telas com propósito específico o operador vai evoluindo através da consulta.

Na elaboração dessas telas foram considerados os seguintes fatores:

- quantidade de informação apresentada pela tela: procurou-se, sempre que possível, não colocar muita informação numa mesma tela. Isto facilita o processo de consulta, evitando que o operador tenha que ler uma tela que apresente muitas informações.

- homogeneidade das telas: as telas, de uma maneira geral apresentarão o mesmo formato. Por exemplo, nas telas que explicam a finalidade do teste, procurou-se colocar a descrição do teste sempre da mesma cor e na mesma posição relativa. A padronização da forma de apresentar informações facilita bastante o processo de consulta aumentando a integração OPERADOR-"DEUT".

- utilização de perguntas cujas respostas sejam do tipo múltipla escolha: esse fato evita que o operador tenha que digitar as respostas. Ele simplesmente deve escolher a resposta dentre as alternativas encontradas. Assim, consegue-se maior rapidez no processo de consulta e evita-se a entrada de dados que não tenham sentido para o sistema especialista. A maioria das nomenclaturas utilizadas no processo de teste são siglas ou termos técnicos em inglês, tornando a sua digitação relativamente difícil aos operadores.

A figura III.5-A até III.5-M ilustra o exemplo da sequência de telas apresentadas durante um processo de diagnóstico de um problema específico. As sequências de telas apresentadas pode variar em função das respostas dadas pelo operador.

A figura III.5-A apresenta a tela inicial. Essa tela é a primeira tela apresentada quando se inicia uma consulta.

Pode-se notar na parte superior da tela, acima da janela, o nome do sistema especialista: "DEUT". No centro da janela a seguinte frase: "THIS IS ANS EXPERT SYSTEM TO HELP YOU DIAGNOSE 3380-J/K PROBLEMS AT UNIT TEST" explica a finalidade do sistema especialista. No canto inferior esquerdo da janela o comando que deve ser dado para continuar a consulta, no caso, simplesmente "ENTER".

Na figura III.5-B apresenta-se a segunda tela apresentada pelo sistema durante uma consulta. Esta tela tem a finalidade de pedir ao usuário que informe qual a operação na qual o problema foi detectado. A figura III.5-C ilustra a tela apresentada ao usuário ao se utilizar a função "HELP". No caso desse exemplo, suponhamos que seja a operação 3.

A tela seguinte apresentada, no caso desse exemplo esta ilustrada na figura III.5-D. Essa tela apresenta todos os programas de teste que constituem a operação 3. Baseado nas informações fornecidas pelo sistema de teste o operador poderá identificar facilmente qual o programa de teste no qual a falha foi detectada. A figura III.5-E fornece explicação mais detalhada caso o usuário utilize a função "HELP". O programa de teste PC3012X foi escolhido neste exemplo.

Baseado nessa informação fornecida pelo usuário, o sistema especialista apresentará a tela mostrada na figura III.5-F. Essa tela apresenta a descrição do teste realizado pelo programa de teste PC3012X. Essa tela apresenta as seguintes informações: título do teste, descrição do teste, condições que podem causar a falha e informa a disponibilidade de uma análise detalhada.

Quando o usuário teclar "ENTER" a tela mostrada na figura III.5-G é apresentada. Essa tela tem a finalidade de permitir ao usuário decidir se ele deseja ir em frente para uma análise detalhada do problema. No caso do exemplo digamos que o usuário respondeu YES.

O sistema especialista então apresenta a tela da figura III.5-H. Aqui é perguntado ao usuário qual o tipo de problema foi detectado. O usuário pode obter essa informação da tela de erro apresentada pelo OLYMPUS. No caso do exemplo, digamos que o usuário escolha a opção "READ-HOME-ADDRESS-ERROR".

Então, a tela da figura III.5-I é apresentada. Essa tela apresenta todos os tipos de erros de leitura de HOME ADDRESS possíveis. Digamos que seja escolhida a opção "ONE-HEAD-ONE-CYLINDER".

Na figura III.5-J o sistema especialista apresenta ao usuário a causa provável do problema e o que deve ser

executado para reparar o problema. Neste exemplo, o sistema especialista gera a hipótese de que existe um HOME ADDRESS defeituoso que deve ser reescrito. Para confirmar essa hipótes, o sistema solicita ao usuário que execute os programas de diagnóstico indicados nesta figura e então execute novamente o programa de teste que havia falhado. Baseado na resposta do teste, o usuário deve responder à pergunta feita pelo sistema especialista. Digamos que no caso do exemplo escolhido, o problema não tenha sido resolvido com a execução dos programas de teste indicados pelo sistema.

Nesse caso a tela mostrada na figura III.5-K é apresentada. O "DEUT" gera uma nova hipótese: existência de um defeito na trilha justamente onde o HOME ADDRESS foi escrito. O sistema solicita que o usuário verifique se pode ser alocado um "SKIP". Se for possível alocar o "SKIP", o sistema apresenta o resultado do diagnóstico na figura III.5-L.

Se o usuário desejar saber como o sistema especialista chegou a essa conclusão, ele poderá usar a opção "HOW" e o "DEUT" explicará todo o raciocínio utilizado para chegar à conclusão. Isto é apresentado na figura III.5-M.

Através do exemplo apresentado, pode-se notar como o sistema especialista interage com o usuário. Esse tipo de interface-homem máquina facilita bastante essa interação e torna o processo de consulta rápido e eficiente.

### III.6 - CONCLUSÕES

Neste capítulo inicialmente apresentou-se inicialmente o ambiente de desenvolvimento PC PLUS. Em seguida discutiu-se a implementação da base de conhecimento do sistema especialista proposto.

Foi apresentado o desenvolvimento de um dos frames que compõe a base de conhecimento. Foram discutidos os testes que devem ser realizados durante a fase de desenvolvimento do sistema especialista.

Finalizando discutiu-se a interface homem-máquina do sistema especialista "DEUT". Considerações foram feitas visando torná-la adequada a aplicação proposta.

