

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM INFORMÁTICA

SISTEMA DE AUXÍLIO A DECISÃO PARA LIBERAÇÃO DE MANOBRAS EM LINHAS
DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

JORGE CESAR ABRANTES DE FIGUEIREDO

Campina Grande, PB

Dezembro - 1989

SISTEMA DE AUXILIO A DECISÃO PARA LIBERAÇÃO DE MANOBRAS EM LINHAS
DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

JORGE CESAR ABRANTES DE FIGUEIREDO

SISTEMA DE AUXILIO A DECISAO PARA LIBERACAO DE MANOBRAS EM LINHAS
DE TRANSMISSAO UTILIZANDO TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Dissertação apresentada ao curso
de **MESTRADO EM INFORMATICA** da
Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de mestre.

AREA DE CONCENTRACAO: CIENCIA DA COMPUTACAO

MISAEEL ELIAS DE MORAIS

Orientador

ANGELO PERKUSICH

Co-orientador

Campina Grande, PB

Dezembro - 1989



F475s Figueiredo, Jorge Cesar Abrantes de
Sistema de auxilio a decisao para liberacao de manobras
em linhas de transmissao utilizando tecnicas de
inteligencia artificial / Jorge Cesar Abrantes de
Figueiredo. - Campina Grande, 1989.
86 f.

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

1. Sistemas Especialistas 2. Inteligencia Artificial 3.
Operacao de Processos - Inteligencia Artificial 4.
Dissertacao I. Moraes, Misael Elias de II. Universidade
Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 004.891(043)

SISTEMA DE AUXILIO A DECISÃO PARA LIBERAÇÃO DE MANOBRAS EM LINHAS
DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

JORGE CESAR ABRANTES DE FIGUEIREDO

Dissertação Aprovada em 22/12/89



MISAEEL ELIAS DE MORAIS - Dr.-Ing

- PRESIDENTE -



ANGELO PERKUSICH - M.Sc

- Examinador -



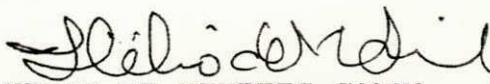
DAVID SIMONETTI BARBALHO - Dr. Ing

- Examinador -



MURILO GOMES DANTAS - Eng.

- Examinador -



HELIO DE MENEZES SILVA - M.Sc

- Examinador -

Campina Grande, PB

Dezembro - 1989

AGRADECIMENTOS

Agradeço àquelas pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho pudesse ser concluído. Agradeço em especial:

Ao prof. MISAEL ELIAS DE MORAIS, pela orientação e ensinamentos.

Ao prof. ANGELO PERKUSICH, pela orientação, apoio e amizade.

A COMPANHIA HIDROELETRICA DO SÃO FRANCISCO, principalmente aos engenheiros FREDERICO GUEDES e MURILO DANTAS, pelo apoio e sugestões.

A amiga MARIA LIGIA BARBOSA PERKUSICH, pelo incentivo e apoio.

A minha esposa Adriana, ao meu
filho Rafael e aos meus pais
Vicente e Mundica.

RESUMO

Neste trabalho propõe-se a estrutura de um sistema especialista aplicado à operação de processos. Discute-se o uso de técnicas de Inteligência Artificial em operação de processos, bem como métodos de representação do conhecimento e de tratamento de informações imperfeitas. Por último apresenta-se a aplicação do sistema proposto como uma ferramenta para auxiliar a liberação de equipamentos e linhas do sistema de transmissão de energia elétrica da CHESF.

ABSTRACT

The structure of an expert system for power system operation is proposed. The use of artificial intelligence techniques in power system operation, knowledge representation and imperfect information treatment methods are discussed. The proposed expert system is applied for help the liberation of equipments and transmission lines of CHESF's system.

CONTEUDO

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Apresentação	3

CAPITULO 2

SISTEMAS ESPECIALISTAS APLICADOS A OPERAÇÃO DE PROCESSOS	5
2.1. Introdução	5
2.2. Aplicação de Sistemas Especialistas na Operação de Processos	6
2.3. Fatores que Influenciam o Uso de Sistemas Especialistas ..	7
2.4. Areas de Aplicação de Sistemas Especialistas em Operação de Processos	8
2.4.1. Aplicação no Planejamento da Operação	8
2.4.2. Aplicação no Treinamento de Pessoal	8
2.4.3. Aplicação em Tempo Real	9

CAPITULO 3

TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL UTILIZADAS	11
3.1. Introdução	11
3.2. Representação do Conhecimento	11
3.2.1. Regras	12
3.2.2. Redes Semânticas	12
3.2.3. Frames	13
3.3. Técnicas de Tratamento de Incertezas	14
3.3.1. Método de Bayes	15
3.3.2. Fatores de Certeza	18
3.3.3. Teoria de Dempster-Shafer	22
3.3.4. Conjuntos Nebulosos	26

CAPITULO 4

SISTEMA PROPOSTO	29
4.1. Introdução	29
4.2. Caracterização da Estrutura	29
4.3. Detalhamento do Sistema	31
4.3.1. Módulo Experimental	31
4.3.1.1. Inferência Experimental	31
4.3.1.2. Base de Conhecimento Experimental	32
4.3.2. Módulo Funcional	34
4.3.2.1. Inferência Funcional	34
4.3.2.2. Base de Conhecimento Funcional	35
4.3.3. Base de Conhecimento Global	36
4.3.4. Gerenciador	37
4.3.5. Editor	37

4.3.6. Interface com o Operador/Processo	38
4.3.7. Simulador	38

CAPITULO 5

SISTEMA IMPLEMENTADO	40
5.1. Introdução	40
5.2. Descrição do Sistema	41
5.2.1. Base de Conhecimento Global	43
5.2.1.1. Banco de Dados Sobre os Estados dos Equipamentos	43
5.2.1.2. Banco de Dados de Equipamentos	44
5.2.1.3. Banco de Dados de Confiabilidade	45
5.2.1.4. Banco de Dados de Limites de Transmissão	46
5.2.1.5. Banco de Dados de Configuração de Carga	46
5.2.2. Gerenciador	47
5.2.3. Motor de Inferência	48
5.2.4. Editor da Base de Conhecimento Global	48
5.2.4.1. Modo Consulta	49
5.2.4.1.1. Banco de Dados de Equipamentos	49
5.2.4.1.2. Banco de Dados de Confiabilidade	49
5.2.4.1.3. Banco de Dados de Limite de Transmissão	50
5.2.4.1.4. Banco de Dados de Curva de Carga	50

5.2.4.2. Modo de Exclusão	50
5.2.4.2.1. Banco de Dados de Equipamentos	50
5.2.4.2.2. Banco de Dados de Confiabilidade	51
5.2.4.2.3. Banco de Dados de Limite de Transmissão	51
5.2.4.2.4. Banco de Dados de Curva de Carga	51
5.2.4.3. Modo de Inclusão	52
5.2.4.3.1. Banco de Dados de Equipamentos	52
5.2.4.3.2. Banco de Dados de Confiabilidade	52
5.2.4.3.3. Banco de Dados de Limite de Transmissão	52
5.2.4.3.4. Banco de Dados de Curva de Carga	53
5.2.5. Base de Conhecimento Funcional	53
5.3. Passos do Sistema	54

CAPÍTULO 6

OPERAÇÃO DO SISTEMA	56
6.1. Introdução	56
6.2. Configuração Mínima Exigida	56
6.3. Inicialização de Sessão com o Sistema	57
6.4. Interface Homem-Máquina	58
6.5. Exemplo de Sessão com o Sistema	60

CAPITULO 7

CONCLUSAO 75

BIBLIOGRAFIA 79

APENDICE A 84

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Relacionamento de Duas Evidências com uma Hipótese	19
Figura 3.2. Fator de Certeza Composto para a Figura 3.1.	19
Figura 3.3. Combinação de Evidências	20
Figura 3.4. Fator de Certeza Composto para a Figura 3.3.	21
Figura 3.5. Relação de Segunda Ordem	23
Figura 3.6. Tabela para $Q = [20,25]$	24
Figura 3.7. Tabela com Duas Entradas para a Idade	25
Figura 3.8. Tabela com as Entradas Combinadas	25
Figura 4.1. Estrutura do Sistema Proposto	30
Figura 5.1. Diagrama de Blocos do Sistema	41
Figura 5.2. Diagrama de Blocos do Sistema Detalhado	42

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Introdução

Operação em sistema de potência é uma tarefa complexa que requer uma combinação de experiência do operador e uso de avançadas ferramentas analíticas. Modernos Sistemas de Gerenciamento de Energia (SGE) integram poderosas ferramentas de hardware e software ao conhecimento dos operadores [WOLLENBERG 87]. Apesar dos avançados recursos de software e equipamentos, os operadores sempre têm problemas com a grande quantidade de dados apresentados e esses dados carecem de uma maior compreensão de como integrá-los às técnicas analíticas auxiliares.

Inteligência Artificial tem sido introduzida internacionalmente para diminuir a separação psicológica entre o operador e o sistema de gerenciamento do processo pois, no trabalho de operação, o operador deve entre outras coisas:

- i- Determinar que partes do sistema estão falhando, incluindo sensores e controladores;
- ii- Entender como funciona o sistema normalmente e como a presença de falhas altera o seu funcionamento;
- iii- Tomar decisões em tempo limitado;

- iv- Responder durante condições anormais restaurando o sistema para uma segura e eficiente operação;
- v- Fazer a melhor escolha em situações para a qual há insuficiência de informações para tomar-se uma decisão correta.

Existem diversas aplicações de técnicas de Inteligência Artificial em operação de processos [DVORAK 87, NORGARD 88].

1.2 - Objetivos

Este trabalho propõe e implementa um sistema de auxílio à decisão para liberação de linhas e equipamentos em sistemas de transmissão de energia elétrica, para manobras, utilizando técnicas de Inteligência Artificial. O sistema foi desenvolvido visando a utilização nos sistemas de transmissão da CHESF.

A necessidade de desenvolvimento e aplicação deste sistema como ferramenta de suporte a manobras em equipamentos e linhas de transmissão de energia elétrica tem a finalidade de resolver alguns problemas entre os quais destacam-se:

- i- A necessidade de uniformizar os procedimentos de liberação de equipamentos para manutenção, isto é, padronizar a sequência de procedimentos a tomar-se quando da ocorrência de uma determinada situação;

ii- Reduzir ao mínimo ou mesmo eliminar o grau de subjetividade das decisões a serem tomadas quando da necessidade de manobras em linhas de transmissão.

iii- A impossibilidade de se dispor de um operador especialista, isto é, com grande experiência, continuamente.

Além dos fatores citados acima, ressalta-se o fato de que desconhecem-se, a partir tanto da bibliografia como da consulta aos especialistas da área, sistemas que venham a auxiliar decisões dentro do escopo específico da aplicação. Deste modo, procura-se com o desenvolvimento deste trabalho introduzir técnicas de Inteligência Artificial com o objetivo específico de criar-se uma ferramenta de auxílio à decisão na área de operação de processos, especificamente sistema de potência.

1.3 - Apresentação

Organizou-se a apresentação deste trabalho de modo tanto a servir de survey da evolução do uso de técnicas de Inteligência Artificial em operação de processos, como também a detalhar como os objetivos foram alcançados. No capítulo 2 apresentam-se fatores que contribuíram para o uso de sistemas especialistas na área de operação de processos bem como as principais áreas de aplicação. No capítulo 3 define-se sistemas especialistas, apresentam-se algumas formas de representação do conhecimento e alguns dos principais métodos de tratamento de informações imprecisas e incompletas. No capítulo 4 caracteriza-se a estrutura do sistema

especialista proposto, detalhando-se cada parte da estrutura proposta. No capítulo 5 define-se e especifica-se a parte implementada do sistema proposto no capítulo anterior. No capítulo 6 apresentam-se alguns aspectos de operação do sistema. No capítulo seguinte apresentam-se conclusões e perspectivas futuras para este trabalho.

SISTEMAS ESPECIALISTAS APLICADOS A OPERAÇÃO DE PROCESSOS

2.1 - Introdução

A operação de processos altamente sofisticados e conseqüentemente complexos exige experiência e qualificação do operador, muitas vezes impossível [NORGARD 88]. Esta impossibilidade é caracterizada principalmente por dois aspectos. O primeiro, é quando da ocorrência de uma falha em um componente importante do sistema, provocando a geração de uma grande quantidade de informações no centro de operações. Isto impossibilita uma análise precisa e completa dos dados pelo operador, deste modo dificultando a adoção de procedimentos operacionais com o objetivo de corrigir a falha. O segundo aspecto a considerar, é quando da ocorrência de uma falha nova no processo. A princípio o operador deveria estar capacitado a diagnosticar qualquer tipo de falha, uma vez que seu treinamento deveria envolver aspectos teóricos da operação do sistema. Entretanto as evidências [YOON - 88] mostram que o conhecimento teórico sobre o sistema contribui muito pouco para a solução deste tipo de falha.

