

**CARLOS ROBERTO DA SILVA FILHO**

**SISTEMA DE APOIO À PROGRAMAÇÃO DE DESLIGAMENTOS  
EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

FLORIANÓPOLIS

2001

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

**SISTEMA DE APOIO À PROGRAMAÇÃO DE DESLIGAMENTOS  
EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação submetida à  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Como parte dos requisitos para a  
Obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica

**CARLOS ROBERTO DA SILVA FILHO**

Florianópolis, março de 2001.

# SISTEMA DE APOIO À PROGRAMAÇÃO DE DESLIGAMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Carlos Roberto da Silva Filho

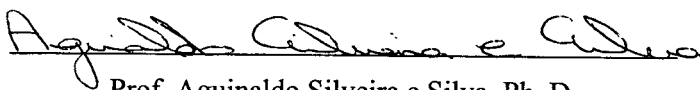
‘Esta Dissertação foi julgada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica,  
Área de Concentração em Sistemas de Potência, e aprovada em sua forma final pelo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa  
Catarina



---

Jacqueline Gisèle Rolim, D. Eng.

Orientadora

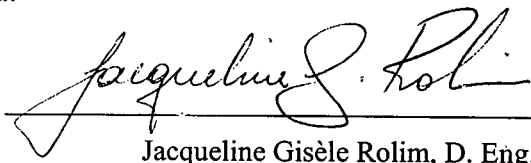


---

Prof. Aginaldo Silveira e Silva, Ph. D.

Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:



---

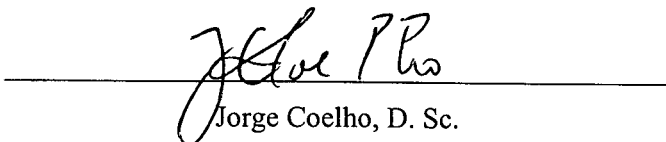
Jacqueline Gisèle Rolim, D. Eng.

Presidente



---

Hans Helmut Zürn, Ph. D.



---

Jorge Coelho, D. Sc.

Um homem em busca da sabedoria resolveu ir para as montanhas,  
pois lhe disseram que a cada dois anos Deus aparecia ali.

Durante o primeiro ano, comeu tudo o que a terra lhe  
oferecia. No final, a comida acabou, e teve que retornar a cidade.  
Deus é injusto! – exclamou. – Não viu que fiquei aqui durante todo  
este tempo, procurando ouvir sua voz. Agora tenho fome, e volto  
sem escutá-Lo. Neste momento, um anjo apareceu. – Deus gostaria  
muito de conversar com você – disse o anjo. – Durante um ano lhe deu  
alimento. Esperava que você cuidasse de sua alimentação no próximo  
ano. Entretanto, o que você plantou? Se um homem não é capaz de  
produzir frutos no lugar onde vive, não está preparado para conversar com  
DEUS.

Paulo Coelho

À DEUS todo poderoso,  
pois o SENHOR me deste saúde,  
força e sabedoria para produzir  
frutos e louvar-Te.

## Agradecimentos

A Professora Dra. Jacqueline Gisèle Rolim pela orientação e amizade dedicado a este trabalho, pois sem sua força de vontade e paciência este trabalho não se realizaria.

Ao Professor Hans Helmut Zürn, pela orientação e amizade, principalmente durante a fase inicial do mestrado.

Ao Professor Jorge Coelho, pela amizade e contribuições para este trabalho.

Ao Engenheiro Walter Zelindro da Silva Filho, pois sem seu empenho e colaboração este trabalho não seria possível.

A equipe de funcionários do Centro de Operação da Distribuição da Agência Regional de Florianópolis – ARFLO, em especial ao Supervisor de Operação, Engenheiro Moacir Florindo, especialista em Operação da Distribuição.

Aos Professores do Grupo de Sistemas de Potência – GSP, do Laboratório de Sistemas de Potência – LABSPOT, por me receberem e colaborarem para minha formação profissional e acadêmica.

Aos professores do Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas da UNIPLAC, em especial aos professores José Carlos Prado e Alexandre Perin de Souza, pelo incentivo e apoio durante o mestrado.

Aos todos os amigos de mestrado, em especial Edson Cunha e Antônio Sertich, pelo companheirismo e apoio durante os anos de pesquisa.

Ao amigo Rafael Coitinho pela ajuda na implementação do sistema (programação).

Aos amigos da Pós-Graduação, Wilson e Marcos, pelo suporte burocrático.

A CAPES por incentivar esta pesquisa.

Aos meus pais **Carlos Roberto da Silva** e **Elenice Borba da Silva**, por tudo que fizeram e fazem por mim, pois tenho certeza que as minhas conquistas são conquistas de vocês também.

A minha querida namorada **Elizabeth Antunes Lima**, por ajudar na escrita desta dissertação e por toda a paciência, compreensão, sacrifício e incentivo que me deste.

Aos meus familiares, principalmente aos meus avós Ceriaco, Leodorina e Tereza.

A Vanderléia Rodrigues pela dedicação nos afazeres do lar.

Ao meu sobrinho Daniel, pois foi por você que tive força de seguir sempre em frente.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para  
obtenção do grau de mestre em Engenharia Elétrica

## **SISTEMA DE APOIO À PROGRAMAÇÃO DE DESLIGAMENTOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**CARLOS ROBERTO DA SILVA FILHO**

Março/2001

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Jacqueline Gisèle Rolim

Área de Concentração: Sistemas de Potência

Palavras-chave: Sistemas de Potência, Programação de Desligamentos, Sistemas Especialistas,  
Manutenção Preventiva, Confiabilidade.

Número de Páginas: 146

O presente trabalho descreve um sistema especialista desenvolvido com a finalidade de auxiliar o engenheiro responsável pela avaliação de solicitações de desligamentos em sistemas de distribuição de energia elétrica. Os desligamentos são para execução de atividades na rede de distribuição tais como manutenção e construção. Para tomar as decisões quanto à aprovação destas solicitações, o engenheiro responsável verifica os clientes conectados no trecho de rede considerado, a possibilidade de transferência de carga durante os trabalhos, e restrições do tipo: quais e que tipo de consumidores terão a carga interrompida, a necessidade destes serem avisados com tempo de antecedência, se o tempo de duração do desligamento é adequado, etc.. O auxílio de um sistema especialista permite ao engenheiro responsável considerar vários outros aspectos do problema que são inviáveis na prática. Dentre os principais aspectos, tem-se os índices de confiabilidade, o armazenamento do histórico das solicitações previamente aprovadas ou reprovadas, o agrupamento de serviços programados, etc.. O objetivo principal da ferramenta é monitorar os índices de frequência e duração das interrupções, permitindo que a concessionária evite multas da agência reguladora, sempre que possível.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Master in Electrical Engineering

## **SUPPORT SYSTEM FOR OUTAGES SCHEDULING IN ELECTRICAL ENERGY DISTRIBUTION NETWORKS**

**CARLOS ROBERTO DA SILVA FILHO**

March/2001

Advisor: Prof. Jacqueline Gisèle Rolim

Concentration Area: Power Systems

Keywords: Power Systems, Outages Scheduling, Expert Systems, Preventive Maintenance, Reliability.

Number of Pages: 146

This research work describes an expert system developed with the purpose of supporting the engineer responsible for evaluating equipment outage requests in electrical energy distribution networks. These disconnections are necessary for activities like maintenance or construction in the network.. In order to decide about approving these requests or not, the engineer verifies which customers are connected to the sector that will be out of service, the possibility of transferring the load during services and constraints like what kind of customer will suffer interruptions, the necessity of warning them within a certain time interval before services, whether the duration of the services is appropriate, etc..

The support of an expert system allows the engineer to consider many other aspects related to the problem that are not possible at present. Among these we have the monitoring of reliability indices, the registering of requests previously approved or not, etc. The main objective of this tool is to monitor the system average frequency and duration indices of customer interruptions, avoiding fines from the regulatory agency, whenever possible.

## SUMÁRIO

Lista de Abreviaturas .....	VIII
Lista de Figuras .....	IX
Lista de Tabelas .....	XI
Capítulo 1 - Introdução .....	1
1.1 Manutenção e Operação de Sistemas de Distribuição .....	1
1.2 Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial aos Problemas de Sistemas de Distribuição .....	2
1.3 Objetivos e Contribuições do Trabalho .....	2
1.4 Organização da Dissertação .....	4
Capítulo 2 – Padrões de Qualidade x Programação da Manutenção em Sistemas de Distribuição .....	6
2.1 Introdução .....	6
2.2 Manutenção em Sistemas de Distribuição .....	8
2.2.1 Manutenção Corretiva em Sistemas de Distribuição .....	9
2.2.2 Manutenção Preventiva em Sistemas de Distribuição .....	9
2.2.3 A Função Taxa de Falha .....	11
2.2.4 Políticas de Manutenção .....	12
2.2.5 Programação da Manutenção Preventiva em Sistemas de Distribuição .....	14
2.3 Monitoração da Qualidade no Suprimento de Energia Elétrica no Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro .....	19
2.3.1 Qualidade de Suprimento / Fornecimento de Energia Elétrica .....	21
2.3.2 Qualidade de Suprimento / Fornecimento: Continuidade .....	22
2.3.3 Qualidade de Suprimento / Fornecimento: Conformidade .....	26
2.3.4 Qualidade de Suprimento / Fornecimento: Atenção Comercial .....	28
2.3.5 Qualidade de Suprimento / Fornecimento: Penalidades .....	29
2.4 Programação de Desligamentos .....	30
2.4.1 Programação de Desligamentos - Revisão Bibliográfica .....	31
2.4.2 Programação de Desligamentos: Características .....	33
2.4.3 Programação de Desligamentos: Considerações .....	35
2.5 Programação de Desligamentos - O caso da CELESC .....	36
2.5.1 Operação de Sistemas de Distribuição .....	37



2.5.2 Programação de Desligamentos: Considerações da CELESC .....	43
2.6 Conclusões .....	47
Capítulo 3 - Desenvolvimento de um Sistema Especialista para Apoio a Programação de Desligamento .....	50
3.1 Introdução .....	50
3.2 Aspectos Principais de Sistemas Especialistas .....	51
3.2.1 Vantagens e Aplicações de Sistemas Especialistas .....	51
3.2.2 Características de Sistemas Especialistas .....	54
3.2.3 Elementos de Sistemas Especialistas .....	55
3.3 Etapas de Desenvolvimento de Sistemas Especialistas .....	56
3.3.1 Identificação e Caracterização do Problema .....	57
3.3.2 Aquisição e Representação do Conhecimento .....	60
3.3.3 Tipo de Mecanismo de Inferência.....	69
3.3.4 Implementação .....	71
3.3.5 Verificação e Validação de um Sistema Especialista .....	72
3.4 O sistema Especialista Implementado .....	72
3.4.1 Identificação e Caracterização do Problema .....	73
3.4.2 Aquisição do Conhecimento.....	74
3.4.3 Representação do Conhecimento .....	78
3.4.4 Metodologia de Busca/Encadeamento .....	79
3.4.5 Implementação do Protótipo .....	79
3.4.6 Verificação/Validação do Sistema .....	81
3.5 Conclusões .....	82
Capítulo 4 – Sistema Especialista de Apoio a Programação de Desligamento .....	84
4.1 Introdução .....	84
4.2 Fluxo de Potência em Sistemas de Distribuição .....	85
4.3 Banco de Dados .....	88
4.4 Monitoramento dos Índices de Confiabilidade .....	92
4.5 O <i>shell</i> Expert SINTA .....	94
4.6 Base de Conhecimento .....	96
4.7 Interface com o Usuário .....	107
4.8 Integração Entre as Partes do Sistema .....	110
4.9 Conclusões .....	113

Capítulo 5 – Resultados e Conclusões .....	115
5.1 Introdução .....	115
5.2 Exemplo 1: Programação de Desligamento de um Cliente Particular .....	115
5.3 Exemplo 2: Programação de Desligamento de um Transformador da Concessionária ..	121
5.4 Exemplo 3: Programação de Desligamento de um Ramal .....	126
5.5 Exemplo 4: Programação de Desligamento de um Alimentador .....	129
5.6 Conclusão .....	135
5.7 Sugestões para Trabalhos Futuros .....	136
Apêndice A .....	137
Referências Bibliográficas .....	140

## Lista de Abreviaturas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
ARFLO – Agência Regional de Florianópolis  
ASAI – Average Service Availability Index  
CAIDI – Customer Average Interruption Duration Index  
CAIFI – Customer Average Interruption Frequency Index  
CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina  
COD – Centro de Operação da Distribuição  
COS – Centro de Operação do Sistema  
DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica  
DEC – Duração Equivalente por Consumidor  
DIC – Duração Individual por Consumidor  
DTD – Declaração de Trecho Desligado  
DVDI – Divisão de Distribuição  
FEC – Frequência Equivalente por Consumidor  
FIC – Frequência Individual por Consumidor  
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers  
IEC – International Electrotechnical Commission  
LIA – Laboratório de Inteligência Artificial  
MAE – Mercado Atacadista de Energia  
NA – Chave Normalmente Aberta  
NR – Nota de Reclamação  
OAV – Objeto, Atributo, Valor  
ONS – Operador Nacional do Sistema  
RI – Relatório de Interrupção  
SAIDI – System Average Interruption Duration Index  
SAIFI – System Average Interruption Frequency Index  
SD – Solicitação de Desligamento  
SD/DBL – Solicitação de Desligamento/Bloqueio  
SINTA – Sistema INTeligentes Aplicados  
TMA – Tempo Médio de Atendimento  
VCL – Visual Component Library

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Curava da Banheira .....	12
Figura 3.1: Um Possível Problema e a Relação do Domínio do Conhecimento .....	51
Figura 3.2: Partes Básicas que Compõem um Sistema Especialista .....	56
Figura 3.3: Redes Semânticas – Relação Entre Membros de uma Família .....	64
Figura 3.4: <i>Frame</i> Genérico de um Carro .....	66
Figura 3.5: <i>Frame</i> Específico de um Carro .....	66
Figura 3.6: Métodos de Busca .....	71
Figura 3.7: Arquitetura Simplificada do Sistema Proposto .....	81
Figura 4.1: Equivalente Elétrico da Rede no Primeiro Ponto de Carga.....	87
Figura 4.2: Arquitetura Simplificada do <i>shell</i> Expert SINTA .....	97
Figura 4.3: Ambiente de Programação da Base de Conhecimento do Expert SINTA .....	98
Figura 4.4: Janela de Edição de Variáveis do Expert SINTA .....	99
Figura 4.5: Janela de Edição de Regras do Expert SINTA .....	102
Figura 4.6: Janela de Edição das Premissas do Expert SINTA .....	102
Figura 4.7: Janela de Edição da Conclusão do Expert SINTA .....	103
Figura 4.8: Janela de Edição dos Objetivos do Expert SINTA .....	104
Figura 4.9: Janela de Edição da Interface do Expert SINTA .....	105
Figura 4.10: Janela de Interface com o Usuário Automática do Expert SINTA .....	105
Figura 4.11: Janela de Informações sobre a Base de Conhecimento do Expert SINTA .....	106
Figura 4.12: Janela de Informações sobre a Base de Conhecimento do Expert SINTA .....	106
Figura 4.13: Janela de Interface Personalizada – Solicitação de Desligamento .....	108
Figura 4.14: Janela de Interface Personalizada – Relatório de Solicitação de Desligamento	109
Figura 4.15: Janela de Interface Personalizada – Relatório de Trecho Desligado .....	110
Figura 4.16: Relação entre os Diferentes Componentes do Sistema Proposto .....	112
Figura 5.1: Tela de Início do Sistema – Exemplo 1 .....	117
Figura 5.2: Tela de Solicitação de Desligamento – Exemplo 1 .....	117
Figura 5.3: Tela de Consulta – Exemplo 1 .....	118
Figura 5.4: Tela de Resultado da Consulta – Exemplo 1 .....	118
Figura 5.5: Tela de Explicação – Caminho Percorrido – Exemplo 1 .....	119
Figura 5.6: Tela dos Valores Instanciados – Exemplo 1 .....	119
Figura 5.7: Relatório de Solicitação de Desligamento – Exemplo 1 .....	120

Figura 5.8: Relatório de Clientes a Serem Avisados – Exemplo 1 .....	120
Figura 5.9: Declaração de Trecho Desligado – Exemplo 1 .....	121
Figura 5.10: Tela de Solicitação de Desligamento – Exemplo 2 .....	123
Figura 5.11: Tela de Resultado da Consulta – Exemplo 2 .....	124
Figura 5.12: Tela de Explicação – Caminho Percorrido – Exemplo 2.....	124
Figura 5.13: Tela de Valores Instanciados – Exemplo 2 .....	125
Figura 5.14: Relatório de Solicitação de Desligamento – Exemplo 2 .....	125
Figura 5.15: Tela de Solicitação de Desligamento – Exemplo 3 .....	127
Figura 5.16: Tela de Resultados – Exemplo 3 .....	127
Figura 5.17: Relatório de Solicitação de Desligamento – Exemplo 3 .....	128
Figura 5.18: Tela de Solicitação de Desligamento – Exemplo 4 .....	132
Figura 5.19: Tela de Resultados – Exemplo 4 .....	132
Figura 5.20: Tela de Explicação – Caminho Percorrido – Exemplo 4 .....	133
Figura 5.21: Tela dos Valores Instanciados – Exemplo 4 .....	133
Figura 5.22: Relatório de Solicitação de Desligamento – Exemplo 4 .....	134
Figura 5.23: Relatório de Clientes a Serem Avisados – Exemplo 4 .....	134
Figura 5.24: Declaração de Trecho Desligado – Exemplo 4 .....	135
Figura A.1: Simbologia do Diagrama Unifilar .....	137

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Limites Anuais para os Índices DEC e FEC.....	24
Tabela 2.2: Limite Anual para o Índice DIC .....	25
Tabela 2.3: Limite Anual para o Índice FIC .....	25
Tabela 2.4: Limites de Variação de Tensão .....	27
Tabela 2.5: Percentual de Tolerância do Período de Medida .....	28
Tabela 3.1: Conectivos Lógicos .....	68

# Capítulo 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Manutenção e Operação de Sistemas de Distribuição

Os sistemas de distribuição possuem características próprias, tais como estrutura radial, desequilíbrio de carga em geral (linhas rurais), classes de tensão mais baixas, entre outras. Isto faz com que tais sistemas necessitem de ferramentas e práticas diferentes daquelas aplicadas ao restante do sistema de potência.

Dentro das características inerentes a sistemas de distribuição, que ocorrem de forma diferente do restante do sistema, tem-se a operação e a manutenção destes. A operação procura atender os clientes ininterruptamente, enquanto a manutenção tem sido uma ferramenta eficiente e eficaz para que o sistema opere pelo maior tempo possível. A complexidade de critérios e considerações no planejamento e execução da operação de sistemas de distribuição, torna esta parte do sistema de potência, uma área de conhecimento, onde vários estudos devem ser realizados, para aperfeiçoar cada vez mais as técnicas e ferramentas de apoio para projeto, operação e manutenção disponíveis para estes sistemas.

Dentre os problemas dos sistemas de distribuição, tem-se que a ocorrência de desligamentos, sejam estes programados ou não, muitas vezes levam a interrupções no fornecimento, que podem em determinadas situações causar danos aos consumidores. Os desligamentos ocorrem pelos mais diferentes fatores, como por exemplo, acidentes, falhas, necessidade ou erros de operação. Procurando observar a restrição de que o sistema de distribuição deve fornecer energia pelo maior tempo possível, a análise do planejamento da programação de desligamentos deve ser feita considerando todos os problemas inerentes a esta ocorrência. Isto faz com que cada vez mais uma investigação de tal assunto torne-se indispensável para concessionárias de energia elétrica, que atuam na distribuição.

Por passar por um processo de reestruturação do mercado de energia elétrica, o sistema brasileiro de energia elétrica, está mudando as características de um ambiente estatal verticalizado, para um ambiente com participação privada e horizontal. Isto faz com que determinadas características da programação de desligamentos em sistemas de distribuição, sejam revistas e atualizadas para tal. Face a esta mudança, determinados conceitos devem ser revistos, considerações atualizadas e novas ferramentas devem ser desenvolvidas para auxiliar na solução dos problemas de sistemas de distribuição neste novo ambiente.

Para contribuir com a solução de um dos problemas que surgirão com este novo ambiente, uma ferramenta de apoio à programação de desligamentos é proposta. Esta ferramenta utiliza técnicas de inteligência artificial, para tratar tal problema. Esta técnica será apresentada, assim como esta ferramenta, com enfoque ao problema em questão.

## **1.2 Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial aos Problemas de Sistemas de Distribuição**

A aplicação de técnicas de Inteligência Artificial na solução de problemas comumente tratados por seres humanos, tem acontecido em várias áreas do conhecimento, tais como: engenharia, medicina, entre outras. Dentro da área de sistemas de potência também tem sido utilizada para várias propostas, como por exemplo, diagnóstico de faltas, planejamento da expansão, previsão de cargas, entre outros. Dentre as mais diversas área de inteligência artificial existentes, está sendo considerada neste trabalho a aplicação de sistemas baseados em conhecimento ao problema da programação de desligamentos.

Como técnica de solução do problema da programação de desligamentos em subestações de distribuição e sistemas de transmissão, sistemas especialistas foram utilizados por KAMINARIS (1991) e por KAWAHARA (1998), respectivamente.

A aplicação de técnicas de inteligência artificial em alguns problemas de engenharia surge devido a grande complexidade e dificuldade de elaborar uma solução algorítmica. No caso dos sistemas baseados no conhecimento, a técnica baseia-se na forma de pensar e resolver problemas de especialistas humanos, a qual pode ser emulado por computador, dependendo da situação em questão. Para desempenhar tal tarefa, os sistemas baseados em conhecimento (sistemas especialistas) usam técnicas de representação do conhecimento (representação simbólica) em conjunto com um mecanismo de inferência, de forma que o computador tenha um procedimento similar ao de um especialista, no momento de tratar um dado problema e determinar uma solução.

## **1.3 Objetivos e Contribuições do Trabalho**

O objetivo deste trabalho é a implementação de uma ferramenta computacional, baseada na técnica de inteligência artificial conhecida como sistemas baseados em conhecimento, para apoiar um especialista no trabalho de analisar solicitações de desligamentos em sistemas de distribuição, considerando o maior número possível das restrições do problema.



Neste caso, a solução do problema foi implementada de modo a respeitar o método de solução do especialista humano, as restrições apontadas por este e algumas das restrições ignoradas por ele, devido ao tempo que seria necessário para avaliá-las, bem como a inviabilidade de gerenciar grandes quantidades de dados. O sistema implementado determina quando uma programação para desligamento deve ser aprovada ou não. Se a solicitação for reprovada a execução dos serviços na rede de distribuição fica postergada, conforme as restrições do problema.

A ferramenta de apoio foi implementada para proporcionar um maior conforto e comodidade ao especialista na execução de suas atividades diárias. Em casos extremos, onde a solução encontrada pela ferramenta é uma solução inadequada, isto é, por ser uma situação muito particular, o especialista será responsável pela abordagem da solução, sendo a ferramenta atualizada, se for conveniente. A ferramenta pode ser atualizada com facilidade, pois trata-se de um sistema modular, onde a alteração de uma parte, em geral, elimina a necessidade de reprogramar o sistema. A reprogramação, em geral, só será necessária se houver uma mudança de conceito, mas dificilmente do todo.

O sistema desenvolvido tem as seguintes responsabilidades:

- Gerenciar e monitorar os índices de confiabilidade do sistema de distribuição, principalmente, aqueles provenientes de desligamentos programados;
- Gerenciar e armazenar as solicitações de desligamentos em sistemas de distribuição feitos pelas mais diferentes áreas de uma concessionária de distribuição, em especial, o caso da CELESC;
- Gerenciar e armazenar os desligamentos aprovados e reprovados numa programação de desligamentos em redes de distribuição;
- Gerenciar os equipamentos e clientes especiais conectados a rede de distribuição, que devem ser considerados num desligamento programado de acordo com a sua atividade e que devem ser avisados por escrito com um documento personalizado com antecedência de cinco dias (unidades consumidoras atendidas em tensão superior a 1kV e inferior a 230 kV, cuja demanda contratada seja igual ou superior a 500 kW);
- Proporcionar uma ferramenta de análise de fluxo de rede em sistemas de distribuição para rodar um fluxo de potência, integrada na solução do problema, para verificação de parâmetros e especificações da rede numa transferência de carga, bem como observar os limites impostos por materiais e normas;

- Avaliar, sistematizar e atualizar o conhecimento necessário para avaliar a programação de desligamentos em sistemas de distribuição;
- Ser um ambiente amigável e principalmente com características de raciocínio e considerações similares às do especialista humano para tratar o problema, e portanto liberá-lo de determinadas tarefas;
- Ser uma ferramenta de ensino, pesquisa e extensão no problema de programação de desligamentos de sistemas de distribuição;
- Ser uma ferramenta de treinamento na concessionária para preparação de novos programadores;
- Auxiliar a guardar o conhecimento do especialista humano, por tempo indefinido e que for conveniente.

Além das responsabilidades descritas o sistema possui um ambiente gráfico amigável, tornando-o atrativo no processo de treinamento de novos especialistas, pois permite acompanhar os passos seguidos pelo sistema para chegar à solução. Este sistema híbrido é composto de um módulo de sistemas especialistas, uma interface, banco de dados e programas procedimentais para cálculo dos índices de confiabilidade e fluxo de potência em redes de distribuição.

As principais contribuições deste trabalho são:

- Criação de uma ferramenta computacional que contempla a grande capacidade de processamento numérico de programas algorítmicos e de processamento simbólico de sistemas especialistas;
- A utilização do paradigma de programação orientado à objeto, com sistemas especialistas, proporcionando um sistema altamente flexível e modular, facilitando futuras atualizações e manutenções;
- A de ser uma ferramenta alternativa na determinação de programação de desligamentos em redes de distribuição.

#### **1.4 Organização da Dissertação**

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: O capítulo 2 apresenta a programação de desligamentos em sistemas de potência, com enfoque a sistemas de distribuição. Dentre os tópicos, abordados, ressalta-se a programação da manutenção e confiabilidade em sistemas de distribuição, bem como os aspectos da programação de

desligamentos em tais sistemas. Em especial, apresenta-se as considerações da programação de desligamentos da CELESC, como conhecimento a ser observado. Por fim apresenta-se a importância de uma programação de desligamentos bem feita.