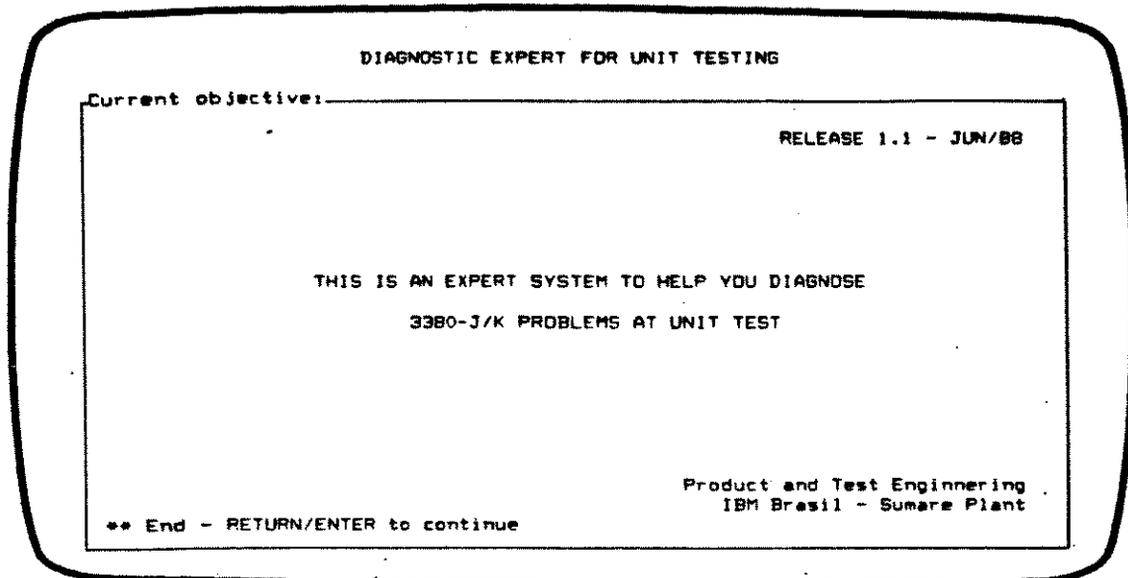


FIG. III.5A

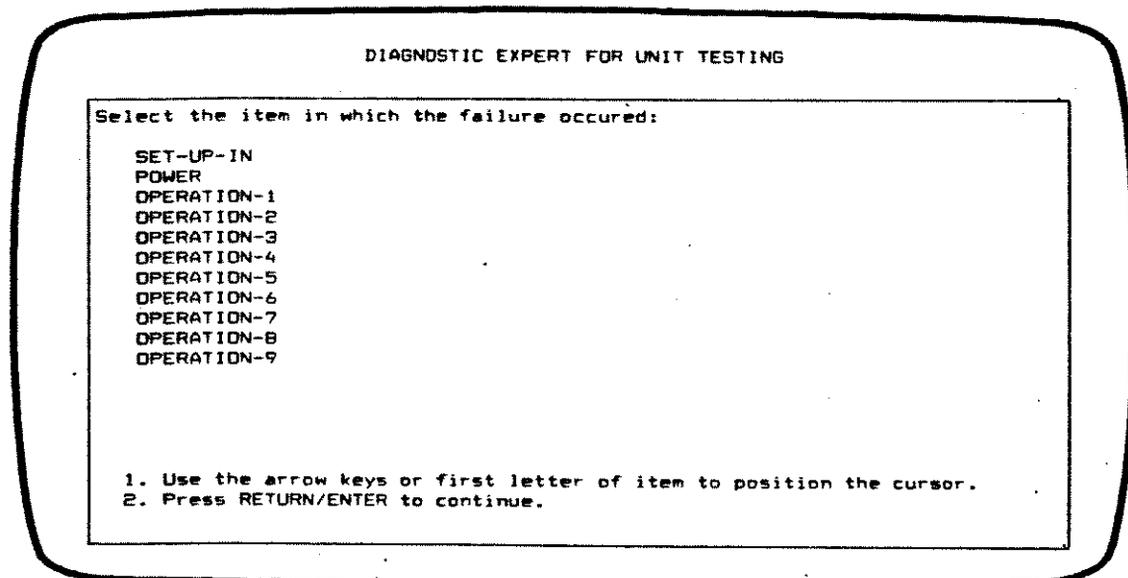


FIG. III.5B

FIG. III.5 - Exemplo de uma consulta no "DEUT"

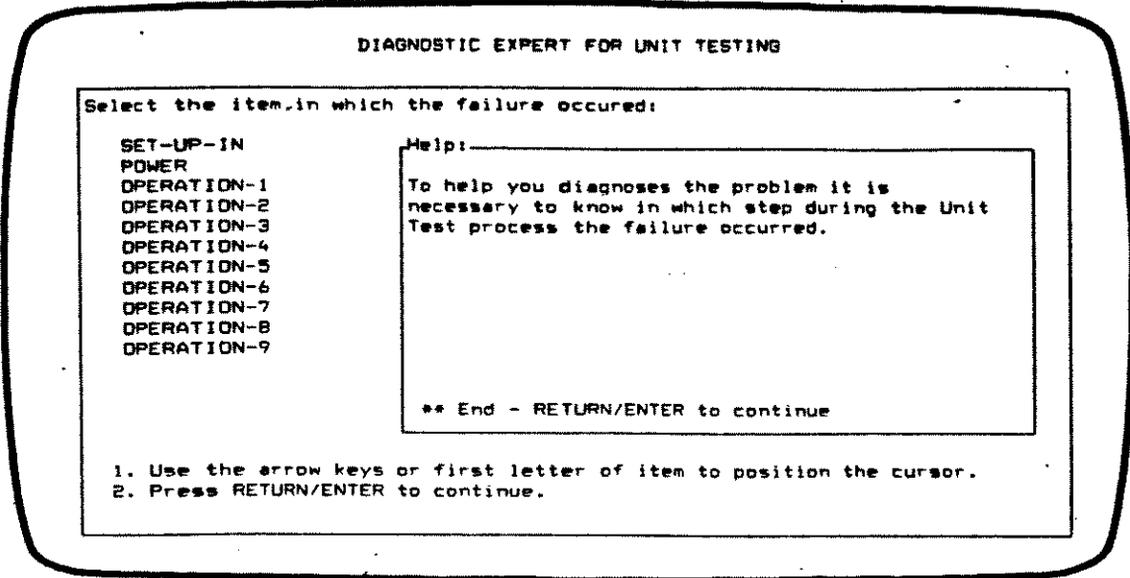


FIG. III.5C

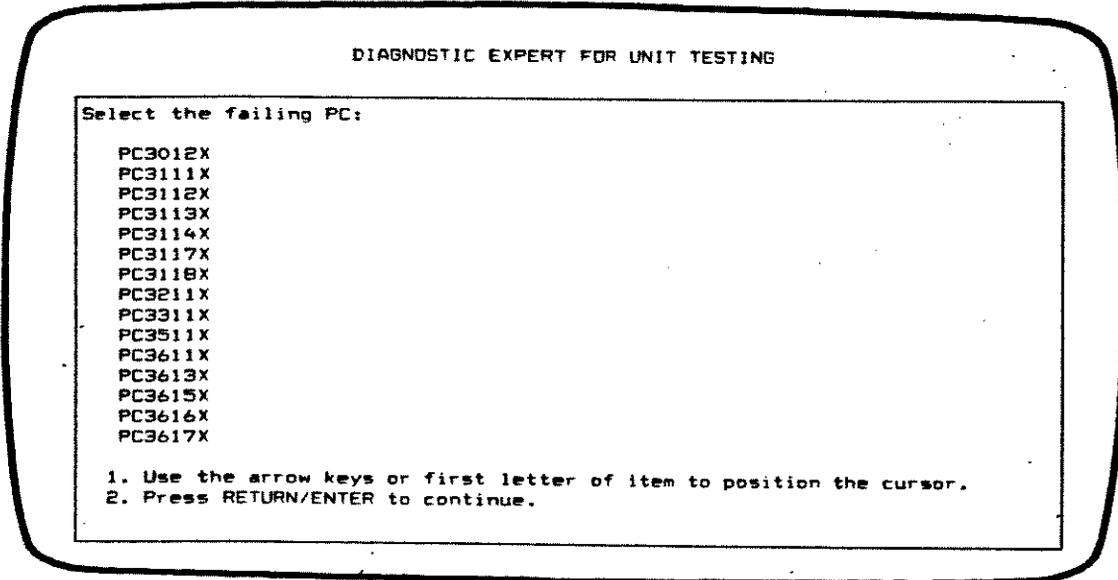


FIG. III.5D

FIG. III.5 - Exemplo de uma consulta no "DEUT"