A partir do início dos anos 80 diversas pesquisas tem sido direcionadas de modo a adotar tecnologias para solucionar problemas relacionados com a complexidade de operação de sistemas altamente sofisticados com relação à capacidade de conhecimento do

operador humano [NORGARD 88]. Uma possível solução é a adoção de técnicas heurísticas. Estas técnicas baseiam-se principalmente na evolução da aplicação de sistemas especialistas como uma ferramenta de engenharia. Esta evolução permite ainda utilizar os sistemas especialistas como ferramenta para auxílio ao operador, provendo meios para a solução de problemas de operação como os citados anteriormente.

Neste capítulo descreve-se o uso de técnicas de inteligência artificial, mais especificamente sistemas especialistas, na área de controle de processos, mostrando-se os fatores que contribuem para a utilização de sistemas especialistas bem como as principais áreas de aplicação em operação de processos.

2.2 - Aplicação de Sistemas Especialistas na Operação de Processos

O objetivo da aplicação de sistemas especialistas na operação de processos é prover meios pelos quais seja possível otimizar o processo do ponto de vista operacional e econômico. De fato, o principal motivo de investigar-se a aplicação de sistemas especialistas na área de operação de processos justifica-se pela necessidade de desenvolver ferramentas que venham a diminuir ou mesmo eliminar a separação psicológica existente entre o operador e o sistema de gerenciamento do processo.

Discutindo-se especificamente a operação de sistemas de potência onde as tarefas a serem desempenhadas pelo operador são bastante complexas, nota-se a necessidade de combinar a experiência do operador com as ferramentas analíticas. O

desenvolvimento da aplicação dos sistemas de gerenciamento de energia (SGE), integrando ferramentas de hardware e software, para suporte ao operador tem introduzido diversos benefícios na área de operação de sistemas de potência. Estes sistemas são desenvolvidos principalmente para aplicação durante a operação normal do sistema, onde funções como estimação de estado, análise de segurança e fluxo ótimo de carga são utilizadas para garantir a operação segura do sistema, e funções como controle automático de geração e despacho econômico, entre outras, são utilizadas para otimizar o sistema do ponto de vista econômico. Apesar destes avançados recursos, o operador frequentemente encontra dificuldades na manipulação do grande volume de dados disponível, especialmente no caso de falhas graves no sistema ou na tomada de decisões onde estão envolvidos grandes volumes de dados e um profundo conhecimento operacional do sistema.

2.3 - Fatores que Influenciam o Uso de Sistemas Especialistas

De um modo geral, existem diversos estudos quanto ao uso de sistemas especialistas na área de operação de processos [WOLLEMBERG 88, HEIN 88, NORGDARD 88]. Diversos fatores podem ser citados para motivar a aplicação de sistemas especialistas em operação de processos :

- 1- Insuficiência tecnológica das ferramentas disponíveis, isto é, os resultados sem o uso de técnicas de IA não eram satisfatórios [NORGARD 88].

- ii- Necessidade de transformar grandes volumes de dados em informações mais plausíveis para o operador, de modo a otimizar as funções que o operador deve desempenhar.
- iii- O alto desempenho que os sistemas especialistas exibem na resolução de problemas. Esta condição soluciona um grave problema que é a impossibilidade de se dispor de um operador especialista , isto é, com grande experiência, continuamente.

2.4 - Áreas de Aplicação de Sistemas Especialistas em Operação de Processos

Existem diversas áreas de aplicação de sistemas especialistas em operação de processos [LAFFEY 88, DVORAK 87, PERKUSICH 89]. A seguir identificam-se algumas dessas áreas.

2.4.1 - Aplicação no Planejamento da Operação

Nesta área a principal aplicação é caracterizada pelo uso dos sistemas especialistas como uma ferramenta para prover uma interface amigável e eficiente entre o operador e os programas de análise de fluxo de carga.

2.4.2 - Aplicação no Treinamento de Pessoal

Neste tipo de aplicação os sistemas especialistas podem ser

utilizados como um instrutor mostrando ao operador quais são os procedimentos corretos a serem adotados quando este tomar uma decisão errada, assim como avaliar o nível de conhecimento do operador. Além disto, os sistemas especialistas podem ser usados como simuladores de situações complexas, de modo a fornecer uma ferramenta de exercício bastante eficiente.

2.4.3 - Aplicação em Tempo Real

De um modo geral, as aplicações em tempo real de sistemas especialistas é recente, necessitando ainda substancial desenvolvimento [LAFLEY 88]. Os sistemas especialistas tem sido tradicionalmente desenvolvidos para aplicações onde os dados são estáticos, não requerendo tempos de respostas críticos. Entretanto nas aplicações em tempo real surgem diversos novos problemas como a não monotonicidade dos dados, operação contínua, capacidade de tratar eventos assíncronos, raciocinar temporalmente e capacidade de prover tempos de respostas garantidos. A seguir mostram-se 3 áreas de aplicação de sistemas especialistas em situações de tempo real:

1- Processamento de Alarmes

Quando ocorrem falhas graves no sistema, gera-se uma sobrecarga de dados para o operador. Muitas dessas informações são redundantes dificultando assim a compreensão por parte do operador. Para resolver este problema usa-se sistemas especialistas para interceptar mensagens de alarme e apresentar

diagnósticos concisos.

ii- Operações de Chaveamento

Como quarenta por cento das tarefas de um centro de controle de sistemas de potência dizem respeito a operações de chaveamento, muitos trabalhos tem sido feito nesta área onde destaca-se a geração automática de sequência de chaveamento [LAFLEY 88].

iii- Controle de Tensão e Restauração do Sistema

A aplicação de sistemas especialistas no controle de tensão é principalmente traduzida pela integração do sistema especialista com os algoritmos numéricos de fluxo de carga. Na restauração do sistema o uso de sistemas especialistas se dá principalmente em situações de emergência como blackout, onde o operador apesar do treinamento terá muitas dificuldades, uma vez que o número de caminhos para restaurar o sistema é muito grande.

Neste capítulo apresentou-se o uso de sistemas especialistas em operação de processos destacando-se os fatores que influenciaram o uso da referida ferramenta bem como mostrou-se algumas áreas de aplicação de sistemas especialistas em operação de processos. No próximo capítulo apresenta-se um breve estudo sobre representação do conhecimento e tratamento de incertezas.

CAPITULO 3

TECNICAS DE IA UTILIZADAS

3.1 - Introdução

Sistemas especialistas são programas capazes de resolver problemas complexos em uma área bem específica do conhecimento humano. O desempenho destes sistemas é equivalente e às vezes superior ao de um especialista na área. De uma maneira bem geral, os sistemas especialistas são constituídos basicamente de duas partes: a base de conhecimento que é o local onde é guardado todo o conhecimento extraído de livros, manuais, etc e o conhecimento obtido de peritos, e o motor de inferência que tem a finalidade de buscar o conhecimento, ordená-lo de uma maneira lógica e a partir daí, ir direcionando o processo de inferência. Neste capítulo detalham-se algumas formas de representação do conhecimento, bem como os métodos de tratamento de informações imprecisas ou imperfeitas.

3.2 - Representação do Conhecimento

A base de conhecimento contém as informações ou o conhecimento propriamente dito, armazenado de alguma forma. Existem diversas formas para a representação do conhecimento [RICH 88, WATERMAN 86]. A seguir destacam-se as três metodologias mais aplicadas.

3.2.1 - Regras

Uma regra representa uma porção do conhecimento representada basicamente pela utilização da lógica de predicados. É o tipo mais popular de técnica de representação do conhecimento. As regras são apropriadas quando o conhecimento é experimental ou empírico, isto é, quando o conhecimento é obtido através de anos de experiência resolvendo problemas em uma determinada área. As regras são estruturadas da seguinte forma:

SE < premissa >
ENTAO < conseqüente >

Em um sistema especialista baseado em regras, o conhecimento é representado por um conjunto de regras que são verificadas contra uma coleção de fatos ou conhecimento sobre a situação corrente. Se o conjunto de fatos satisfaz a premissa da regra, as ações especificadas pelo conseqüente da regra são acionadas. Essa ação ou conjunto de ações especificadas no conseqüente podem modificar o conjunto de fatos na base de conhecimento, por exemplo, adicionando novos fatos aos já existentes.

3.2.2 - Redes Semânticas

Uma outra forma de representação de conhecimento são as redes semânticas. As redes semânticas são basicamente grafos. A informação é representada como um conjunto de nós ligados um ao

outro por um conjunto de arcos rotulados, onde os nós representam objetos, conceitos ou eventos e os arcos representam relações entre os nós. As redes semânticas utiliza uma notação gráfica, embora esteja claro que em um programa elas não podem ser representadas desse modo. As redes semânticas são bastante utilizadas em linguagem natural já que podem representar frases ou sentenças muito complexas.

3.2.3 Frames

Um dos esquemas de representação de conhecimento de grande utilização são os **FRAMES** ou **QUADROS**. O frame é basicamente uma descrição estruturada de um objeto ou uma classe de objetos, podendo incluir-se procedimentos, descrições dos membros de uma classe, etc. O frame é dividido em "**slots**", o "**slot**" é o local onde o conhecimento é armazenado dentro de um largo contexto criado pelo frame. Por exemplo, um frame que descreve uma cadeira deve ter slots para número de pernas, tipo do material utilizado, etc. Os frames, ao estilo das redes semânticas, se vinculam entre si por relações de pertinência e inclusão que permitem que os atributos e características de uma classe sejam "herdadas" por subclasses ou indivíduos membros, permitindo inferências do tipo: "se A está incluído em B e B está incluído em C, então A está incluído em C".

Para melhor ilustração das idéias de frames e slots, apresenta-se a seguir um pequeno exemplo.

NOME DO FRAME: Restaurante

TIPOS:

Domínio: (Cafeteria, Lanches Rápidos,
Self-Service, Choparia)

Default: Lanches Rápidos

LOCALIZAÇÃO:

Domínio: Um endereço

Se-Necessário: Consultar o MENU

NOME:

Se-Necessário: Consultar o MENU

TIPOS DE COMIDA:

Domínio: (Burgers, Comida Chinesa,
Mariscos, Comida Francesa)

Default: Burgers

FORMAS DE PAGAMENTO:

Domínio: (Dinheiro, Cartão de Crédito,
Cheque, Vale Refeição)

3.3 - Técnicas de Tratamento de Incertezas

Uma das principais dificuldades na construção de sistemas especialistas é justamente o tratamento do conhecimento que, por ter que ser realístico ou talvez por ser obtido de várias fontes, é geralmente imperfeito. O conhecimento é dito imperfeito se ele

for incompleto, incerto, inconsistente ou impreciso. Existem inúmeros estudos propostos para a solução deste problema. Relativamente é muito difícil de se escolher o método mais propício para um determinado problema. A seguir detalham-se os principais métodos de tratamento de informações imprecisas.

3.3.1 - Método de Bayes

O método de Bayes foi uma das primeiras técnicas de raciocínio sobre incertezas. Neste método, as proposições são quantificadas com parâmetros numéricos significando o grau de crença e estes parâmetros são combinados e manipulados segundo regras da teoria da probabilidade [PEARL 86].

No método de Bayes, os parâmetros de crença obedecem 3 suposições básicas da teoria da probabilidade:

1. $0 \leq P(A) \leq 1$
2. $P(\text{proposição certa}) = 1$
3. $P(\text{não } A) = 1 - P(A)$

onde : $P(A)$ é a probabilidade de ocorrência do evento A.

O princípio básico do método bayesiano está fundamentado na fórmula da inversão ou probabilidade condicional :

$$P(H/e) = \frac{P(e/H) \cdot P(H)}{P(e)} \quad (1)$$

onde, $P(H/e)$ é a probabilidade da hipótese H ser verdadeira, dada a evidência e ,

$P(e/H)$ é a probabilidade de observar-se a evidência e , dado que a hipótese H é verdadeira,

$P(H)$ é a probabilidade a priori da hipótese H , isto é, a probabilidade da hipótese H ser verdadeira na ausência de qualquer evidência específica,

$P(e)$ é a probabilidade de ter-se a evidência e .

A regra de Bayes afirma a crença em uma hipótese H , baseado em um determinado conhecimento e dada uma evidência e , é o produto de dois fatores: chance a priori ($O(H)$) e a razão de probabilidade ($L(e/H)$).