No capítulo 3 é abordada a técnica de sistemas baseados em conhecimento (sistemas especialistas), bem como as características gerais de tais sistemas. Apresenta-se as principais técnicas de representação do conhecimento, alguns métodos de busca e etapas de desenvolvimento dos sistemas especialistas. Apresenta-se também uma descrição geral da ferramenta implementada e a sua arquitetura.

No capítulo 4 apresenta-se a ferramenta como um todo, seus componentes e detalhes de implementação, considerando as restrições do problema de desligamentos.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos com a avaliação de algumas solicitações de desligamento, de modo a demonstrar os resultados obtidos no protótipo implementado. Por último, neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

No apêndice A, é apresentado o diagrama unifilar do sistema considerado no protótipo, com as características da rede de distribuição.

## Capítulo 2 PADRÕES DE QUALIDADE × PROGRAMAÇÃO DA MANUTENÇÃO EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

### 2.1 Introdução

A operação de um sistema de energia elétrica tem por objetivo principal atender os consumidores mediante padrões de continuidade, qualidade e economicidade (GOMES PINTO et al., 1982), enquanto a manutenção vela pela integridade, disponibilidade e maximização da vida útil dos equipamentos e materiais que compõem o sistema (CIPOLLI, 1993). Isto é possível se a concessionária tiver uma estrutura adequada para operar satisfatoriamente o sistema, aproveitando ao máximo os recursos disponíveis para resolver problemas de rotina, tais como interrupções.

Uma interrupção é uma parada do serviço de fornecimento de energia elétrica a um ou mais consumidores, devido a saída de um ou mais componentes, dependendo da configuração do sistema (QUEIROZ, 1988). As interrupções podem ser previstas ou imprevistas, e podem também ser temporárias, momentâneas ou sustentadas.

Uma interrupção prevista é uma saída programada, que acontece quando um componente é retirado de serviço em uma data pré-estabelecida, usualmente com o objetivo de construção, manutenção preventiva ou reparo na rede de distribuição (QUEIROZ, 1988). Já uma interrupção imprevista é uma saída forçada de um componente que ocorre por condições de emergência. Nem toda saída de um componente, causa uma interrupção, vai depender da confiabilidade estrutural que o sistema tenha (CAMARGO, 1981). Uma interrupção temporária, é aquela cuja duração é condicionada ao tempo necessário para o restabelecimento do serviço através da operação de chaves manuais, quando a localização do operador não permitir a manobra imediata, sendo completadas num intervalo de uma a duas horas. Já uma interrupção momentânea é aquela cuja duração é limitada pelo tempo necessário para o restabelecimento do serviço através operação automática de dispositivos de proteção, ou por operação de chaves manuais quando a localização do operador disponível permitir a operação imediatamente. Tais operações são tipicamente completadas em poucos minutos - em geral, até três minutos, inclusive. Interrupções sustentadas são todas as interrupções que não podem ser classificadas nem como momentâneas e nem como

temporárias, gastando mais que alguns minutos - em geral, acima de três minutos (QUEIROZ, 1988).

Dentre os tipos de interrupções, as imprevistas causam maior transtorno pois, por melhor que seja a engenharia de distribuição, mais bem preparadas que estejam as turmas de emergência, por melhores que sejam os materiais e ferramentas, uma falha gera descontentamento para o cliente, mesmo que seja apenas por um determinado período de tempo. No caso de interrupções previstas, embora ainda haja desconforto para o cliente, este pode ao menos programar-se para, no momento da interrupção prevista, realizar atividades que não demandem energia elétrica, de forma a minimizar os seus prejuízos, sejam eles quais forem (GOMES PINTO et al.; 1982). Para identificar interrupções, em COUTO et al. (1999), é apresentado o uso de classificadores neurais cujas entradas são os alarmes recebidos sobre a operação de relés de proteção e disjuntores; enquanto as saídas identificam o componente do sistema no qual ocorreu o defeito.

Relacionado às interrupções e à manutenção, há o conceito de falha e a esta a confiabilidade dos materiais, equipamentos e dispositivos e componentes instalados no sistema.

Uma falha é a perda total ou parcial de um equipamento, dispositivo ou componente, ou a modificação nas propriedades do mesmo, que reduza de forma considerável as suas condições de operação (CAMARGO, 1981). Há casos onde há dificuldade de definir uma falha, porém em geral, as falhas podem ser classificadas segundo o grau de influência na capacidade de trabalho, segundo o caráter físico do aparecimento da falha, em relação ao processo de aparecimento, em relação a outras falhas ou segundo o tempo de existência da falha.

De acordo com o grau de influência na capacidade de trabalho uma falha pode ser do tipo total ou parcial. Na falha total há uma perda deste componente ou uma modificação em suas propriedades, tal que este perde completamente as condições de trabalho. Já na parcial apenas parte das condições de trabalho são afetadas. Com relação ao caráter físico do surgimento da falha, esta pode ser catastrófica, acarretando a alteração completa da capacidade de operação de um componente, ou paramétrica que causam um mau funcionamento nos sistemas a que tais componentes pertencem, sendo que este mau funcionamento pode ser permanente ou temporário. No caso da falha de um elemento não acarretar na falha de outros, será independente; caso contrário, dependente, sendo esta um tipo de falha relacionada a outras falhas. Considerando o processo de aparecimento da falha, esta

pode ser repentina, quando há uma variação abrupta dos parâmetros que determinam a qualidade do componente; as falhas graduais são advindas da variação repetitiva dos parâmetros que determinam a qualidade do componente, devido, principalmente, ao envelhecimento e ao desgaste. De acordo com a duração da falha, esta ainda pode ser: permanente, temporária ou intermitente (CAMARGO, 1981).

Uma falha, pode causar ou não uma interrupções aos clientes. Em alguns casos interrupções podem ser evitadas pela configuração apropriada da rede, onde os elementos podem estar conectados em série, em paralelo e de forma mista, evitando a perda de carga. Em situações onde nem a configuração da rede pode evitar uma interrupção, esta causará um corte de carga (CAMARGO, 1981).

Existem no entanto restrições de ordem econômica e ambientais no processo de tomada de decisões estratégicas para expansão do sistema das empresas de energia elétrica que afetam sua confiabilidade. Um estratégia adotada, por exemplo, são as construções de circuitos múltiplos que compartilham uma mesma estrutura de suporte, ou circuitos que compartilhem uma mesma faixa de passagem. Nestes casos desligamentos múltiplos podem ocorrer, devido a proximidade física dos componentes do sistema. Estes desligamentos são de natureza diferente das interrupções múltiplas independentes e este fenômeno é conhecido como falha de modo ou causa comum (COELHO, 1998).

A manutenção preventiva tem por objetivo minimizar as interrupções do sistema, possibilitando um fornecimento satisfatório de energia, maximizando a receita e minimizando os custos. Contudo é importante ressaltar que, de acordo com o tipo de desligamento, há nas empresas de energia elétrica diferentes setores responsáveis pelo restabelecimento do fornecimento de energia.

Em interrupções imprevistas, é delegada a responsabilidade de restaurar o fornecimento de energia ao setor de operação, enquanto que nas previstas a responsabilidade é do setor de manutenção, observando um parecer favorável da operação. Portanto, a coordenação das atividades de operação e manutenção visa, entre outros, minimizar os efeitos negativos da interrupção de energia elétrica, tanto do ponto de vista do consumidor quanto do ponto de vista da concessionária.

## **2.2 Manutenção em Sistemas de Distribuição**

A deterioração dos materiais e equipamentos começa no instante em que estes começam a operar num dado sistema. A falha de um equipamento pode ocorrer por diversos

fatores, pois estes estão sujeitos a alteração de suas características no decorrer do tempo, seja pelo bom ou mau uso, pelo ambiente em que se encontram, entre outros fatores (BILLINTON, 1984). As atividades de manutenção nos equipamentos, dispositivos e componentes em sistemas de energia elétrica, em geral, pretendem deixar o sistema em disponibilidade pelo maior tempo possível (COELHO, 1996).

A manutenção envolve ações, planejadas ou não, com o objetivo de manter um sistema ou componente em boas condições ou restaurá-lo a condição de operação (QUEIROZ, 1988). Quando se trata de manutenção em equipamentos, componentes de sistemas de distribuição de energia elétrica, não foi possível ainda desenvolver uma política única que possa ser aplicada na maioria dos componentes, seja pela diversidade dos mesmos seja por fatores que podem ser levados em consideração (COELHO, 1996).

A manutenção de equipamentos elétricos adquiriu um papel de destaque dentro das concessionárias de energia elétrica, pois é através da manutenção, que é possível “garantir” que os equipamentos, dispositivos e componentes permaneçam em boas condições de operação, evitando assim, as falhas, mantendo uma boa confiabilidade do sistema (COELHO, 1996).

Basicamente, a manutenção pode ser classificada em duas categorias principais: a manutenção **corretiva** e a **preventiva**. De acordo com o tipo de manutenção (corretiva ou preventiva), relaciona-se ainda política de manutenção de um componente e sua respectiva taxa de falha.

### **2.2.1. Manutenção Corretiva em Sistemas de Distribuição**

A manutenção corretiva visa reparar, substituir ou ajustar os componentes que falharam durante a operação normal do sistema, independentemente do que causou a falha, retornando o sistema a sua operação normal. Assim, a manutenção corretiva é, em geral, feita pelas turmas de emergência, cujo objetivo é apenas fazer com que o sistema volte a operar o mais breve possível. Portanto, a manutenção corretiva, em geral, está ligada às atividades de operação do sistema (GOMES PINTO et al., 1982). Deste modo, de acordo com LIE, et al. (1986) a manutenção corretiva é aquela efetuada quando o sistema falha.

### **2.2.2. Manutenção Preventiva em Sistemas de Distribuição**

A manutenção preventiva é todo serviço programado de controle, conservação ou restauração de instalações e equipamentos, executados com a finalidade de mantê-los em

condições de operação e prevenir possíveis ocorrências que afetem sua disponibilidade (GOMES PINTO et al., 1982). De acordo com (LIE et al., 1986) a manutenção preventiva é aquela efetuada antes que a falha ocorra.

No aspecto administrativo o trabalho de manutenção em uma concessionária pode ser observado em nível de gerência e à nível operacional. A nível gerencial, o sistema de manutenção compreende, basicamente, um conjunto de fatores e critérios que permitem selecionar a área administrativa da concessionária (localidade, distrito ou região de distribuição) onde o recurso de manutenção preventiva será utilizado prioritariamente (GOMES PINTO et al., 1982). Neste caso, deve-se observar os seguintes critérios: Importância da localidade, número de consumidores, consumo industrial, densidade de carga e dimensão da área urbana, índices de continuidade de serviços. A nível operacional, o trabalho de manutenção em uma concessionária analisa, compara e hierarquiza as redes de distribuição quanto ao seu desempenho individual, estabelecendo prioridades de atuação da manutenção. O trabalho consiste em analisar um conjunto de dados do sistema elétrico que se inter-relacionam com informações de natureza técnico-administrativas, que vai gerar o programa de inspeção e manutenção (GOMES PINTO et al., 1982).

Basicamente, os serviços realizados como manutenção preventiva, suportados por uma prévia programação são:

- Substituir: condutores, chaves-faca, pára-raios, isoladores, conectores, cruzetas, ferragens, postes, estais e outros equipamentos de distribuição;
- Enfitar o condutor nos isoladores;
- Reesticar ou aliviar a tensão mecânica em condutores;
- Relocar ou aprumar postes;
- Nivelar cruzetas;
- Remover ou afastar condutores;
- Reapertar ou refazer conexões;
- Limpar, lavar e substituir isoladores;
- Podar árvores;
- Limpar faixas;
- Numerar ou renumerar a posteação ou os equipamentos;
- Retirar da rede objetos estranhos;
- Medir a resistência de aterramentos.



Com base na manutenção corretiva e preventiva, surgiram, primeiramente, duas políticas de manutenção: **cuidado no trato e substituição de emergência**. Na política de cuidado no trato entende-se que quanto maior for a frequência de manutenção, menor o número de falhas. Na substituição de emergência, opera-se o equipamento até que este se torne inoperável.

Em ambos os casos, dependendo do sistema estas políticas podem não ser ótimas, e podem conduzir a uma manutenção inadequada e a excessivos colapsos do sistema ou equipamento. É importante ressaltar que a manutenção está relacionada com o ciclo de vida de um componente ou equipamento, portanto deve-se observar a tendência da taxa de falha e o efeito da ação da manutenção sobre a taxa de falha. Deste modo, a tendência da taxa de falha é um indicador da viabilidade da manutenção preventiva, pois a ação da manutenção pode, ou não, diminuir o nível da taxa de falha (QUEIROZ, 1988).

Em sistemas de distribuição, as concessionárias visam a detecção da deterioração do equipamento antes da falha baseados na suposição *a priori* de que o equipamento tenha deteriorado e requer substituição sem prova de deterioração (SITTITHUMWATA, et al., 1999). Portanto, deve-se estabelecer uma metodologia de planejamento, que contemple mecanismos para possibilitar a priorização dos investimentos e gastos em manutenção, de forma otimizada e sistematizada considerando os vários parâmetros técnicos e de mercado, procurando maximizar os resultados dos recursos aplicados nas atividades de manutenção (TORREZAN, et al., 1998).

### **2.2.3. A Função Taxa de Falha**

Uma típica função taxa de falha de um componente pode ser representada pela “Curva da Banheira”, que representa teoricamente, o ciclo de vida de um componente ou sistema conforme o figura 2.1, a seguir. De acordo com QUEIROZ (1988) a parte decrescente do gráfico (taxa de falha decrescente com o tempo), representa o período de operação inicial, e diz-se que é o período de quebra ou mortalidade infantil. Em geral, falhas neste período ocorrem causadas por erros de projeto ou construção. A parte do gráfico que apresenta a taxa de falha constante com o tempo, representa o período de operação normal. Neste período, as falhas ocorrem ao acaso, seja devido a catástrofes ou em operação normal. Neste período a recuperação do componente é tarefa da manutenção corretiva (ALTWEGG, et al., 1999). No último período de vida (do sistema ou equipamento) é o do envelhecimento ou desgaste, e vê-se então no figura 2.1, que a taxa de falha cresce com o tempo (deterioração dos componentes

pelo uso ou envelhecimento). Segundo a teoria da “Renovação”, a substituição do sistema ou equipamento é conveniente ser efetuada no período de envelhecimento e é nesse período que a manutenção pode ser otimizada. Já neste período a manutenção preventiva é acionada para solucionar possíveis falhas como constatado em (ALTWEGG, et al., 1999).

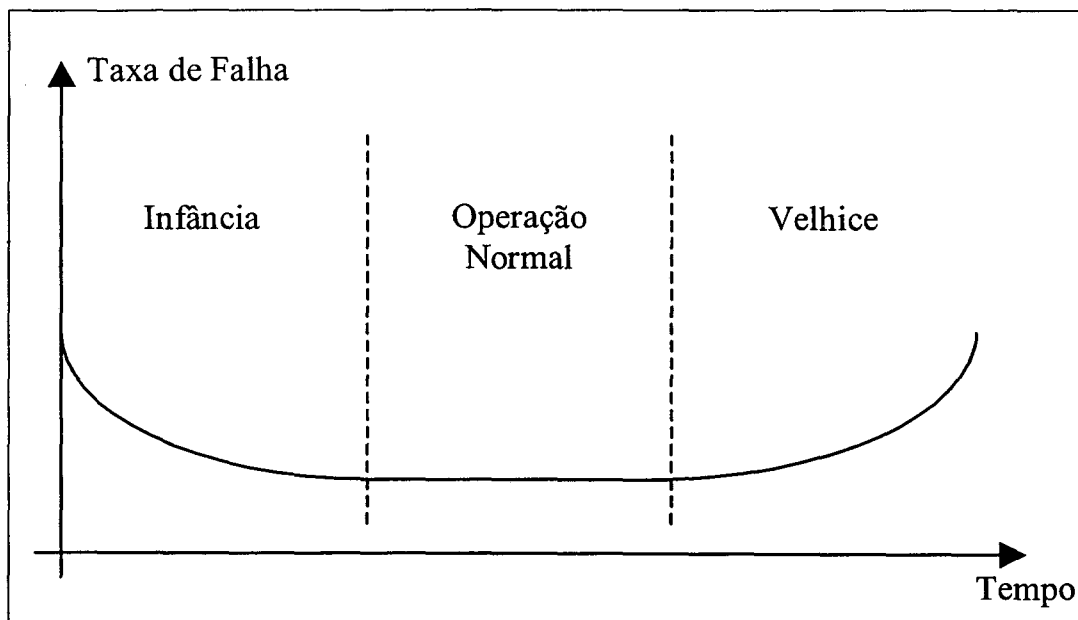


Figura 2.1 – Curva da Banheira

Com base na taxa de falha, consideram-se 3 tipos de ação da manutenção: substituição, reforma ou reparo mínimo. A substituição é a ação da manutenção que substitui um componente em uso por um novo. Tal ação muda a curva de falha do sistema e diz-se que o sistema ficou “bom como novo”. A reforma é a ação da manutenção que melhora a condição do componente antes que a falha ocorra, entretanto tal melhora não é suficiente para que o sistema, componente alcance o estado “bom como novo”. O reparo mínimo não altera a taxa de falha do componente e diz-se que o componente está “ruim como velho” (COELHO, 1996).

#### 2.2.4. Políticas de Manutenção

De acordo com QUEIROZ (1988) utilizando manutenção corretiva, preventiva, ou combinações destas, e realizando ações de substituição e/ou reforma e/ou reparo mínimo, as políticas de manutenção são traçadas visando a minimização de custos.

Dentre as políticas de manutenção mais difundidas na literatura encontram-se:

- Manutenção com Substituição Baseada na Idade: quando um item atinge um tempo pré-estabelecido “T” de operação, é substituído e portanto passa ao estado “bom como novo”.
- Manutenção com Substituição em Bloco: é aquela que substitui todos os itens de um mesmo tipo simultaneamente, a intervalos de tempo “kT”, com  $k = 1, 2, 3, \dots$ , havendo substituição individual no caso de falhas.
- Manutenção com Substituição Periódica e Reparo Mínimo: quando ocorre a falha, apenas o reparo mínimo é efetuado, ficando o sistema com a mesma taxa de falha anterior e a substituição ocorre em intervalos constantes “kT”, com k inteiro positivo e o sistema fica “bom como novo”.
- Manutenção de Oportunidade: quando for impraticável efetuar a manutenção periódica. Neste caso a manutenção é feita quando o sistema está inoperante, aproveitando o tempo que o sistema fica fora do ar.
- Manutenção Seqüencial: é a política aplicada a sistemas com tempo de vida limitado. A época de manutenção é calculada após cada reforma, procurando-se minimizar os custos esperados durante o intervalo de vida restante.
- Manutenção com Base no Monitoramento: esta política é tal que a falha em potencial é detectada através de rotinas de monitoramento. O valor crítico das variáveis para o qual deve ser dada a manutenção é apurado visualmente ou através de alarmes.
- Manutenção Centrada na Confiabilidade: Conforme (BRAVEN, et al., 1987) a manutenção centrada na confiabilidade é um método utilizado para estabelecer a política de manutenção em partes de sistemas complexos que possuam componentes com segurança crítica e não crítica. O método é baseado na premissa de que a confiabilidade é uma característica de projeto e deve ser realizada e preservada durante a operação.
- Manutenção com Base na Condição (Inspeção): são duas as políticas com base na inspeção. Uma visa detectar a falha após esta ter ocorrido e outra que visa a antecipação da descoberta da falha. A primeira política é aplicável a sistemas onde a falha só pode ser detectada por meio da inspeção. O objetivo é então minimizar o custo total esperado composto pelo custo da inspeção e pelo custo da falha. Esta última parcela, custo da falha, é geralmente uma função crescente com o tempo decorrido desde a falha até a sua detecção. A segunda política analisa o estado do item. Quando este estado for bom, isto significa que o item sobreviverá até a próxima inspeção. Quando o estado for defeituoso, significará que se estima que o item não sobreviverá até a próxima inspeção, portanto a falha é pendente e a manutenção é acionada.

Considerando os tipos de manutenção e suas respectivas políticas apresentadas, pode-se dizer que muitos dos modelos matemáticos formulados para otimizar a manutenção, em geral sofrem restrições quanto ao uso, uma vez que situações reais raramente são descritas com um rigor matemático. Para elaborar modelos de manutenção que melhor espelhem a realidade, devem ser desenvolvidos trabalhos no sentido de levar em consideração fatores tais como o grau de perfeição da manutenção, grau de perfeição da inspeção e efeito da manutenção preventiva na taxa de falha. Conforme encontrado em ALTWEGG et al. (1999), há a possibilidade de empregar-se o telediagnóstico para monitorar o estado de alguns equipamentos, possibilitando a otimização das ações da manutenção.

Das políticas apresentadas a que melhor se adequa à manutenção de sistemas aéreos de distribuição de energia elétrica, é a política de manutenção com base na condição do componente, pois nesses sistemas o estado da maioria dos componente pode ser observado através de inspeção visual ou instrumental (QUEIROZ, 1988).

#### **2.2.5. Programação da Manutenção Preventiva em Sistemas de Distribuição**

A política de manutenção em sistemas de distribuição deve levar em conta os tipos de manutenção, isto é, manutenção corretiva, preventiva ou mista. Além disso, deve-se considerar os diversos fatores que afetam a programação da manutenção, através de uma metodologia eficiente e eficaz para uma boa programação e posterior execução.

Para uma eficaz programação da manutenção é de fundamental importância a coleta e o registro sistemático de informações do sistema elétrico (MOERBECK et al., 1997). Deve-se elaborar diagramas unifilares com a identificação dos consumidores prioritários, identificar os postes com numeração conveniente, número de postes instalados, comprimento da rede, carregamento, consumo, número de consumidores, época de construção e reforma, condições de acesso às linhas de distribuição, etc. (BITTETI et al., 1997). Faz-se necessário também, utilizar índices operativos para avaliar o desempenho do sistema, o qual está relacionado à concepção, construção e à qualidade dos equipamentos e materiais empregados na rede e às condições ambientais e aos danos causados por terceiros. Todos estes fatores, provocam falhas e interrupções e os índices operativos permitem então monitorar os desligamentos no sistema periodicamente. Os índices mais empregados com este objetivo são: Frequência e Duração Equivalente por Consumidor (FEC e DEC), Frequência de Interrupção e taxa de falha observada por 100 km de rede. Para aplicação destes índices à manutenção, deverão ser consideradas apenas as interrupções não-programadas, contabilizadas nos índices DEC e

FEC. Em geral, as concessionárias têm o registro diferenciado das interrupções programadas e não-programadas (TORREZAN et al., 1998). Os índices assim obtidos refletem como os agentes externos e internos estão atuando sobre a rede e, em princípio, permitirão orientar o tipo de inspeção e de manutenção a serem executados.

De forma a complementar a análise das interrupções, deverão ser consideradas alguns indicadores operativos, como:

- Número de operações dos equipamentos (religadores de ramal primário ou linha, religadores e disjuntores com religamento automático em subestações, chaves fusíveis). A manutenção preventiva deve ser acionada se o número de operações destes elementos ultrapassar valores previamente estabelecidos;
- Reclamação de consumidores (inspeção de campo é acionada se há grande incidência de reclamações, principalmente de clientes prioritários);
- Taxa de falhas de materiais (pode ser apurada para postes de madeira, cruzetas, condutores, isoladores e materiais de conexão: conectores e emendas).

Os dados que não podem ser obtidos dos índices e indicadores operativos para programação da manutenção, devem ser identificados pela inspeção das redes.

A inspeção objetiva identificar as irregularidades e anomalias existentes no sistema de distribuição que, se não corrigidas a tempo, resultarão em falhas e interrupções no fornecimento de energia elétrica. Após a avaliação das condições do sistema de distribuição, a inspeção conduz ao estabelecimento das prioridades para execução da manutenção (BATISTA et al., 1998).

A hierarquização das redes ou linhas constitui uma atividade importante na elaboração do programa de inspeção, e em decorrência o programa de manutenção preventiva, pois responde a pergunta: em que redes os recursos deverão ser alocados prioritariamente? A hierarquização deve ser feita, considerando-se diferentes aspectos de cada rede, sendo os principais: desempenho operativo, importância da rede (consumidores prioritários), condições mecânicas e elétricas (idade da rede).

Dentre os métodos de inspeção existentes, pode-se citar:

- Inspeção total ou poste-a-poste: vistorias de todos os elementos da rede;
- Setorial: vistorias de componentes específicos ou da rede de distribuição, como a rede primária, a rede secundária, os conectores, etc.

- Por amostragem: vistorias de alguns postes do total.

Cabe salientar que a escolha do método de inspeção deverá levar em conta:

- Importância da rede, em termos de carregamento, número de consumidores e consumidores com prioridade de atendimento;
- Interesse em se determinar uma causa específica (por exemplo: inspecionar as conexões, por ser acentuado o número de falhas em conectores e emendas);
- Recursos disponíveis para a inspeção, extensão a ser percorrida;
- Condições de acesso à rede e segurança do pessoal da inspeção.

Os tipos de inspeção executados em linhas de distribuição, são em geral a inspeção visual (a olho nu ou com binóculo) e a inspeção instrumental (termovisão, termodetector, testador de isolador, etc.).

O programa de manutenção preventiva é gerado a partir das inspeções que, por sua vez, qualificam e quantificam os serviços de manutenção a serem realizados. Como as inspeções de campo atendem a uma programação, que é função de uma hierarquização de prioridades, o serviço de manutenção assume caráter periódico. Assim, a manutenção preventiva ocorre em intervalos regulares, causando uma interrupção (programada) do sistema, diminuindo momentaneamente, a disponibilidade do sistema (COELHO, 1996).

Os recursos utilizados para a manutenção das redes de distribuição tem sido turmas de: linhas desenergizadas, de linha-viva e de terceiros (empreiteiros). Os serviços são normalmente executados pelas turmas de linha desenergizada. A linha-viva tem sido utilizada na manutenção como um recurso tático, pois permite reduzir os desligamentos que trazem prejuízos aos consumidores e à imagem da concessionária, conforme em BATISTA et al. (1998). Por envolver custos elevados, os trabalhos em linha-viva deverão ser executados nas seguintes condições:

- Em redes que atendam consumidores prioritários;
- Manutenção em alimentadores e linhas com índices de indisponibilidade elevados, isto é com muitas interrupções não-programadas;
- Áreas importantes (densidade de carga, número de consumidores e consumo).