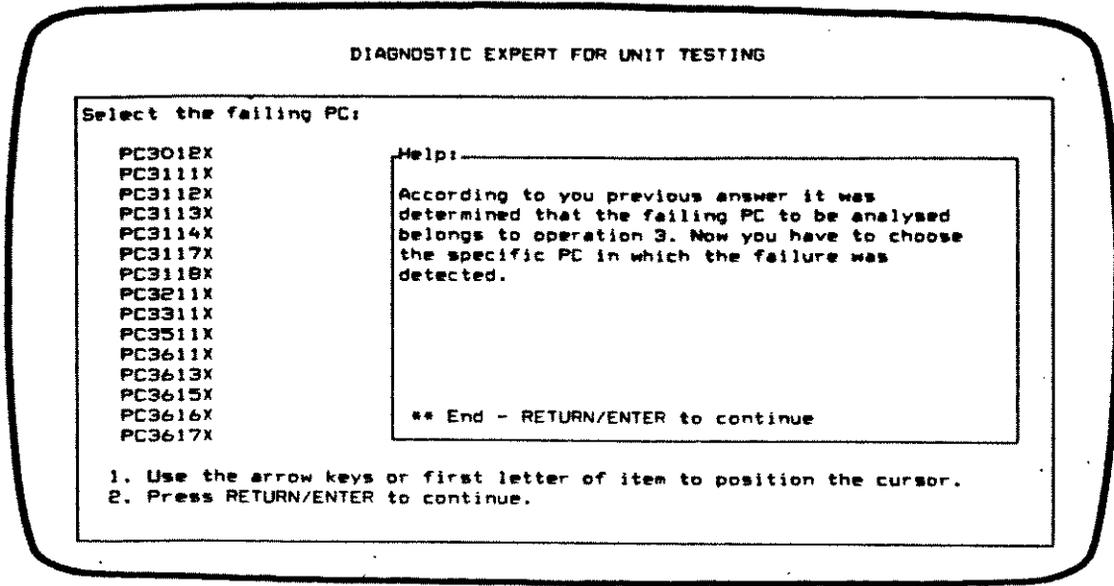


FIG. III.5E

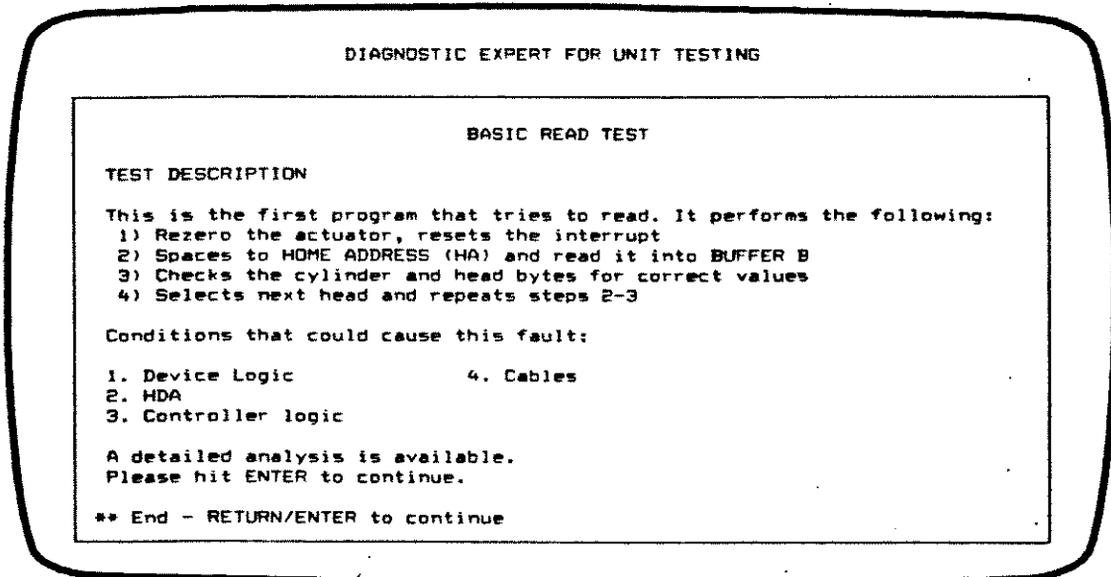


FIG. III.5F

FIG. III.5 - Exemplo de uma consulta no "DEUT"