Define-se chance a priori, $O(H)$, como sendo

$$O(H) = \frac{P(H)}{P(\sim H)} = \frac{P(H)}{1 - P(H)} \quad (2)$$

e a razão de probabilidade, $L(e/H)$, como

$$L(e/H) = \frac{P(e/H)}{P(e/\sim H)} \quad (3)$$

Pela regra de Bayes, a crença ou chance a posteriori é dada por

$$O(H/e) = L(e/H) \cdot O(H) \quad (4)$$

Embora o método de Bayes seja amplamente utilizado existe uma série de desvantagens quanto à sua aplicação. A principal desvantagem reside na necessidade de uma grande massa de dados estatísticos devido a necessidade de coletar todas as probabilidades condicionais e conjuntas a priori. Além de ser difícil o acúmulo desses dados estatísticos, se os tivesse, poderiam estar obsoletos pelo tempo de coleta. Uma outra desvantagem é a dificuldade de se modificar a base de dados de um sistema bayesiano devido ao grande número de interações entre os seus vários componentes. Outras desvantagens são citadas em [RICH 88].

3.3.2 Fatores de Certeza

Um fator de certeza $CF(H,E)$ é um número entre -1 e 1 que reflete o grau de crença em uma hipótese H , dada alguma evidência E ter sido observada. Quando $CF = 1$, a hipótese é dita ser correta. $CF = -1$ significa que a hipótese foi efetivamente desaprovada. O fator de certeza $CF(H,E)$ é a diferença entre a medida de crença, $MB(H,E)$, de uma hipótese H baseada em E e a medida de discrença, $MD(H,E)$, da mesma hipótese H também baseada em E . O fator de certeza é então expressado como

$$CF(H,E) = MB(H,E) - MD(H,E) \quad (5)$$

Fatores de Certeza são muito usados no tratamento de incertezas de sistemas especialistas baseado em regras. Essas regras geralmente são da forma

SE < evidência >
ENTÃO < hipótese > COM < grau de certeza >

Uma notação conveniente é

$$E \text{ --> } CF(H,E) \text{ --> } H \quad (6)$$

onde, H é a hipótese,

E é a evidência e

$CF(H,E)$ é o fator de certeza associado com a regra.

É possível que uma única hipótese seja dependente de mais de uma evidência. Nesses casos para cada evidência existe um fator de certeza relacionando a evidência com a hipótese, figura 3.1.

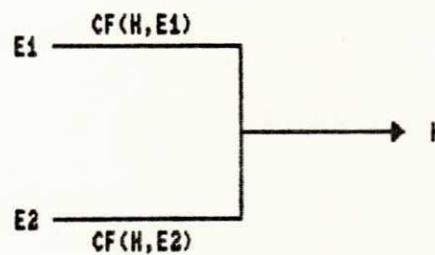


figura 3.1: Relacionamento de Duas Evidências com Uma Hipótese.

Nesses casos, os fatores de certeza são combinados e é obtido um fator de certeza composto, figura 3.2, $CF(H, E1E2)$



figura 3.2: Fator de Certeza Composto para a Figura 3.1.

$$CF(H, E_1 E_2) = CF(H, E_1) + CF(H, E_2) - CF(H, E_1) \cdot CF(H, E_2) \quad (7)$$

se $CF(H, E_1), CF(H, E_2) \geq 0$,

$$CF(H, E_1 E_2) = \frac{CF(H, E_1) + CF(H, E_2)}{1 - \min(|CF(H, E_1)|, |CF(H, E_2)|)} \quad (8)$$

se $CF(H, E_1), CF(H, E_2)$ são de sinais opostos e onde a função $\min(A, B)$ retorna o menor valor entre **A** e **B**

$$CF(H, E_1 E_2) = CF(H, E_1) + CF(H, E_2) + CF(H, E_1) \cdot CF(H, E_2) \quad (9)$$

se $CF(H, E_1), CF(H, E_2) < 0$.

Uma segunda situação ocorre quando da combinação de evidências, figura 3.3, e, semelhantemente é obtido um fator de certeza composto, figura 3.4, $CF(H, E_1)$

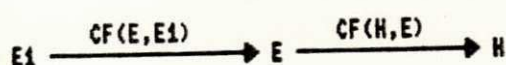


figura 3.3: Combinação de Evidências.

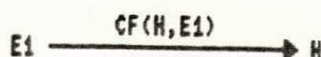


figura 3.4: Fator de Certeza Composto para a Figura 3.3.

$$CF(H, E1) = CF(E, E1) \cdot CF(H, E) \quad (10)$$

se $CF(E, E1) \geq 0$,

$$CF(H, E1) = -CF(E, E1) \cdot CF(H, \bar{E}) \quad (11)$$

se $CF(E, E1) < 0$

onde $CF(H, \bar{E})$ é o fator de certeza de H dado que a evidência E não é verdadeira.

O MYCIN [SHORTLIFFE 76] foi um dos primeiros sistemas especialistas a incorporar o processamento de conhecimento incerto através do uso dos fatores de certeza. Existem sistemas que utilizam uma derivação dos fatores de certeza [FRIEDMAN 81]. Neles são definidas duas medidas: o fator de relevância que mede a força de comprometimento entre o antecedente e o consequente quando da ocorrência de uma evidência e a credibilidade que é semelhante ao conceito de fatores de certeza do MYCIN. Embora o uso de fatores de certeza necessitem de menos dados estatísticos

do que o modelo bayesiano, existem diversas restrições quanto ao uso dos fatores de certeza. A seguir enumeram-se algumas desvantagens:

- i- Como converter de termos humanos para fatores de certeza numéricos, por exemplo, " temperatura baixa ", " É possível que ... ", etc.
- ii- Como normalizar através de escalas de pessoas diferentes, particularmente se a solução para uma pergunta for fazer com que as pessoas forneçam os números diretamente.
- iii- Até que ponto propagar mudanças no **CF**, baseado em nova evidência. Se o **CF[H1,e]** mudar muito ligeiramente e **H1** for parte da evidência relevante para outra hipótese, **H2**, **CF[H2,e]** deveria também ser mudada? Se mudanças muito diminutas forem sempre propagadas até onde possível, o sistema poderá gastar todo o seu tempo fazendo coisas de insignificante efeito sobre o resultado final. Entretanto, muitas mudanças pequenas podem somar uma mudança significativa que não deverá ser ignorada.

3.3.3 - Teoria de Dempster-Shafer

Como foi visto anteriormente, uma das maiores desvantagens dos sistemas bayesianos é a necessidade de identificar valores exatos de probabilidade dos eventos. Em resposta a isso, Dempster-Shafer [STEPHANOU 87, YEN, HADDAWY] definiram uma teoria de

inferência baseada no conceito de probabilidade inferior e superior. A idéia básica deste conceito é que ao invés de representar a probabilidade de um evento "A" por um valor puntual $P(A)$, pode-se limitá-lo por um subintervalo de $[0,1]$.

Para melhor entendimento vamos utilizar um exemplo proposto por Zadeh [ZADEH 73]. Seja a relação de segunda ordem, figura 3.5,

EMPREGADO	NOME	IDADE
	1	[22,26]
	2	[20,22]
	3	[30,35]
	4	[20,22]
	5	[28,30]

figura 3.5: Relação de Segunda Ordem

onde o intervalo $[22,26]$, no caso 1, significa que a idade de 1 é um elemento do conjunto $\{22,23,24,25,26\}$ que é equivalente à distribuição de possibilidades da idade 1.

Deseja-se saber qual o percentual de empregados que tem entre 20 e 25 anos de idade ($Q = [20,25]$). Para isso faz-se algumas considerações:

- 1- idade(i) $\in Q$ é dita possível, se a distribuição de possibilidades da idade(i) intercepta Q, isto é, $D_i \cap Q \neq \emptyset$ onde D_i denota a distribuição de possibilidades e \emptyset é o conjunto vazio.

ii- Q é dito certo (ou necessário) se a distribuição de possibilidades da idade(i) está contida em Q , isto é, $D_i \subset Q$.

iii- Q é dito não possível se $D_i \cap Q = \emptyset$ ou $D_i \subset \bar{Q}$ onde \bar{Q} é o complemento de Q .

Com essas considerações pode-se construir uma nova tabela para $Q = [20,25]$, figura 3.6,

EMPREGADO	NOME	IDADE	CONSIDERACAO
	1	[22,26]	POSSIVEL
	2	[20,22]	CERTO
	3	[30,35]	NAO POSSIVEL
	4	[20,22]	CERTO
	5	[28,30]	NAO POSSIVEL

figura 3.6: Tabela para $Q = [20,25]$.

Como vimos anteriormente, a teoria de Dempster-Shafer é caracterizada pelas probabilidades superior e inferior. A probabilidade inferior é obtida pela medida de crença que é a probabilidade de certeza ou necessidade. A probabilidade superior é a medida de plausibilidade que é a probabilidade de possibilidade. Para o exemplo em questão $resposta(Q) = [2/3, 3/5]$.

Seja a tabela da figura 3.7 com 2 entradas para a idade.

EMPREGADO	NOME	IDADE1	IDADE2
	1	[22,23]	[22,24]
	2	[19,21]	[20,21]
	3	[20,21]	[19,20]
	4	[21,22]	[19,20]
	5	[22,23]	[19,21]

figura 3.7: Tabela com Duas Entradas para a Idade.

As entradas são combinadas e obtem-se nova tabela, figura 3.8.

EMPREGADO	NOME	IDADE1 \cap IDADE2
	1	[22,23]
	2	[20,21]
	3	20
	4	\emptyset
	5	\emptyset

figura 3.8: Tabela com as Entradas Combinadas.

Portanto para $Q = [20,25]$ obtem-se $resposta(Q) = ([3/5, 3/5], \theta = 2/5)$ onde θ é a probabilidade de ocorrência de conjuntos vazios.

Nesses casos, a teoria de Dempster-Shafer prevê uma normalização que é o cálculo das probabilidades inferior e

superior não levando em consideração as entradas nulas e vazias. A resposta normalizada seria $\text{resposta}(Q) = [1,1]$.

Apesar das vantagens da teoria de Dempster-Shafer como a de ter uma forte base matemática e de tratar com intervalos de crença ao invés de simples valores numéricos para a crença, existem algumas falhas que a comprometem. Uma delas é quando da combinação dos fatores de evidências, onde assume-se que eles sejam independentes e frequentemente não os são. Um outro problema e talvez o maior deles é a normalização que permite resultados contraintuitivos, isto é, resultados que não são logicamente certos devido à desconsideração de várias entradas (nulas ou vazias).

3.3.4 - Conjuntos Nebulosos

Descreveu-se três dos principais métodos de tratamento de incertezas e enumerou-se algumas vantagens e desvantagens. Existe uma desvantagem comum aos três métodos aqui descritos que é a ineficiência na representação de proposições contendo conceitos nebulosos, isto é, como representar expressões do tipo " a febre pode ser alta ", " Esse carro é muito melhor que o outro ", etc.

Na teoria clássica da probabilidade, um evento ocorre ou não, um objeto pertence a um conjunto ou não, um item tem uma característica ou não. Como na prática isto não acontece, foi desenvolvida a teoria dos conjuntos nebulosos que tem a finalidade de resolver o problema da limitação do uso da linguagem, isto é, a

teoria dos conjuntos nebulosos tem competência de representar proposições contendo conceitos nebulosos.

Um conjunto nebuloso A , em um universo de decorrência U é definido por uma função característica $u_A(x)$, que associa um grau de pertencimento de um dado elemento a um conjunto, grau este definido no intervalo real $[0,1]$, isto é,

$$u_A(x) : U \rightarrow [0,1] \quad (12)$$

Seja os conjuntos A , B e U , as operações básicas entre A e B são:

i- **União**

$$A \cup B \Leftrightarrow u_{A \cup B} = \max(u_A, u_B) \quad (13)$$

ii- **Interseção**

$$A \cap B \Leftrightarrow u_{A \cap B} = \min(u_A, u_B) \quad (14)$$

iii- **Complemento**

$$\bar{A} \Leftrightarrow u_{\bar{A}} = 1 - u_A \quad (15)$$

iv- **Produto Algébrico**

$$A \cdot B \Leftrightarrow u_{A \cdot B} = u_A \cdot u_B \quad (16)$$

v- **Soma Algébrica**

$$A + B \Leftrightarrow u_{A+B} = u_A + u_B - u_A \cdot u_B \quad (17)$$

Em [DUBOIS 80] existem outras operações definidas.

Neste capítulo apresentou-se algumas formas de representação de conhecimento, quais sejam, regras, redes semânticas e frames. Discutiu-se as técnicas de tratamento de incertezas definindo-as e, na medida do possível, criticando-as. No capítulo 4 detalha-se o sistema proposto.

CAPÍTULO 4

SISTEMA PROPOSTO

4.1 - Introdução

No capítulo dois discutiu-se a viabilidade do uso de sistemas especialistas na área de operação de processos. No capítulo anterior apresentaram-se algumas formas de representar o conhecimento em sistemas especialistas e alguns métodos de tratamento de incertezas. Neste capítulo caracteriza-se a estrutura do sistema especialista proposto detalhando-se cada parte da sua estrutura.