O programa de manutenção preventiva das redes de distribuição deverá ser coordenado, quanto aos desligamentos, com o programa de manutenção do sistema de

transmissão e a programação de obras da empresa. Para atingir esse objetivo, deverão ser estabelecidas rotinas de fluxo de informações sobre os desligamentos, entre os diversos órgãos envolvidos (CELESC, 1997).

Deve-se considerar também um plano de restabelecimento de energia, de modo que este seja rápido. Para a obtenção de um plano de restabelecimento os operadores (especialistas) do sistema empregam sua experiência para observar várias restrições encontradas na prática, como por exemplo, minimizar o número de chaveamentos na rede.

Com relação ao restabelecimento o objetivo é, geralmente, restabelecer o fornecimento de energia o mais rápido possível. Devido à natureza combinatorial do problema, a aplicação de um algoritmo não é prática. Neste tipo de problema, elabora-se o plano de restabelecimento a partir da experiência do engenheiro da operação do sistema, para restabelecer o mesmo o mais rápido possível. Isto é verificado, em DELBEM et al. (1999), onde se apresenta um método de heurísticas *fuzzy* para o restabelecimento de energia em sistemas de distribuição cujo objetivo é obter um plano de restabelecimento do fornecimento de energia. Empregam-se heurísticas *fuzzy* devido à natureza combinatorial do problema e com isso a obtenção do plano torna-se mais rápida.

Com o objetivo de facilitar a manutenção ou causar menos transtornos aos consumidores, deve-se estabelecer uma época do ano mais favorável para execução da manutenção (KAWAHARA et al., 1998), baseado nos seguintes fatores:

- Incidência de interrupções não-programadas (deve ser feita nos meses mais secos);
- Característica de sazonalidade dos consumidores (manutenção nos alimentadores situados na orla marítima deve ser feita nos meses que antecedem o verão, em áreas turísticas deve-se fazer fora das épocas de turismo intenso);
- Perfil de carga do sistema (épocas em que se verifica menor consumo no sistema);
- Tipo de manutenção (serviço como poda de árvores e limpeza de faixas de servidão devem ser efetuadas entre o início do outono e o início da primavera).

Devem ser considerados horários propícios na programação da execução da manutenção (KAWAHARA et al., 1998). A manutenção sem desligamentos deve ser feita, de preferência, nos dias úteis da semana, no horário normal de trabalho, evitando-se com isto a realização de horas extras pelo pessoal. Serviços de curta duração (1 a 2 horas), com desligamento, em áreas industriais ou comerciais, deverão ser executados antes do início das atividades normais da área afetada. Serviços com maior duração (2 a 6 horas), com

desligamentos, em áreas industriais ou comerciais, deverão ser executados, de preferência, aos sábados, domingos ou feriados, no horário de carga menor. Os serviços com desligamentos a serem executados em áreas estritamente residenciais devem ser feitos nos dias úteis, nos horários de menor carga, e não devem ultrapassar o limite máximo de 4 horas. Os desligamentos para manutenção em um alimentador devem ser preferencialmente espaçados de um mês (GOMES PINTO et al., 1982).

Após coletados os dados da inspeção e os índices operativos, estes devidamente analisados em conjunto com os fatores anteriormente citados (recursos para manutenção, coordenação dos desligamentos, época favorável à manutenção e horários propícios), o programa de manutenção preventiva pode ser estabelecido. Este programa deve conter:

- Cronograma de atividades;
- Lista de material e ferramentas necessários;
- Custo estimado dos serviços (calculados a partir dos custos dos materiais, mão-de-obra, energia não-suprida).

Os resultados da manutenção preventiva deverão ser avaliados através de instrumentos de controle que permitam aferir a adequação dos programas, processos e objetivos, evitando-se a ação desordenada e pouco eficaz (BITTETI et. al., 1997). A avaliação dos resultados poderá ser feita através da comparação, em cada rede de distribuição, dos valores obtidos para os índices e indicadores operativos, nos períodos anterior e posterior à manutenção preventiva. Neste estudo comparativo, alguns aspectos deverão ser observados:

- Os valores dos índices operativos obtidos por interrupções não-programadas permitem avaliar, de forma aproximada, os resultados da manutenção, desde que se informem, em detalhes, a natureza das falhas ocorridas no sistema;
- A taxa de falha de materiais, pois sua obtenção é indispensável para uma boa avaliação da manutenção;
- Efeito da manutenção preventiva sobre isoladores, postes, cruzetas, conectores, limpeza de e poda de árvores, papagaios de papel, etc.

Conforme descrito acima e de acordo com QUEIROZ (1988), pode-se dividir a programação da manutenção em 6 etapas que são:



1. Hierarquização dos alimentadores ou trechos destes;
2. Prioridade de inspeção;
3. Execução da inspeção;
4. Prioridade da manutenção;
5. Execução da manutenção;
6. Acompanhamento e análise dos resultados.

Assim, o desempenho de um sistema de distribuição é uma função múltipla interdependente de diversos fatores, entre os quais se inclui a manutenção preventiva. A manutenção preventiva, ao promover a correção do comportamento do sistema, contribui efetivamente para melhoria do seu desempenho, permitindo uma melhora nos índices de confiabilidade em sistemas de distribuição, com respostas de curto prazo.

### **2.3 Monitoração da Qualidade no Suprimento de Energia Elétrica no novo Modelo de Setor Elétrico Brasileiro**

Nos últimos anos, a indústria de eletricidade brasileira tem feito o maior e mais profundo processo de reestruturação, iniciando com um importante programa de privatização em geração, desverticalização de concessionárias e abertura do acesso a linhas de transmissão e distribuição, e introdução da competição na venda de energia a varejo (OLIVEIRA et al., 1999).

Um termo muito usado para se referir às transformações que vêm ocorrendo no setor elétrico é a “desregulamentação”. O objetivo da desregulamentação é promover a concorrência em um mercado que, o Estado operou como monopólio. No caso do Brasil, o processo contempla reestruturação, privatização, desregulamentação e regulação (OLGUIN, 1999).

A regulação pode ser entendida como um sistema que permite ou possibilita a um governo formalizar os seus compromissos de proteger aos consumidores e investidores de um dado setor industrial. Regular é estabelecer um conjunto de mecanismos que restringem as atividades de um setor.

Por outro lado, a regulamentação é um mecanismo de restrição, geralmente normas, regras, e regulamentos, usado na regulação de um setor industrial. O preceito básico da regulação para o setor elétrico é minimizar o custo da eletricidade com condições satisfatórias

de qualidade de energia, mantendo a viabilidade das empresas de maneira a garantir no longo prazo a adequação e a economia do suprimento (OLGUIN, 1999).

De acordo com OLIVEIRA et al. (1999), em 1995, em torno de 3% das concessionárias de distribuição eram privadas, em 1999 70% já haviam sido privatizadas. No modelo antigo, as concessionárias de energia eram asseguradas do suprimento por companhias governamentais, de acordo com a região do Brasil.

No novo modelo, a estrutura legal necessária a este ambiente está ainda sob construção. Em 1996 foi criada a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). O MAE (Mercado Atacadista de Energia) e o ONS (Operador Nacional do Sistema) foram criados no ano de 1998. A ANEEL tem a tarefa de acompanhar a regulamentação da estrutura que vai definir as regras para todos os participantes da indústria de eletricidade brasileira. A execução das regras definidas pela ANEEL é de responsabilidade do ONS. E de modo a não expor as concessionárias e consumidores a uma grande mudança, um período de transição de 8 anos foi estabelecido (1999 – 2007).

Durante o período de transição as concessionárias vão ser gradualmente expostas para adaptarem-se ao novo ambiente. Com a introdução da competição na geração, foi necessário a criação do MAE, onde se estabelecem os contratos de suprimento de energia. Os agentes que realizam transações nesse mercado são geradores, grandes consumidores, empresas distribuidoras e comercializadores (FIGUEIREDO et al., 1999).

Deve-se notar que o argumento que justifica falar de uma nova regulação do setor elétrico é o fato que o suprimento de eletricidade precisa de atividades associadas como as redes de transporte e distribuição, cujo controle outorga um poder absoluto no mercado. Portanto, é da maior importância que as atividades de rede sejam independentes das atividades competitivas, isto é, a geração.

As atividades de rede consideram o planejamento dos investimentos, a construção das redes, o planejamento da manutenção, a manutenção e a operação. As atividades de construção e manutenção, são de responsabilidade do ONS (OLGUIN, 1999).

Nas redes de distribuição, não existe o problema de interferência com a coordenação do mercado, portanto não há inconveniente em que todas as atividades sejam realizadas por uma empresa em um setor geográfico. No caso da distribuição, trata-se de um mercado regulado e as empresas distribuidoras têm obrigatoriedade de servir a área na qual tem franquia territorial.

Portanto, todo consumidor na área de serviço tem direito a ser ligado na rede e ser suprido segundo as condições de qualidade de serviço estabelecidas nos regulamentos. Também nas redes de distribuição, a nova regulação considera o livre acesso, permitindo ao consumidor eleger o seu fornecedor.

Neste caso, consideram-se consumidores cativos e livres, diferenciados por características de consumo de energia ou de potência instalada. Contudo, é importante notar que a mudança de fornecedor em nada altera as obrigações do distribuidor para com o cliente ao qual está fisicamente ligado, nem os encargos do cliente para com o dono das redes de distribuição (OLGUIN, 1999).

Com a regulamentação do setor elétrico, a qualidade de energia elétrica em sistemas de distribuição pode ser implementada visando aspectos de continuidade, conformidade e atenção comercial (OLGUIN et al., 2000).

A seguir apresenta-se uma breve descrição da qualidade de suprimento/fornecimento de energia elétrica em sistemas de distribuição, ressaltando os três aspectos relacionados à qualidade de energia elétrica.

### **2.3.1 Qualidade de Suprimento / Fornecimento de Energia Elétrica**

A qualidade de suprimento/fornecimento de energia elétrica considera todos os aspectos técnicos suprimento/fornecimento de eletricidade. O suprimento é o conjunto de procedimentos para a consecução da entrega de energia elétrica aos concessionários, quaisquer que sejam os níveis de tensão envolvidos. O fornecimento é entendido como o conjunto de procedimentos para a consecução da entrega de energia elétrica aos consumidores finais, quaisquer que sejam os níveis de tensão envolvidos (OLGUIN, 1999).

A qualidade do fornecimento de energia pode ser avaliada através de quatro atributos, como encontrado em THOMAZ et al. (1998): a disponibilidade, a conformidade, a restaurabilidade e a flexibilidade.

- A disponibilidade pode ser conceituada como a capacidade do sistema elétrico de fornecer energia na quantidade desejada pelos consumidores e sem interrupção. De acordo com a abrangência do conceito, é considerado apenas o aspecto relativo à continuidade.
- A conformidade pode ser traduzida como a capacidade do sistema elétrico de fornecer aos seus consumidores energia com tensão e frequência isentas de distorções e flutuações harmônicas. Neste atributo, é considerado apenas o nível de tensão.

- A restaurabilidade pode ser interpretada como a capacidade associada ao sistema elétrico de restaurar rapidamente o fornecimento de energia elétrica, minimizando o tempo de interrupção.
- A flexibilidade representa a capacidade que o sistema elétrico tem de assimilar mudanças em sua estrutura ou configuração.

Atualmente, entende-se que qualidade do suprimento considera os aspectos da continuidade e conformidade do fornecimento de energia elétrica pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica.

### **2.3.2 Índices de Qualidade de Suprimento/Fornecimento: Continuidade**

A continuidade do suprimento é referente à existência ou não de tensão adequada no ponto de conexão com o consumidor. É o aspecto sobre o qual mais se tem escrito sob o nome de confiabilidade ou disponibilidade.

A resolução 024 de 2000 fixa os regulamentos dos padrões das interrupções sustentadas (mais de um minuto). Antes desta resolução, os padrões das interrupções sustentadas eram regulamentadas pelo decreto 046 de 1978, que, embora datado de mais de vinte anos, foi um marco de padronização sobre qualidade de energia no Brasil (OLIVEIRA et al., 1999). As interrupções com menos de um minuto (anteriormente três minutos), interrupções breves, são consideradas problemas de qualidade da onda ou de conformidade e geralmente são devidas à operação de sistemas de proteção (OLGUIN, 1999).

O uso de índices globais na avaliação da continuidade é útil especialmente no controle das empresas distribuidoras por parte do regulador e para gestão interna de investimentos. O índice global reflete o comportamento médio do sistema e não de um determinado consumidor. A totalidade dos índices são referentes ao número de interrupções (frequência) e ao tempo de duração das interrupções.

A resolução 024 de 2000 define dois índices baseados nos clientes ou usuários. Estes índices são índices onde a base de cálculo é o número de clientes atingidos pelas interrupções ou o total do sistema. O objeto dos índices é o cálculo da frequência e da duração equivalente das interrupções. Conforme a resolução as concessionárias deverão apurar os indicadores de continuidade de duas formas distintas: a) considerando interrupções com duração maior ou igual a 3 (três) minutos e; b) considerando as interrupções com duração maior ou igual a 1 (um) minuto. Esta forma de apuração está baseada nos contratos de concessão de cada

concessionária. Somente a partir de janeiro de 2005, todas as concessionárias deverão fazer a apuração para interrupções superiores a 1 (um) minuto. Considerando este período de transição, será considerada para efeito deste trabalho, os índices considerados pela portaria 046 de 17 de abril de 1978.

De acordo com ARRAIGADA et al. (1995), os índices mais comuns são o SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*), SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*), CAIFI (*Customer Average Interruption Frequency Index*), CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*) e ASAI (*Average Service Availability Index*). Conforme a resolução 024, serão abordados apenas os índices SAIDI e SAIFI, que constam com o nome de DEC e FEC, respectivamente.

Estes são apresentados de acordo com a nomenclatura do decreto, por ser uma linguagem de uso tradicional em sistemas de distribuição.

- **Duração Equivalente de Interrupção por Cliente - DEC (Horas / Cliente)**

$$\text{DEC} = \frac{1}{C_s} \sum_{i=1}^n \text{Ca}(i) \times t(i) \quad (2.1)$$

onde:

$n$  = número de interrupções no período;

$\text{Ca}(i)$  = número de consumidores envolvidos na interrupção  $i$ ;

$t(i)$  = duração da interrupção  $i$ , em horas;

$C_s$  = número total de consumidores no conjunto considerado.

O DEC é um índice que exprime o espaço de tempo que, em média, cada cliente do sistema considerado ficou privado do fornecimento de energia elétrica no período de observação considerado.

- **Freqüência Equivalente de Interrupção por Cliente - FEC (Interrupções / Cliente)**

$$\text{FEC} = \frac{1}{C_s} \sum_{i=1}^n \text{Ca}(i) \quad (2.2)$$

onde:

$n$  = número de interrupções no período;

$\text{Ca}(i)$  = número de consumidores envolvidos na interrupção  $i$ ;

$C_s$  = número total de consumidores no conjunto considerado.

O FEC, é um índice que pode ser calculado para qualquer nível de tensão e que representa o número de interrupções que, em média, cada cliente do sistema sofreu no período de observação considerado.

Para ambos os índices, somente interrupções maiores que um minuto são levadas em conta. A tabela 2.1 a seguir mostra os limites anuais permitidos para ambos os índices como uma função do tipo de alimentador (isto é, subterrâneo ou aéreo) e o número de consumidores em cada conjunto (conforme o decreto 046 de 1978, pois uma nova tabela foi definida em 30 de junho de 2000, conjuntamente com as concessionárias). Trimestralmente, os limites são fixados em, no máximo, 40% dos valores apresentados a seguir.

Cada concessionária deve calcular ambos os índices para cada conjunto de consumidores trimestralmente e anualmente e informar os resultados à ANEEL. As concessionárias devem manter os dados necessários para calcular o DEC e o FEC.

Conjunto de Consumidores		DEC (Horas)	FEC (Vezes)
Subterrâneo	Sistema em Anel	15	20
	Sistema Radial	20	25
Aéreo	N > 50.000	30	45
	15.000 < n < 50.000	40	50
	5.000 < n < 15.000	50	60
	1.000 < n < 5.000	70	70
	N < 1.000	120	90

Tabela 2.1 – Limites Anuais para os índices DEC e FEC segundo DNAEE 046 de 1978

Mesmo após a criação da ANEEL, os índices de continuidade continuam os mesmos, ou seja, não haverá mudanças no cálculo do DEC e do FEC. Entretanto, para compensar, a ANEEL, adotou três novos índices: DIC, FIC e TMA.

- **Índice de Duração Individual de Interrupção por Consumidor - DIC**

$$\text{DIC} = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (2.3)$$

onde:

$n$  = número de interrupções no período;

$t(i)$  = duração da interrupção  $i$ , em horas.

- **Índice de Frequência Individual de Interrupção por Consumidor - FIC**

$$\boxed{\text{FIC} = n} \quad (2.4)$$

onde:

$n$  = número de interrupções no período.

Estes índices têm definição similar ao DEC, mas traduzem o número de interrupções e sua duração para um consumidor individual. As concessionárias devem calcular e informar ambos os índices mensalmente. As tabelas 2.2 e 2.3 mostram as propostas para DIC e FIC como função do tipo de alimentador e de suprimento de tensão. Mensalmente e trimestralmente os limites são fixados como 25% e 40 % dos valores apresentados a seguir.

Conjunto de Consumidores	1999 a 2000	2001 a 2002	2003
Subterrâneo	37	27	24
Rural $V \leq 1$ kV	150	125	100
Urbano $V \leq 1$ kV	100	85	70
$1$ kV $\leq V \leq 69$ kV	80	68	56
$V \geq 69$ kV	30	27	24

Tabela 2.2 – Limite anual para o índice DIC

Conjunto de Consumidores	1999 a 2000	2001 a 2002	2003
Subterrâneo	35	29	24
Rural $V \leq 1$ kV	120	100	80
Urbano $V \leq 1$ kV	80	68	56
$1$ kV $\leq V \leq 69$ kV	70	60	50
$V \geq 69$ kV	40	30	24

Tabela 2.3 – Limite anual para o índice FIC

É importante ressaltar que os limites fixados para DIC e FIC são muito altos, pois para um grande consumidor ( $V \geq 69$  kV) este poderá ser interrompido 30 vezes em um ano, e isto deve representar muito dinheiro, principalmente se for lembrado que interrupções menores que um minuto não estão limitadas.

Contudo a estratégia de redução progressiva, no médio prazo, irá melhorar a performance do sistema como um todo (OLIVEIRA et al., 1999).

- **Tempo Médio de Atendimento - TMA**

$$\boxed{\text{TMA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{ta}(i)} \quad (2.5)$$

onde:

$n$  = número de interrupções no período;

$\text{ta}(i)$  = Tempo de resposta da interrupção  $i$ , em minutos;

O TMA calcula o tempo de espera (em minutos), entre um pedido de um consumidor para a concessionária (por exemplo, restabelecimento de energia) e o complemento das tarefas ou solução do problema pelo pessoal da concessionária (OLIVEIRA et al., 1999). A diferença entre os índices DEC e TMA é que o segundo não leva em conta o número de clientes atingidos em relação ao número total de clientes do seu conjunto.

### 2.3.3 Qualidade de Suprimento / Fornecimento: Conformidade

A conformidade pode ser entendida como a capacidade do sistema elétrico de fornecer aos seus consumidores energia com tensão e frequência isentas de distorções e flutuações harmônicas. A conformidade é também definida com o nome de qualidade da onda ou em inglês, como **Power Quality**.

A conformidade faz referência à onda de tensão e às perturbações associadas. Considera todas as perturbações de origem técnica, menos as interrupções longas que são levadas em conta na continuidade do suprimento e que já foram discutidas.

Uma onda ideal de tensão deve ter uma forma senoidal de frequência 50 ou 60 Hz, com amplitude especificada e invariável e deve existir simetria entre as tensões de fases nos casos de sistemas trifásicos. Num sistema de distribuição não é possível ter uma onda ideal, porque são muitas as fontes de distorção, mas sim é possível ter uma onda de boa qualidade, isto é, ter um suprimento que cumpra com uma conformidade determinada. Conformidade é



cumprir um determinado padrão de qualidade de onda. O padrão determina as características da onda e o limite das diversas distorções que podem atuar sobre o sinal de tensão (OLGUIN, 1999).

No Brasil não há padrão para regulamentação dos fenômenos de distorção da forma de onda. Em 1993, um grupo de estudo emitiu algumas normas sobre distorção harmônica. Embora alguns destes procedimentos descritos ainda promovam discussões, estas normas têm sido usadas como um padrão de fato sobre o assunto, especialmente respeitando os propostos máximos limites de distorção harmônica (OLIVEIRA et al., 1999).

Em OLGUIN (1999), encontram-se os padrões de qualidade de onda referenciados nas normas internacionais, tais como o IEC ( International Electrotechnical Commission ), IEEE, etc. Devido ao interesse do trabalho ser maior nas interrupções sustentadas, continuidade / confiabilidade, este assunto específico não será abordado na sua essência, exceto as variações de tensão de longa duração.

O decreto 047 de 1978 fixa os limites para variações de tensão de longa duração - regime permanente, no suprimento / fornecimento de tensão. A tabela 2.4 a seguir, mostra os limites de variação de tensão. Como pode ser verificado na tabela, a variação é muito grande.

Classe de Tensão	Valor (V)	Mínimo		Máximo	
		V	P.U.	V	P.U.
Fase – Neutro	127	116	0,913	132	1,039
Fase – Fase	220	201	0,914	229	1,041
Fase – Neutro	220	201	0,914	229	1,041
Fase – Fase	380	348	0,916	396	1,042

Tabela 2.4 – Limites de Variação de Tensão segundo DNAEE 047/1978

Entretanto, eles estão de acordo com valores tolerados, adaptados para o sistema de energia. Estes limites são usados em uma base determinística, o que significa que, se a tensão alcançar o limite somente uma vez durante a medição (período), esta estará no estado não apropriado.

Sempre que o consumidor suspeitar que a tensão de sua instalação violou os limites, este deve comunicar à concessionária. Esta após 30 dias de monitoração da tensão, deve responder ao consumidor, confirmando ou não a existência do problema. Se há realmente um problema, a concessionária tem mais 60 dias, isto é, 90 dias no total, desde a queixa do

consumidor para resolver o problema. Dependendo da natureza do problema dos investimentos necessários, a concessionária ainda pode pedir um tempo adicional (OLIVEIRA et al., 1999).

Na questão das avaliações dos limites de tensão, as modificações a serem introduzidas estão principalmente nos procedimentos a serem seguidos pelas concessionárias. Por exemplo, o prazo para a concessionária responder à reclamação do consumidor será para reduzido para cinco dias úteis. Embora os limites de variação de tensão permaneçam os mesmos, a sua aplicação será diferenciada para áreas rurais e não rurais. A tabela 2.5 mostra os percentuais de tolerância para violações de tensão do período de medida. Estes limites também vão ser reduzidos gradualmente, como também pode ser observado na tabela 2.5.

Conforme a tabela, se um dado consumidor sofrer uma violação de tensão com um percentual inferior a estabelecido (vide tabela 2.5) uma única vez no período de medição, a concessionária deverá providenciar para que tal incidente não se repita. Por exemplo, se um consumidor não-rural, sofrer uma queda de tensão de 1% em 2001, a concessionária deverá tomar providências para que o consumidor não mais tenha tal queda de tensão.

Ano	Conjunto de Consumidores	
	Rural ou $n \leq 1000$	Não-rural ou $n \geq 1000$
1999	10%	5%
2000	7%	3%
2001	5%	1%
2002	3%	1%

Tabela 2.5 – Percentual de Tolerância do Período de Medida proposto

Para atender a estes limites, as empresas distribuidoras deverão investir em melhorias nos próximos anos, contribuindo para aumentar a qualidade de energia (OLIVEIRA et al., 1999).

#### 2.3.4 Qualidade de Suprimento / Fornecimento: Atenção Comercial

A eletricidade é hoje vista como um produto e um serviço com características definidas. O negócio de distribuição de energia elétrica considera várias atividades diretamente relacionadas com o cliente: solicitação de conexão, atendimento de emergência,

faturamento, atendimento de reclamações, manutenção de medidores, atenção telefônica, A eletricidade é hoje vista como um produto e um serviço com características definidas.

A qualidade da atenção comercial é um assunto que está tendo muita importância na nova regulamentação, porque toda a sociedade exige melhores serviços e melhor atendimento. A nova regulação do setor elétrico deve contemplar a regulamentação explícita do nível de qualidade da atenção comercial com uma forma adequada de fazê-lo (OLGUIN, 1999).

Um modo adequado de quantificar o nível da qualidade comercial é através da utilização de índices. Com a reestruturação do setor elétrico, a ANEEL propõe o índice TMA, para verificar este nível. Neste caso o TMA já foi discutido no item 2.3.2 (OLIVEIRA et al., 1999).

### 2.3.5 Qualidade de Suprimento / Fornecimento: Penalidades

Historicamente, o Brasil nunca teve uma lei específica para punir as concessionárias, isto é, se a concessionária não respeitasse os padrões estabelecidos, esta nunca era punida. A ANEEL tem mudado este quadro, quando legalizou o decreto 318 de 7/10/1998. Depois deste decreto, a concessionária pode ser multada num montante de até 2% da sua receita anual.

Atualmente, a mais significativa inovação introduzida pela ANEEL é a definição das multas aplicáveis à concessionária a qual não for capaz de encontrar os padrões para cada índice. No caso de DIC e FIC e índices de variação de tensão, as multas são devidas diretamente ao consumidor, enquanto no caso do DEC, FEC e TMA, são devidas à ANEEL.