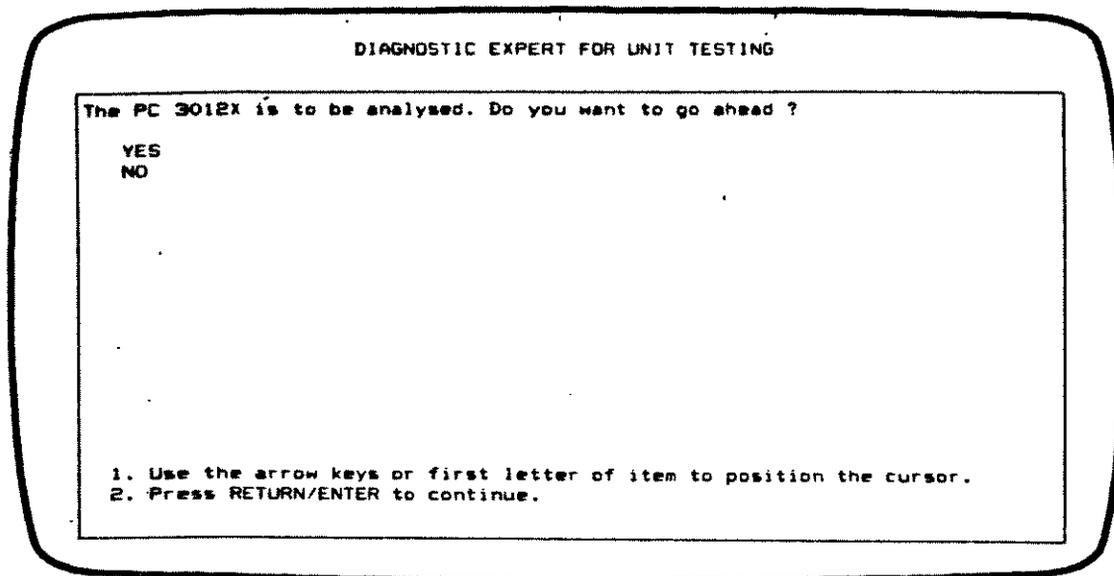


FIG. III.5G

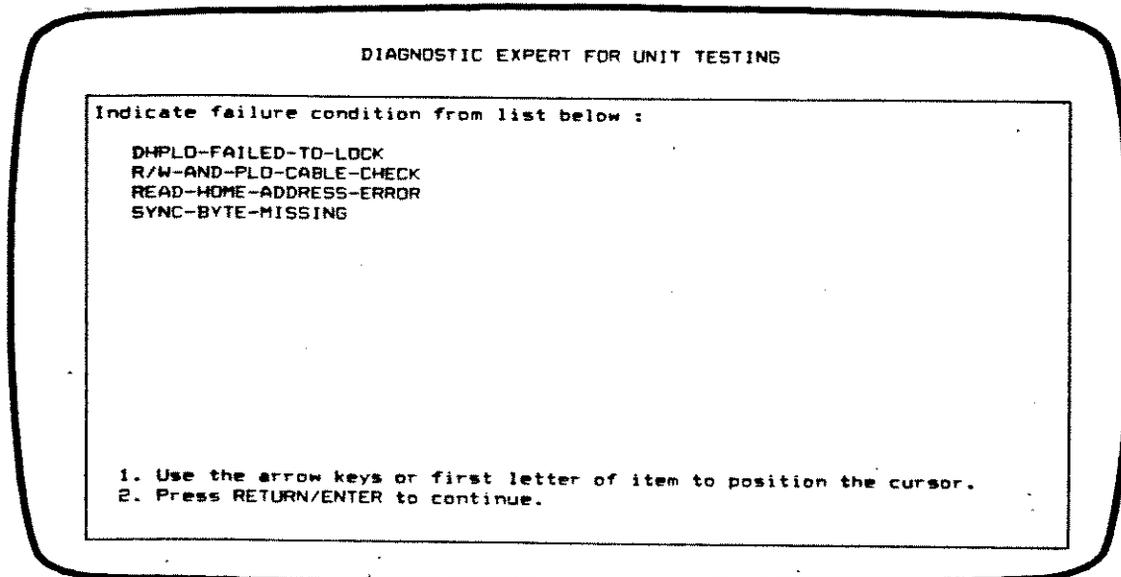


FIG. III.5H

FIG. III.5 - Exemplo de uma consulta no "DEUT"

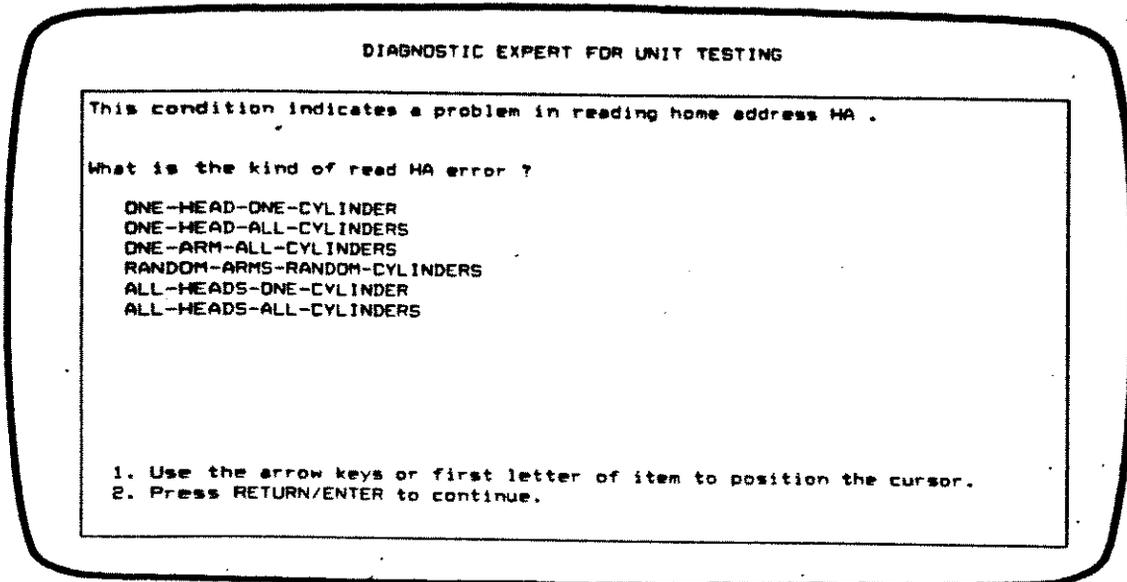


FIG. III.5I

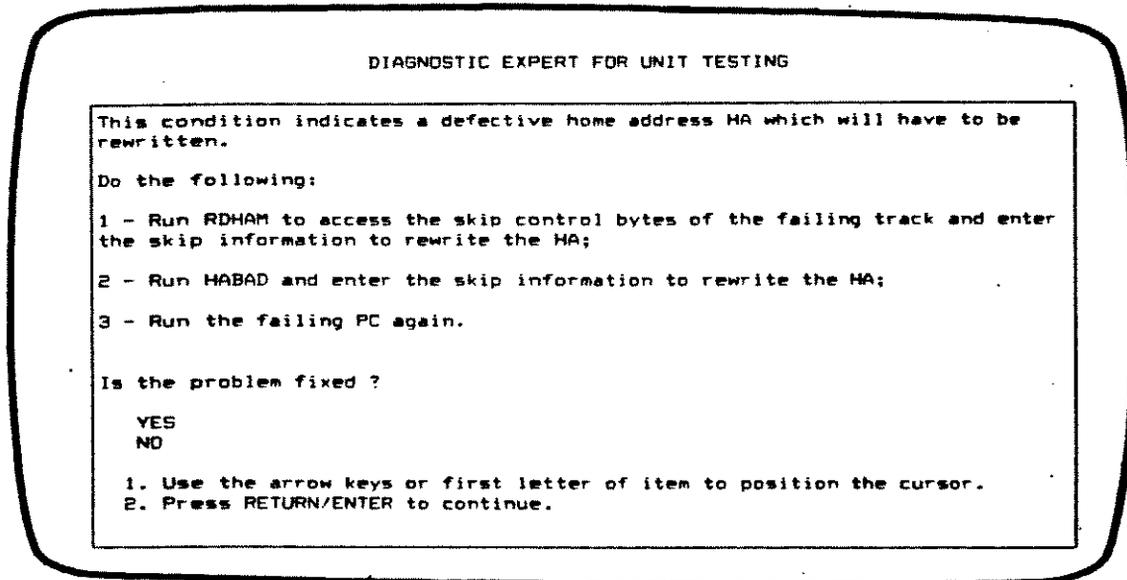


FIG. III.5J

FIG. III.5 - Exemplo de uma consulta no "DEUT"