4.2 - Caracterização da Estrutura

De uma maneira geral os sistemas especialistas são constituídos de duas partes: a base de conhecimentos e a máquina de inferência. A base de conhecimento contém as informações ou o conhecimento propriamente dito armazenado de alguma forma. Este conhecimento normalmente é passado para o sistema através de entrevistas feitas pelo engenheiro do conhecimento com o perito que expõe os fatos, idéias e procedimentos que serão transformados em linguagem compatível com o sistema pelo engenheiro de conhecimento. Muitas vezes ocorre a transformação de informações de uma maneira distorcida pelo simples fato de o engenheiro de

conhecimento não ser um perito na área em que se está construindo o sistema especialista. A máquina de inferência é o elemento de um sistema especialista capaz de controlar e avaliar o conteúdo da base de conhecimento e a partir desse controle e avaliação ir direcionando o processo de inferência.

Os sistemas especialistas tradicionalmente têm sido baseados no conhecimento experimental, também referenciado como superficial ou empírico. Este conhecimento é obtido da experiência adquirida através da repetição de procedimentos. Este tipo de conhecimento é o que diferencia um especialista perito de um novato. Existe o conhecimento funcional que é aquele que está nos livros, manuais, etc. Este conhecimento é importante principalmente para o diagnóstico de novos casos. Destaca-se a divisão do conhecimento em funcional e experimental com a finalidade de otimizar o sistema já que para casos corriqueiros ou mais simples o conhecimento experimental é suficiente para resolvê-los. Considerando-se o apresentado acima, define-se a estrutura do sistema especialista proposto como mostrado na figura 4.1.

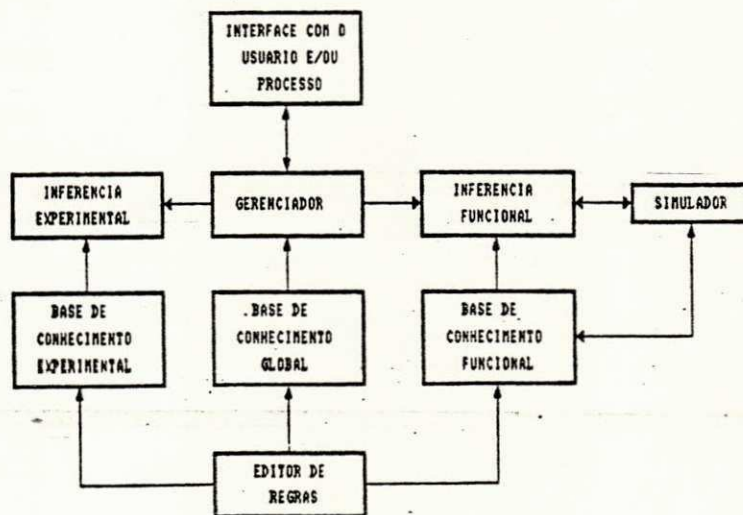


figura 4.1: Estrutura do Sistema Proposto.

No item seguinte detalhar-se-á cada parte da estrutura proposta, o módulo experimental composto pela base de conhecimento experimental e a máquina de inferência experimental, o módulo funcional analogamente constituído da base de conhecimento funcional e a máquina de inferência funcional, o gerenciador, a base de conhecimento global, o editor, a interface com o usuário/processo e o simulador.

4.3 - Detalhamento do Sistema

4.3.1 - Módulo Experimental

4.3.1.1 - Inferência Experimental

No módulo experimental do sistema utiliza-se a teoria dos conjuntos nebulosos como ferramenta de identificação, modelagem e inferência. Foi escolhida a teoria dos conjuntos nebulosos por ser ela a que permite a modelagem do raciocínio humano, através da associação de valores linguísticos à conjuntos nebulosos, isto é feito definindo-se uma função de pertencimento $u(x)$ que associa um grau de pertencimento de um dado elemento a um conjunto, onde esse grau de pertencimento está definido no intervalo real $[0,1]$ [ZADEH 65]. Optou-se ainda pela adoção de subconjuntos nebulosos com função de pertencimento representadas por funções lineares. Esta opção justifica-se pela natureza da aplicação uma vez que o objetivo é definir e aplicar procedimentos operacionais em sistemas de potência, e neste caso especificamente objetivando

auxiliar manobras no sistema de transmissão de energia elétrica, estes procedimentos implicarão em ajustes, pelo operador, de alguns parâmetros do sistema, como tensão em barras nas subestações e níveis de geração, etc, o que implica em um procedimento de controle. Devido a esta característica do sistema deve-se adotar uma metodologia de identificação dos parâmetros do sistema. Em [TAKAGI 85] apresenta-se uma metodologia de estimação dos parâmetros identificados do sistema através da aplicação do filtro de estado estável de Kallman, que é uma ferramenta consagrada para estimação de estado e identificação de parâmetros em sistemas de controle [ISERMAN 81].

4.3.1.2 - Base de Conhecimento Experimental

A base de conhecimento experimental contém o conhecimento adquirido pelo especialista através de sua experiência na operação do sistema. Na base de conhecimento experimental utiliza-se regras de produção do tipo

```
( ID < NOME_DA_REGRA, ESTADO_DA_REGRA, CONSTANTE_DE_TEMPO >  
  SE antecedente  
  ENTÃO consequente )
```

As regras são divididas em duas estruturas, o identificador da regra e o corpo da regra. No identificador da regra define-se o nome da regra, o estado da regra e uma constante de tempo para

aplicação do resultado inferido. O nome da regra é utilizado apenas para rotular a regra visando facilitar o seu uso no processo de execução, de explanação, etc. O estado da regra é utilizado pelo gerenciador do sistema e pelo motor de inferência experimental para marcar as regras que devem ser provadas. O estado da regra assume valor '0' se a regra está inativa, isto é, não deve ser provada e assume valor '1' se a regra está ativa. A finalidade do estado da regra é otimizar o sistema pois com esse parâmetro o espectro das regras a serem provadas diminui não precisando assim varrer todo o conjunto de regras. O controle de temporização do sistema é efetuado pelo gerenciador utilizando a constante de tempo das regras. Para exemplificar melhor o uso da constante de tempo, poderíamos ter uma determinada regra ativa, valor 1, a ser provada mas o gerenciador só a fará após 3 segundos, tempo este indicado na constante de tempo da regra.

O corpo da regra constitui-se de duas partes: o antecedente ou premissa e o conseqüente. Neste caso o antecedente é definido por um conjunto de variáveis nebulosas isto é, para cada variável do antecedente é dado um grau de pertencimento para o antecedente, o $u(\text{antecedente})$. O conseqüente pode ser uma conclusão ou pode funcionar como antecedente para outras regras. Para a inferência aplica-se a regra composicional de inferência nebulosa, definida em [ZADEH 73]

$$u(\text{conseqüente}) = \text{MAX}(\text{MIN}(u(\text{antecedente})))$$

onde, $u(x)$ é o grau de pertencimento da variável associada ao subconjunto nebuloso, MAX é o operador nebuloso para máximo, MIN é o operador nebuloso para mínimo.

4.3.2 - Módulo Funcional

4.3.2.1 - Inferência Funcional

Como foi explicado anteriormente o conhecimento funcional é caracterizado por um conhecimento profundo, orientado para o modelo do sistema, baseado na estrutura e na função dos dispositivos constituintes do sistema.

O motor de inferência funcional utiliza basicamente o encadeamento progressivo. Para evitar a análise exaustiva das regras, como no módulo experimental, o gerenciador do sistema classifica as regras, para o motor de inferência funcional, em dois conjuntos. O primeiro é o conjunto das regras ditas ativas que é formado pelas regras que deverão ser analisadas durante a execução corrente do motor de inferência. O segundo contém o conjunto de regras inativas as quais não devem ser analisadas. Estes conjuntos são dinâmicos e a cada regra analisada eles podem ser diferentes.

4.3.2.2 - Base de Conhecimento Funcional

A base de conhecimento funcional contém o conhecimento solidificado, adquirido através de manuais, documentos, etc. As regras de produção utilizadas na base de conhecimento funcional assemelham-se às da base de conhecimento experimental e são do tipo

```
( ID < NOME_DA_REGRA, ESTADO_DA_REGRA, CONSTANTE_DO_TEMPO >  
  SE antecedente  
  ENTÃO conseqüente )
```

As regras funcionais também são divididas em duas estruturas, o identificador da regra e o corpo da regra. O identificador da regra funcional é análogo ao identificador da regra experimental tanto na estrutura como na definição de seus parâmetros.

O corpo da regra funcional difere do corpo da regra experimental pois neste caso não são definidas por um conjunto de variáveis nebulosas. O corpo da regra funcional constitui-se de duas partes: o antecedente e o conseqüente. O antecedente é definido por um conjunto de fatos que se forem verdadeiros executam o conseqüente. O conseqüente pode servir como antecedente para outras regras portanto pode ser constituído por fatos e/ou procedimentos, conclusões.

4.3.3 - Base de Conhecimento Global

Ao contrário das bases de conhecimento funcional e experimental, a base de conhecimento global não é formada por regras de produção, mas por um conjunto de fatos com informações importantes para a execução do sistema e que serão coordenados pelo gerenciador. Para um caso específico como o que está se desenvolvendo, a base de conhecimento global é formada por uma série de bancos de dados que são:

- i- conjunto de informações sobre os equipamentos como linhas de transmissão, disjuntores, etc, que formam o banco de dados de equipamentos.
- ii- conjunto de informações sobre a confiabilidade de cada subsistema da CHESF para cada mês do ano formando o banco de dados de confiabilidade.
- iii- conjunto de informações sobre o fluxo de carga para todos os dias da semana, 24 horas por dia que constituem o banco de dados de configuração de carga.
- iv- conjunto de informações sobre o limite de transmissão de carga para cada linha de transmissão do sistema CHESF constituindo o banco de dados de limite de transmissão.

No capítulo seguinte detalhar-se-á cada banco de dados formador da base de conhecimento global, bem como a importância e função de cada um na execução do sistema.

4.3.4 - Gerenciador

Possivelmente o principal módulo do sistema. É o gerenciador que pesquisa e seleciona todos os dados pertencentes à base de conhecimento global que serão úteis na execução do sistema. Além disso o gerenciador é responsável pela formação do conjunto das regras ativas que tem a finalidade de evitar a pesquisa exaustiva das regras.

O gerenciador ainda funciona como um elo de ligação entre a inferência funcional e a inferência experimental, selecionando qual das duas deve ser ativada como também utilizar dados obtidos por uma inferência como parâmetros para a execução da outra inferência.

Por fim, o gerenciador é responsável pela interface do sistema com o usuário.

4.3.5 - Editor

O editor do sistema proposto foi definido com a finalidade de tornar o sistema dinâmico, isto é, estar sujeito a modificações que por ventura tornem-se indispensáveis à boa execução do sistema. O editor é dividido em duas partes: o editor de regras e o editor de banco de dados.

O editor de regras tem a finalidade de alterar as bases de conhecimento funcional e experimental, isto é, como essas bases de conhecimento são formadas por regras de produção, o editor tem a facilidade de criar novas regras, de inserir novos fatos ou variáveis nas premissas ou consequentes das regras, de excluir regras ou fatos e variáveis das premissas ou consequentes e por ultimo de atualizar as regras existentes.

O editor de banco de dados possui as mesmas características que o editor de regras com a exceção de que é utilizado na base de conhecimento global. Logo, o editor de banco de dados pode criar novos dados, excluir e atualizar todos os bancos de dados formadores da base de conhecimento global.

4.3.6 - Interface com o Operador/Processo

A interface com operador provê meios pelos quais o operador do processo possa interagir com o sistema. A interface com o processo é responsável pela interação direta com o processo. No caso de sistemas de potência seria responsável pela interface com o computador de supervisão do SGE a fim de obter informações sobre o estado do sistema.

4.3.7 - Simulador

O simulador deve interagir com a base de conhecimento funcional de modo a prover um modelo analítico para o sistema. A necessidade do simulador justifica-se quando da ocorrência de um

fato novo no sistema de modo que o conhecimento experimental seja incapaz de trata-lo. Neste caso através do conhecimento funcional pode-se determinar ações corretivas a serem aplicadas ao processo. Por exemplo, no caso de sistemas de potência o simulador seria responsável por um modelo de fluxo de carga ou de forma mais completa um fluxo de potência do sistema de modo a determinar a regulação de tensões nas barras de uma subestação de modo a garantir o fluxo desejado. Neste caso deve ficar claro que na base de conhecimento funcional haveria uma regra que definiria a necessidade de regulação da tensão de uma barra da subestação enquanto que o simulador seria responsável por definir com precisão qual é o nível desta tensão.