No cálculo do valor das multas, segundo a resolução 024 de 27 de janeiro de 2000 serão utilizadas as seguintes fórmulas:

a) Para o DIC:

$$\text{Penalidade} = \left( \frac{DIC_v}{DIC_p} - 1 \right) \times DIC_p \times \frac{CM}{730} \times kei \quad (2.6)$$

b) Para o DMIC:

$$\text{Penalidade} = \left( \frac{DMIC_v}{DMIC_p} - 1 \right) \times DMIC_p \times \frac{CM}{730} \times kei \quad (2.7)$$

c) Para o FIC:

$$\text{Penalidade} = \left( \frac{FIC_v}{FIC_p} - 1 \right) \times DIC_p \times \frac{CM}{730} \times kei \quad (2.8)$$

onde:

$DIC_v$  = Duração de Interrupção por Unidade Consumidora, verificada no período em horas e centésimos de hora;

$DIC_p$  = Metas de continuidade estabelecidas no período para o indicador de Duração de Interrupção Individual em horas e centésimos de hora;

$DMIC_v$  = Duração Máxima de Interrupção Contínua, verificada, por interrupção, em horas e centésimos de hora;

$DMIC_p$  = Metas de continuidade estabelecidas para o indicador, por interrupção em horas;

$FIC_v$  = Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora verificada, em número de interrupções por período;

$FIC_p$  = Metas de continuidade estabelecidas no período para o indicador de Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora, em número de interrupções por período;

$CM$  = Média aritmética do valor das faturas mensais do consumidor afetado, relativas às tarifas de uso, referentes aos 3 (três) meses anteriores à ocorrência;

$730$  = Número médio de horas no mês;

$kei$  = Coeficiente de majoração, que variará de 10 a 50, e cujo valor, fixado em 10 (dez), poderá ser alterado pela ANEEL a cada revisão ordinária das tarifas.

Deve ser notado que elas são proporcionais às faturas dos consumidores e a divergência de um índice particular a partir do limite, em relação ao padrão. Dependendo do valor verificado do índice, a multa que a concessionária deve pagar a um consumidor pode facilmente alcançar um significativo percentual na fatura mensal deste consumidor. Multas devidas à ANEEL podem alcançar valores muito altos, desde que eles são calculados sobre o conjunto de consumidores (milhares) e a quantia média dos valores que eles pagam por mês (OLIVEIRA et al., 1999).

## 2.4 Programação de Desligamentos

A programação de desligamentos ocorre devido à necessidade de se realizar manutenção, melhoramentos e alterações específicas em sistemas, equipamentos e dispositivos. Em sistemas de energia elétrica, os desligamentos podem acontecer em todas as

partes do sistema, desde a geração de energia elétrica, passando pelo seu transporte (transmissão) até a sua entrega ao consumidor final (distribuição).

A forma de programar desligamentos depende do ponto do sistema em que este desligamento irá ocorrer. A programação de desligamentos em sistemas de geração é completamente diferente de sistemas de distribuição, por tratar-se de componentes, dispositivos e equipamentos projetados para finalidades diferentes e geralmente envolver desligamentos por períodos longos. Neste trabalho o enfoque é sobre desligamentos que causam o corte de fornecimento de energia elétrica, isto é, em sistemas de distribuição.

#### **2.4 1. Programação de Desligamentos – Revisão Bibliográfica**

A maioria das interrupções e cortes de carga ocorrem em sistemas de distribuição, independente destas serem ou não programadas. O motivo disto é a estrutura do sistema de distribuição ser radial, que é mais simples e barata. De acordo com KINDERMANN (1997), por terem uma estrutura radial, os sistemas de distribuição têm menor confiabilidade.

É claro que algumas vezes os desligamentos em sistemas de distribuição ocorrem por causa de um grande desligamento no sistema de transmissão e até no sistema de geração de energia elétrica. Em sistemas de transmissão por exemplo, por serem um elo de ligação entre a geração de energia e a sua distribuição, alguns desligamentos podem cortar o suprimento de energia a sistemas de distribuição.

Há poucos trabalhos de pesquisa com relação à programação de desligamentos em distribuição, considerando todas as características do sistema e seus problemas. Os trabalhos encontrados nesta área foram apenas dois; um refere-se a uma ferramenta inteligente para encontrar perturbações em subestações de distribuição e sua lista de manutenção (KAMINARS et al., 1991), e o outro trata-se de um sistema especialista para planejamento do corte de energia elétrica considerando uma alta confiabilidade do suprimento de energia elétrica (KAWAHARA et al., 1998). Além destes há publicações do trabalho de pesquisa aqui descrito, que estão em SILVA et al. (2000) e ROLIM e SILVA (2000).

Em (KAMINARS et al., 1991) implementou-se uma ferramenta inteligente para auxiliar o engenheiro de manutenção a obter agilidade e confiança no reparo de faltas e de problemas em subestações de distribuição, bem como elaborar uma lista de manutenção. Esta lista de manutenção é uma relação de todas as atividades que serão executadas na manutenção e os recursos necessários para tal. Este sistema foi implementado em Turbo-Prolog com uma boa interface com o usuário. Entre as características deste sistema especialista, este apresenta

uma interface amigável com o usuário, um mecanismo de inferência, uma memória de trabalho, um módulo de entrada de dados, um módulo de explicação, uma base de conhecimento, um módulo de edição da base de regras e uma base de dados dos equipamentos de manutenção. O sistema possui dois módulos na base de conhecimento, sendo um referente ao processo de reparo de falta e o outro referente à manutenção em subestações de distribuição. Dentre as características do sistema, uma é essencialmente valiosa na programação de desligamentos: a base de dados dos equipamentos que sofrem manutenção e poderão interromper o sistema de fornecimento de energia elétrica. Neste caso são armazenados dados dos componentes existentes e instalados nas subestações, a frequência de manutenção dos respectivos componentes e a quantidade de homens-hora para execução do serviço. Isto permite ao sistema especialista determinar o programa de manutenção considerando a configuração do sistema, as possíveis interrupções e o tempo respectivo, além de uma lista de manutenção e reparo de faltas no sistema em questão.

O segundo trabalho encontrado (KAWAHARA et al., 1998) é composto de duas partes. Este artigo também faz referência ao primeiro e ainda diz que este tinha sido o único artigo encontrado em área correlata no PES Transactions do IEEE. Cabe salientar que o mesmo apresenta o processo do planejamento da programação de desligamentos procurando a integração dos serviços para minimizar as interrupções do sistema de transmissão. Neste caso, em toda interrupção programada é verificado qual a parte do sistema será afetado e os serviços são agrupados para serem realizados numa única data.

A primeira parte do artigo refere-se à ajuda aos técnicos de manutenção a preencher um formulário da programação de desligamento. Dentre as especificações a serem preenchidas foram citadas a localização do desligamento, a data e hora, a classe de tensão e o grau da falta de suprimento, a área de desligamento, o conteúdo dos trabalhos a serem realizados. Dentre as restrições mais importantes a serem observadas tem-se: a configuração do sistema, a confiabilidade do suprimento de energia durante a interrupção, a influência da interrupção nos consumidores supridos em Extra Alta Tensão, os efeitos do corte de carga na operação e qual o motivo da interrupção. De todas as considerações uma das mais importantes é a experiência dos engenheiros de manutenção e operação, codificados na forma de regras de produção na base de conhecimento. O sistema especialista foi desenvolvido no ART-IM da Inference Corp. Ltd., uma ferramenta de suporte do sistema especialista. O fluxo de potência e índices de segurança e confiabilidade foram desenvolvidos em FORTRAN e o formulário com registro em base de dados foi implementado em C. Os procedimentos executados pelo

sistema são o de avaliação do restabelecimento do suprimento de energia, determinação da prioridade dos trabalhos, determinação da nova configuração do sistema e procedimentos alocação da interrupção.

A segunda parte especifica as razões de ter sido usada a técnica de sistemas especialistas na solução do problema, bem como os objetivos do artigo que são: descrever os detalhes do processamento do conhecimento relacionado às interrupções para execução de serviços na rede e verificar a eficiência e eficácia do protótipo desenvolvido através da simulação do resultado feito no referido protótipo. A opção pela utilização do processamento simbólico para solucionar este tipo de problema deve-se aos seguintes fatores: muitos problemas não podem ser modelados com precisão por algoritmos convencionais, uma imensa quantidade de informação é necessária para operação e manutenção de sistemas de potência, a perícia e o conhecimento dos engenheiros de planejamento devem ser levados em conta. Além disso a utilização de sistemas baseados no conhecimento permite que o conhecimento acumulado pela experiência seja preservado para os jovens técnicos. A representação do conhecimento adotada é uma adaptação do paradigma de programação orientada a objetos, contendo classes e objetos com atributos, métodos e heranças. A identificação da área de serviço se dá através de categorias determinadas através de regras de produção da base de conhecimento. Além disso é gerada uma unidade de trabalho para determinar quantas turmas de serviços serão alocadas para executar o referido serviço. Há restrições a serem consideradas para agrupar turmas para executar serviços em uma mesma área, como por exemplo a disponibilidade no número de turmas determinado pelo sistema, através de regras de produção. Por fim, apresentam-se os resultados obtidos com o protótipo num sistema teste.

#### **2.4 2. Programação de Desligamentos em Distribuição – Características**

A programação de desligamentos em sistemas de distribuição tem a finalidade de estabelecer procedimentos para planejar, aprovar e executar desligamentos na rede de distribuição de energia elétrica. Assim como na programação de desligamentos na transmissão, busca-se minimizar as interrupções e cortes de carga pelo agrupamento dos serviços para proporcionar elevados índices de confiabilidade do sistema e satisfação dos clientes (ROLIM e SILVA 2000).

Dentre as características comuns à programação de desligamentos em sistemas de transmissão e de distribuição pode-se destacar os seguintes itens:

- Os desligamentos programados devem ser solicitados por algum setor da empresa como por exemplo, construção, manutenção etc. e devem ter um profissional qualificado e responsável por tal pedido de desligamento;
- Os desligamentos devem informar a data e hora do serviço, bem como quem vai executar tal serviço;
- Devem ser especificadas as manobras na rede contendo a identificação dos dispositivos a serem chaveados (ou manobrados);
- Deve-se especificar a nova configuração da rede, para o suprimento / fornecimento de energia de modo a minimizar os clientes desligados;
- A aprovação de um desligamento passa por um setor da empresa onde haverá um profissional qualificado para aprovar o desligamento;
- A aprovação de um desligamento deve levar em conta diversas restrições de mercado, da configuração do sistema, etc.;
- Deve-se agrupar todos os possíveis desligamentos numa área onde os serviços serão executados para maximizar a disponibilidade de energia para os clientes do sistema;
- Deve-se especificar o tipo de serviço a ser executado no sistema e suas implicações, principalmente quando houver desligamento de consumidores prioritários (envolvem vidas humanas).

A programação de desligamentos em sistemas de distribuição também possui particularidades que a diferem da programação de desligamentos em transmissão, dentre os quais podemos citar as seguintes:

- A estrutura radial do sistema de distribuição inviabiliza caminhos alternativos de fornecimento de energia a determinados clientes que, dependendo do ponto de conexão com o sistema, estes serão sempre desligados (principalmente áreas rurais);
- A possibilidade de vândalos destruir e interagir com a rede são maiores (roubos e ligações clandestinas);
- A possibilidade de acidentes envolvendo a estrutura da rede é maior, além desta estrutura ter resistência mecânica menor (localização da rede e materiais da estrutura);
- As áreas de saúde são em geral atendidas pela distribuição e uma interrupção pode afetar vidas humanas (hospitais);



- Os recursos financeiros tendem a ser mais escassos para investir na renovação constante da rede e dos componentes nela instalados (manutenção);
- A curva de carga é diferente no que se refere ao carregamento dos condutores, além da classe de tensão (inclui clientes residenciais);
- O número de interrupções não programadas é maior.

Além destes, as concessionárias deverão avisar a todos os seus consumidores sobre as interrupções programadas, observando os seguintes procedimentos:

- i. Para unidades consumidoras atendidas em tensão superior a 1 kV e inferior a 230 kV, cuja demanda controlada seja igual ou superior a 500 kW; a interrupção deverá ser informada por meio de documento escrito e personalizado, com antecedência mínima de 5 (cinco) dias úteis, diretamente aos consumidores afetados;
- ii. Para unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 kV, que prestem serviço essencial; a interrupção deverá ser informada por meio de documento escrito e personalizado, com antecedência mínima de 5 (cinco) dias úteis em relação à data da interrupção;
- iii. Para outras unidades consumidoras: a interrupção deverá ser divulgada por meios eficazes de comunicação de massa ou, a critério da concessionária, avisados os consumidores por meio de documento escrito e personalizado, informando a abrangência geográfica, o horário de início e término da interrupção, em qualquer caso, com antecedência mínima de 72 (setenta e duas) horas em relação ao início da interrupção.

Por fim a programação de desligamentos em sistemas de distribuição possui maiores restrições quanto à qualidade de energia entregue no ponto de acoplamento com os clientes, como por exemplo, a queda de tensão admissível.

### **2.4 3. Programação de Desligamentos em Distribuição – Considerações**

A programação de desligamentos em sistemas de distribuição, em geral, obedece a um cronograma de atividades da concessionária na prestação dos serviços de distribuição de energia elétrica. Este programa considera as atividades dos setores de manutenção, construção, iluminação pública, e outros.

Além disso, a programação de desligamentos envolve a operação do sistema de distribuição, onde as normas técnicas de operação e de segurança estão envolvidas. As atividades de execução de desligamentos ainda envolvem uma boa comunicação entre o operador do sistema (despachante) e o eletricitista que executa as manobras na rede e os clientes afetados.

Considerando as normas de operação, um desligamento segue a ordem de manobra, que descreve passo a passo como a rede deve ser operada. Lembrando que a maioria dos equipamentos de distribuição são manobrados apenas localmente, conforme a ordem de manobra, diferentes profissionais são posicionados no sistema e diferentes dispositivos são operados. Ainda envolvendo a manobra, problemas durante sua execução podem ocorrer por falha de componentes instalados na rede ou erro de operação causada por falha humana. Um outro aspecto a ser considerado são as condições de acesso ao local, as condições do tempo, condições dos equipamentos e ferramentas de manobra, e outros.

Portanto, a programação de desligamentos e sua respectiva aprovação e execução envolvem diversos fatores e condições que devem ocorrer em perfeita harmonia. Qualquer situação diferente das condições previstas ou mínimas, inviabilizará a execução de tal atividade.

## **2.5 Programação de Desligamentos – O Caso da CELESC**

Na etapa de aquisição de conhecimento para desenvolvimento do sistema a ser descrito no capítulo 3, a programação de desligamentos em sistemas de distribuição foi acompanhada em uma concessionária, isto é, nas Centrais Elétricas de Santa Catarina – CELESC. Dentre as atividades de programação e execução de desligamentos, um engenheiro foi designado para apresentar os aspectos da programação, bem como as atividades correlacionadas.

Para compreender o processo da programação de desligamentos em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como os setores envolvidos, foi observado o engenheiro na execução das suas atividades de rotina no local de trabalho. Neste item, inicialmente descreve-se a estrutura de funcionamento do Centro de Operação da Distribuição, onde as programações são feitas. Depois os itens específicos considerados na programação são apresentados.

### 2.5.1. Operação de Sistemas de Distribuição

Na operação de sistemas de distribuição de energia elétrica o objetivo principal é manter a continuidade da prestação de serviços com qualidade adequada proporcionando a satisfação do cliente e minimizando os custos de operação, a fim de maximizar o lucro da concessionária (GOMES PINTO et al., 1982).

Pretendendo atingir os objetivos acima descritos, as concessionárias criaram uma estrutura organizacional de forma a operar da melhor forma possível o sistema de distribuição. A partir das necessidades estruturais e organizacionais, criaram-se centros e departamentos, aos quais foram delegadas responsabilidades específicas, atribuições, metas, etc. Dentre as principais áreas que compõem uma concessionária, a operação faz parte do departamento de engenharia de distribuição é:

- Elaborar, implantar e atualizar normas e instruções de serviço sobre inspeção, operação e manutenção de redes e linhas de distribuição, manutenção da iluminação pública e inspeção e manutenção de equipamentos;
- Elaborar, implantar e atualizar padrões e especificações de ferramentas e equipamentos de trabalho;
- Supervisionar e aprimorar os Centros de Operação da Distribuição e as Oficinas de Manutenção;
- Desenvolver novas tecnologias e procedimentos sobre inspeção e manutenção de redes e linhas e manutenção de equipamentos;
- Gerenciar as atividades de distribuição pertinentes à inspeção, operação e manutenção de redes e linhas e oficinas.

Para atender estas atribuições, cada concessionária tem seus órgãos centralizados, os quais podem ser subdivididos de acordo com a área de concessão e sua importância. Todas as atividades de cada órgão são definidas e classificadas quanto à importância da localidade, tipo de consumidor, dificuldade e quantidade de serviço, seja este rotineiro ou eventual (CIPOLLI, 1993). Em geral, para coordenar e supervisionar as atividades operativas do sistema de distribuição encontra-se o Centro de Operação da Distribuição – COD – que, em conjunto com o Centro de Operação do Sistema – COS – visa proporcionar:

- Adequado atendimento aos consumidores;
- Controle e análise das interrupções ocorridas;
- Manutenção da configuração planejada do sistema elétrico;
- Melhores condições operativas, diminuindo os riscos e tornando seguras as manobras;
- Dinamização e controle da manutenção do sistema, orientando e informando os clientes;

A estrutura do Centro de Operação da Distribuição – COD – deverá ter em seu maior módulo a seguinte estrutura organizacional básica:

- Supervisão de Operação;
- Central de Atendimento;
- Central de Operação;
- Setores de Apoio;
- Turmas de Emergência.

Os recursos humanos, materiais e equipamentos são dimensionados em função das ocorrências operativas associadas às tarefas de natureza administrativa (GOMES PINTO et al., 1982).

No estágio realizado na CELESC, para desenvolvimento deste trabalho, foi encontrada a mesma estrutura. Esta estrutura é descrita a seguir, de forma resumida:

**Supervisão de Operação:** Supervisão de operação é a função exercida pelo supervisor, responsável por dirigir, orientar, inspecionar e avaliar, em nível superior, os resultados, o andamento, a eficiência e eficácia dos trabalhos, e tem as seguintes atribuições:

- Supervisionar a operação do sistema elétrico;
- Preparar informes para que sejam prestados esclarecimentos aos consumidores, quando necessário;
- Encaminhar ao setor de relações públicas da empresa as necessárias informações a respeito das ocorrências, de acordo com sua extensão, providências tomadas e o tempo estimado para restauração;

- Manter contatos com as autoridades da localidade, para discutir e tomar providências pertinentes à interrupção;
- Emitir e encaminhar aos órgãos superiores de chefia, avisos, comunicações e informações sobre interrupções programadas e não-programadas;
- Analisar e aprovar todas as manobras programadas para execução de obras na rede de distribuição;
- Acompanhar o comportamento operativo do sistema, recomendando alterações na rede, para flexibilizar a operação;
- Propor modificações no sistema, inclusive de remanejamento dos dispositivos de proteção e manobra, quando julgar necessário;

Das atribuições citadas do supervisor, este realizava todas, além de operar o sistema eventualmente no atendimento telefônico, no despacho (operação).

**Central de Atendimento:** Central de atendimento é o setor responsável pelo recebimento das solicitações dos consumidores, no que se refere a problemas ocorridos na rede de distribuição de energia elétrica. O início do atendimento telefônico se dá de forma automática pela central telefônica, ao identificar o número do telefone do cliente, e trocando informações com o sistema, encaminha este cliente ao atendente. Uma das funcionalidades da central telefônica é identificar o número do telefone que está chamando e repassar esta informação ao sistema, que fará uma consulta ao banco de dados e devolverá a central uma das seguintes respostas: não há informação para este cliente, e o cliente será automaticamente transferido para atendimento pelo atendente; ou emite uma mensagem para o cliente, que ouvirá a mensagem e terá a oportunidade de permanecer no aguardo de uma transferência para atendimento personalizado. Neste ponto, o atendente tem a oportunidade de ver na tela do computador a identificação do cliente que está em linha e se este cliente escutou alguma mensagem.

A identificação é feita usando-se um cadastro de telefones, associado com o logradouro onde o telefone está instalado. Em consequência desta localização, identifica-se também o equipamento que fornece energia a este consumidor. O atendente solicita a confirmação do logradouro (podendo corrigir), do cliente atendido com relação ao seu endereço correto e posteriormente identifica o motivo da solicitação de atendimento. Após a identificação do motivo, esta solicitação recebe um número que será seu protocolo enquanto tramitar na empresa.

A central de atendimento não deve limitar-se a receber as solicitações do cliente, deve procurar orientá-lo e informá-lo a respeito da ocorrência e das condições de restabelecimento da energia elétrica.

**Central de Operação:** Central de operação é o setor responsável pela análise das informações recebidas, pela localização da área onde ocorrer o defeito, pela distribuição dos serviços às unidades móveis, através da comunicação via rádio, e pela avaliação dos danos e dos recursos materiais, ferramentais e humanos necessários à restauração, bem como do tempo provável para execução dos serviços. Quando necessário, poderão ser autorizadas manobras para isolar o trecho defeituoso, a fim de que sejam executados os serviços de reparos, e/ou atenuar os efeitos da interrupção causada nos consumidores localizados fora deste trecho.

A atividade realizada neste setor é denominada despacho, na pessoa do despachante. O despacho é a atividade que coordena as equipes em campo, os serviços que estão sendo executados, e todo fluxo de serviços em espera para serem executados pelas equipes de emergência. Utiliza para isto, documentos gerados pelo atendente em contato com os clientes, e documentos gerados pelas outras áreas da empresa, como desligamentos programados.

Para coordenar estas atividades, o despachante precisa de informações sobre os veículos, eletricitistas, serviços sendo executados atualmente, horário de despacho e horário de chegada ao local do defeito/trabalho, local onde serão desenvolvidos os trabalhos, e se o veículo estiver a disposição (sem trabalho alocado), ou em trânsito, informações sobre o último local de trabalho, serviço realizado (sucesso/fracasso da execução, condições finais da rede, materiais empregados, condições das ferramentas, etc.), manobras realizadas na rede (alteração da configuração anterior, podendo esta ser provisória ou definitiva), etc.

As interrupções na rede de distribuição são distinguidas de acordo com o documento gerado na empresa. Para o despachante, chegam três tipos de documentos para desligamento da rede, que são os serviços a serem executados: Nota de Reclamação (NR), Solicitação de Desligamento/Bloqueio (SD/DBL), Relatório de Interrupção. A nota de reclamação é gerada pelo atendente em contato com o cliente, a solicitação de desligamento é gerada pelo repasse dos desligamentos programados pelos diversos setores da empresa, após avaliação do programador e o relatório de interrupção é gerado no próprio centro de operação sempre que necessário.

No caso, o despachante é o único que pode autorizar uma manobra na rede de distribuição, por orientar as etapas da manobra e procedimentos a serem adotados pelos

eletricistas. Em situações de extrema emergência e/ou de grande responsabilidade, o responsável pelo setor (supervisor de operação) pode assumir o comando, se julgar conveniente.

**Setores de Apoio:** O setor de apoio recebe, coleta e analisa dados e ocorrências que fornecerão subsídios para o acompanhamento e controle do desempenho do sistema elétrico e o gerenciamento da operação. Entre as seções, pode-se destacar as seguintes: controle de índices de confiabilidade, análise de desligamentos programados, análise de redes, controle de qualidade, planejamento da operação, cadastro e atualização da configuração da rede, indenizações.

a) **Controle de índices de Confiabilidade:** responsável pela coleta e armazenamento dos índices de confiabilidade da área de atuação do Centro de Operação da Distribuição. Elabora o mapa geométrico contendo as áreas de controle enquadradas segundo a norma da ANEEL, para verificação dos índices de confiabilidade, analisa e propõe mudanças na rede em função dos índices, elabora planilha dos índices por área para ser entregue para a ANEEL.

b) **Análise de desligamentos programados:** responsável pela análise dos desligamentos programados, sejam eles para manutenção ou construção. Programa os desligamentos que enquadram-se nos procedimentos e que têm todas as informações descritas na solicitação de desligamento para interrupção do fornecimento de energia. Verifica com os clientes, a possibilidade de interrupção de energia ou clientes que irão sofrer corte momentâneo para remanejamento de carga nos alimentadores, de acordo com o tipo de cliente. Rejeita todas as solicitações de desligamento quando faltarem informações pertinentes, que não estão de acordo com os procedimentos e quando os clientes não puderem sofrer cortes programados de energia em dias específicos, segundo solicitação.

c) **Análise de redes:** responsável pela verificação do comportamento da curva de carga, analisar a operação da rede e verificar se esta opera segundo as especificações. Faz medições em pontos estratégicos da rede coletando dados de tensão, corrente, consumo. A partir disto faz uma análise da rede executando um fluxo de potência, e comparando os dados obtidos em campo. Com os dados obtidos em campo, verifica se a rede está bem dimensionada para operação, bem como verifica o crescimento vertical e horizontal com relação à curva de carga (aumento/decremento de consumo: seja pelo aumento/decremento da renda, do número de clientes, mudança na economia, etc.). A partir de medições verifica limite térmico dos condutores (se adequados), níveis de tensão de operação (verificando a tensão mínima no

ponto de acoplamento entre a concessionária e o cliente – para comparar com a norma estabelecida pela ANEEL).

**d) Controle de qualidade:** responsável por medições/inspeções para verificação da qualidade dos serviços prestados pela concessionária. Quando há uma reclamação do cliente ou algum setor da concessionária quanto à qualidade dos serviços, faz-se a verificação em loco dos reclames. Ao encontrar alguma irregularidade (medição, baixo nível de tensão, etc.), aciona os serviços de operação/manutenção para correção do problema, podendo gerar um relatório de interrupção a partir do centro de operação da distribuição ou uma solicitação de desligamento pela manutenção.

**e) Planejamento da operação:** responsável pelo planejamentos da operação, elabora estudos no sentido de aprimorar técnicas dos serviços de atendimento ao consumidor, pesquisando os recursos materiais e humanos necessários à obtenção dos objetivos propostos. Também realiza estudos que possam servir ao COD como suporte operativo, indicando as situações críticas que possam ocorrer no sistema de distribuição e as providências cabíveis, e faz análise do comportamento do sistema que sofreu modificações em sua configuração, com o acompanhamento dos tempos previstos para manobras programadas e seu tempo de realização efetiva, onde a análise das distorções permitirá correções nos tempos de futuras manobras.

**f) Cadastro e atualização da rede:** responsável pelo cadastro de novos equipamentos e materiais inseridos no sistema, bem como da substituição de equipamentos pela manutenção, de forma a manter o mais atualizado possível a configuração da rede. Este setor é que auxilia o bom desempenho da operação, planejamento, inspeção, manutenção, etc. pois dá subsídios aos diversos setores, proporcionando segurança nas atividades de operação do sistema de distribuição como um todo. Todo equipamento inserido ou trocado, recebe um número e uma atualização no seu diagrama unifilar (alteração do desenho por alimentador).