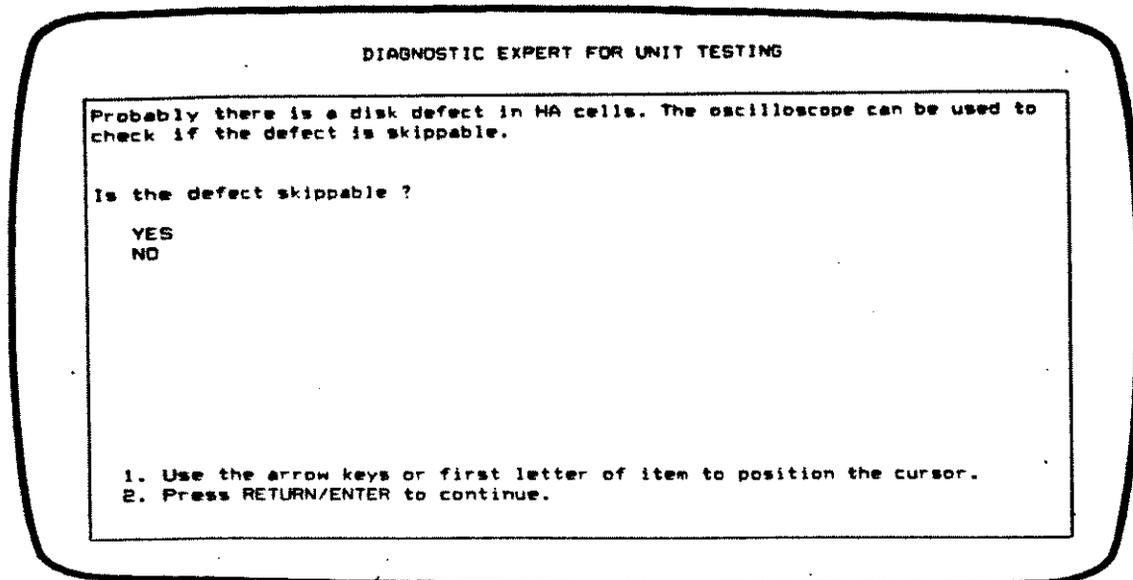


FIG. III.5K

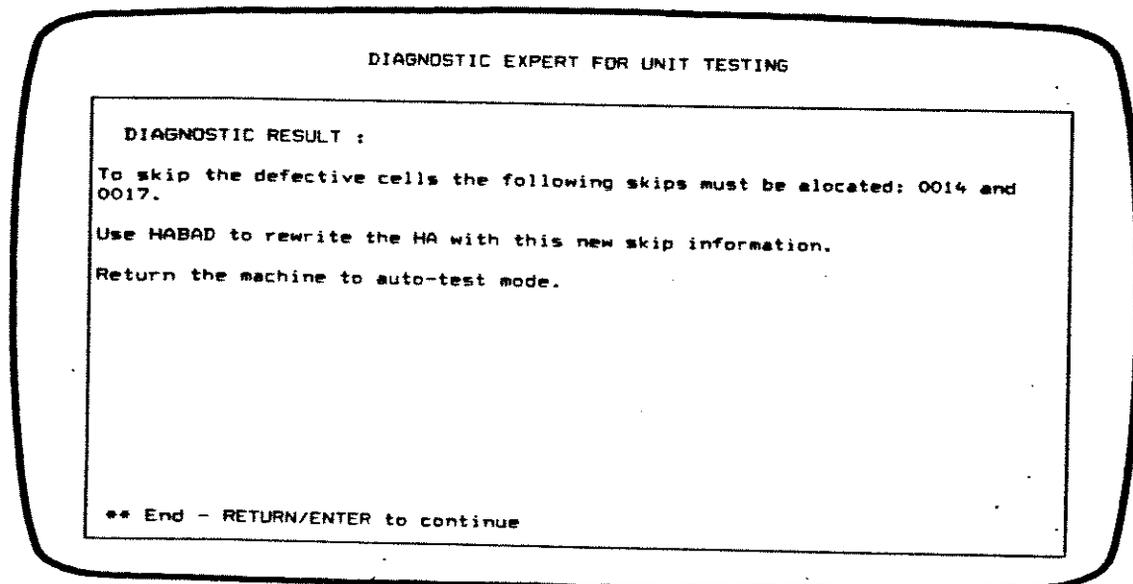


FIG. III.5L

FIG. III.5 - Exemplo de uma consulta no "DEUT"

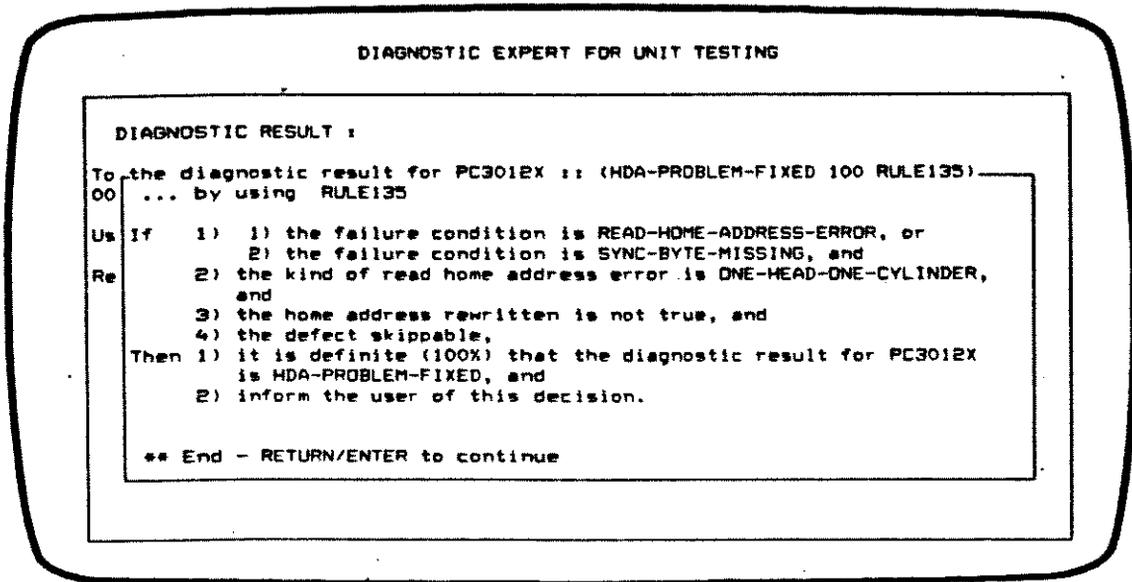


FIG. III.5M

FIG. III.5 - Exemplo de uma consulta no "DEUT"

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

#### IV.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar os resultados obtidos com a implementação do sistema especialista "DEUT".

Inicialmente, discute-se alguns dos aspectos práticos que devem ser considerados durante a fase de liberação do sistema para seus usuários. Isto é importante para se conseguir um bom grau de utilização e de realimentação de informações visando o aprimoramento do sistema.

Considerações são feitas em relação à influência de sistemas especialistas em processos produtivos.

Em seguida são apresentados os resultados da avaliação de desempenho do "DEUT", obtida durante a produção de 582 máquinas.

Por fim, são apresentados os resultados obtidos com a implementação do "DEUT".

#### IV.2 - PREPARAÇÃO DOS USUARIOS

Um aspecto fundamental a ser considerado durante o desenvolvimento de um sistema especialista é a preparação dos usuários.

Durante essa fase, procura-se mostrar aos futuros usuários como um sistema especialista pode auxiliá-los. Esse cuidado visa também facilitar a introdução de um nova ferramenta a um processo já existente. Este é o caso do processo de teste das unidades de disco, pois existe uma tendência natural das pessoas de se opor a modificações.