Em resumo, no capítulo 4, caracterizou-se a estrutura do sistema proposto bem como detalhou-se cada módulo do sistema. No próximo capítulo, especifica-se as partes implementadas.

CAPITULO 5

SISTEMA IMPLEMENTADO

5.1 - Introdução

Neste capítulo apresenta-se a implementação e aplicação de um sistema de auxílio a decisão para liberação de linhas e equipamentos em sistemas de transmissão de energia elétrica utilizando técnicas de inteligência artificial. A implementação desse sistema foi feita utilizando o Arity Prolog versão 4.0. Este sistema além de informações nos manuais de procedimentos operativos da CHESF incorpora dados coletados diretamente do processo, com apoio do COOS e DOCS da CHESF, Recife.

A necessidade do desenvolvimento e aplicação deste sistema como ferramenta de suporte a manobras em equipamentos e linhas de transmissão de energia elétrica visa resolver dois problemas principais. O primeiro refere-se a necessidade de uniformizar os procedimentos de liberação de equipamentos para manutenção. O segundo visa reduzir ao mínimo ou mesmo eliminar o grau de subjetividade das decisões a serem tomadas quando da necessidade de manobras em linhas de transmissão.

5.2 - Descrição do Sistema

O diagrama de blocos do sistema é mostrado na figura 5.1.

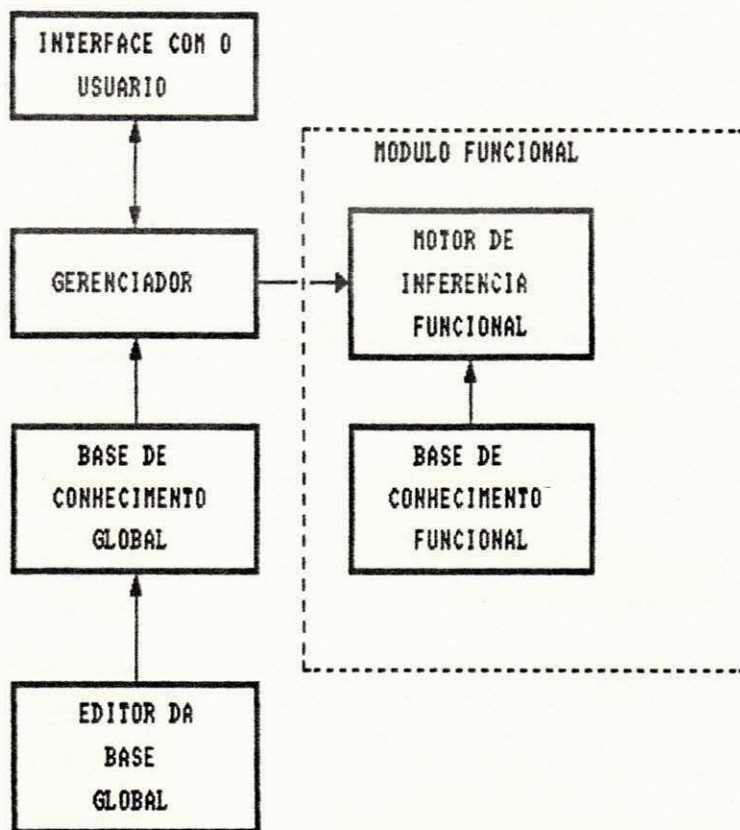


figura 5.1: Diagrama de Blocos do Sistema.

A figura 5.2 mostra o sistema de auxílio a decisão para liberação de linhas e equipamentos em sistemas de transmissão de energia elétrica da CHESF detalhadamente.

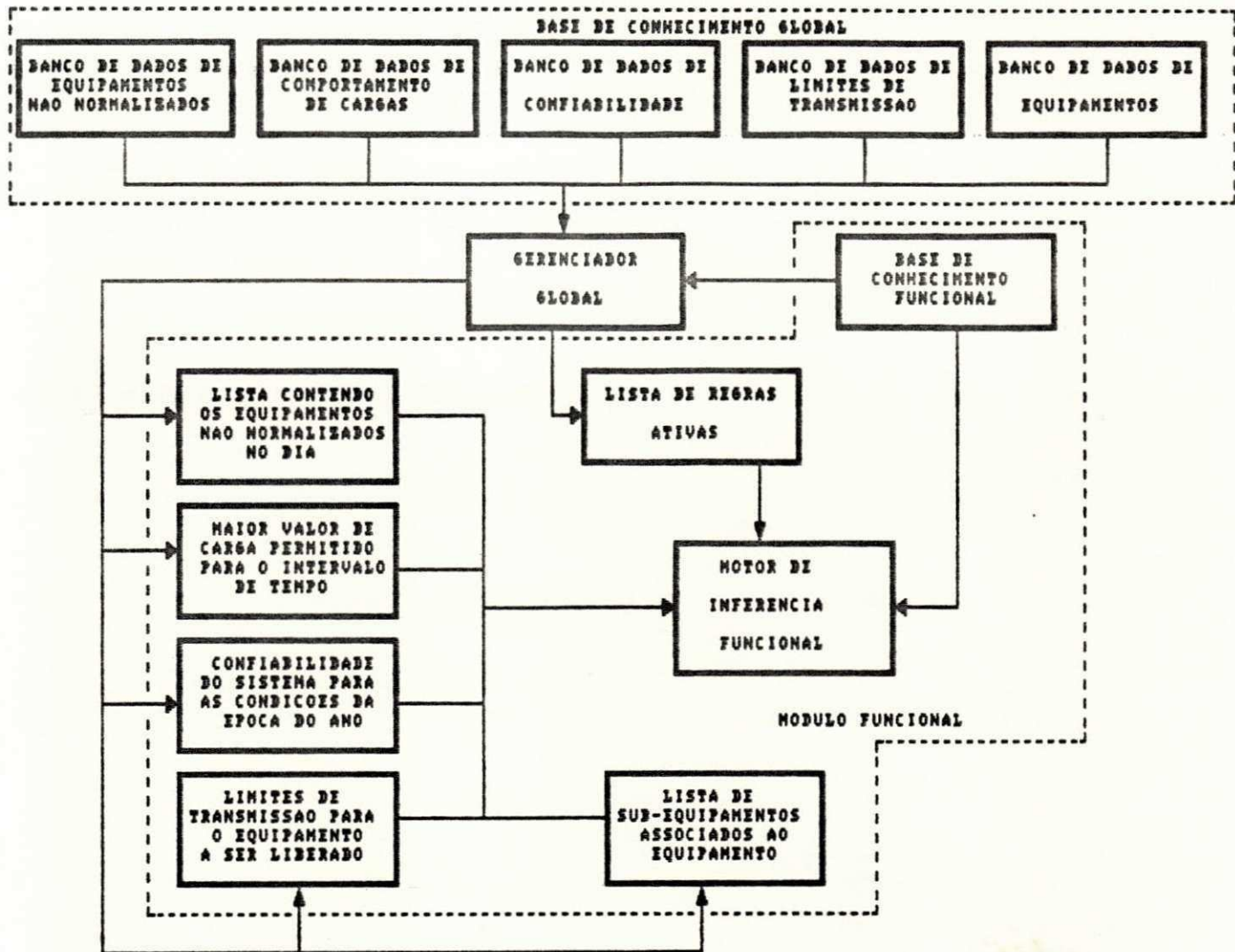


figura 5.2: Diagrama de Blocos do Sistema Detalhado.

O sistema além do seu objetivo principal que é o de auxiliar a liberação de equipamentos e linhas do sistema de transmissão de energia elétrica da CHESF, possui ainda um editor de banco de

dados que oferece a facilidade de modificar e atualizar os dados a serem utilizados. O sistema possui ainda uma interface com um arquivo de dados, em DBASE III, que contém as informações sobre os estados dos equipamentos associados à linha de transmissão na qual deseja-se fazer a manobra. O sistema é dividido em cinco módulos:

- Base de conhecimento global;
- motor de inferência funcional;
- base de conhecimento funcional;
- gerenciador, e
- editor da base de conhecimento global.

5.2.1 - Base de Conhecimento Global

A base de conhecimento global é o módulo que contém o conjunto de informações extraídas dos manuais de operação e peritos da CHESF. A base de conhecimento global constitui-se de um conjunto de fatos que descrevem as informações a serem pesquisadas e então armazenadas em bancos de dados que serão detalhados a seguir.

5.2.1.1 - Banco de Dados Sobre os Estados dos Equipamentos

Este banco de dados contém informações sobre os estados dos equipamentos associados à linha de transmissão ou equipamento a ela associado no qual deseja-se executar a manobra. Estes dados estão disponíveis em arquivo da CHESF, em DBASE III, e são

transferidos para o Prolog através do gerenciador que transforma os dados em formato DBASE III para uma forma compatível com os outros bancos de dados do sistema. Deste banco de dados as informações que serão pesquisadas são:

Campo	Nome do Campo	Tipo	Tamanho	Significado
1	INSTAL	Caracter	7	Identificador da Instalação (Ex. PAQ/OLD)
2	EQUIP	Caracter	15	Nome do Equipamento
6	SS	Caracter	1	Indica Subsistema
11	AND	Caracter	1	Status do Equipamento A - Autorizado E - Em análise C - Cancelado
12	LHP	Caracter	5	Hora de liberação prevista
13	NHP	Caracter	5	Hora de normalização prevista
14	LDP	Data	8	Data de liberação prevista
15	NDP	Data	8	Data de normalização prevista

5.2.1.2 - Banco de Dados de Equipamentos

Os dados sobre equipamentos possuem o seguinte formato:

equipamento(<NOME>, <CATEGORIA>, <LISTA>).

onde, <NOME> : nome do equipamento.

<LISTA>: contém os nomes dos equipamentos relacionados a linha de transmissão (campo <NOME>) que deverão ter seus estados observados a partir do banco de dados sobre estados dos equipamentos introduzido no item 5.2.1.1.

<CATEGORIA>: descreve o "status" do equipamento, o qual pode ser:

A: quando o usuário (operador) deve ser advertido caso o equipamento pesquisado da <LISTA> não possa ser normalizado.

D: quando a normalização do equipamento é imperiosa para liberação.

5.2.1.3 - Banco de Dados de Confiabilidade

A confiabilidade é uma medida de segurança operacional calculada a partir de dados estatísticos, onde são considerados fatores tais como queimadas, época do ano, reserva hidráulica, etc.

Os dados de confiabilidade possuem o seguinte formato:

confiabilidade(<NOME>,<MES>,<VALOR>)

onde, <NOME>: nome do equipamento;

<MES>: mês do ano ao qual a medida de confiabilidade relaciona-se, e;

<VALOR>: valor da confiabilidade para um determinado subsistema considerando a indisponibilidade do equipamento (<NOME>) e um mês (<MES>).

Este banco de dados contém informações sobre cada equipamento dos 6 subsistemas da CHESF (sul, norte, leste, oeste, centro e enorte) para os quais são calculados graus de confiabilidade independentes.

5.2.1.4 - Banco de Dados de Limites de Transmissão

Informações sobre limites de transmissão são obtidas a partir da execução dos algoritmos de fluxo de carga "off-line".

Os dados de limite de transmissão possuem o seguinte formato:

limite(<NOME>,<LISTA>)

onde, <NOME> : nome do equipamento;

<LISTA>: conjunto de pares (<SUBSISTEMA>,<VALOR>) que devem ser verificados pelo gerenciador para que a liberação do equipamento em questão não seja cancelada.

5.2.1.5 - Banco de Dados de Configuração de Carga

O banco de dados de configuração de carga do sistema traduz a curva de carga do sistema.

Os dados de configuração de carga possuem o seguinte formato:
util(<SUBSISTEMA>,<HORA>,<CARGA>), se o dia a realizar a
manobra for um dia útil;

sábado(<SUBSISTEMA>,<HORA>,<CARGA>), se o dia a realizar a
manobra for um sábado;

domingo(<SUBSISTEMA>,<HORA>,<CARGA>), se o dia a realizar
a manobra for um domingo.

onde, <SUBSISTEMA>: indica o nome do subsistema;

<HORA>: hora do dia, e;

<CARGA>: o valor de carga para um determinado horário
(<HORA>) associado a um determinado subsistema
(<SUBSISTEMA>).

Este banco de dados contém os valores para os 6 diferentes
subsistemas além de informações globais, 24 horas por dia e 3
tipos de dados para especificar, se dia útil, sábado ou domingo.

5.2.2 - Gerenciador

Pode-se dizer que o gerenciador funciona como o cérebro do
sistema. O gerenciador executa diversas funções, a saber:

- i- fazer as perguntas iniciais ou seja, nome do equipamento,
data e hora de liberação e data e hora de normalização.