**g) Indenizações:** é responsável pela verificação das reclamações dos clientes quanto à má operação do sistema, quando este sofre danos nos seus equipamentos, componentes e dispositivos instalados devido a problemas oriundos do sistema de distribuição, ou seja, verifica a pertinência das reclamações com as informações da operação. Serve de apoio nas atividades de planejamento da operação, pois possui informações de onde o sistema tem deficiência, de que tipo são, a frequência do problema, a gravidade do problema, etc.

**Turmas de Emergência:** Têm a função de normalizar, em situações de emergência, o fornecimento de energia elétrica, executando o trabalho de forma rápida, eficiente e eficaz.



Para os casos de emergência, a padronização da rede pode ser sacrificada em benefício da rapidez do restabelecimento do sistema. A normalização definitiva poderá ser feita posteriormente por uma turma de manutenção, mediante um relatório de interrupção ou programação.

Na execução de serviços pelas turmas de emergência, a finalidade é promover o pronto restabelecimento do serviço, bem como das condições de segurança humana e das instalações, reduzindo ao máximo as conseqüências de uma falha do material, do equipamento ou do sistema.

### **2.5.2 Programação de Desligamentos – Considerações da CELESC**

Todo desligamento deve ser autorizado pelo Centro de Operação da Distribuição que considera o direito dos clientes de não serem desligados levando em consideração o cumprimento dos códigos legais (Código de Defesa do Consumidor, Portarias 046/78 e 047/79 da Agência Nacional de Energia Elétrica, código Civil e Penal).

O trecho da rede a ser **desligado** é um segmento de rede delimitado e identificado que, ao ser desligado, desenergiza totalmente o local de trabalho. O trecho de rede **desligado** é um segmento de rede delimitado e identificado que foi seccionado, com corte visível, da fonte de tensão. Para realização de um seccionamento na rede de distribuição, além do prévio conhecimento do COD, a manobra deve ser feita por um profissional credenciado e qualificado, com conhecimento do procedimento da manobra a ser executada na rede. O documento que contém os procedimentos de manobra necessários para desligar e religar um trecho de rede é a Ordem de Manobra.

Para fazer um pedido de desligamento, deve-se informar a data e hora do serviço, o local, o trecho da rede a ser desligada (número das chaves que delimitam o trecho), o responsável pelo serviço, o tipo de serviço a ser executado, o tempo aproximado de execução, a existência de alterações na rede (se sim, especificar).

Todo desligamento programado em sistemas de distribuição deve ter um responsável pelo desligamento. Este responsável pelo desligamento deve ser um profissional qualificado e designado para exercer as atividades de análise da aprovação das solicitações de desligamento, além de designar um profissional responsável pelos trabalhos para receber e entregar o trecho de rede desligado. O profissional responsável pelo desligamento deve verificar se as respectivas solicitações estão de acordo com os procedimentos usuais de desligamento, atendendo os pré-requisitos mínimos estabelecidos para permissão do

desligamento de um determinado trecho da rede. Além disso deve verificar o atendimento dos itens necessários que devem ser observados na aprovação do desligamento de um trecho da rede.

A aprovação do desligamento de um determinado trecho da rede deve levar em conta diversos fatores, como:

- Mercado;
- Sistema Elétrico;
- Prazo de Execução dos Serviços;
- Outros.

Quanto ao mercado, deve-se verificar:

- Quais são os consumidores que serão afetados pelo desligamento e pelas manobras na rede;
- Verificar o cumprimento da emissão dos prazos referentes à emissão da solicitação de desligamento;
- Negociar a data, o horário e a duração do desligamento;
- Verificar o ramo de atividade do consumidor;
- Verificar o cumprimento do índice de Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor – DEC e do índice de Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor – FEC estabelecidos pela ANEEL.
- Verificar a existência de eventos especiais;
- Considerar a sazonalidade da carga;
- Considerar a característica da carga.

Quanto ao sistema elétrico, deve-se verificar:

- O trecho da rede a ser desligado;
- Definir o tipo de manobra a ser realizada quando houver transferência de carga;
- Verificar se o serviço que será executado não provocará alterações na configuração normal da rede;

Quanto aos prazos, deve-se verificar:

- Considerar que a emissão da solicitação de desligamento deverá ser feita com 7 dias de antecedência ao desligamento de alimentador;
- Considerar que a emissão da solicitação de desligamento deverá ser feita com 6 dias de antecedência ao desligamento de ramal ou transformador;
- Considerar que a emissão da solicitação de desligamento deverá ser feita com 2 dias de antecedência ao desligamento de ramal particular;
- Considerar o prazo mínimo de 72 horas para avisar ao consumidor do desligamento;
- Considerar os prazos de antecedência de 3 dias úteis ao desligamento de transformador, ramal, alimentador e de um dia útil ao desligamento de ramal particular para devolver a solicitação de desligamento com o parecer.

Quanto a outros aspectos, deve-se verificar:

- Considerar que não poderá haver duplicidade de solicitação de desligamento para o mesmo trecho de rede a ser desligado;
- Verificar o possível aproveitamento de desligamento;
- Compatibilizar os recursos humanos e materiais disponíveis com quantidades, datas e horários e locais dos desligamentos;
- Respeitar a segurança das pessoas e dos equipamentos;
- Conferir o preenchimento do formulário de solicitação de desligamento;
- Conferir se os profissionais designados para o desligamento são credenciados.

Quando houver a possibilidade de aproveitamento de desligamento, deve-se proceder da seguinte forma:

- Reunir todas as áreas interessadas no desligamento;
- Delimitar o trecho de rede a ser desligado;
- Emitir uma solicitação de desligamento e uma declaração de trecho desligado para cada trecho da rede a ser desligado.

Os tipos de serviços a serem executados na rede podem ser diversos e também devem ser especificados. Sempre que um determinado serviço venha a alterar a configuração da rede, este deve ser previamente autorizado pelo COD. Além disso, o desligamento deve ser otimizado de modo a não haver desligamentos constantes no mesmo trecho de rede, acarretando no aumento desnecessário dos índices de confiabilidade, prejudicando ainda mais a programação de novos desligamentos naquele trecho no período restante.

Após o parecer favorável deve-se verificar se o desligamento será realizado sem transferência de carga, com transferência de carga ou com paralelismo de alimentadores, planejando o desligamento.

No caso de desligamento sem transferência de carga, deve-se:

- Verificar quais são os equipamentos que desligam, com corte visível, o trecho a ser desligado;
- Definir quais equipamentos serão operados;
- Definir qual é a ação a ser feita em cada equipamento;
- Definir a seqüência de operação dos equipamentos;
- Verificar a necessidade de bloqueio de dispositivos de proteção;
- Considerar pontos de interligação ( chave Normalmente Aberta – NA ), fonte de tensão de terceiros, indução de equipamentos que delimitam este trecho de rede.

No caso de desligamento com transferência de carga, deve-se verificar se há paralelismo de alimentadores ou não. No caso de transferência sem paralelismo, procede-se da seguinte forma:

- Definir a quantidade de carga a ser transferida;
- Definir quais são os alimentadores que receberão transferência de carga;
- Considerar a capacidade de carregamento dos equipamentos e condutores;
- Considerar os níveis de tensão;
- Verificar se a manobra envolve equipamento que depende do sentido da corrente;
- Considerar os procedimentos estabelecidos no caso de desligamento sem transferência de carga.

No caso de transferência com paralelismo, procede-se da seguinte forma:

- Definir a quantidade de carga a ser transferida;
- Definir quais são os alimentadores que receberão transferências de carga;
- Considerar os procedimentos necessários para operação de alimentadores em paralelo;
- Cumprir os procedimentos estabelecidos no caso de desligamento sem transferência de carga.

Após definido o plano de desligamento, emitir a ordem de manobra, da seguinte forma:

- Registrar cada item de manobra na ordem de sua execução;
- Definir apenas uma ação para cada item;
- Definir, em cada item, a ação a ser feita, o equipamento a que se refere esta ação, o alimentador a que pertence este equipamento, o modo de ação e o resultado desta ação quando for o caso, nesta ordem;
- Identificar o equipamento e o alimentador através de códigos alfanuméricos;
- Registrar individualmente e em ordem, os procedimentos para declarar o trecho de rede desligado.

Após a aprovação de um desligamento, quanto aos aspectos técnicos e requisitos acima mencionados, faz-se necessário verificar a existência de cargas no trecho que não podem sofrer manobras ou interrupções momentâneas, de modo que venha a prejudicar estes clientes. Pode-se classificar estes clientes de acordo com sua atividade, horário de funcionamento e prejuízo devido a manobras. Sempre que estiver em risco a vida humana, a manobra ou desligamento deve ser evitado a todo custo. Deve-se avaliar também, quanto a interrupção ou manobra de um trecho da rede irá afetar a qualidade dos serviços prestados (OLGUÍN, 1999).

## **2.6 Conclusões**

O setor de energia elétrica passa por um momento de reestruturação, isto é, as concessionárias deixaram de ser empresas estatais para serem empresas privadas. Isto altera

algumas práticas e conceitos, pois ao invés das empresas visarem apenas o interesse do governo e da sociedade, estas visam atender também os objetivos dos proprietários.

Neste ambiente, a manutenção preventiva terá mais importância para as concessionárias, pois é através desta que a empresa irá “garantir” o fornecimento de energia. Além da manutenção preventiva, deverá haver investimentos na configuração da rede, para obter-se uma boa confiabilidade estrutural.

Para ter-se uma manutenção preventiva eficiente e eficaz, de modo a auferir seus benefícios, as concessionárias devem adotar políticas de manutenção que contemplem prioridades de investimentos em determinados pontos da rede. Esta política deve ter um planejamento da manutenção de modo sistematizado e otimizado, considerando os parâmetros técnicos e de mercado, com uma metodologia de avaliação dos resultados obtidos pela manutenção preventiva.

Relacionada às atividades de manutenção de sistemas de distribuição está a programação de desligamentos. Os desligamentos do programa de manutenção preventiva devem ser coordenados com os desligamentos do setor de obras da distribuição, iluminação pública, com os desligamentos programados na transmissão que afetem a distribuição, entre outros. Para isso é necessário estabelecer uma forma eficaz de troca de informações entre os diversos órgãos envolvidos.

Uma programação de desligamentos bem feita é essencial para as concessionárias, pois as interrupções estão relacionadas aos índices de confiabilidade da empresa. No centro desta atividade, o programador de desligamentos é o responsável por reunir todas as informações pertinentes ao problema, observando ainda as restrições de operação do sistema.

A programação de desligamentos deve levar em conta diversas restrições, tanto de ordem técnica, quanto de mercado, entre outras. Entretanto, para atender a estas restrições, um número muito grande de informações devem ser observadas. Estas informações encontram-se dispersas na empresa, tornando o trabalho da programação exaustivo, e exigindo uma dedicação total do programador, tanto na concentração para realização das programações, quanto no aperfeiçoamento da sistemática de execução de tal serviço.

Devido a este grande volume de informações dispersas, o programador nem sempre pode considerar todas as restrições que são importantes para uma boa programação. Para facilitar o trabalho do programador, o apoio de uma ferramenta computacional, que considere um número maior de restrições do problema e que seja capaz de armazenar uma grande quantidade de informações de modo centralizado é desejável.

Contudo, os métodos tradicionais de programação algorítmica não são adequados para tratar tais problemas. A alternativa é a elaboração de um sistema que contemple o paradigma da representação simbólica, considerando o conhecimento heurístico do especialista, sua forma de pensar e deduzir uma conclusão, entre outros aspectos. Este tipo de problema pode ser tratado pela técnica de inteligência artificial denominada sistemas baseados em conhecimento. Isto porque a forma com que o problema deve ser tratado e suas características são contempladas nesta técnica.

Um sistema baseado no conhecimento é capaz de considerar um grande número de restrições, inclusive o monitoramento dos índices de confiabilidade, alvo principal no novo mercado de energia elétrica. O acompanhamento de tais índices pode evitar multas à concessionária, restrição esta que na prática é inviável de ser observada pelo programador.

## Capítulo 3 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA APOIO À PROGRAMAÇÃO DE DESLIGAMENTO

### 3.1 Introdução

O primeiro passo na solução de qualquer problema é a definição da área do problema ou domínio a ser resolvido. A Inteligência Artificial têm muitas áreas de interesse, tais como: robótica, visão, linguagem natural, fala, sistemas neurais artificiais, compreensão, sistemas especialistas e outros.

De acordo com SINTA (1997), sistema especialista é um programa computacional inteligente que usa conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas que são muito difíceis e requerem significativa experiência humana para suas soluções. De acordo com HAYES-ROTH et al. (1983) a área de sistemas especialistas investiga métodos e técnicas para construção de sistemas homem máquina com perícia na solução de problemas especializados.

Como um ramo da inteligência artificial, sistemas especialistas fazem uso extensivo de conhecimento especializado na solução de problemas ao nível de um especialista humano. Isto é, um sistema especialista é um sistema computacional que emula a tomada de decisões com habilidade de um especialista humano.

Sistemas especialistas, assim como especialistas humanos, são projetados para serem especialistas em um domínio do problema. O conhecimento especializado contidos nos sistemas especialistas é específico ao domínio do problema, ao contrário do conhecimento de técnicas gerais de solução de problemas. O conhecimento do especialista sobre a solução de problemas específicos é chamado o **domínio de conhecimento** do mesmo. A figura 3.1 a seguir ilustra a relação entre o problema e o domínio do conhecimento (GIARRATANO, 1989).

A implementação de sistemas especialistas se dá através de programas que usam um processamento simbólico especializado, de maneira a resolver, precisando para isso, fazer uso do conhecimento específico, promover manipulações simbólicas e, a um certo nível de competência, ser melhor que um não especialista humano.



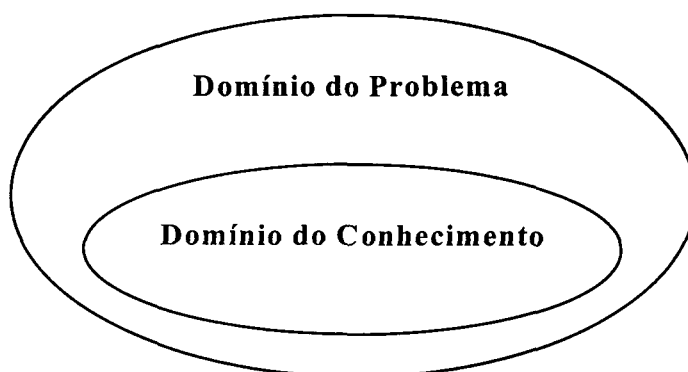


Figura 3.1 – Um possível problema e a relação do domínio do conhecimento

O item 3.2 trata das características, vantagens e aplicações de sistemas especialistas. O item 3.3 apresenta as etapas de desenvolvimento de sistemas especialistas, inclusive opções para linguagens, formas de representação do conhecimento e métodos de inferência; no item 3.4 apresenta-se uma descrição geral do sistema especialista projetado de acordo com as etapas de desenvolvimento descritas no item anterior e no item 3.5 são colocadas as conclusões deste capítulo.

### 3.2 Aspectos principais de Sistemas Especialistas

De acordo com RIBEIRO (1987) um sistema especialista é um sistema projetado e desenvolvido para atender uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano. Este sistema deve ser capaz de emitir uma decisão, com apoio do conhecimento justificado e aceito, a partir de uma base de informações, tal qual um especialista de uma determinada área do conhecimento humano (ROLIM, 1998).

#### 3.2.1 Vantagens e Aplicações de Sistemas Especialistas

Vários são os sistemas especialistas citados em livros, artigos e revistas especializadas. Porém estes sistemas apresentam algumas vantagens comuns. De acordo com GIARRATANO (1989) as principais são:

- **Incrementa a Disponibilidade:** aumenta a disponibilidade do especialista humano, liberando-o para tarefas mais complexas.
- **Redução de Perigo:** sistemas especialistas podem ser usados em ambientes que podem ser arriscados para seres humanos.

- Estadia: o sistema especialista é permanente, contrário ao especialista humano, que pode se aposentar, se demitir ou morrer. Assim o conhecimento existente no sistema especialista vai durar indefinidamente.
- Especialidade Múltipla: o conhecimento de muitos especialistas podem estar disponíveis e compatibilizados para trabalhar simultaneamente e continuamente num problema a qualquer hora do dia ou noite. O nível de habilidade combinada de múltiplos especialistas pode exceder aquela de um único especialista humano.
- Aumento da Confiabilidade: sistemas especialistas aumentam a confiança da decisão tomada, devido ao acúmulo de uma segunda opinião para o especialista humano ou quebra o vínculo no caso de discórdia por múltiplos especialistas. Há um incremento na confiabilidade também sempre que o especialista humano estiver sob pressão, cansado ou sob “stress”.
- Constância, sem Emoções e Respostas Completas todo Tempo: isto é importante em tempo real e situações de emergência, quando um especialista humano pode avaliar mal a situação corrente.
- Explicação: o sistema especialista pode explicar em detalhes explicitamente o raciocínio que o conduziu a uma determinada conclusão. Um especialista humano pode estar cansado e até mesmo sem vontade de explicar seus procedimentos o tempo todo. Isto aumenta a confiança de que a decisão correta foi tomada.
- Resposta Rápida: respostas em tempo real ou de forma rápida podem ser obtidas para várias aplicações. Em situações de emergência que podem exigir resposta imediatas, esta é uma característica importante.
- Assistente Inteligente: o sistema especialista pode operar como um assistente inteligente para treinamento, utilizando casos exemplos, de situações reais.
- Avaliação do conhecimento: o processo de desenvolvimento de um sistema especialista tem um benefício indireto que é o de avaliar o conhecimento do especialista humano para que este seja colocado no computador numa forma explícita. Como o conhecimento encontra-se numa forma explícita no sistema especialista este pode ser examinado, corrigido e complementado, melhorando a qualidade do conhecimento.

Várias são as aplicações de sistemas especialistas que podem ser encontradas nas mais diversas áreas do conhecimento, tais como: química, eletrônica, medicina, engenharia, geologia, computação entre outras. Porém o sistema que é considerado um marco no

desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, é o MYCIN. O MYCIN é um sistema especialista projetado para dar diagnósticos de doenças infecciosas.

Assim, antes de construir um sistema especialista, é importante determinar se um sistema especialista é um paradigma apropriado. Para verificar se tal paradigma é verdadeiro, algumas perguntas devem ser feitas. De acordo como GIARRATANO (1989), são as seguintes:

- Pode o problema ser efetivamente resolvido pela programação convencional?

Se a resposta for sim, então um sistema especialista não é uma boa escolha. Sistemas especialistas são melhor aplicados na solução de problemas mal estruturados.

- É o domínio uma fronteira do conhecimento?

É importante saber o que o sistema especialista espera saber e o que ele é capaz de ser, ou seja, é preciso estabelecer que domínio de conhecimento o sistema deve ter. Deve-se ter uma boa habilidade para coordenar a tarefa da construção de um sistema especialista para que este não fuja ao seu objetivo.

- Há uma necessidade e um desejo por um sistema especialista?

É necessário ter certeza de que o sistema será usado, ou seja, se este vai desempenhar as suas funções após o término da sua construção.

- Há ao menos um especialista disposto a cooperar?

É importante ter ao menos um especialista disposto e de preferência entusiasmado a colaborar com o projeto.

- O especialista tem capacidade de expor seu conhecimento e seu modo de raciocínio?

Deve haver uma capacidade do especialista humano expor seu conhecimento adquirido ao longo dos anos em relação ao problema em questão, de modo que o engenheiro de conhecimento seja capaz de entendê-lo. Sem o entendimento do engenheiro do conhecimento, não há possibilidade de codificar o conhecimento em questão.

- O conhecimento da solução do problema é principalmente baseado em heurísticas?

Sistemas especialistas são apropriados quando o conhecimento do especialista a cerca da solução do problema é baseada na sua experiência, ou seja, na sua heurística.

Se a solução de um problema do mundo real atender a estas restrições, um sistema especialista pode ser uma boa saída na solução do problema, principalmente se for possível aproveitar suas vantagens descritas anteriormente (GIARRATANO, 1989).

### 3.2.2 Características de Sistemas Especialistas

Os sistemas especialistas têm seu funcionamento básico apoiado em heurísticas, por isso podem ser usados para solucionar problemas que não podem ser classificados na sua forma tradicional, ou seja, através de algoritmos (KELLER, 1991). Programas convencionais são usados para resolver muitos tipos de problemas. Estes problemas geralmente têm soluções algorítmicas. Em muitas áreas de aplicação, tais como engenharia, cálculos numéricos são de importância primária. Em contraste, sistemas especialistas são primariamente projetados para raciocínio simbólico (GIARRATANO, 1989).

Assim esses sistemas processam conhecimentos e não dados. Uma forma de caracterizar os sistemas especialistas é compará-los a sistemas convencionais de processamento de dados, identificando algumas diferenças:

Programa Convencional: usam representação de dados, do tipo algorítmico, com processo iterativo, manipulando bases de dados.

Sistemas Especialistas: usam representação do conhecimento, do tipo heurístico, com processo de inferência, manipulando bases de conhecimento (processamento simbólico).

Mesmo sendo diferente de programas convencionais, algumas características são importantes na construção de um sistema especialista. Estas características devem ser inerentes ao sistema projetado. Portanto, um sistema especialista é geralmente projetado para ter as seguintes características:

- Alta performance: o sistema deve ser capaz de responder com um nível de competência igual ou melhor que de um especialista de campo.
- Tempo de resposta adequado: o sistema também deve encontrar a “solução” do problema em um tempo aceitável. Comparado ao especialista humano, deve tomar uma decisão mais rapidamente, principalmente em sistemas de tempo real ou situações de emergência.
- Boa confiabilidade: o sistema especialista deve ser confiável e não propenso a quebras, ou ele não vai ser usado.
- Compreensível: o sistema deve ser capaz de explicar os passos do seu raciocínio, enquanto executa sua tarefa. Isto é essencial principalmente quando está em jogo vidas humanas.

- **Flexibilidade:** o sistema deve ter a capacidade de inserir, editar, alterar e extrair conhecimento, sem precisar refazer toda base de conhecimento.

### 3.2.3 Elementos de Sistemas Especialistas

Em uma análise mais genérica, sistemas especialistas são constituídos de três elementos básicos: Memória de Trabalho, Base de Conhecimento e Mecanismo de Inferência.

**Base de Conhecimento:** é o elemento que armazena o conhecimento concreto e abstrato, sendo este último baseado em heurísticas ou regras de bom senso. A base de conhecimento é também conhecida como base de regras, pois em geral, o conhecimento abstrato é armazenado em um conjunto de regras de produção.

**Mecanismo de Inferência:** também chamado motor de inferência, é o elemento capaz de buscar as regras necessárias a serem avaliadas, ordenadas de maneira lógica a partir daí, direcionar o processo de inferência, isto é, é o interpretador do conhecimento, combinado ao conhecimento abstrato contido na base de conhecimento, com o conhecimento concreto armazenado na memória de trabalho, inferindo conclusões e gerando novos fatos.

**Memória de Trabalho:** é onde os fatos vão sendo armazenados à medida em que vão sendo usados, no processo, ou seja, é o elemento que armazena o conhecimento concreto (fatos) antes e durante o processo de inferenciação. Esta memória é de caráter transitório, pois novos fatos vão sendo acrescentados, quando uma regra é satisfeita, enquanto outros vão sendo descartados, quando uma regra não é satisfeita.

Conforme a figura 3.2, observam-se as três partes básicas que constituem um sistema especialista. Esta estrutura é similar à forma de pensar e tomar decisões de seres humanos, que possuem uma memória de longo prazo, uma memória de curto prazo e um processador cognitivo. A memória de curto prazo é equivalente à memória de trabalho do sistema especialista, a memória de longo prazo é equivalente à base de conhecimento e o processador cognitivo é equivalente ao mecanismo de inferência (GIARRATANO, 1989).

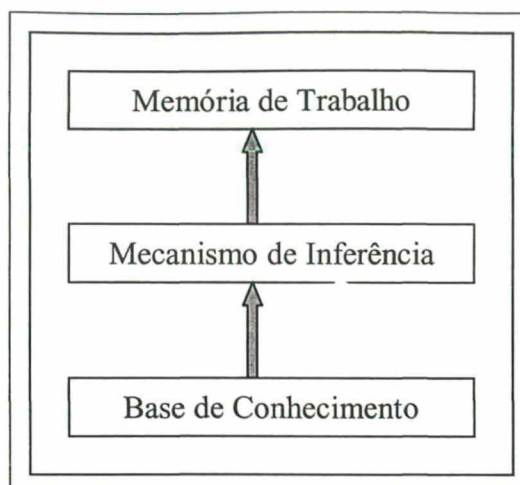


Figura 3.2 – Partes básicas que compõem um sistema especialista

### 3.3 Etapas de Desenvolvimento de Sistemas Especialistas

As aplicações baseadas no conhecimento tendem a considerar aqueles problemas que não tenham sido tratados previamente, por causa da dificuldade de manipulá-los com métodos convencionais. Entretanto, em alguns casos, sistemas especialistas podem apresentar um alto custo, não por ser necessário adquirir o programa que contém o mecanismo de inferência, mas sim no processo de aquisição do conhecimento especializado para construir uma base de conhecimento (KELLER, 1991).

Deve-se observar que a construção de um sistema especialista apresenta riscos, tais como a não disponibilidade contínua de especialistas, a possibilidade do especialista abandonar o projeto para resolver problemas que julga mais importante, de não conseguir completar o projeto até um ponto onde os resultados, em termos de retorno de investimento, justifiquem o custo até aquela data, da dificuldade na captação do conhecimento específico suficiente para a construção da base de conhecimento, e outros (HAYES-ROTH et al., 1983).

A construção de um sistema especialista passa por várias etapas até que o sistema esteja completo. É importante ressaltar que o processo de construção de um sistema especialista é cíclico, e que as etapas são repassadas várias vezes até que o sistema atinja um nível satisfatório de operação. Na medida que as etapas são concluídas, o sistema vai crescendo e tomando forma. Depois de um determinado tempo, tem-se um protótipo, que permite avaliar todo o processo de construção, fazer os mais diversos ajustes e alterações (KELLER, 1991).