Outro aspecto que deve ser considerado na preparação dos usuários é mostrar que o sistema especialista não só vai ajudar na resolução de um problema, mas também que o sistema pode auxiliar na aprendizagem do processo, pois o mesmo pode explicar o porquê de uma pergunta e como chegou em uma conclusão, quantas vezes quanto forem necessárias, até que o usuário compreenda o processo utilizado para resolver o problema. Esse fato é importante, pois isso não acontece com um especialista humano. Embora o especialista humano possa ter mais recursos em explicar alguma coisa, dificilmente ele chega a repetir a explicação para uma mesma pessoa mais que tres vezes. Isso é devido a dois fatores: paciência limitada do especialista humano e embaraço da pessoa que esta perguntando em dizer que não entendeu, depois de várias tentativas de explicação.

### IV.3 - FASE DE LIBERAÇÃO PARA OS USUÁRIOS

Na fase de liberação do sistema especialista "DEUT" são tomados alguns cuidados fundamentais para uma boa integração do sistema com os seus usuários.

O sistema deve ser apresentado a cada um dos usuários individualmente, e na medida do possível, procura-se fazer essa apresentação no momento em que o usuário está com um problema a ser resolvido. Com isso, a potencialidade do sistema fica evidenciada, mostrando ao usuário que o "DEUT" é confiável e pode ajudá-lo. É bastante importante que o usuário tenha uma boa impressão inicial à sobre o "DEUT".

Procura-se também familiarizar o usuário com o "DEUT", mostrando que os termos utilizados pelo "DEUT" são exatamente os termos utilizados normalmente pelo usuário. Deve-se mostrar a capacidade do "DEUT" em explicar como uma dada conclusão foi alcançada, evidenciando o fato de que esse recurso permite ao usuário aprender com o sistema.

#### IV.3.1. - REALIMENTAÇÃO DE INFORMAÇÕES PELOS USUÁRIOS

Visando um contínuo aperfeiçoamento do sistema especialista "DEUT", um método adequado de realimentação de informações deve ser especificado.

Toda vez que o "DEUT" não conseguir resolver um problema, por vários motivos, tais como o surgimento de uma situação nova, ou deficiência da base de conhecimento, essa nova informação deve ser incorporada na base de conhecimento do sistema.

Um outro aspecto interessante sobre processos de teste e diagnóstico é que a medida que o tempo passa, os indivíduos que trabalham nesse processo vão ganhando experiência e vão aumentando a rapidez com que realizam o diagnóstico de um problema. Essa experiência adquirida ao longo do tempo é importante pois apresenta características diferentes em relação ao conhecimento do especialista, principalmente no aspecto de ser um conhecimento prático do processo, adquirido no dia a dia. O conhecimento do especialista no processo é predominantemente teórico, conseguido, em geral, pelo estudo do processo. A alimentação da base de conhecimento com essa experiência adquirida pelas pessoas que trabalham no processo é importante.

No caso do sistema "DEUT" o método adotado para a realimentação de informações ao sistema é discutido a seguir.

Informações adicionais a serem introduzidas na base de conhecimento podem ser registradas em um formulário, que descreve as características do problema e o resultado do diagnóstico. Para tal, a cooperação dos usuários do sistema é fundamental.

Visando uma boa integração entre o "DEUT" e os usuários, procurou-se treinar alguns usuários para que os mesmos sejam responsáveis pela atualização da base de conhecimento do sistema. Toda vez que um usuário detecta uma nova condição ou descobre uma situação peculiar que pode ser útil aos outros usuários ou a ele mesmo no futuro, ele deve preencher um formulário para que essa nova informação seja incorporada ao sistema.

Com a utilização desse método, o sistema especialista conterà ao longo do tempo, não só a experiência do especialista, mas também a soma de experiência de todos os operadores envolvidos no processo.

Outro aspecto importante do sistema especialista é quanto à introdução de um novo usuário. Esse novo usuário terá a sua disposição, através do "DEUT" todo o conhecimento acumulado até o momento pelos especialistas e por todos os outros usuários mais experientes. Esse fato fará com que o tempo de aprendizagem do processo desse novo usuário seja minimizado, aumentando-se consequentemente a sua produtividade.

Cabe ainda salientar o aspecto de novas oportunidades para os usuários mais experientes. Em geral, quando um indivíduo alcança um grau adequado de conhecimento de um processo, sua produtividade alcança ótimos índices. A substituição desse indivíduo por outro que não tenha esse grau de conhecimento do processo é, em geral, evitada. Com isso, o indivíduo experiente fica dependente do processo e impossibilitado de realizar novas funções que possibilitariam um maior desenvolvimento profissional para o mesmo. A utilização de um sistema especialista também influencia consideravelmente neste fato, pois toda a experiência adquirida pelos especialistas e indivíduos mais experientes estarão contidos no sistema especialista, fazendo assim o processo menos dependente da experiência dos indivíduos.

#### IV.4 - INFLUENCIA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS EM PROCESSOS PRODUTIVOS

Durante o processo de aprendizagem de um processo produtivo ocorre um fenômeno que pode ser descrito da seguinte maneira: à medida que o número de unidades produzidas aumenta, o tempo médio de produção por unidade diminui tendendo para um valor limite.

O aprendizado de um processo produtivo pode ser separado em dois aspectos principais:

i) aquele que ocorre enquanto uma pessoa está fazendo uma tarefa repetitiva e

ii) aquele que ocorre à medida que a pessoa adquire conhecimento do processo.

Para processos puramente repetitivos, o primeiro fator é predominante. Como exemplo desse tipo de processo, pode-se citar: linhas de montagem em série.

Para processos menos repetitivos, onde se exige um conhecimento mais intelectual do que mecânico, o segundo fator é predominante. Como exemplo podem ser citados: processos de teste e diagnóstico de máquinas e circuitos eletrônicos.

Vários estudos sobre como uma população organizada aprende o processo de produção tem sido publicados. Os fatores responsáveis pela redução nos tempos de fabricação dos produtos na indústria variam de situação a situação. Como fatores principais podem ser considerados (14):

- melhorias organizacionais;
- melhorias nas dimensões das peças a serem montadas;
- melhorias nos métodos de trabalho;
- melhorias no método de produção (novas máquinas, e melhores recursos produtivos em geral);
- aumento no grau de conhecimento dos operários (aprendizado humano).

A redução do tempo necessário de aprendizagem de processos puramente repetitivos se dá de maneira bastante rápida, principalmente quando se tem um grupo de indivíduos com experiência prévia em produtos similares.

Já para processos que envolvem esforço mais intelectual do que físico, é necessário um tempo maior, pois envolve um processo de aprendizagem mais complexo que o primeiro.

Assim, para processos onde o esforço intelectual é preponderável o tempo de aprendizagem é maior. É interessante prover mecanismos que diminuam a influência do tempo de aprendizagem no processo. Isto acarretará uma maior produtividade e conseqüentemente redução do custo final do produto.

Sistemas especialistas podem atuar de maneira bastante significativa na redução da influência do tempo de aprendizagem, devido às seguintes razões:

- disponibilidade de conhecimento especializado: a falta de conhecimento do processo pelos indivíduos é minimizada pois, com a utilização de um sistema especialista, tem-se à disposição um "especialista" para auxiliá-los em qualquer instante;

- melhoria no processo de aprendizado: sempre que o sistema especialista for utilizado para auxiliar no diagnóstico de um problema, o usuário aprende o raciocínio utilizado para diagnosticar o problema. Com a utilização frequente do "DEUT" o usuário se torne apto a fazer o mesmo raciocínio;

- melhoria organizacional: o processo produtivo melhora, pois a porcentagem perdida do conhecimento e experiência acumulados pelos especialistas é praticamente eliminada, dependendo apenas da atualização da base de conhecimento. Este fato auxilia a minimizar a parcela do tempo de fabricação dispendida em diagnóstico.