- ii- gerenciar todo o processo de pesquisa nos bancos de dados, possibilitando gerar as informações necessárias a execução do sistema.

- iii- gerar o banco de dados sobre os estados dos equipamentos a partir do arquivo em DBASE III existente na CHESF e descrito no item 5.2.1.1.

5.2.3 - Motor de Inferência

O motor de inferência utiliza basicamente o encadeamento progressivo, isto é, parte-se de um conjunto de dados que descrevem o estado inicial do sistema, os quais foram identificados pelo gerenciador, e tenta chegar a uma conclusão. Para evitar que o motor de inferência pesquise exaustivamente as regras, o gerenciador a cada execução da regra atualiza o conjunto de regras ativas. Portanto, o motor de inferência opera em ciclos sobre esse conjunto de regras ativas, até que o mesmo seja vazio.

5.2.4 - Editor da Base de Conhecimento Global

Esse módulo foi criado para facilitar atualizações dos bancos de dados. O editor oferece opções de consulta ao banco de dados, inclusão de novos dados e exclusão de dados.

5.2.4.1 - Modo Consulta

Neste modo o operador seleciona o banco de dados a ser consultado e o sistema oferece as seguintes opções de consulta:

5.2.4.1.1. Banco de Dados de Equipamentos

- i- **Consulta por equipamentos:** apresenta todos os nomes dos equipamentos cadastrados no banco de dados de equipamentos.
- ii- **Consulta por categoria:** apresenta os nomes dos equipamentos de acordo com a categoria, "D" disponibilidade ou "A" alerta, pretendida.
- iii- **Consulta por lista de equipamentos:** apresenta os nomes dos equipamentos relacionados ao equipamento (campo nome) e categoria pretendidos.

5.2.4.1.2. Banco de Dados de Confiabilidade

- i- **Consulta por equipamento:** apresenta os equipamentos cadastrados com a confiabilidade dos subsistemas correspondentes no caso de indisponibilidade destes equipamentos.
- ii- **Consulta por valor:** apresenta os 12 valores de confiabilidade de acordo com o equipamento escolhido.

5.2.4.1.3 - Banco de Dados de Limite de Transmissão

- i- **Consulta por equipamentos:** apresenta todos os nomes de equipamentos cadastrados no banco de dados de limites de transmissão.
- ii- **Consulta por valores:** apresenta os subsistemas e valores limites de acordo com o equipamento pretendido.

5.2.4.1.4 - Banco de Dados de Curva de Carga

- i- **Consulta por subsistema:** apresenta todos os subsistemas cadastrados.
- ii- **Consulta por valores:** apresenta os 24 valores de carga para o subsistema pretendido.

5.2.4.2 - Modo de Exclusão

5.2.4.2.1 - Banco de Dados de Equipamentos

- i- **Exclusão de um elemento do banco de dados:** o operador escolhe o nome do equipamento e a categoria para exclusão, do elemento com esses valores, do banco de dados.
- ii- **Exclusão de um elemento da lista:** o operador indica o nome do equipamento, a categoria e o equipamento para exclusão da lista.
- iii- **Exclusão total:** ao selecionar esta opção o banco de dados é completamente apagado.

5.2.4.2.2 - Banco de Dados de Confiabilidade

- i- **Exclusão de um elemento do banco de dados:** o operador indica o equipamento e o mês e o elemento é excluído do banco de dados.
- ii- **Exclusão parcial:** o operador indica o equipamento e os 12 valores são apagados.
- iii- **Exclusão total:** ao selecionar esta opção o banco de dados é completamente apagado.

5.2.4.2.3 - Banco de Dados de Limite de Transmissão

- i- **Exclusão de um valor:** o operador indica o equipamento que deve ser apagado do banco de dados.
- ii- **Exclusão de um elemento da lista:** o operador indica o equipamento e a dupla (Subsistema,Valor) para exclusão da lista.
- iii- **Exclusão total:** ao selecionar esta opção o banco de dados é completamente apagado.

5.2.4.2.4 - Banco de Dados de Curva de Carga

- i- **Exclusão de um elemento do banco de dados:** o operador indica o subsistema e a hora e o elemento é excluído do banco de dados.

- ii- **Exclusão parcial:** o operador indica o subsistema e os 24 valores relativos ao subsistema são excluídos do banco de dados.
- iii- **Exclusão total:** ao selecionar esta opção o banco de dados é completamente apagado.

5.2.4.3 - Modo de Inclusão

5.2.4.3.1 - Banco de Dados de Equipamentos

- i- **Inclusão de um elemento:** o operador indica o nome do equipamento, a categoria e a lista de equipamentos e esses dados são inseridos no banco de dados.
- ii- **Inclusão de um elemento na lista:** o operador indica o nome do equipamento, a categoria e o elemento a ser inserido na lista.

5.2.4.3.2 - Banco de Dados de Confiabilidade

- i- **Inclusão de um elemento:** o operador indica o o nome do equipamento, o mês e o valor e esse dado é inserido no banco de dados.

5.2.4.3.3 - Banco de Dados de Limite de Transmissão

- i- **Inclusão de um valor:** o operador indica o nome do equipamento e os valores da lista a serem inseridos no banco de dados.

- i1- Inclusão de um elemento na lista: o operador indica o nome do equipamento e o elemento da lista a ser inserido.

5.2.4.3.4 - Banco de Dados de Curva de Carga

- i- Inclusão de um valor: o operador indica o subsistema, a hora do dia e o valor da carga.

5.2.5 - Base de Conhecimento Funcional

A base de conhecimento funcional constitui-se de regras de produção. As regras utilizadas apresentam-se da seguinte forma:

(ID<NOME_DA_REGRA,ESTADO_DA_REGRA>

SE antecedente

ENTÃO consequente)

As regras como definidas anteriormente possuem duas estruturas, o identificador da regra e o corpo da regra. No identificador da regra define-se o nome da regra que serve para rotulá-la e o estado da regra que é utilizado pelo gerenciador do sistema para marcar as regras que devem ser provadas pelo motor de inferência. O estado da regra pode assumir dois valores, 0 se a regra não deve ser provada e 1 caso contrário.

O corpo da regra constitui-se de duas partes: o antecedente ou premissa e o consequente. O antecedente é constituído por um conjunto de fatos que, ao serem pesquisados na base de conhecimento global, se forem verdadeiros ativam o consequente. O

consequente é um conjunto de ações que podem ser conclusões ou podem funcionar como antecedente para outras regras.

5.3 - Passos do Sistema

Nesse item indicam-se os passos percorridos pelo sistema para chegar a uma conclusão.

PASSO 1: inicialmente o sistema deverá perguntar ao operador o nome do equipamento, a data de liberação, a data de normalização, a hora de liberação e a hora de normalização.

PASSO 2: de posse dos dados do passo 1 o sistema pesquisará no banco de dados de equipamentos a lista relacionada ao equipamento cuja categoria é "D".

PASSO 3: os equipamentos da lista são verificados com os dados do banco de dados sobre os estados dos equipamentos e aos que tiverem êxito será perguntado se podem ser normalizados.

PASSO 4: se a resposta for positiva passa-se para o passo seguinte, caso contrário a liberação do equipamento é cancelada e a sessão é encerrada.

PASSO 5: repete-se o passo 2, passo 3 e passo 4 para a categoria "A", com exceção de que adverte-se o operador quando um equipamento não puder ser normalizado de que a confiabilidade global do sistema será comprometida e continua-se a sessão ao invés de encerrá-la.

PASSO 6: o banco de dados de limites de transmissão é pesquisado para determinar os valores limites para o equipamento em questão. Esses valores são comparados com o máximo valor obtido através da pesquisa do banco de dados de curva de carga de acordo com as datas indicadas e os valores de carga entre os horários de liberação e normalização. Se um desses valores limites é superior ao máximo valor de carga obtido, a liberação será cancelada, caso contrário passa-se para o passo seguinte.

PASSO 7: verifica-se no banco de dados de confiabilidade o valor relativo ao subsistema a que pertence o equipamento e o mês obtido da data de liberação. Se o valor for maior que 97%, então o sistema executa o passo seguinte, senão a liberação é cancelada.

PASSO 8: se todas as condições anteriores forem satisfeitas serão apresentados ao operador alguns procedimentos, recomendações, etc, e encerra-se a sessão.

Neste capítulo especificaram-se as partes implementadas do sistema proposto, quais sejam, o módulo experimental, formado pela inferência experimental e o conhecimento experimental, o gerenciador, a base de conhecimento global e o editor da base de conhecimento global. No capítulo seguinte apresentam-se informações operacionais sobre o sistema.

CAPÍTULO 6

OPERAÇÃO DO SISTEMA

6.1 - Introdução

Neste capítulo apresentam-se alguns aspectos operacionais do sistema: a configuração mínima de hardware e software exigidas, como inicializar uma sessão com o sistema e sua interface homem-máquina. Apresenta-se ainda uma sessão típica do sistema, mostrando-se a sucessão de telas e passos seguidos.

6.2 - Configuração Mínima Exigida

O sistema foi desenvolvido no Interpretador Arity Prolog, versão 4.0. Roda em micros compatíveis com o IBM-PC exigindo 512K de RAM e 1 disco rígido de 10Mbytes (assume-se que será o drive C). No disco rígido deverão estar os arquivos `sistema.ari`, `inclu.ari`, `exclu.ari`, `consulta.ari`, `menu.ari`, `motor.ari`, `gerenc.ari`, `regras.ari` e `data.ari`, bem como os arquivos formadores da base de conhecimento global, `banco.ari`, `banco1.ari`, `banco2.ari`, `banco3.ari`, `banco4.ari`, `banco5.ari` e `banco6.ari`, e ainda os arquivos referentes ao Interpretador Arity Prolog, versão 4.0.

6.3 - Inicialização de Sessão Com o Sistema

Para se começar uma sessão com o sistema, emite-se os comandos mostrados em minúsculas, recebendo as mensagens mostradas em maiúsculas. Antes de cada faz-se algumas considerações:

- i - Inicialmente chama-se o Interpretador Arity Prolog.

```
C> api
```

- ii - Após carregar-se o Interpretador Arity Prolog, observa-se na tela o símbolo "?" indicando que o mesmo encontra-se pronto para receber novos comandos. A seguir carrega-se na memória o arquivo `sistema.ari`.

```
? [sistema].
```

- iii - Por último, após o Interpretador apresentar-se novamente em estado de prontidão, chama-se a função "`chsf`" que carregará os demais arquivos necessários à execução do sistema, apresentando-se em seguida o menu principal.

```
? chsf.
```


6.4 - Interface Homem-Máquina

Toda interface homem-máquina é feita, de uma maneira geral, utilizando-se menus, verticais e horizontais. Nos menus horizontais a opção pode ser selecionada através da inicial da opção ou através das teclas de movimento do cursor para a direita ou para a esquerda, seguido de <ENTER>. Nos menus verticais a opção é selecionada utilizando-se as teclas de movimento do cursor para cima ou para baixo, seguido de <ENTER>. Alguns dados são obtidos através de perguntas feitas ao usuário quando não é possível utilizar-se menus. O sistema é formado por cerca de 40 telas de menus e a seguir mostram-se algumas delas.

A tela do menu principal com a opção saída selecionada.

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPA**

Consultar Excluir Incluir Rodar **SAIDA**

Retorno ao DOS

A tela do menu consulta.

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CIESP/UFPB**

MENU CONSULTA

ESCOLHA A OPCAO

~~OPcao de equipamentos~~
LD de limites de transmissao
LD de confiabilidade
LD de config. de carga
menu principal

USE AS TECLAS DE ROLAR A TELA

A tela do menu exclusão.