As principais etapas no processo de desenvolvimento de um sistema especialista consistem na:

- Identificação e caracterização do problema a ser resolvido, bem como se este pode ser resolvido pela utilização da técnica de sistemas especialistas;
- Aquisição do conhecimento, com a seleção adequada do(s) especialista(s), o prévio conhecimento do assunto a ser elicitado, organização do conhecimento pretendido para aquisição, reavaliação do conhecimento adquirido;
- Representação do conhecimento de forma adequada, isto é, de modo que a máquina seja capaz de processá-la. Assim, é preciso escolher uma ferramenta / arquitetura adequada, capaz de representar o conhecimento de forma eficiente e eficaz, inferir prover informações a respeito dos resultados atingidos;
- Metodologia utilizada no processo de busca e a definição da prioridade de operações a serem executadas pelo sistema;
- Implementação é a etapa após a determinação das características do sistema, onde elabora-se o código computacional para criar o primeiro protótipo deste;
- Avaliação / refinamento do sistema, de modo a validar e verificar os resultados obtidos com o protótipo.

Portanto, após decisões iniciais quanto à plataforma de *hardware* e *software* a serem empregados o desenvolvimento de sistemas especialistas normalmente acontece em ciclos de aquisição do conhecimento, representação deste e posterior verificação. Assim o sistema cresce aos poucos, minimizando os problemas de erros implementados, já que este está em constante verificação e revisão.

### **3.3.1 Identificação e Caracterização do Problema**

A identificação do conhecimento consiste numa etapa antes da aquisição do conhecimento com o especialista de domínio, onde o engenheiro do conhecimento procura adquirir o conhecimento geral do problema, verificando se a aplicação da técnica de sistemas especialista é apropriada para a solução do problema em questão (KELLER, 1991).

Na etapa de identificação e caracterização do problema, busca-se todo o conhecimento de domínio público do assunto em questão, esteja este relacionado direta ou indiretamente (possíveis variantes) ao assunto abordado. O conhecimento de domínio público, geralmente é

encontrado em revistas, artigos, livros entre outras. Reunido este material, estuda-se o problema a ser abordado, procurando determinar a viabilidade de se empregar o paradigma de programação de sistemas especialistas, assim como determinar a abrangência do problema e as possíveis soluções adotadas na ausência do sistema (ROLIM, 1998).

Uma vez determinada a viabilidade de empregar-se o paradigma de programação de sistemas especialistas, determina-se a abrangência da solução proposta, ou seja, os prováveis procedimentos a serem utilizados, possíveis ferramentas disponíveis, conhecimento concreto e abstrato a serem buscados, bem como suas fontes, enfim, toda a estrutura necessária para iniciar o processo (KELLER, 1991).

A abrangência da solução proposta depende do conhecimento disponível, incluindo o conhecimento do especialista no assunto. O procedimento a serem usados depende de como o especialista trata o problema e seus procedimentos na solução. As determinações das possíveis ferramentas depende do conhecimento de programação do engenheiro do conhecimento, para a escolha de uma adequada forma de implementação. Deve-se ainda levar em conta a viabilidade econômica de aquisição desta ferramenta, isto é, os vários sistemas que possuem uma máquina de inferência e demais características comuns necessárias a auxiliar no trabalho de transpor o conhecimento do especialista, num sistema especialista (CAPANEMA, 1999).

Ainda na possível solução proposta, deve-se verificar as restrições da solução, pois em geral, esta não é uma solução ótima, ou seja, determinam-se possíveis futuros caminhos a serem adotados de forma a melhorar o método de solução adotado em suas possíveis variantes (KAWAHARA, et al., 1998).

O(s) especialista(s) a ser(em) escolhido(s) para ser(em) integrado(s) no projeto, deve(m) ser aquele(s) que têm grande conhecimento na solução do problema, uma boa capacidade de expor seu raciocínio e principalmente com vontade e entusiasmo para participar do desenvolvimento do sistema (GIARRATANO, 1989).

Com relação às possíveis ferramentas para elaboração do sistema, busca-se uma plataforma de programação que permita a implementação do sistema de acordo com as características necessárias do sistema em questão (SILVA et al., 1998). Na literatura especializada de sistemas especialistas, descreve-se sobre tais plataformas de programação, isto é, linguagens, *shells* e ferramentas disponíveis.



Nas linguagens procedimentais (C, FORTRAN, PASCAL), o foco é prover técnicas flexíveis e robustas para representar dados, tais como: vetores, registros, listas encadeadas, filas, pilhas e árvores, que são criadas e manipuladas com facilidade. De forma oposta, linguagens declarativa, mais apropriadas para sistemas especialistas (LISP, PROLOG) procuram promover modos robustos e flexíveis para representar conhecimento, permitindo dois níveis de abstração: de dados e de conhecimento. Em sistemas especialistas (linguagens) os dados são separados dos seus métodos de manipulação. Um exemplo desta separação é a dos fatos (abstração de dados) e das regras (abstração de conhecimento) numa base de conhecimento (GIARRATANO, 1989).

Além das linguagens, existem uma variedade de ferramentas e *shells* para desenvolvimento de sistemas especialistas. De acordo com GIARRATANO (1989), as seguintes definições são adotadas:

**Linguagem**: é um tradutor de comandos escritos numa sintaxe específica. Esta linguagem, em geral, deve dispor de uma máquina de inferência para executar as declarações da linguagem.

**Ferramenta**: uma linguagem adicional associada a programas utilitários para facilitar o desenvolvimento, correção de erros, e evolução de programas aplicativos. Programas aplicativos podem incluir editores de texto e gráficos, corretores, gerenciamento de arquivos e outros. A ferramenta pode ainda ser integrada com outros utilitários em um ambiente que apresente uma interface comum ao usuário.

**Shell**: é uma ferramenta de proposta específica para determinados tipos de aplicações na qual o usuário deve suprir a base de conhecimento. Um exemplo clássico deste é o *shell* EMYCIN (MYCIN vazio), sendo que este foi feito após remover a base de conhecimento do sistema especialista MYCIN.

Uma outra definição de shell encontrada em CAPANEMA (1999) é que estes possuem características pré-estabelecidas e quando são adotados minimizam ao máximo as etapas de elaborar-se um sistema especialista. Estes são encarregados se prover uma máquina de inferência básica com certos tipos de encadeamento, um editor de bases de conhecimento e uma sintaxe de programação de regras, isto é, um ambiente para construção do sistema

especialista que proporcionará a representação do conhecimento, além de facilitar a elaboração do primeiro protótipo, e algumas vezes, de ferramentas definitivas.

Assim na etapa de identificação e caracterização do problema a ser resolvido, busca-se o conhecimento de domínio público referente ao mesmo, assim como as possíveis ferramentas disponíveis para solução deste. Relacionando a etapa de identificação do conhecimento está a etapa de representação do conhecimento. Portanto, a definição da linguagem, ferramenta ou *shell* disponível em caráter definitivo é melhor ser feita na etapa de representação do conhecimento.

### 3.3.2 Aquisição e Representação do Conhecimento

De acordo com GIARRATANO (1989), o conhecimento pode ser classificado além disso, em conhecimento **procedimental**, **declarativo** e **implícito**. O conhecimento procedimental é geralmente referido como saber fazer alguma coisa. O conhecimento declarativo refere-se ao conhecimento de que alguma coisa é verdadeira ou falsa. O conhecimento implícito é algumas vezes chamado inconsciente por este não poder ser expresso pela linguagem.

O conhecimento de um domínio toma muitas formas. O conhecimento é o resultado de um aprendizado contínuo que uma pessoa adquire sobre um dado assunto. Este aprendizado é obtido de várias formas, como leituras, palestras, estudos, análise estática de dados, conversa com outras pessoas sobre um certo assunto, tentativa e erro (experiência), entre outros (RIBEIRO, 1987). Quando o conhecimento é firme e formalizado, programas computacionais algorítmicos para resolver problemas são mais adequados que métodos heurísticos. Porém, quando o conhecimento é subjetivo, mal codificado, e parcialmente julgado, sistemas especialistas personalizam uma busca heurística, sendo esta técnica mais apropriada (HAYES-ROTH et al., 1983).

De acordo com KELLER (1991), a aquisição do conhecimento é o procedimento necessário para adquirir-se o conhecimento em um domínio particular, de uma fonte, normalmente humana. Este procedimento tem como objetivo a transposição deste conhecimento para um sistema computacional.

A pessoa responsável pela tarefa de adquirir e posteriormente representar o conhecimento é chamada de engenheiro do conhecimento. Portanto, a elaboração de um bom sistema especialista passa pela capacidade de entendimento, do engenheiro do conhecimento,

sobre o assunto tratado com o especialista. Assim, uma boa comunicação entre o engenheiro do conhecimento e o especialista é imprescindível.

A comunicação é um processo que envolve o conhecimento de uma linguagem, falada, escrita, entre outras formas, de modo que a transferência de informação seja estabelecida pelas partes envolvidas. Conforme o processo de comunicação entre o engenheiro do conhecimento e o especialista, muitos conceitos podem ser perdidos, se não houver uma interação completa. Por exemplo, muitas pessoas quando falam sobre um assunto, acabam dizendo a palavra “né”, que significa que quem comentou sobre o assunto espera uma confirmação do que foi falado. Neste momento, se o engenheiro do conhecimento ficar constrangido, o especialista pode acreditar que transferiu a informação, mas efetivamente não. Uma forma de minimizar este problema é repassar o assunto várias vezes até que pareça pelo menos satisfatório (HAYES-ROTH et al., 1983).

Dentre os métodos de eliciação do conhecimento, o mais conhecido é a entrevista estruturada. A entrevista estruturada como técnica de aquisição do conhecimento possibilita eliciar o conhecimento mais rapidamente. Esta técnica pode ser até relaxante, porém o tempo da entrevista não deve ser muito longo (TEIVE et al., 1995). Um dos problemas da técnica de entrevista estruturada é o pouco conhecimento do engenheiro do conhecimento sobre o tema, ainda mais se este ainda está apenas iniciando no assunto. Uma das maiores dificuldades é com o jargão técnico, pois o conhecimento é transmitido em frases com palavras específicas e conhecimento implícito associados aos elementos que compõem a frase (RIBEIRO, 1987).

Por outro lado, por ser o sistema especialista embasado em fatos e heurísticas, a eficiência e a eficácia do sistema depende principalmente da qualidade e da extensão do conhecimento do especialista, bem como da amplitude do conhecimento transferido para o engenheiro do conhecimento (MARTINO et al., 1999).

Uma segunda maneira de adquirir o conhecimento é através da observação do especialista no seu ambiente de trabalho, tomando decisões. O engenheiro do conhecimento deve observar os fatos mais importantes que levaram o especialista a tomar aquela decisão. Um fator determinante neste processo, é anotar os procedimentos do especialista, para formar um conjunto de tópicos, que poderão ser mais tarde questionados, de modo que o engenheiro do conhecimento vai adquirindo o “sentimento” da solução do problema.

Na observação o problema da aquisição do conhecimento intuitivo é parcialmente suprido, pois o engenheiro do conhecimento vai adquirindo experiência própria, o que torna mais fácil a eliciação do conhecimento posteriormente através de entrevista. Um simples

exemplo deste modo de transferência do conhecimento, é que nas organizações e/ou empresas o conhecimento de um processo é transmitido a um “estagiário” através da observação/treinamento das atividades executadas pelo especialista.

É certo que entrevistar especialistas é a forma pela qual torna-se viável a elaboração de um sistema do porte de sistemas especialistas, pois a menos que o especialista seja o próprio programador, o que seria uma situação ideal, sem a entrevista é difícil construir um bom sistema. Um fator a ser considerado num ambiente de entrevista é que, as pessoas tomam decisões de forma diferente daquelas que seriam tomadas quando num ambiente com pressão, pouco tempo, e outros aspectos (KELLER, 1991).

Como um detalhe adicional a ser considerado no processo de aquisição do conhecimento, é a tarefa de estruturar o conhecimento do especialista de modo a identificar e formalizar os conceitos do domínio (HAYES-ROTH et al., 1983). A necessidade de estruturar o conhecimento passa por uma forma de representação do conhecimento elicitado. Assim, há uma necessidade de conhecer-se neste momento as formas de representação do conhecimento para começar a pensar a organizar o conhecimento. Várias são as técnicas disponíveis para representar o conhecimento, encontradas na literatura, sendo que as principais são regras de produção, redes semânticas, triplas, *frames*, e lógica. A seguir descrevem-se de forma simplificada algumas estas formas de representação.

#### **a) Regras de Produção**

Regras de produção são a forma de representação mais comumente utilizada na base de conhecimento de sistemas especialistas. Essas regras são simplesmente um conjunto de condições no estilo SE ... ENTÃO ..., com possibilidade de inclusão de conectivos lógicos relacionando os atributos no escopo do conhecimento e o uso de probabilidades. Uma regra de produção é composta de três partes:

- o nome da regra, que é identificado pelo mecanismo de inferência no processo de busca associado;
- a parte SE (IF), chamada de antecedente (premissa) ou cauda;
- a parte ENTÃO (THEN), chamada conseqüente (ação) ou cabeça

Os antecedentes de uma regra são um conjunto de condições a serem satisfeitas. Já os conseqüentes de uma regra quando satisfeitos tornam-se fatos e podem tornar-se antecedentes

de novas regras. De modo a melhor visualizar uma regra de produção, apresenta-se um exemplo demonstrando sua forma, como a seguir:

<u>Representação Típica</u>	<u>Exemplo</u>
REGRA ( <i>nome</i> )	REGRA ( <i>sinaleira</i> )
SE ( <i>condição</i> )	SE ( <i>luz = vermelha</i> )
ENTÃO ( <i>ação</i> )	ENTÃO ( <i>pare</i> )

### b) Redes Semânticas

As redes semânticas são uma forma clássica de representação em inteligência artificial, usadas para informação proposicional. Uma proposição é uma declaração que pode ser verdadeira ou falsa, de acordo com a sentença. As redes foram inicialmente desenvolvidas como um modo de representação da memória humana e entendimento da linguagem (GIARRATANO, 1989).

A estrutura de uma rede semântica é representada graficamente em termos de **nós** e **arcos** conectados entre si. Nós são geralmente referenciados como objetos e os **arcos** como elos. Os elos de uma rede são usados para expressar relações, enquanto nós representam objetos físicos, conceitos, situações, e outros. Na figura 3.3 a seguir, os elos mostram a relação entre os membros de uma família. Os nós da figura são as pessoas, e os elos são a relação de parentesco entre elas.

Para um bom entendimento das redes semânticas é necessário especificar as relações entre seus membros. Há determinados tipos de relações que são adequados a vários problemas. Três tipos de relações (elos) são muito usados. Estes elos são: AKO – “a\_kind\_of”, HAS\_A - “has a” e ISA – “is\_a”. O elo ISA significa “uma instância de” e refere-se a um membro específico de uma classe. Uma classe é relatada no conceito da matemática de um conjunto no qual se refere a um grupo de objetos. Entretanto, um conjunto pode ter elementos de qualquer tipo, enquanto os objetos em uma classe tem alguma relação em comum. O elo HAS\_A especifica uma característica de um membro específico de uma classe. Já o elo AKO é geralmente usado para relacionar uma classe a outra e não um indivíduo específico. De outro modo, o elo AKO relaciona nós genéricos enquanto ISA relaciona uma instância.

Os objetos numa classe tem um ou mais atributos em comum e cada atributo tem um valor.

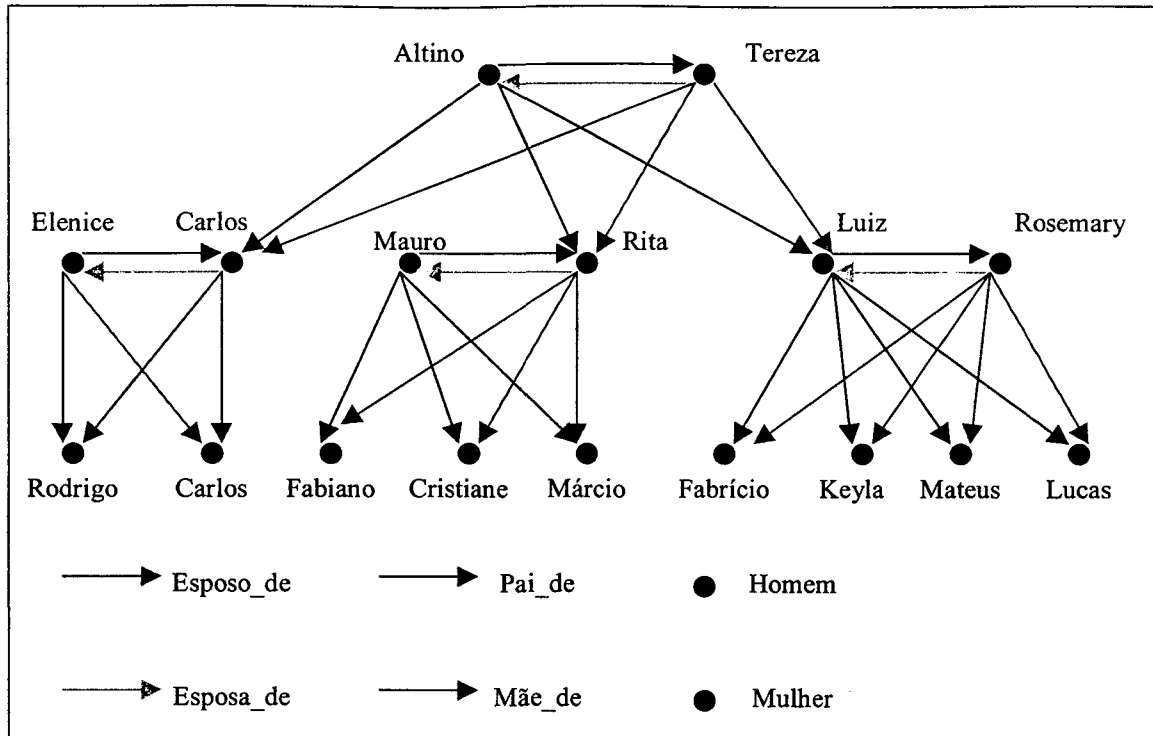


Figura 3.3 – Redes Semânticas – Relação entre os Membros de uma Família

A duplicação de uma característica de um nó por um descendente é chamada herança, e a menos que uma evidência especifique o contrário, é assumido que todos os membros de uma super classe vão assumir todas as suas propriedades de sua super-classe. A herança é uma ferramenta que é muito usada na representação do conhecimento porque elimina a necessidade de repetição de características comuns.

As dificuldade com redes semânticas são as limitações quanto à falta de padrões de nomes de elos, tornando difícil de entender o que realmente a rede é, e se esta foi projetada numa maneira consistente. Um problema complementar é determinar o que representa o nome de um elo. Por exemplo, se um elo é chamado telefone, este telefone pode representar um telefone específico, uma classe de telefones, todos os telefones do mundo, ou alguma coisa similar.

Um outro problema é a possibilidade de explosão combinatorial de nós de busca, principalmente se for necessário percorrer praticamente toda, ou toda a rede para determinar uma resposta. Neste caso, a recuperação da informação pode levar muito tempo para ser determinada. Neste caso, a representação através da rede é ineficiente, pois não há possibilidade de inserir mecanismos de busca eficiente, ou mecanismos de buscas heurísticas eficientes.

### c) Triplas Objeto = Atributo = Valor

Um problema com o uso de redes semânticas é que não há uma definição padrão de nomes de elos. Cada autor usa como lhe é conveniente. Com os três itens objeto, atributo e valor aparecem com muita frequência e é possível criar uma rede semântica simplificada usando os mesmos; uma tripla Objeto, Atributo e Valor (OAV), pode ser usada para caracterizar todo conhecimento numa rede semântica. Este tipo de representação do conhecimento foi utilizado no sistema especialista clássico para diagnóstico de doenças infecciosas, o MYCIN.

Triplas são especialmente usadas para representação de fatos e padrões para “casar” os fatos no antecedente de uma regra. Este tipo de representação apresenta vantagens tais como: forma simples de representação, eficiência e eficácia além de similaridade à linguagem natural, muito utilizada quando trabalha-se com sistemas de produção. As triplas OAV quando utilizadas com redes semânticas proporcionam um maior formalismo e uma maior potência. Um exemplo de uma rede semântica utilizando triplas OAV seria:

Objeto = Caneta;

Atributo = cor;

Valor = azul.

De forma similar, os *frames* também podem ser utilizados com triplas, mas esta forma de representação será detalhada mais adiante.

### d) Frames

Os *frames* foram um método de representação do conhecimento proposto para entendimento de visão, linguagem natural, e outros, por proverem uma estrutura conveniente para representar objetos que são típicos a uma dada situação. Cabe salientar que redes semânticas são basicamente uma representação bidimensional do conhecimento, enquanto *frames* adicionam uma terceira dimensão. Esta terceira dimensão permite nós com estruturas que podem ser desde simples valores até outros *frames*.

A característica básica de um *frame* é que ele representa o conhecimento relacionado sobre um estreito sujeito que tem falta de conhecimento. Assim, um sistema *frame* poderia ser escolhido para descrever um sistema mecânico tal como um automóvel. Os componentes de um carro tais como motor, freio, lataria, marcha e assim por diante, poderiam ser relacionados

para dar uma visão de suas relações. Embora marcas individuais de carros possam variar, muitos carros tem características comuns tais como rodas, motor, lataria, marcha e outros.

Um *frame* é análogo a um registro estruturado numa linguagem de alto nível tal como o pascal ou como um átomo com sua lista de propriedades em LISP. Correspondendo aos campos e valores de registro são os escaninhos (*slots*) e seus enchimentos (*fillers*). Um *frame* é como um objeto em linguagem de alto nível tal como o pascal. Em termos de triplas objeto, atributo e valor, o carro é o objeto, o termo *slot* é o atributo e o termo *filler* é o valor.

A utilidade de *frames* repousa no sistema hierárquico de *frames* e sua herança. O uso de *frames* em valores de atributos e herança, é um sistema muito poderoso de representação do conhecimento que pode ser construído. Em particular, sistemas especialistas baseados em *frames* são muito usuais para representar conhecimento causal porque suas informações são organizadas na forma de causa e efeito. De modo oposto, sistemas especialistas baseados em regras geralmente confiam em conhecimento não-organizado que não é causal (GIARRATANO, 1989).

Como um exemplo, a figura 3.4 a seguir ilustra um *frame* genérico para um carro em seguida na figura 3.5, um *frame* mostra uma especialização do *frame* genérico carro.

Slots	Fillers
nome	Carro
tipo	( Sedan, conversível, sport )
fabricante	( GM, Ford, Volkswagen )
Rodas	4
Marcha	( automática, manual )
motor	( gasolina, alcool )

Figura 3.4 – *Frame* genérico de um carro

Slots	Fillers
nome	Palio
tipo	sport
fabricante	Fiat
Rodas	4
Marcha	manual
motor	gasolina

Figura 3.5 – *Frame* específico de um carro



Os *slots* podem ainda conter procedimentos anexados para adicionar, remover ou atribuir um valor. Além disso, podem conter relações, como uma especialização de *slots*. Assim o *frame* carro é genérico e o *frame* Palio é uma instância do *frame* carro.

A dificuldade com *frames* são sistemas que permitam alterações ou exclusão de *slots*, quando um atributo não pode mais ser considerado genérico. Sempre que o atributo não é mais considerado genérico, o problema da herança aparece. Portanto num sistema irrestrito, é impossível fazer declarações universais, pois estas podem ser alteradas e não mais representar o conhecimento desejado.

### e) **Lógica**

Dentre os tipos de lógica conhecidos, a primeira a ser utilizada foi a formal, por filósofos e matemáticos de modo a obter soluções a partir de fatos conhecidos antecipadamente. Assim como nas regras de produção, a lógica trata a sintaxe das sentenças ao invés da semântica. Seu desejo é na forma com que as sentenças são elaboradas e com a determinação da verdade através de sua manipulação, deixando de lado o seu significado.

Uma sentença ou proposição pode obter valores verdadeiros ou falsos, sendo esta conhecida então como Lógica Proposicional. Assim a lógica proposicional é uma lógica de símbolos manipuláveis, através de variáveis que representam uma proposição. No caso da inteligência artificial, a lógica proposicional é limitada para representação do conhecimento, principalmente quando deseja-se descrever objetos e as relações existentes entre eles, afim de generalizar estas relações sobre as classes de objetos.

Para analisar casos mais gerais, foi desenvolvida uma lógica, chamada de Lógica de Predicados. Esta lógica é uma extensão da lógica proposicional. Ao invés de apenas ver se as sentenças são verdadeiras ou falsas, a lógica de predicados é utilizada para representar sentenças sobre objetos específicos. No caso, o interesse é com a estrutura interna das sentenças e no uso de palavras especiais como quantificados tais como: PARA\_TODO, EXISTE e NÃO.

A tabela a seguir apresenta os conectivos lógicos mais usados nas sentenças. Porém há determinados tipos de quantificadores que, em geral, não podem ser representados na forma de predicados, como por exemplo o quantificador MINORIA.

Dentre os métodos de representação do conhecimento, apresentados anteriormente, cada um tem suas características próprias e de acordo com estas características possuem vantagens e desvantagens. É importante observar que os métodos de representação do

conhecimento influenciam o desenvolvimento de um sistema especialista, bem como sua eficiência, velocidade e manutenção do sistema. Assim, no processo de aquisição de conhecimento, deve-se verificar qual a forma de representação é mais adequada para organizar o conhecimento do especialista.

Conectivo	Significado
&	Relação E
	Relação OU
	Relação NÃO
→	Relação IMPLICA
≡	Relação EQUIVALENTE

Tabela 3.1 – Conectivos Lógicos

Apresentadas as possíveis formas de representação do conhecimento, deve-se escolher uma para utilizar na solução do problema em questão. Conforme GIARRATANO (1989), muitas das soluções dos problemas humanos ou cognição podem ser expressos na forma de regras do tipo SE – ENTÃO, esta forma de representação do conhecimento humano, é bem aceita e popular.

Assim, a representação do conhecimento será de acordo com a informação obtida pelo engenheiro do conhecimento no momento da elicitacão e conforme este conhecimento. A representação dos fatos e do conhecimento heurístico através de regras, possibilitará o surgimento de novos fatos, no processo de raciocínio do sistema especialista. Desta forma, o conhecimento pode ser separado em conhecimento concreto - fatos e conhecimento abstrato, normalmente representado por regras.