O processo de teste e diagnóstico das unidades de disco apresenta tanto tarefas repetitivas quanto tarefas que necessitam de conhecimento e experiência.

Baseado no conhecimento das atividades repetitivas necessárias e no perfil da população de operadores, que tem boa experiência em atividades repetitivas semelhantes, pode-se dizer que o entendimento no processo de diagnóstico tem papel predominante no comportamento do processo.

Assim, a implementação de um sistema especialista para auxílio no processo de diagnóstico influencia diretamente o comportamento do processo, minimizando da parcela do tempo de teste dedicado a aprendizagem do processo.

#### IV.5 - AVALIAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA "DEUT"

O desempenho do sistema especialista "DEUT" foi avaliado na diagnóstico dos problemas detectados pelo processo de teste durante o período de início de junho a primeira semana de setembro de 1988. Nesta análise foi considerada a versão 1.1 do "DEUT".

A tabela III apresenta os resultados de desempenho do "DEUT" e a tabela IV apresenta a classificação dos tipos de problemas detectados durante o diagnóstico das unidades de disco.

Analisando os dados obtidos, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- existe uma categoria de problema que não necessita do sistema especialista para ser solucionada. Esses problemas geralmente podem ser detectados visualmente. Representam 5,5% dos problemas encontrados.

- 9,2% dos problemas consultados não foram solucionados pelo "DEUT". Esses problemas apresentam as seguintes características:

Total de Máquinas Observadas	582
Total de Problemas Detetados	401
Total de Consultas ao "DEUT"	379
Total de Consultas com Diagnóstico Correto	344
Porcentagem de Máquinas com Problemas	68,9 %
Porcentagem de Defeitos com Necessidade de Consulta	94,5 %
Porcentagem de Diagnósticos Corretos	90,8 %

TABELA III: Resultados da avaliação do desempenho do sistema especialista "DEUT"

Porcentagem de Problemas de Lógica do Controller ou do Device	49,4 %
Porcentagem de Problemas com HDAS	29,4 %
Porcentagem de Problemas com Cabos	8,5 %
Porcentagem de Problemas com Fontes de Alimentação	6,7 %
Porcentagem de Problemas Diversos	6,0 %

TABELA IV: Classificação dos problemas detectados nas máquinas observadas durante a avaliação do desempenho do "DEUT"

i) problemas de conexões e pinos amassados;

ii) problemas de montagem da máquina, como: cabos invertidos, cartões invertidos, mal contatos, etc;

iii) problemas detectados durante o "set-up-in" da máquina, quando a mesma é conectada ao sistema de teste e entra na sequência de "power-on". Nesta etapa do processo de teste, inúmeras são as situações que podem causar problemas. Esta é uma das áreas da base de conhecimento que necessitam de um contínuo aperfeiçoamento à medida que experiência for sendo adquirida;

iv) problemas não conhecidos anteriormente e que serão incorporados à base de conhecimento do "DEUT";

- os problemas de lógica compreendem 49,4% dos problemas detectados, e a eficiência do "DEUT" foi de 99,5% no diagnóstico dessa classe de problemas.

- os problemas de HDAs compreendem 29,4% da distribuição de problemas encontrados e o desempenho do "DEUT" foi de 100%. A utilização do "DEUT" para solucionar os problemas de HDAs permite que os mesmos sejam diagnosticados imediatamente, sem a necessidade de se aguardar pelo especialista em HDAs. O próprio operador com o auxílio do "DEUT" decide se o HDA deve ou não ser rejeitado.

#### IV.6 - RESULTADOS

O sistema especialista "DEUT" está sendo utilizado por 34 operadores que têm a função de diagnosticar os problemas detectados pelo teste das unidades de disco 3380-J/K. Com a sua utilização os seguintes resultados foram obtidos:

i) o "DEUT" versão 1.1 apresenta uma eficiência de diagnóstico de problemas de 90,8%.

ii) os técnicos conseguem agora tratar os problemas mais complexos, como por exemplo, a análise de HDAs, tarefa que anteriormente era executada exclusivamente pelo especialista.

iii) o "DEUT" influencia diretamente no comportamento do processo de teste, minimizando a parcela do tempo de teste devido à aprendizagem do processo. O processo se torna mais produtivo principalmente na sua fase inicial de implantação. O sistema especialista torna os operadores inexperientes mais produtivos.

iv) o sistema especialista também influencia no processo de aprendizagem do processo. Sempre que um usuário faz uma consulta, o sistema especialista tem condições de explicar como uma conclusão é obtida. Assim, o usuário aprende o processo utilizado pelo sistema para diagnosticar o problema e também assimila as características do problema com a solução obtida.

v) outro aspecto importante em relação a utilização de sistema especialistas em processo de diagnóstico, é o fato de que se obtém uma maior precisão dos resultados. O índice de acerto obtido é maior pois todas as condições de contorno do problema são consideradas, o que nem sempre acontece quando o diagnóstico é executado pelo operador.

vi) a retenção de conhecimento e experiência sobre o processo é outro resultado importante obtido com o "DEUT". Acontece que quando as pessoas se afastam de uma tarefa frequentemente detalhes são esquecidos. Este aspecto é nitidamente notado depois de férias coletivas, com o aumento do tempo de teste das unidades. O sistema especialista pode atuar nessa fase minimizando esse impacto.

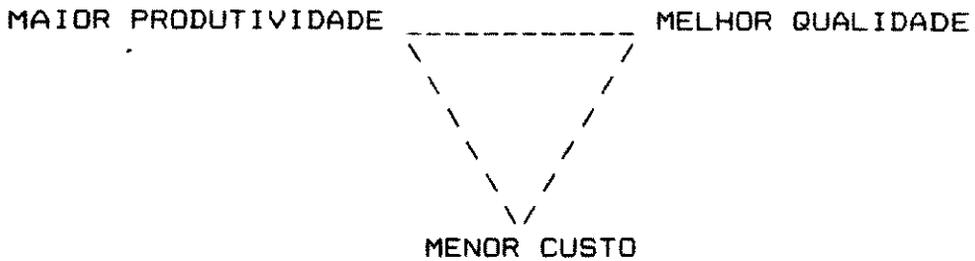
vii) o "DEUT" permite também que novas oportunidades sejam dadas a operadores mais experientes. Em processos convencionais, a produtividade fica dependente da experiência humana, e para mantê-la as pessoas devem ser mantidas. Com o sistema especialista, a dependência da experiência humana é minimizada e as pessoas tem maior liberdade para assumirem novas oportunidades.

viii) com a implementação do "DEUT" a dependência em relação ao especialista em diagnóstico é minimizada. Sempre que uma nova condição é encontrada, a base de conhecimento é atualizada, aumentando assim a eficiência do sistema. A diminuição da dependência do especialista implica também em maior produtividade devido a dois aspectos: disponibilidade do "DEUT" ser bem maior que a do especialista humano (24 horas por dia, 7 dias por semana) e o especialista é liberado para realizar outras tarefas.

ix) as unidades de disco são fabricadas em diversos países e o "DEUT" possibilita um maior intercâmbio de experiência. Todo o conhecimento adquirido pelos especialistas desses países pode ser fornecido ao "DEUT", otimizando assim o processo de diagnóstico. Assim um defeito é diagnosticado da melhor maneira conhecida.

x) experiência de implementação de sistemas especialistas utilizando computadores pessoais (IBM-PC). Existe uma tendência de cada vez mais se utilizar computadores pessoais como controladores de sistemas de teste. A implementação de sistemas especialistas em computadores pessoais é importante, pois consegue-se uma otimização do computador pessoal: o mesmo pode conter tanto os programas de teste quanto o sistema especialista.