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CIESP/UFPB**

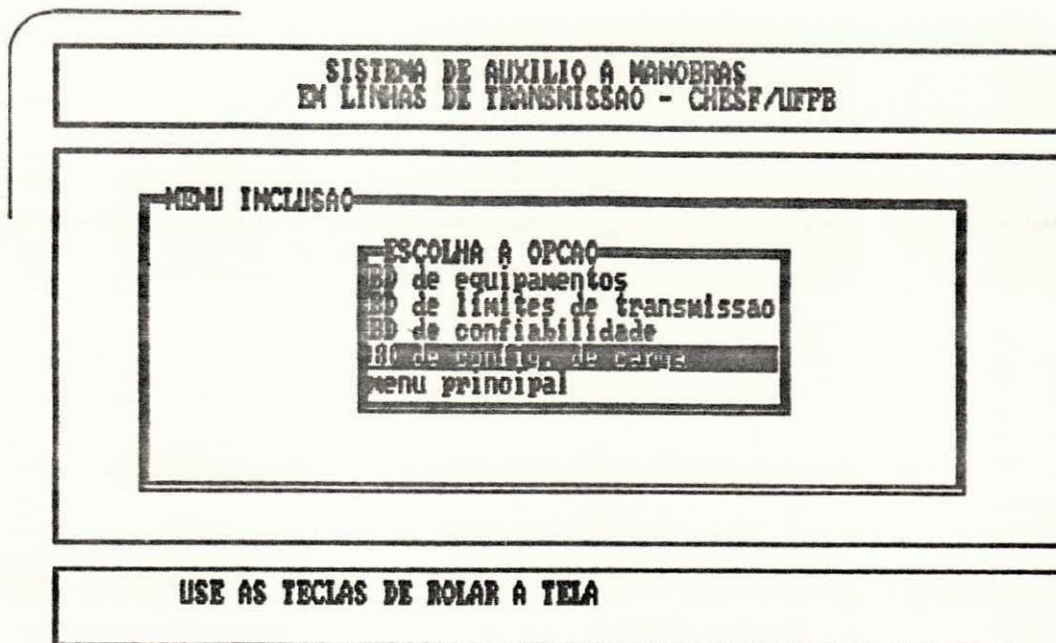
MENU EXCLUSAO

ESCOLHA A OPCAO

LD de equipamentos
LD de limites de transmissao
~~LD de confiabilidade~~
LD de config. de carga
menu principal

USE AS TECLAS DE ROLAR A TELA

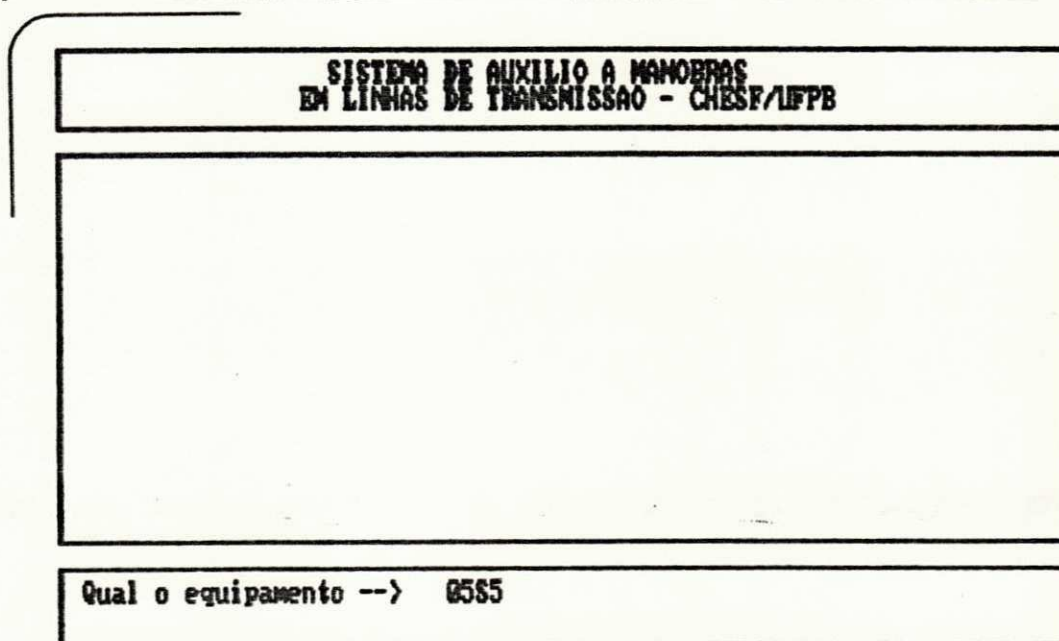
A tela do menu inclusão.



6.5 - Exemplo de Sessão com o Sistema

A partir da apresentação do menu principal, o operador escolhe a opção Rodar através das teclas de movimento do cursor para esquerda e direita.

A seguir, o sistema pergunta o nome do equipamento.



Após o nome do equipamento o operador deve indicar a data de liberação.

SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CIESP/UFPA
Qual a data de liberacao prevista (DD/MM/AA) --> 01/01/89

Após o operador introduzir a data de liberação deve ser introduzida a data para normalização do equipamento.

SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CIESP/UFPA
Qual a data de normalizacao prevista (DD/MM/AA) --> 18/01/89

Deve ser então introduzidas as horas de liberação e normalização.

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB**

Qual a hora de liberacao prevista (HH:MM) --> 18:00

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB**

Qual a hora da normalizacao prevista (HH:MM) --> 19:00

Após as definições das datas e horas de liberação e normalização a tela de equipamentos normalizados é inicializada e inicia-se a pesquisa dos equipamentos em estado de disponibilidade e alerta.

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

PESQUISANDO EQUIPAMENTOS

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPE**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

O equipamento 15G6 ITE/ITB pode ser normalizado ? nao

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPE**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento 15G6 ITE/ITB normalizado

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento 15G6 IIB/ITB normalizado

PESQUISANDO EQUIPAMENTOS

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento 15G6 IIB/ITB normalizado

0 equipamento 15L5 OLO/OLD pode ser normalizado ? nao

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPE**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento 15G6 ITE/ITE normalizado
Equipamento 15L5 OLO/OLD normalizado

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPE**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento 15G6 ITE/ITE normalizado
Equipamento 15L5 OLO/OLD normalizado

PESQUISANDO EQUIPAMENTOS

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/LFPB**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento 15G6 ITB/ITB normalizado
Equipamento 15L5 OLO/OLD normalizado

O equipamento 65L4 JCA/ITB pode ser normalizado ? nao

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/LFPB**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento 15G6 ITB/ITB normalizado
Equipamento 15L5 OLO/OLD normalizado
Equipamento 65L4 JCA/ITB normalizado

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPE**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento	15G6	ITB/ITB	normalizado
Equipamento	15L5	OLO/OLD	normalizado
Equipamento	85L4	JCA/ITB	normalizado

PESQUISANDO EQUIPAMENTOS

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPE**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento	15G6	ITB/ITB	normalizado
Equipamento	15L5	OLO/OLD	normalizado
Equipamento	85L4	JCA/ITB	normalizado

0 equipamento 85L5 LLL/KKK pode ser normalizado ? sim

SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento	15G6	ITB/ITB	normalizado
Equipamento	15L5	OLA/OLD	normalizado
Equipamento	05L4	JCA/ITB	normalizado
Equipamento	05L5	LLL/KKK	nao normalizado

tecle (ENTER)
para continuar

O equipamento 05L5 LLL/KKK encontra-se na lista dos
equipamentos em advertencia

SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento	15G6	ITB/ITB	normalizado
Equipamento	15L5	OLA/OLD	normalizado
Equipamento	05L4	JCA/ITB	normalizado
Equipamento	05L5	LLL/KKK	nao normalizado

PESQUISANDO EQUIPAMENTOS

SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento	15G6	ITB/ITB	normalizado
Equipamento	15L5	OLA/OLA	normalizado
Equipamento	85L4	JCA/ITB	normalizado
Equipamento	85L3	LLL/KKK	nao normalizado

O equipamento 15D6 AAA/BBB pode ser normalizado ? sim nao

SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPB

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento	15G6	ITB/ITB	normalizado
Equipamento	15L5	OLA/OLA	normalizado
Equipamento	85L4	JCA/ITB	normalizado
Equipamento	85L3	LLL/KKK	nao normalizado
Equipamento	15D6	AAA/BBB	normalizado

PESQUISANDO EQUIPAMENTOS

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPE**

LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS

Equipamento	15G6	ITB/ITB	normalizado
Equipamento	15L5	OLO/OLD	normalizado
Equipamento	85L4	JCA/ITB	normalizado
Equipamento	85L5	LLL/KKK	nao normalizado
Equipamento	15D6	AAA/BBB	normalizado

PESQUISANDO EQUIPAMENTOS

Após a verificação da situação de disponibilidade dos sub-equipamentos associados a um equipamento pesquisa-se a confiabilidade do sistema na falta deste equipamento.

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/UFPE**

PESQUISANDO CONFIABILIDADE

O sistema verifica ainda os limites de transmissão para os sub-sistemas associados ao equipamento.

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/LFPB**

PESQUISANDO LIMITES DE TRANSMISSAO

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/LFPB**

**tecle (ENTER)
para continuar**

limites ok

Após a verificação da disponibilidade do equipamento para liberação, apresenta-se uma tela contendo recomendações operacionais e o sistema retorna ao menu principal.

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/LIFPB**

PROCEDIMENTOS

1 - DESENERGIZACAO:

- a - Manter a tensão na GE PAQ nos níveis normais.**
- b - Abrir terminal de PAQ da LY PAQ/OLD**
- c - Desenergizar a LY PAQ/OLD abrindo o terminal de OLD**

2 - ENERGIACAO:

- a - Fazer o procedimento inverso da DESENERGIZACAO**

tecle (ENTER)
para continuar

**SISTEMA DE AUXILIO A MANOBRAS
EM LINHAS DE TRANSMISSAO - CHESF/LIFPB**

EXIBIR Exibir Incluir Rodar Sair
Consultas ao banco de dados

Neste capítulo apresentaram-se a configuração exigida pelo sistema, como inicializa-lo, qual sua interface homem-máquina bem como, uma sessão de execução do sistema. No próximo capítulo apresentam-se conclusões e perspectivas futuras.

CAPITULO 7

CONCLUSÃO

Existem alguns fatores que devem ser ressaltados na conclusão deste trabalho. O primeiro refere-se ao esforço dispendido tanto na pesquisa bibliográfica como na elaboração de survey sobre a aplicação de Inteligência Artificial na operação de processos. Este esforço total tomou um tempo significativo. Procurou-se compilar informações sobre sistemas especialistas, representação do conhecimento, tratamento de incertezas, ferramentas e linguagens para construção de sistemas especialistas e estudos sobre a viabilização do uso de técnicas de inteligência artificial em operação de processos. O segundo refere-se à aplicação escolhida, qual seja manobras do sistema de transmissão da CHESF, onde procurou-se uma área em que o sistema implementado fosse realmente útil e de aplicação prática a curto prazo. O aspecto mais importante a ressaltar é a experiência adquirida com a implementação do sistema. Neste ponto destaca-se a iteração com o perito na área onde mais uma vez observou-se a dificuldade de obtenção do conhecimento com abrangência e profundidade. Procurou-se ainda tornar o sistema reaproveitável e geral, isto é, criou-se um motor de inferência genérico que pode ser utilizado em uma grande família de sistemas especialistas, bastando mudar o conhecimento embutido nos bancos de dados e regras formadores da base de conhecimento do sistema em questão. Esta abordagem é

bastante vantajosa pois com pequenas modificações e aperfeiçoamentos pode-se ter uma ferramenta de construção de sistemas especialistas baseados em regras com incerteza e encadeamento progressivo.

O sistema encontra-se em fase de testes extensivos na CHESF e será utilizado com o objetivo de otimizar o processo de tomada de decisão atacando os dois problemas principais quais sejam, a subjetividade das decisões e a uniformidade de procedimentos.

Os testes já realizados na CHESF têm mostrado a excelência da solução adotada, tanto do ponto de vista teórico como prático.

E importante ressaltar que as ferramentas de suporte desenvolvidas para o sistema, quais sejam: os módulos de consulta, inclusão e exclusão, ou seja, a manutenção do banco de dados do gerenciador global, constituíram-se em condição "si ne qua non" para a realização dos testes pois estes apresentaram enorme volume de dados e suas relações. Sem o desenvolvimento destes módulos o sistema tornar-se-ia quase impossível de ser manipulado do ponto de vista de manutenção dos bancos de dados.

Outro aspecto relevante que exigiu uma análise criteriosa, foi o grande número de equipamentos, quais sejam, linhas de transmissão, auto-transformadores e os sub-equipamentos a eles associados tais como, disjuntores, chaves, reatores, geradores, compensadores estáticos, etc. A arquitetura proposta e implementada propiciou que pudesse ser definidas regras operacionais básicas cujas premissas podem ser dinamicamente modificadas a partir dos dados fornecidos ao motor de inferência funcional pelo gerenciador global. Caso não houvesse sido adotada

esta arquitetura, onde a reutilização das regras foi definida, o sistema possivelmente teria alguns milhares de regras, isto justifica-se pois a partir de uma análise inicial foram identificadas 152 regras operacionais, somente para uma das linhas de transmissão da CHESF. Obviamente que este volume de regras inviabilizaria o sistema. Esta inviabilização pode ser caracterizada principalmente pelo enorme esforço a ser dispendido na manutenção do sistema.

Deve-se ressaltar ainda que a natureza dinâmica do problema a ser resolvido leva à especificação, desenvolvimento e implementação do sistema nos moldes propostos, ou seja, os procedimentos operacionais modelados através da base de conhecimento funcional podem ser considerados quase estáticos. A base de conhecimento global é que introduz a característica dinâmica necessária ao sistema, através do provimento do conhecimento atual sobre o estado dos equipamentos ao motor de inferência funcional.