O conhecimento concreto consiste nos fatos, ou seja, num conhecimento certo e imutável, que não precisa de dedução para torná-lo válido, isto é, um conhecimento *a priori*. De outro modo, o conhecimento concreto são os fatos que o sistema possui a cerca do problema a ser resolvido (MARTINO et al., 1999).

Na representação do conhecimento concreto, através de fatos, este ainda pode levar em conta o grau de certeza sobre o fato. Em sistemas especialistas que adotam fatores de certeza nos fatos, o conhecimento concreto deve ser modelado de forma que um dado fato especifique o seu grau de verdade, ou seja, tenha inerente a sua representação ou seu grau de confiança na sentença - graus de verdade (NETO, 1999).

O conhecimento abstrato consiste no conhecimento heurístico obtido através de especialistas em relação a um dado assunto (ROLIM, 1998). O conjunto de regras, obtido na fase de aquisição do conhecimento de um especialista humano, representa o conhecimento heurístico extraído de um especialista. Deste modo, o conhecimento abstrato em sistemas especialistas, é visto como todo conhecimento representado de uma forma simbólica, através de regras de produção, que está relacionado com o conhecimento do especialista a respeito de um dado assunto (MARTINO et al., 1999).

### 3.3.3 Tipos de Mecanismo de Inferência

O conhecimento humano especializado é baseado no fato de ter-se grandes combinações de heurísticas associadas com uma habilidade de saber quando e como aplicá-las, intuição. Em geral, sistemas baseados em conhecimento possuem desde centenas até milhares de regras heurísticas, além de um programa chamado máquina de inferência, que utiliza as heurísticas para tomar decisões complexas e fazer planejamento (KELLER, 1991).

O mecanismo de inferência ou motor de inferência faz com que a base de regras atue sobre a base de fatos para tentar achar uma solução para a questão (MARTINO et al., 1999). Assim, o mecanismo de inferência é a parte do sistema especialista responsável pelas deduções sobre a base de conhecimento (CAPANEMA, 1999).

De acordo com as definições acima, o mecanismo de inferência está relacionado com a forma com que se representa o conhecimento. Assim como as regras são a forma mais comum de armazenar o conhecimento de um especialista, o encadeamento de regras é a maneira mais comum de as utilizar para chegar-se a uma conclusão.

Os tipos mais comuns de encadeamento de regras são o encadeamento para frente e para trás. Além destes métodos há outros que são utilizados para necessidades mais específicas que podem incluir análise de significados finais, redução do problema, rastreamento, plano geral de testes, planejamento hierárquico, entre outros (GIARRATANO, 1989).

O encadeamento para frente ou raciocínio para frente, procura regras que “casem” com o lado esquerdo (satisfaça condições), das regras executando-se seqüências de movimentos até chegar ao estado meta (ROLIM, 1998). De acordo com KELLER (1991), o encadeamento para frente é uma técnica que utiliza regras de produção em que a veracidade da conclusão de uma regra conduz à outra, para qual a conclusão da primeira é uma premissa. Portanto a

técnica de encadeamento para frente é a de raciocinar dos fatos para as conclusões resultantes daqueles fatos.

O encadeamento para trás ou raciocínio para trás procura regras que “casem” seu lado direito (conclusões) com a situação atual, gerando novos níveis até casar com o estado inicial (ROLIM, 1998). De acordo com KELLER (1991), o encadeamento para trás é uma técnica de raciocínio que utiliza regras de produção em que a necessidade de provar a veracidade de uma premissa de uma regra conduz à outra, para a qual aquela premissa é uma conclusão. Assim, o encadeamento para trás envolve o raciocínio em reverso a uma hipótese, onde uma conclusão potencial pode ser provada, dos fatos que suportam a hipótese.

Além dos métodos de encadeamento há os métodos de buscas geralmente utilizados, que são a busca em profundidade e a busca em largura. A busca em profundidade procura as respostas de forma direta enquanto na busca em largura as respostas são pesquisadas por camadas ou níveis.

Como exemplo das formas de encadeamento e de acordo com o método de busca, a figura 3.6 a seguir apresenta uma estrutura em árvore, mostrando o encadeamento para frente e para trás, onde o encadeamento para frente começa das premissas e o encadeamento para trás começa do objetivo.

Dentre os encadeamentos e outras formas de busca citados acima, deve-se verificar qual o método mais adequado ao problema. Existem vários fatores que influenciam a questão de andar para frente ou para trás. Dentre estas questões, pode-se citar, de uma forma geral, os principais:

- Existem mais estados iniciais ou estados metas possíveis? É melhor mover-se do conjunto de estados menor para o maior;
- Em que direção o fator de ramificação é maior? É melhor prosseguir na direção com fator de ramificação mais baixo;
- O programa terá que justificar o processo de raciocínio do usuário? Em caso positivo é importante prosseguir na direção mais próxima da forma como o usuário pensa;
- Que tipo de evento irá disparar um episódio de solução de problemas? Se for a chegada de um dado novo, o raciocínio para frente faz sentido. Se for uma consulta para a qual deseje-se uma resposta, o raciocínio para trás é mais natural.

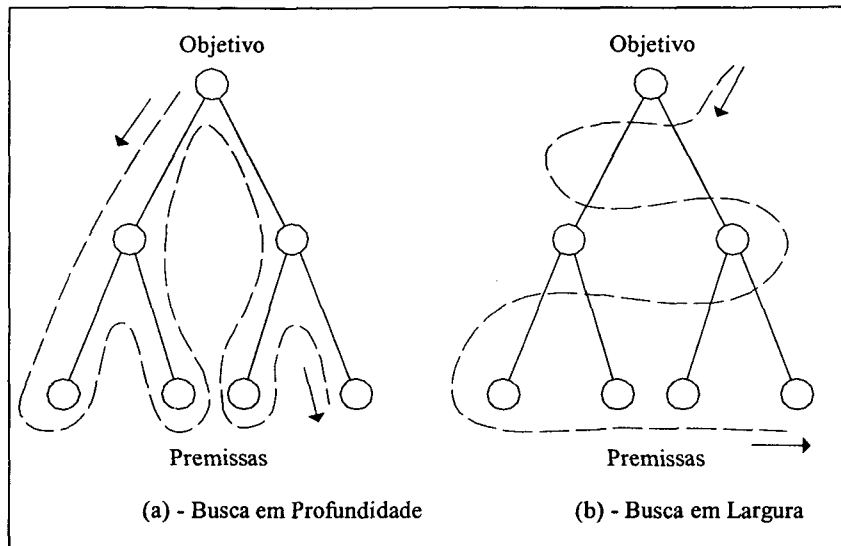


Figura 3.6 - Métodos de Busca

Por fim, um dos problemas do encadeamento para frente é que este não possui uma base para escolher um caminho em relação a outro e pode ter que pesquisar toda a base de conhecimento antes de apresentar uma resposta. O encadeamento para trás é, provavelmente, um bom candidato à técnica de inferência quando se pode supor com razoável grau de certeza qual será a conclusão. Existem pelo menos duas boas razões para isso: o fato do encadeamento lógico ser tão certo e direto quanto possível na base de conhecimento e a inquisição feita pelo usuário estar concentrada no objetivo que se quer provar (KELLER, 1991). Assim, a implementação de um sistema especialista passa inevitavelmente pela avaliação do processo de inferência, onde deve-se determinar o tipo de encadeamento a ser utilizado, de acordo com a representação do conhecimento heurístico.

### 3.3.4 Implementação

A implementação de uma ferramenta computacional do tipo sistema especialista pode envolver profissionais e conhecimento de diversas áreas, recursos computacionais, além de ter-se um engenheiro do conhecimento com habilidade para tal implementação.

Na etapa de implementação de um sistema especialista, é necessário ter organizado o conhecimento elicitado, principalmente com uma forma de representação a ser adotada, para codificação computacional. É necessário definir ainda a arquitetura deste sistema, de modo a atender as exigências e necessidades mínimas para a solução do problema. Na implementação é definida uma linguagem, uma ferramenta ou um *shell*, dentre os disponíveis e de acordo com a característica do problema e disponibilidade financeira.

Dependendo do tipo de solução escolhida para o sistema, nem sempre um sistema especialista na sua forma exclusiva é adotada, pois para determinar alguns fatos, pode-se utilizar algoritmos convencionais. Deste modo o sistema será de fato um sistema híbrido, formado pela técnica de programação de sistemas especialistas, mais o(s) referido(s) programa(s) convencionai(s), interagindo de modo a melhorar a solução do problema.

Na implementação, as etapas de desenvolvimento de um sistema especialista acontecem de maneira cíclica, pois à medida que vai sendo implementado o sistema, deve-se verificar se este está atendendo às exigências da aplicação, de modo a posteriormente validá-lo como um todo. No próximo tópico será descrito como foi implementado o sistema proposto neste trabalho, suas características, suas etapas de desenvolvimento, assim como os recursos utilizados para a implementação.

### **3.3.5 Verificação e Validação do um Sistema Especialista**

A verificação de um sistema especialista é o processo pelo qual se determina se os produtos de uma dada fase do desenvolvimento do software atendem aos requisitos para a referida fase (ROLIM, 1998). Assim, a verificação está relacionada com a confiabilidade de um programa, pois este deve ser testado à medida em que vai sendo desenvolvido, para garantir que execute aquilo que é esperado. A verificação do sistema, minimiza a possibilidade da duplicação de regras e a elaboração de regras contraditórias, entre outros problemas possíveis em bases de regras.

A validação de um sistema especialista consiste na avaliação final do programa, onde procura-se garantir a execução adequada para qualquer situação que possa ocorrer na prática (ROLIM, 1998). Uma das facilidades para a validação do sistema, é que este mostre o raciocínio executado, através de um módulo que apresente os passos tomados pelo sistema e o valor das variáveis instanciadas. Portanto, se os requisitos para a solução de problemas foram atendidos, o conhecimento for suficiente para solucionar os problemas, representados de forma conveniente e com um processo de raciocínio similar ao do especialista humano, o sistema atingiu as condições de validação. Geralmente a etapa de validação envolve testes de campo, com o mesmo especialista que participou da etapa de aquisição do conhecimento.

### **3.4 O Sistema Especialista Implementado**

Neste tópico apresenta-se uma descrição geral do sistema implementado, bem como suas características; o processo de desenvolvimento do sistema, de acordo com as etapas de

abordadas no tópico anterior. Apresenta-se também a arquitetura do sistema e as considerações tomadas para implementação.

### 3.4.1 Identificação e Caracterização do Problema

Para implementar o sistema proposto, pesquisaram-se livros, artigos, manuais, instruções normativas, normas técnicas, além dos conteúdos afins com o assunto em questão: programação de desligamentos. Este procedimento foi feito na etapa de aquisição do conhecimento com vistas a conhecer melhor o assunto e começar a aprender sobre o jargão técnico da área. Depois disso, verificou-se de modo preliminar a viabilidade de tratar o problema através da técnica de programação de sistemas especialistas, bem como as soluções adotadas para a resolver o problema sem a presença deste tipo de sistema.

Além disso, pesquisaram-se as possíveis ferramentas disponíveis para elaboração de sistemas especialistas e suas características. Dentre as possíveis ferramentas, verificou-se que o uso de um *shell* facilitaria a implementação de um primeiro protótipo, pois além de possuir um mecanismo de inferência, apresenta facilidades na criação de sistemas especialistas. É claro que nenhuma ferramenta foi escolhida ainda nesta etapa, mas buscou-se ampliar o conhecimento nesta área e preparar um sistema especialista exemplo para mostrar ao especialista quando este pudesse ser escolhido.

O estudo preliminar do problema proposto mostrou parcialmente a extensão do conhecimento necessário para resolvê-lo, e principalmente, que não havia um modelo algorítmico para sua solução, como constatado em KAWAHARA et al. (1998). Verificou-se que a elaboração da ferramenta envolveria conhecimento de várias áreas e que parte deste conhecimento era específico de cada empresa, e este encontrava-se disperso em vários departamentos, o que dificultou muito a etapa de estudo do problema inicialmente.

Os primeiros tópicos relacionados ao problema, que foram considerados os principais para implementar uma solução com o uso de sistemas especialistas foram: operação e manutenção de sistemas de distribuição, índices de confiabilidade, fluxo de potência em sistemas de distribuição, programação de desligamentos em sistemas de distribuição, restabelecimento do serviço em sistemas de distribuição, linguagens de programação de sistemas baseados em conhecimento e convencional, banco de dados, processamento simbólico, sistemas especialistas.

Nesta primeira etapa a viabilidade da aplicação da técnica de sistemas especialistas ao problema ficou clara. No entanto, ficou também evidenciado pela quantidade de informações

envolvidas na programação de desligamentos, que este primeiro protótipo de pesquisa trataria apenas de uma pequena porção do sistema da CELESC.

### 3.4.2 Aquisição do Conhecimento

Na etapa de aquisição de conhecimento, inicialmente determinou-se como buscar o conhecimento heurístico com um especialista da área. Nesta busca a dificuldade foi encontrar o setor responsável pela programação de desligamentos e as pessoas envolvidas no processo. A princípio pareceu trivial, pois havia um programador para efetuar a tarefa de determinar os desligamentos programados em sistemas de distribuição. Entretanto, esta ilusão foi desfeita tão logo começou-se a efetuar o processo de aquisição.

Dentre as formas de aquisição de conhecimento existentes, inicialmente buscou-se adotar a entrevista estruturada, por parecer ser uma técnica que iria agilizar o processo de aquisição e viabilizar a implementação do sistema, devido ao pouco tempo disponível. Assim, marcou-se um encontro com um dos engenheiros de programação de desligamentos em sistemas de distribuição. Inicialmente, foi conversado sobre a proposta de elaborar um protótipo de um sistema especialista para verificar a viabilidade de utilizar esta técnica na solução do problema em questão. O procedimento adotado foi abordar o problema, comentar as soluções encontradas na escassa literatura, apresentar o que são sistemas especialistas, suas aplicações, suas vantagens e limitações de acordo com o conhecimento obtido até o momento em questão. Porém, uma das possíveis dificuldades citadas na literatura, foi encontrada: o especialista mostrou-se inseguro inicialmente quanto à forma de tratar o problema, dizendo que o sistema não passava de uma “receita de bolo” e que não estava de acordo com a forma proposta para solucionar o problema.

O especialista, de acordo com a sua experiência na solução do problema, sugeriu que o engenheiro do conhecimento acompanhasse o processo de programação de desligamentos em todos setores da empresa envolvidos no processo, de forma direta e indireta. Segundo seu comentário, havia a necessidade de aprender um pouco sobre o problema, antes de começar a tratar de um problema tão complexo e que o mesmo não se sentia a vontade para participar de um processo tão longo. Em seguida um outro especialista foi procurado, pois para uma boa aquisição do conhecimento, era importante o especialista entusiasmar-se com o projeto. No segundo especialista procurado encontrou-se a receptividade esperada, além da boa vontade e satisfação de ajuda. Por ser o entusiasmo do especialista em participar do projeto um fator relevante, este último foi convidado, enquanto o outro ficou em segundo plano, mas sem



ressentimentos. Além disso, aconteceu que este segundo especialista era o mais experiente no processo de desligamento de sistemas de distribuição e na programação de desligamentos. Tratava-se do supervisor de operação de sistemas de distribuição, que era a pessoa que dava a última palavra no que se refere à operação de sistemas de distribuição, sendo o chefe imediato dos despachantes e o responsável pela confiabilidade do sistema. Todas as decisões importantes e críticas passavam por sua avaliação e decisão. Deste modo, foi identificado o especialista com conhecimento acima da média, por tratar-se do mais experiente e talvez o mais atualizado na solução de problemas daquele sistema em especial.

O primeiro procedimento do especialista foi explicar o processo de programação de desligamento em sistemas de distribuição, bem como apresentar os envolvidos no processo de forma direta e indireta. É claro que o engenheiro do conhecimento novamente apresentou o que era um sistema especialista, e assim por diante. Neste período de aquisição do conhecimento, procurou-se anotar as pessoas envolvidas, que participavam do processo. Dentre todos os setores envolvidos no processo, encontrou-se o de planejamento da manutenção, da construção (obras), iluminação pública, consumidores particulares e a própria operação. Assim, a programação tinha ponto de partida nestes setores, além da possibilidade da diretoria de distribuição fazer um pedido via telefone para o operador do sistema em um dado instante (despachante). O processo de aquisição do conhecimento aconteceu no setor de operação da Agência Regional de Florianópolis – ARFLO, local de trabalho do especialista.

Em seguida, seguindo a sugestão do primeiro especialista, foi trocado o método de aquisição do conhecimento de entrevista estruturada, para o método de observação do especialista no seu ambiente de trabalho diário. Neste caso, o conhecimento implícito ficou mais fácil de ser adquirido, pois houve uma experiência própria vivida pelo engenheiro do conhecimento, de acordo com KELLER (1991). Porém, além de simplesmente observar o especialista no seu ambiente de trabalho, o mesmo era solicitado que ao realizar as suas atividades falasse em voz alta sobre o que estava fazendo, nas primeiras vezes. Tudo que o especialista dizia e que havia dúvida, era registrado, para posterior esclarecimentos.

A vantagem de observar o especialista foi a de aprender a realizar a tarefa, pois o especialista permitiu que o engenheiro do conhecimento começasse a tomar as decisões expondo sua forma de pensar, e seus motivos pela decisão tomada. É claro que oficialmente as decisões finais eram do especialista, mas este observava a evolução do engenheiro do conhecimento, bem como comentava de casos específicos ocorridos e as soluções adotadas no passado. Normalmente era discutida a viabilidade de se implementar novamente esta mesma

solução. Constatou-se que algumas decisões foram mal avaliadas e serviram para ensinar o especialista a não tomar novamente aquela decisão, face às implicações que teve.

Houve uma preocupação do engenheiro de conhecimento em verificar como a programação de todos os setores que podem solicitar desligamento era feita, como o desligamento programado por estes setores também dependia de um parecer favorável da operação, sendo que este conhecimento mostrou não ser relevante. Deste modo, verificou-se que independente de como era feito o planejamento da manutenção, tinha-se um fato que era o desligamento programado. Além disso, um desligamento só acontece de a operação der seu parecer favorável, caso contrário, as outras áreas deverão reprogramar o desligamento e novamente submeter para análise da operação.

Uma vez que o desligamento era programado, o parecer final da operação depende da verificação de uma série de fatores referentes à boa operação do sistema, bem como as implicações de desligar uma parte do sistema.

De acordo com a prática encontrada na concessionária o sistema especialista deveria apenas aceitar ou reprovar uma solicitação de desligamento programado, independente de onde esta programação vinha. O sistema não seria responsável pelo planejamento dos desligamentos em si, mas por verificar as condições necessárias para execução destes desligamentos.

Embora não tenha havido preocupação excessiva em entender todos os detalhes do planejamento do desligamento em vários setores, um deveria ser escolhido para auxiliar a criação do primeiro protótipo e entender o processo como um todo. Dentre os setores disponíveis, escolheu-se o setor de manutenção por ser o mais amplo e com um maior número de pedidos de desligamentos. Logo o conhecimento inerente ao planejamento da manutenção em sistemas de distribuição foi pesquisado na literatura e comentado com o especialista da operação.

Uma vez caracterizado o problema, o especialista apresentou ao engenheiro do conhecimento uma instrução normativa interna, onde são descritos os fatores relevantes a serem considerados na programação de desligamentos em sistemas de distribuição, em particular no caso da empresa onde o conhecimento foi adquirido, isto é, as Centrais Elétricas de Santa Catarina – CELESC.

Após o estudo da instrução normativa e os primeiros esclarecimentos feitos em conjunto com o especialista foram debatidos os pontos mais relevantes a serem considerados no processo de aquisição do conhecimento, bem como a seqüência em que este conhecimento

deveria ser adquirido. A seqüência escolhida foi a mesma apresentada na instrução normativa para aproveitar os benefícios da investigação gradativa e seqüencial.

Pode-se perceber que mesmo no procedimento de observar enquanto o especialista comenta em voz alta, depois anotando os itens significativos ao problema e posterior esclarecimentos, ainda há lacunas na metodologia de aquisição do conhecimento, pois parte do conhecimento do especialista pode ficar de fora na etapa de aquisição através de observação, já que algumas situações não ocorrem freqüentemente. De modo a minimizar este problema, buscou-se criar situações hipotéticas, de forma a induzir o especialista a relatar fatos passados que influenciam as suas decisões atualmente. Por último foi pedido que este relatasse alguns fatos marcantes no exercício da sua vida profissional, que acarretaram em situações extremas, ou mesmo curiosas.

A elaboração de sistemas especialistas, por ser um processo cíclico e dinâmico, muitas vezes torna difícil ao engenheiro do conhecimento discernir as suas etapas, onde a identificação do problema e sua caracterização acabam se confundindo com a própria aquisição do conhecimento, pois à medida que se adquire o conhecimento, novas situações são identificadas e acabam acrescentando mais restrições ao problema, bem como a necessidade de mais informações serem buscadas para o sistema. De outro modo, pode-se dizer que no momento em que começa a aquisição do conhecimento, a identificação se faz presente a todo momento, podendo até mesmo mudar o rumo da investigação.

Por fim, o processo de aquisição do conhecimento foi possível em função de um convênio celebrado entre a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e as Centrais Elétricas de Santa Catarina - CELESC. Este convênio autorizou o processo de desenvolvimento de “Um Sistema Especialista de Apoio à Programação de Desligamentos para Manutenção em Sistemas de Distribuição”, com o envolvimento do engenheiro do conhecimento e da Dra. Jacqueline Gisèle Rolim, representantes do Grupo de Sistemas de Potência do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC e dos engenheiros Walter Zelindro da Silva Filho, Reinaldo Becker, Edson Muenz, Moacir Florindo, Dilnei João da Rosa e Jairo Gazola da CELESC.

Neste convênio foram definidos os objetivos do trabalho e seus interesses, que eram:

- Possibilitar o projeto de pesquisa de implementação de um sistema especialista, e;
- Avaliar o potencial de utilização prática da ferramenta através do desenvolvimento de um protótipo de pesquisa.

Às Centrais Elétricas de Santa Catarina foi atribuída a tarefa de proporcionar o acesso às informações ligadas aos procedimentos da programação de desligamentos e fornecer os dados necessários para elaboração do sistema especialista proposto. Ao engenheiro do conhecimento e à Dra. Jacqueline, coube o desenvolvimento do sistema, no Laboratório de Sistemas de Potência – LABSPOT/UFSC e o compromisso de utilizar as informações e dados recebidos única e exclusivamente para fins acadêmicos. O contrato teve um período de vigência de um ano, desde 29 de outubro de 1999 até 29 de outubro de 2000.

### 3.4.3 Representação do Conhecimento

Após o processo de aquisição de conhecimento, isto é, absorção do conhecimento pelo engenheiro do conhecimento com a ajuda do especialista da área, buscou-se representar o conhecimento de forma a transferi-lo mais tarde para o sistema computacional.

Dentre as técnicas de representação do conhecimento estudadas anteriormente, a forma de representar o conhecimento adquirido foi a de sistemas de produção. Foi escolhida esta técnica de representação por dois motivos. O primeiro foi que o especialista utiliza-se do recurso descrito por NEWELL e SIMON para expressar seu conhecimento, isto é, SE isto acontecer, ENTÃO este procedimento deve ser adotado (GIARRATANO, 1989). O segundo foi que a ferramenta escolhida para implementar o sistema, o *shell* EXPERT SINTA VCL (SINTA, 1997), apresentava a possibilidade de representar o conhecimento na forma de regras, além de ser possível quantificar o percentual de verdade de uma dada afirmação.

Após a elicitação do conhecimento, utilizou-se a instrução normativa para repassar os conhecimentos adquiridos na etapa de aquisição, utilizando a técnica de representação adotada. Entretanto, à medida que o conhecimento adquirido crescia, a técnica de representação tornava-se inviável para representar determinadas características do problema, devido à diversidade de informação necessária.

As características do *shell* não permitiam implementar cálculos numéricos, o que tornava-se necessário para cálculo dos índices de confiabilidade. Além disso, a quantidade de informações a serem inseridas como fatos na base de conhecimento dos componentes da rede do sistema, tornava-se um obstáculo. Face a estes problemas entre outros, ficou claro que o sistema deveria ser mais do que um sistema especialista, era preciso implementar um sistema híbrido. A necessidade de implementar um sistema híbrido, levou a novas dificuldades na elaboração da ferramenta computacional para solução do problema.

Além da necessidade de calcular extensivamente os índices de confiabilidade, o fluxo de potência, por ter um algoritmo matemático e precisar de um processamento numérico também foi implementado em linguagem procedimental. Outra dificuldade foi a grande quantidade de componentes instalados na rede de distribuição (considerando apenas os principais), o que tornou necessário um sistema de banco de dados para gerenciá-los.

Deste modo, o sistema não consiste em um sistema especialista puro, tratando-se de um sistema que contempla o processamento algorítmico, com um modelo matemático como o fluxo de potência para sistemas de distribuição e o cálculo dos índices de confiabilidade, um sistema de gerenciamento de banco de dados, típico em processamento de dados, além da representação e do processamento simbólico de sistemas especialistas, formando o sistema híbrido.

Por tratar-se apenas de um protótipo de pesquisa poder-se-ia esquivar de parte deste problema, fazendo o sistema perguntar ao usuário, as respostas para o fluxo e o valor dos índices de confiabilidade com relação ao limite imposto por norma, mas isto tornaria a ferramenta muito limitada, face às novas exigências de competitividade e do novo modelo do mercado de energia elétrica inserido no Brasil pelo processo de reestruturação.

Por tratar-se de um sistema híbrido, este preserva as características de um sistema especialista, sem perder as vantagens de se utilizar de forma concorrente outras técnicas de programação, o que freqüentemente ocorre em aplicações para sistemas de potência.

#### **3.4.4 Metodologia de Busca / Encadeamento**

Com relação à metodologia de busca e o tipo de encadeamento, o *shell* dispunha de encadeamento para trás ou para frente, com busca em profundidade. Como, o sistema tinha apenas duas possíveis respostas (aprovação ou não do pedido de desligamento) e deveria partir de uma consulta do usuário, optou-se pelo encadeamento para trás.

#### **3.4.5 Implementação do Protótipo**

As maiores dificuldades da implementação foram encontradas na elaboração da interface com arquivos de dados e a modelagem da topologia do sistema radial de forma que o programa de fluxo de potência pudesse analisar automaticamente a possibilidade de transferência de carga através da manobra de chaves normalmente abertas.