Assim, pode-se ver que a implementação do sistema especialista "DEUT" implica na otimização dos três fatores fundamentais referentes a qualquer processo produtivo:



#### IV.7 - CONCLUSOES

Neste capítulo foram discutidos alguns aspectos práticos que devem ser considerados durante a liberação de um sistema especialista para seus usuários, visando o sucesso da aplicação.

Em seguida discutiu-se a influência de sistemas especialistas em processos produtivos, mostrando-se que podem ser bastante úteis principalmente em processo que exijam maior esforço intelectual.

No caso do processo de teste e diagnóstico das unidades de disco, aqui considerado, foi mostrado que predomina o esforço intelectual (conhecimento da máquina, experiência em diagnóstico, etc) sendo que um sistema especialista pode influenciar de maneira significativa na otimização desse processo.

Por fim, os resultados do desempenho do "DEUT" obtidos durante o processo de diagnóstico de 582 máquinas foram apresentados. O "DEUT" apresentou uma eficiência global de 90,8%.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

E

PERSPECTIVAS

## V.1 - CONCLUSÕES

O sistema especialista proposto e implementado neste trabalho auxilia no processo de diagnóstico das unidades de disco modelo 3380-J/K.

Discutiu-se a influência de sistemas especialistas em processos produtivos, mostrando-se que podem ser bastante úteis principalmente em processo que exijam mais esforço intelectual.

O processo de teste e diagnóstico das unidades de disco foi apresentado, mostrando a necessidade de conhecimento especializado, pois inúmeros fatores devem ser levados em consideração durante a análise do problema, justificando a implementação do sistema especialista para auxílio nesse diagnóstico.

Como exemplo desse conhecimento especializado, pode-se citar a análise do HDA. Sua análise exige o conhecimento de inúmeras especificações. Um diagnóstico errôneo pode comprometer o desempenho da máquina além do prejuízo da substituição indevida de um HDA durante o processo de teste.

Considerações foram feitas em relação às características dos processos produtivos aos quais um sistema especialista pode ser aplicado. Em geral pode-se dizer que quanto maior o grau de esforço intelectual exigido pelo processo produtivo melhores os resultados obtidos pelo sistema.

O sistema especialista implementado é um sistema de produção, possuindo base de dados, base de conhecimento e máquina de inferência, módulo de explicação e interface homem-máquina. O método de encadeamento para trás foi utilizado pois no processo de diagnóstico das unidades de disco parte-se da informação a respeito do teste no qual o problema foi detectado e procura-se identificar qual o componente responsável pela falha observada.

O ambiente de desenvolvimento PC PLUS foi adotado para o desenvolvimento do sistema especialista "DEUT". Na implementação do "DEUT" utilizou-se frames e regras de produção para representação do conhecimento.

Os processos produtivos se caracterizam pela predominância de esforço intelectual, são candidatos naturais à utilização de sistemas especialista.

Como exemplo de processos produtivos nos quais os sistemas especialistas podem ser aplicados pode-se citar: processos de teste e diagnóstico de máquinas em geral (desde computadores até televisão), teste de circuitos eletrônicos, etc.

A implementação de sistemas especialista em computadores pessoais é um outro fator importante, devido ao baixo custo do equipamento e a disseminação de computadores pessoais como controladores de sistemas de teste, fato que permite uma otimização ainda maior do equipamento: o equipamento pode compartilhar tanto o programa de teste quanto o sistema especialista.

Este trabalho mostrou a importância de sistemas especialistas na otimização de processos produtivos. Com sua utilização consegue-se obter uma melhor produtividade, uma melhor qualidade e conseqüentemente um menor custo do produto.

## V.2 - PERSPECTIVAS

Pode-se sugerir como complementação ao trabalho realizado a implementação dos seguintes recursos:

- tratamento de incertezas;
- utilização de meta-conhecimento;
- possibilidade de acesso a banco de dados externos que descrevam estatisticamente o comportamento do processo produtivo, e com isso possam utilizar o meta-conhecimento para definir a melhor estratégia a ser seguida durante uma consulta;
- interação direta com o equipamento de teste, obtendo deste as informações referente à falha, analisando-as e obtendo informações referente à causa da falha, minimizando assim a intervenção humana.
- desenvolvimento de outros sistemas especialistas para análise e diagnóstico de circuitos eletrônicos específicos que constituem a máquina.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

(01) - Harker J., Brede D., Pattison R., Santana G., Taft L., "A Quarter Century of Disk File Innovation", IBM Journal of Research and Development, vol. 25, no. 5, 677-689, 1981.

(02) - Intenational Bussiness Machines Corporation, "Introduction to IBM 338) Direct Access Storage Devices Family", IBM, 1987.

(03) - Winston, P.H., "Artificial Intelligence", Addison Wesley Publishing Company, 1984.

(04) - Waterman, D.A., "A Guide to Expert Systems", Addilson Wesley Publishing Company, 1986.

(05) - Arruda, L.V., "Um Supervisor Baseado em Conhecimento para Modelagem de Processos", Tese de Mestrado, Universidade de Campinas, 1988.

(06) - Nilsson, N., "Principles of Artificial Intelligence", Tioga Publishing Company, 1980.

(07) - Hayes-Roth F., Waterman D.A., Lenat D.B., "Building Expert Systems", Addison-Wesley Publishing Company, 1983.

(08) - Cohn P., Marques M., Gomide F., "Automação, Controle e Inteligência Artificial - Parte I: Uma Visão Integrada", SBA: Controle e Automação, vol. 1, no. 4, 277-290, 1987.

(09) - Abelson H., Bartley D.H., Brooks G., and others, "Revised Report on the Algorithmic Language Scheme", M.I.T. Artificial Intelligence Laboratory, 1986.

(10) - "Personal Consultant Scheme, A Simple and Modern LISP - Tutorial", Texas Instruments, 1987.

(11) - "Texas Instruments Scheme - Reference Manual", Texas Instruments, 1987.

(12) - "Personal Consultant Plus - User's Guide", Texas Instruments, 1985.

(13) - "Personal Consultant Plus - Reference Guide", Texas Instruments, 1985.

(14) - Hancock W., Bayha F, "The Learning Curve", Handbook of Industrial Engineering, capítulo 4.3, 4.3.1-4.3.13, John Wiley and Sons, 1982.