Alguns trabalhos futuros são sugeridos:

- i- A evolução para a versão compilada do sistema (o compilador Arity-Prolog é cerca de 20 vezes mais rápido que o interpretador) que possa ser usada como um módulo stand-alone.
- ii- A implementação do módulo experimental que possibilitará a otimização do sistema por razões já discutidas no capítulo 4;

- iii- A implementação do editor de regras que permitirá uma fácil modificabilidade da base de conhecimento do sistema;
- iv- Implementar a interface homem-máquina em outra linguagem, por exemplo 'C', de modo a otimizar seu código e consequentemente diminuir o tempo de resposta;
- v- Aplicar o sistema em outra área modificando sua base de conhecimento com o objetivo de validação do núcleo de inferência;
- vi- Implementar o módulo de explanação com o objetivo de criar-se uma ferramenta mais completa de construção de sistemas especialistas.

BIBLIOGRAFIA

- Araribóia, G. (1988): "Inteligência Artificial, um Curso Prático", São Paulo: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Casanova, M. A.; Giorno, F. A. C.; Furtado, A. L. (1987): "Programação em Lógica e a Linguagem Prolog", São Paulo: Editora Edgar Blucher LTDA.
- Chorafas, D. N. (1988): "Sistemas Especialistas, Aplicações Comerciais", São Paulo: McGraw-Hill.
- Dubois, D.; Prade, H. (1980): "Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications", New York: Academic.
- Dvorak, D. L. (1987): "Expert System for Monitoring and Control", Report AI 87-55, University of Texas at Austin, May.
- Fink, P. K.; Lusth, J. C. (1987): "Expert Systems and Diagnostic Expertise in the Mechanical and Electrical Domains", IEEE Trans. Systems Man and Cybernetics, vol SMC-17, No 3, May/June, pp. 340 - 349.
- Friedman, L. (1981): "Extended Plausible Inference", in Proc. 7th Int. Joint Conf. Artificial Intelligence, pp. 487-495.
- Haddawy, P.: "Implementation of and Experiments with a Variable Precision Logic Inference System", Science.

- Hein, F.; Schellstede, G. (1988): "Use of Expert Systems in Energy Control Centers", International Conference on Large High Voltage Electric Systems, CIGRE, 18 August, Paris, França, 39 - 15.
- Iserman, R. (1981): "Digital Control Systems", Berlin, Spring Verlag.
- Kandel, A.; Lee, S. C. (1979): "Fuzzy Switching and Automata: Theory and Applications", Crane, Russak & Company Inc., New York.
- Kaufmann, A. (1987): "Les Expertons: Traitement Informatique de la Connaissance", Hermès, Paris.
- Laffey, T. J.; et alli (1988): "Real-Time Knowledge-Based Systems", AI Magazine, pp. 27-42.
- Levine, R. I.; Drang, D. E.; Edelson, B. (1988): "Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas: Aplicações e Exemplos Práticos", São Paulo: McGraw-Hill.
- Lyra, I. A.; Braga, J. D. M.; Figueiredo, J. C. A.; Silva, H. M. (1989): "Núcleo de Inferência Bayesiana, uma Ferramenta para S.E.'s Bayesianos", VI Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, 6-9 Novembro, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 195 - 205.
- Mamdani, E. H.; Gaines, B. R. (1981): "Fuzzy Reasoning and its Applications", Academic Press Inc., London.

- Nilsson, N. J. (1980): "Principles of Artificial Intelligence", Tioga Publishing Company, Palo Alto, California.
- Norgard, H.; et alii (1988): "Knowledge Based Systems for Power System Operation", International Conference on Large High Voltage Electric Systems, CIGRE, 18 August, Paris, França, 39 - 07.
- Pearl, J. (1986): "Bayes Decision Methods", Technical Report CSD-850023, Computer Science Dep., University of California, Los Angeles.
- Perkusich, A.; Morais, M. E.; Figueiredo, J. C. A. (1989a): "Sistema de Auxílio a Decisão em Manobras em Linhas de Transmissão Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial", VI Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial, 6-9 Novembro, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 93 - 102.
- Perkusich, A.; Morais, M. E.; Perkusich, M. L. B.; Figueiredo, J. C. A.; Dantas, M. (1989b): "Aplicação de Sistema Especialista na Área de Operação de Processos: Exemplificação Sistema de Potência", III ERLAC, CIGRE, Foz do Iguaçu, Brasil, 39C - 01.
- Ribeiro, H. C. S. (1987): "Introdução aos Sistemas Especialistas", São Paulo: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Rich, E. (1988): "Inteligência Artificial", São Paulo: McGraw-Hill.

- Shortliffe, E. H. (1976): "Computer-Based Medical Consultations: MYCIN", New York, Elsevier.
- Stephanou, H. F.; Sage, A. P. (1987): " Perspectives on Imperfect Information Processing", IEEE Trans. Systems Man and Cibernetics, vol. SMC-17, No 5, September/October, pp. 780 - 798.
- Sterling, L.; Shapiro, E. (1986): "The Art of Prolog", Massachussets Institute of Technology.
- Takagi, T.; Sugeno, M. (1987): "Fuzzy Identification of Systems and Its Application to Modeling and Control", IEEE Trans. Systems Man and Cibernetics, Vol. SMC 15, No. 1, January, pp. 116-132.
- Vieira, F. X.; et alli (1989): "Programação da Operação Elétrica: Uma Aplicação Imediata dos Estudos de Planejamento da Operação", III ERLAC, CIGRE, Foz do Iguaçu, Brasil, 39 - 01.
- Waterman, D. A. (1986): "A Guide to Expert Systems", Addison-Wesley Publishing Company.
- Wollenberg, B. F.; Sakaguchi, T. (1987): "Artificial Intelligence in Power System Operation", Proceedings of IEEE, vol. 75, No 12, December, pp. 1678 - 1685.
- Yen, J.: "A Reasoning Model Based on an Extended Dempster-Shafer Theory", Science.

- Yoon, W. C.; Hammer, J. M. (1988): "Aiding the Operator During Fault Diagnosis", IEEE Trans. Systems Man and Cibernetics, vol. SMC-18, No 1, January/February, pp. 142 - 147.
- Zadeh, L. A. (1965): "Fuzzy Sets", Information and Control, vol. 8, pp. 338 - 353.
- Zadeh, L. A. (1973): "Outline of a New Approach to the Analysis of Systems and Decision Process", IEEE Trans. Systems Man and Cibernetics, vol SMC-3, No 1, January, pp. 28 - 44.
- An Introduction to Arity/Prolog, 1986.
- Building Arity/Prolog Applications, 1986.
- The Arity/Expert Development Package, 1986.
- The Arity/Prolog Language Reference Manual, 1988.
- Guia de Operação da CHESF, GO - 10.02.521, 1988.
- Guia de Operação da CHESF, GO - 10.02.522, 1988.
- Guia de Operação da CHESF, GO - 10.02.523, 1988.
- Guia de Operação da CHESF, GO - 10.02.531, 1988.
- Guia de Operação da CHESF, GO - 10.02.532, 1988.
- Guia de Operação da CHESF, GO - 10.02.533, 1988.

APENDICE A

LISTAGEM DAS REGRAS

```
regra(1) :- eqp(EQ),equip(EQ,$d$,L),!,assertz(lista(L)),
            lmp1,tmove(6,18),write('LISTA DE EQUIPAMENTOS NORMALIZADOS'),
            assertz(lin(7)),altera([2]),!.
```

```
regra(1) :- lmp1,tmove(22,23),write('EQUIPAMENTO DESCONHECIDO'),
            wait,chesf1,!.
```

```
regra(2) :- lmp1,tmove(22,3),write('PESQUISANDO EQUIPAMENTOS'),
            retract(lista(L)),
            ifthenelse( L = [],
            /* then */
            altera([5]),
            /* else */
            ( L = [L1;L2],assertz(l1(L1)),assertz(l2(L2)),
            altera([3,4]))),!.
```

```
regra(3) :- retract(l1(L1)),substring(L1,0,4,L11),
            concat(L11,$
            $,L12),substring(L1,5,7,L22),
            fzs(L22,L12),
            lmp1,tmove(22,3),
            texto(['O equipamento ',L1,' pode ser normalizado ? ']),
            esc(C),C,retract(r(R)),
            ifthenelse( R = s,
            /* then */
            (retract(lin(LIN)),inc(LIN,LIN1),assertz(lin(LIN1)),
            tmove(LIN1,3),texto(['Equipamento ',L1,
            ' normalizado'])),
            /* else */
            (lmp,lmp1,tmove(22,3),
            texto(['cancelado porque o equipamento ',L1]),
            tmove(23,3),texto(['nao pode ser normalizado']),
            wait,lmp2,altera([4]),chesf1)),!.
```

```

regra(4) :- retract(l2(L2)),assertz(lista(L2)),altera([2]),!.

regra(5) :- inicia,eqp(EQ),equip(EQ,$a$,L),assertz(lista(L)),
altera([6]),!.

regra(6) :- lmp1,tmove(22,3),write('PESQUISANDO EQUIPAMENTOS'),
retract(lista(L)),
ifthenelse( L = [],
/* then */
altera([9]),
/* else */
( L = [L1;L2],assertz(l1(L1)),assertz(l2(L2)),
altera([7,8]))),!.

regra(7) :- retract(l1(L1)),substring(L1,0,4,L11),
concat(L11,$ $,L12),substring(L1,5,7,L22),
fzr(L22,L12),
lmp1,tmove(22,3),
texto(['O equipamento ',L1,' pode ser normalizado ? ']),
esc(C),C,retract(r(R)),
ifthenelse( R = s,
/* then */
(retract(lin(LIN)),inc(LIN,LIN1),assertz(lin(LIN1)),
tmove(LIN1,3),texto(['Equipamento ',L1,' normalizado'])),
/* else */
(retract(lin(LIN)),inc(LIN,LIN1),assertz(lin(LIN1)),
tmove(LIN1,3),texto(['Equipamento ',L1,' nao normalizado'])),
lmp1,tmove(22,3),
texto(['O equipamento ',L1,' encontra-se na lista dos']),
tmove(23,3),texto(['equipamentos em advertencia']),
wait,lmp2)),!.

regra(8) :- retract(l2(L2)),assertz(lista(L2)),altera([6]),!.

regra(9) :- lmp,lmp1,tmove(22,3),write('PESQUISANDO CONFIABILIDADE'),
eqp(EQ),ms(MM),mes(MM,Nome),conf(EQ,Nome,Cf1),
ifthenelse( Cf1 > 97,
/* then */
altera([10]),
/* else */
altera([20])),!.

regra(10) :- eqp(EQ),limite(EQ,LL),assertz(lista(LL)),altera([11]),!.

```

```

regra(11) :- lmp1,tmove(22,3),write('PESQUISANDO LIMITES DE TRANSMISSAO'),
retract(lista(LL)),
ifthenelse( LL = [],
/* then */
altera([21]),
/* else */
(LL = [LL1;LL2],assertz(l1(LL1)),assertz(l2(LL2)),
altera([12])),!.

regra(12) :- retract(l1(LL1)),LL1 = [SS,V],assertz(sub(SS)),
assertz(sval(V)),altera([13]),!.

regra(13) :- dt(Dt),data(Dt,Sem),
case([ Sem = sabado -> altera([14]),
Sem = domingo -> altera([15]);
altera([16])]),!.

regra(14) :- retract(sub(SS)),hin(Hi),hfim(Hf),maior2(SS,Hi,Hf,M),
assertz(mor(M)),altera([17]),!.

regra(15) :- retract(sub(SS)),hin(Hi),hfim(Hf),maior1(SS,Hi,Hf,M),
assertz(mor(M)),altera([17]),!.

regra(16) :- retract(sub(SS)),hin(Hi),hfim(Hf),maior(SS,Hi,Hf,M),
assertz(mor(M)),altera([17]),!.

regra(17) :- retract(mor(M)),retract(sval(V)),
ifthenelse( V > M,
/* then */
altera([19]),
/* else */
altera([18])),!.

regra(18) :- retract(l2(LL2)),assertz(lista(LL2)),altera([11]),!.

regra(19) :- lmp1,tmove(22,3),
write('cancelado porque o limite de transmissao'),
tmove(23,3),write('foi ultrapassado'),wait,chesf1,!.

regra(20) :- lmp1,tmove(22,3),
write('cancelado porque a confiabilidade do sistema eh inferior a 97%'),
wait,chesf1,!.

regra(21) :- lmp1,tmove(22,3),write('limites ok'),wait,eqp(EQ),
tela(EQ),!.

```