Um outro problema encontrado na implementação era o formulário padrão utilizado para fazer uma solicitação de desligamento. Este tinha uma estrutura personalizada, que

estava consagrado com relação ao uso diário dos trabalhos dos especialistas. Como um dos requisitos inerentes de sistemas especialistas é uma boa interface com o usuário, tornou-se indispensável utilizar uma linguagem de programação que pudesse proporcionar uma maior facilidade na criação desta interface. Um segundo fator era a programação dos índices de confiabilidade, do cálculo do fluxo de potência e do banco de dados.

Com o conhecimento do Expert SINTA VCL (Visual Component Library) do Laboratório de Inteligência Artificial – LIA, da Universidade Federal do Ceará, havia a possibilidade de utilizar uma linguagem de programação orientada a objeto, cujo mecanismo de inferência e a base de conhecimento poderiam ser aproveitados, sem haver a preocupação de integração entre o *shell* e esta linguagem. As possíveis linguagens eram o C++ Builder e o Delphi (Object Pascal), com uma plataforma para Windows 3.11 ou superior, além das versões nativas para o Windows 95 e NT (SINTA, 1997).

A linguagem adotada foi o Delphi 3.0 da Borland, pois além facilitar a inclusão da referida biblioteca de componentes, era a linguagem de programação na qual o *shell* tinha sido escrito. Em adicional, o Delphi incluía facilidades para desenvolvimento de uma interface personalizada, além de possibilitar a utilização da programação numérica referente aos índices e o fluxo, além da capacidade para criar e possibilitar o gerenciamento de um sistema de banco de dados, requisitados pelo problema (OLIVEIRA, 1997). Estes foram os fatores que mais influenciaram na escolha da linguagem.

O Delphi, por ser uma linguagem derivada do Pascal, não é o melhor compilador para programação numérica, mas neste caso isto não era um problema muito grave, pois através dos testes realizados, o mesmo apresentou uma satisfatória exatidão e precisão numérica.

Após solucionar estes problemas, a arquitetura do sistema ficou definida, como um sistema híbrido, com dois programas procedimentais, um sistema de gerenciamento de banco de dados sendo estes responsáveis por gerar os fatos para o núcleo do sistema, que é o sistema especialista completo. Os resultados são fornecidos ao usuário através de uma interface gráfica amigável. Esta arquitetura é apresentada na figura abaixo.

As características de hardware do microcomputador utilizadas para implementação desta arquitetura, foram as seguintes:

- Um processador Pentium I, com co-processador matemático interno e frequência de operação interna de 133 MHz;
- Cache de Memória L1 de 16 kB, sendo 8k para instruções e 8k para dados;
- Arquitetura superescalar em dupla canalização;

- Multiprocessamento e previsão de desvio;
- Cache de memória L2 de 512kB com tempo de acesso de 15 ns – write back;
- 32MB de memória RAM com tempo de acesso de 70 ns – EDO, SIMM 72 vias;
- 1 MB de memória de vídeo com tempo de acesso de 60 ns;
- Frequência de barramento local de 66 MHz.

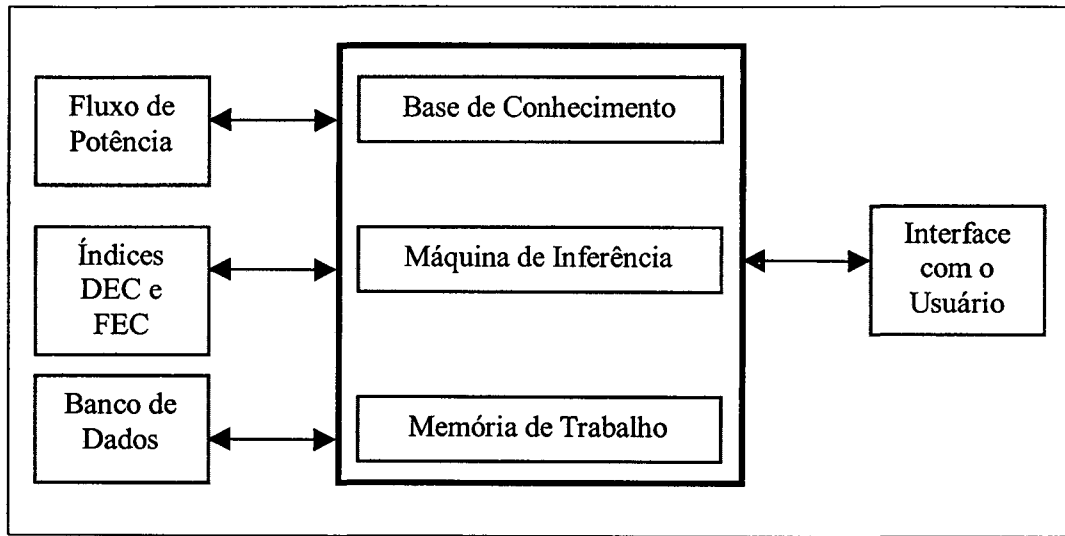


Figura 3.7 – Arquitetura simplificada do Sistema Proposto

Conforme a figura 3.7 da arquitetura do sistema, verifica-se que o mesmo é dependente da ferramenta de implementação, pois a máquina de inferência, a memória de trabalho fazem parte do *shell*. Em contraste, a base de conhecimento, os programas externos, o banco de dados e a interface com o usuário são dependentes da linguagem de programação convencional adotada, exceto a base de conhecimento que depende das características do *shell*.

#### 3.4.6 Verificação/Validação do Sistema

O sistema implementado passou por vários testes, de modo a verificar a execução, ajustá-lo à solução adequada para o referido problema de desligamentos em distribuição, procurando demonstrar a ferramenta para o especialista, para que este acompanhasse o encadeamento do raciocínio da ferramenta de modo a comparar com o seu próprio método de raciocínio. A cada apresentação, o especialista fez os seus comentários, que eram empregados para aperfeiçoar o projeto.

Os testes feitos para validar a ferramenta foram o de elaborar as solicitações de desligamento na ferramenta, acompanhar o processo de solução em conjunto com o especialista, para que este pudesse comentar sobre o processo.

Por último, a ferramenta procede de acordo com o conhecimento elicitado do especialista, além de levar em consideração alguns fatos a mais, como por exemplo o acompanhamento dos índices DEC e FEC e a verificação da possibilidade de transferência de carga sem violações de tensão e carregamento. De acordo com a consideração do especialista, o sistema alcançou os objetivos traçados para a implementação, que eram: o de melhorar a qualidade do procedimento de programação de desligamentos, monitorar os índices, armazenar as solicitações de forma histórica no banco de dados, possibilitar a execução de um fluxo de potência numa rede real, sem reduções e com modelo matemático robusto, além de incrementar a performance do processo como um todo. Segundo as palavras do especialista foi um salto de qualidade no processo.

### 3.5 Conclusões

De acordo com a arquitetura do sistema apresentado, o trabalho do engenheiro do conhecimento seguiu as etapas de implementação de um sistema híbrido, desde a identificação e caracterização do problema, aquisição do conhecimento de domínio público e específico do especialista da empresa, organização e representação do conhecimento na base de conhecimento do sistema especialista, elaboração dos programas procedimentais, criação do sistema de gerenciamento de banco de dados, e por último a interface com o usuário.

O protótipo implementado considera um número maior de restrições que o programador de desligamentos, devido às facilidades oferecidas pela ferramenta. Este sistema possibilita:

- O monitoramento dos índices de confiabilidade;
- O gerenciamento centralizado dos componentes instalados no sistema;
- O fluxo de carga para verificar a possibilidade de transferência de carga entre alimentadores;
- Agilizar o processo de tomada de decisão por centralizar as informações;
- Apoiar o especialista na execução da tarefa de programação de desligamentos sem permitir o desligamento consecutivo de determinados trechos da rede;
- Facilitar a emissão de relatórios.



O sistema proposto é um sistema híbrido, onde as técnicas de programação tradicionais são combinadas às de inteligência artificial, tornando a ferramenta atrativa à solução do problema. Além disso o sistema possui módulos independentes facilitando manutenções e expansões na base de conhecimento.

## **Capítulo 4 SISTEMA ESPECIALISTA DE APOIO À PROGRAMAÇÃO DE DESLIGAMENTO**

### **4.1 Introdução**

O sistema especialista proposto, visa a aprovação da programação de desligamentos em sistemas de distribuição. Os desligamentos programados em sistemas de distribuição ocorrem pelos mais diversos motivos e por mais de um setor da concessionária. São pedidos dos consumidores, dos setores de iluminação pública, operação, manutenção, construção, entre outros. Devido à extensão da área de distribuição, o grande número de dispositivos, materiais e equipamentos instalados, é imprescindível um sistema que seja capaz gerenciar todos os possíveis desligamentos destes sistemas (SILVA et al., 2000).

Nas situações de manutenção corretiva ou preventiva, o objetivo é a maximização de consumidores supridos ou com interrupção pelo menor tempo possível (HASHIMOTO et al., 1998). Procurando atender esta expectativa, a programação de desligamentos em sistemas de distribuição, deve observar a possibilidade de transferência de carga, atendendo os requisitos mínimos da qualidade de fornecimento (OLGUIN, 1999). De modo a verificar se a rede irá operar dentro dos requisitos técnicos após a transferência de carga, viabilizando o desligamento da rede, com o menor número de clientes interrompidos, um programa de fluxo de potência foi implementado no sistema proposto.

Como os sistemas de distribuição tem instalados na rede diversos dispositivos, materiais e equipamentos, faz-se necessário um sistema capaz de armazenar todos os componentes instalados, gerenciando a inserção/remoção de componentes, a edição dos existentes para alteração/correção, etc. O sistema capaz de armazenar de forma eficiente e eficaz, permitindo a manipulação dos dados da rede, é um banco de dados (HASHIMOTO et al., 1998). Tendo em vista o prescrito acima, o sistema implementado usa um banco de dados para gerenciar os dados sobre equipamentos e clientes conectados ao sistema.

De modo a obter uma elevada confiabilidade nos sistemas de distribuição e manter a imagem da concessionária com relação à satisfação ao cliente, sempre que não for possível evitar o desligamento da rede, deve-se procurar minimizar o número de vezes da sua interrupção e o seu tempo (COELHO, 1999). Para monitorar os índices de confiabilidade de uma dada área (conjunto) do sistema de distribuição, foi implementado

um programa procedimental para o cálculo destes índices, que depois são armazenados no banco de dados, sendo usados como fatos na tomada de decisão de um desligamento programado. A importância de monitorar os índices de confiabilidade reside no fato de que se os limites estabelecidos para tais índices forem ultrapassados, a concessionária será penalizada pelo órgão regulador (OLIVEIRA et al., 199).

A utilização de interfaces personalizadas, dispondo de um ambiente gráfico, em sistemas especialistas é uma das características que os tornam atrativos (SINTA, 1997). Com a utilização da biblioteca de componentes Expert SINTA Visual Component Library - VCL, tornou-se viável aproveitar as possibilidades oferecidas pela ferramenta para criação de interfaces com o usuário final. Estes componentes, permitem que o *shell* seja capaz de se comunicar com qualquer objeto, permitindo o intercâmbio de dados e o acréscimo de vários recursos de interface atrativos (SINTA, 1997).

Assim, apresentam-se a seguir as características da ferramenta implementada, seu funcionamento, bem como as partes que compõem a ferramenta. No item 4.2 apresenta-se o fluxo de potência, enquanto no 4.3 o banco de dados é apresentado com o sistema de gerenciamento de dados utilizados no sistema implementado. O item 4.4 apresenta o monitoramentos dos índices de confiabilidade no sistema implementado. No 4.5 descreve-se de forma reduzida o *shell* Expert SINTA, enquanto que o item 4.6 descreve a base de conhecimento do sistema. No item 4.7 descreve-se a interface personalizada desenvolvida. No item 4.8 apresenta-se o funcionamento da ferramenta como um todo, assim como a integração de suas partes. E para finalizar o item 4.9 apresenta uma conclusão do sistema implementado.

## **4.2 Fluxo de Potência em Sistemas de Distribuição**

O fluxo de potência utilizado no sistema em questão, tem o objetivo de avaliar os requisitos técnicos da operação da rede, após simulação da transferência da carga entre os alimentadores especificados. Dentre os vários requisitos a serem observados, os principais são o perfil de tensão e o carregamento (limite térmico dos condutores), em cada trecho da rede.

Diante deste fato, o cálculo do fluxo de potência é imprescindível. Porém, como o desenvolvimento de um novo fluxo de potência não é o foco principal do problema, deve-se escolher um bom método que permita avaliar o perfil de tensão ao longo de um alimentador de um sistema de distribuição. Além da robustez necessária do método a ser

utilizado, este já deve ter sido testado e aprovado. Após isto, verificar o tempo necessário para sua implementação, de acordo com a complexidade do método, fazer alguns testes com a configuração da rede utilizada, e avaliar o seu desempenho. Contudo, não se faz necessário que o método contemple todos os possíveis problemas inerentes aos métodos e modelo de cálculo.

Dentre os métodos encontrados para o cálculo do fluxo de potência, em sistemas de distribuição, pode-se citar o Ladder, a soma das correntes e a soma das potências (ZAMORA, 1998). O método utilizado para o cálculo do fluxo de potência em alimentadores radiais de sistemas de distribuição foi o de soma das potências, pois este método apresenta uma boa eficiência e robustez (MEDEIROS et al., 1995). Este método não leva em conta a presença de harmônicas, que se fazem presentes na existência de cargas não lineares no sistema real (FELSKY, 1998). O método também não leva em conta, os distintos modelos de carga. Por não dispormos de curvas de cargas reais, não foi considerada a variação da demanda ao longo do dia - discretização da curva de carga, hora a hora (MEYER et al.; 1998). O método adotado, tampouco considera o desequilíbrio de carga nos alimentadores, constituindo-se de um modelo monofásico, sendo que o caso real seria trifásico (DENIS et al., 2000).

Métodos tradicionais para cálculo de fluxo de potência em sistemas de transmissão, como o método de Newton-Raphson, apresentam falhas quando aplicados a sistemas de distribuição, principalmente quando da modelagem de trechos de baixa impedância, como é o caso da representação das chaves, reguladores de tensão e trechos de rede entre pontos de carga muito próximos (MEDEIROS et al., 1995).

O método implementado é o método de soma das potências modificado para análise de redes de distribuição. A solução tem como base um equivalente elétrico e a eliminação dos ângulos de fase de tensão nas equações a serem solucionadas, o que possibilita uma solução aproximada usando apenas as magnitudes de tensão, além de ter boas características de convergência. Este modelo assume que uma rede radial balanceada pode ser representada por diagrama equivalente de linha monofásica (ZAMORA, 1998).

Os alimentadores podem ser representados na forma de uma árvore orientada, onde a raiz corresponde à subestação, o tronco ao alimentador e os ramos correspondem aos ramais. Neste método, percorre-se a rede de forma iterativa da subestação às extremidades dos ramais e das extremidades destes à subestação, até a convergência de todas as tensões (MEDEIROS et al., 1995). A figura a seguir mostra o equivalente elétrico da rede,

considerando apenas o primeiro ponto, de um alimentador com vários pontos de carga, onde:

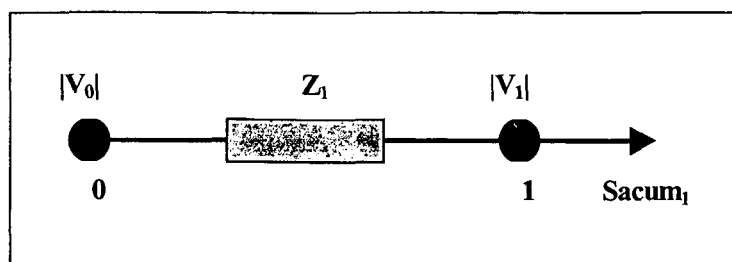


Figura 4.1 – Equivalente elétrico da rede no primeiro ponto de carga

$$\mathbf{Sacum}_1 = \mathbf{Pacum}_1 + j \mathbf{Qacum}_1; \quad (4.1)$$

$$\mathbf{Z}_1 = \mathbf{R}_1 + j \mathbf{X}_1; \quad (4.2)$$

onde:

$\mathbf{Sacum}_1$  - é o somatório das potências complexas a jusante do ponto 1;

$\mathbf{Pacum}_1$  - é o somatório das potências ativas a jusante do ponto 1;

$\mathbf{Qacum}_1$  - é o somatório das potências reativas a jusantedo ponto 1;

$\mathbf{Z}_1$  - é a impedância complexa do trecho;

$|\mathbf{V}_0|$  - é o módulo da tensão no nó 0;

$|\mathbf{V}_1|$  - é o módulo da tensão no ponto 1;

O algoritmo do método da soma das potências foi implementado na linguagem Delphi 3.0, externo ao sistema especialista. O algoritmo pode ser resumido de acordo com os seguintes itens:

a) Começar o acúmulo das potências e perdas no ramo, considerando as perdas como sendo nulas na primeira iteração, da rede;

$$\mathbf{Sacum}_1 = \left( \sum_i \mathbf{P}_i + \sum_j \mathbf{LR}_j \right) + j \left( \sum_i \mathbf{Q}_i + \sum_j \mathbf{MR}_j \right) \quad (4.3)$$

onde: i são os pontos a jusante do ponto 1 e j são os trechos a jusante do ponto 1;

$\mathbf{LR}$  - é o somatório das perdas de potência ativa a jusante do ponto 1;

$\mathbf{MR}$  - é o somatório das perdas de potência reativa a jusante do ponto 1.

b) Começando no nó fonte em direção à barra 1, calcular o valor aproximado do módulo e ângulo da tensão da barra, resolvendo a equação biquadrática;

- Módulo da Tensão 1:

$$A \times |V_1|^4 + V \times |V_1|^2 + C = 0 \quad (4.4)$$

onde:

$$A = G_1^2 + B_1^2 \quad (4.5)$$

$$B = 2 \times (P_1 \times G_1 + Q_1 \times B_1) - |V_0|^2 \times |Y_0^2| \quad (4.6)$$

$$C = P_1^2 + Q_1^2 \quad (4.7)$$

$$Y_1 = G_1 + jB_1 \quad (4.8)$$

onde:

$Y_1$  – é a admitância complexa do trecho

- Ângulo da tensão 1:

$$\theta_1 = \theta_0 + \varphi_1 + \text{tg}^{-1} \left( \frac{Q_1 - |V_1|^2 \times B_1}{P_1 + |V_1|^2 \times G_1} \right) \quad (4.9)$$

onde:

$\theta_0$  – é o ângulo da tensão no nó 0;

$\theta_1$  – é o ângulo da tensão no nó 1;

$\varphi_1$  – é o ângulo da admitância do trecho;

c) Começando da barra 1 em direção ao nó fonte, calcular o valor aproximado das perdas no ramo baseado na magnitude e no ângulo da tensão 1 calculados no item b.

$$LR_1 = (|S_1|/|V_1|)^2 \times R_1 \quad (4.10)$$

$$MR_1 = (|S_1|/|V_1|)^2 \times X_1 \quad (4.11)$$

d) Teste de convergência e voltar ao item “a”.

O algoritmo converge quando a magnitude das tensões em duas iterações consecutivas estiver dentro de uma tolerância  $\varepsilon$  pré-estabelecida (MEDEIROS, et al., 1995).

### 4.3 Banco de Dados

Sistemas de banco de dados são projetados para gerir grandes volumes de informações. O gerenciamento de informações implica na definição das estruturas de armazenamento das informações e dos mecanismos para a manipulação dessas informações. O objetivo principal de um sistema de gerenciamento de banco de dados é o de proporcionar um ambiente conveniente e eficiente para a recuperação e armazenamento das informações do banco de dados (SILBERSCHATZ et al., 1998), provendo o usuário de

ferramentas necessárias para a manipulação das informações, tais como consulta, atualização, remoção e inserção de registros (HASHIMOTO et al., 1998).

Um dos maiores benefícios de um banco de dados é proporcionar ao usuário uma visão abstrata dos dados, isto é, o sistema oculta determinados detalhes sobre a forma de armazenamento e manutenção desses dados.

Em sistemas para gerenciamento da manutenção e planejamento da operação de sistemas de distribuição, um sistema de gerenciamento de banco de dados possibilita armazenar várias informações de equipamentos, fabricantes de equipamentos, datas de manutenção e programação de desligamentos, mão-de-obra, ferramentas, entre outros dados (BITETTI et al., 1997). Nestas aplicações, também utiliza-se uma base de dados, com informações referentes a ensaios padronizados, periodicidade e pendências, aos equipamentos e seus fabricantes de modo a descentralizar a programação da manutenção e gerenciar os serviços com maior grau de liberdade (MOERBECK et al., 1997).

Em sistemas de gerenciamento da qualidade de energia elétrica, a monitorização da qualidade, seguida da organização sistemática e automática de toda a informação adquirida ao longo de um período de monitorização, precisa de uma ferramenta para análise para auxiliar no planejamento, na operação e no projeto de sistemas de energia elétrica. Devido à grande quantidade e diversidade destes dados, estes devem ser armazenados em um sistema de banco de dados que possibilite várias formas de recuperação destes, a fim de inferir padrões de ocorrência de problemas de qualidade (ALVES et al., 2000).

No sistema proposto neste trabalho, o sistema de banco de dados tem por objetivo armazenar as informações referentes às solicitações de desligamentos, informações dos equipamentos e dispositivos presentes na rede, os índices de confiabilidade do sistema, os clientes especiais cadastrados no sistema, entre outros. A arquitetura do sistema de banco de dados utilizado é um sistema centralizado, sobre um único sistema computacional e que não é capaz de interagir com outros sistemas. O uso de um banco de dados centralizado, do tipo multi-usuário, é aceitável pois se trata de um primeiro protótipo do sistema especialista, não sendo necessária uma elevada sofisticação e eficiência computacional. Além disso, a linguagem de programação disponível não permitia a implementação de um sistema de banco de dados do tipo cliente-servidor.

De um modo abstrato, os dados podem ser descritos em nível físico, lógico e de visão. O nível físico é o mais baixo nível de abstração que descreve **como** esses dados estão de fato armazenados, ou seja, refere-se ao arquivo onde os dados estão armazenados.

Em nível lógico descreve-se **quais** dados estão armazenados, isto é, os campos do arquivo de dados e seu tipo. No nível de visão, o nível mais alto de abstração, descreve uma parte do banco de dados, de acordo com a aplicação (SILBERSCHATZ et al., 1998).

Em nível físico, o sistema apresenta os seguintes registros: solicitação de desligamento, clientes, DEC\_FEC, equipamentos. Em nível lógico o sistema apresenta quais os dados estão armazenados nos registros. Estes dados inicialmente são armazenados em variáveis para depois serem guardados no banco de dados. Assim, quando uma variável é criada, os valores que esta pode assumir devem ser definidos numa lista de possibilidades, de acordo com o seu tipo. O tipo de uma variável define a natureza dos valores que esta pode assumir. Estes dados são:

### **Solicitação de Desligamento**

Refere-se ao dados inseridos pelo usuário no momento de uma solicitação de desligamento, de acordo com o tipo de programação. Estes dados são:

Número, data\_dia, data\_mês, data\_ano, duração\_desligamento, data\_recebimento\_dia, data\_recebimento\_mês, data\_recebimento\_ano, KVA\_desligar, do tipo “String”, isto é, constituem-se de caracteres, no caso, numéricos;

Hora\_início\_programação, hora\_final\_programação, dia\_semana, agência, município, área, tipo\_desligamento, localização, serviço\_executar, alteração\_rede, firma\_executar, local\_recebe\_DTD, responsável, observações, observações\_COD, eventos\_especiais, tipo\_localidade, titular\_responsável, substituto\_responsável, tipo\_desligamento, responsável\_solicitação, responsável\_desligamento, status, é\_também\_responsável, matricula\_responsável\_COD, nome\_responsável\_COD, do tipo “Alfanumérico”, isto é, constituem-se de caracteres também, mas de qualquer natureza;

Chave\_inicial, chave\_final, do tipo “Inteiro longo”, isto é, apenas números inteiros, com grande quantidade de dígitos;

Data\_recebimento\_hora, do tipo “Hora”, num formato estabelecido para hora.

### **Clientes**

Estes dados são referentes aos clientes cadastrados como clientes especiais e que devem ser avisados quando houver um desligamento programado ou dependendo do tipo quando houver uma manobra na rede. Nestes dados encontram-se as seguintes informações:



Equipamento, número\_consumidores, logradouro, número\_telefone, número\_fax, bairro, do tipo “Inteiro longo”, isto é, apenas números inteiros, com grande quantidade de dígitos. Nome\_consumidor, tipo\_consumidor, informações\_complementares, nome\_contato, do tipo “alfanumérico”, isto é, constituem-se de caracteres também, mas de qualquer natureza.

### **DEC e FEC**

Estes dados referem-se ao índices de confiabilidade de referência do sistema. Neste caso, é adotado um percentual que representa o total de desligamentos programados na região, em função do valor de referência imposto pela ANEEL.

Região, do tipo “caractere”;

DEC\_referência, FEC\_referência, do tipo “numérico”, isto é, apenas números inteiros, com grande quantidade de dígitos;

DEC\_atual, FEC\_atual, do tipo “real”, isto é, apenas números reais, com grande quantidade de dígitos.

### **Equipamentos**

Referem-se aos equipamentos instalados no sistema. Em cada equipamento há um número médio de clientes conectados. Neste caso, consideram-se também os clientes não cadastrados como clientes especiais.

Número\_registro, tipo\_equipamento, código\_cabo, do tipo “inteiro curto”, isto é, apenas números inteiros, com pequena quantidade de dígitos;

Número\_equipamento, número\_equipamento\_anterior, potência\_aparente, demanda, comprimento, número\_consumidores, do tipo “numérico”, isto é, apenas números inteiros, com grande quantidade de dígitos.

Em nível de visão o sistema tem um aplicativo que permite consultar, navegar editar e alterar os dados referentes a uma solicitação de desligamento, clientes, equipamentos e os índices DEC e FEC. Neste nível, outros programas aplicativos são integrados de modo a compor um sistema de banco de dados, onde todos os aplicativos desenvolvidos têm acesso aos dados, podendo estes programas usufruírem das facilidades do banco de dados.

Deste modo, o sistema proposto possui um banco de dados que:

- Proporciona uma maior segurança em relação à integridade dos dados, pois estes podem ser protegidos contra leitura e gravação não-autorizadas;
- Preserva a integridade dos dados, podendo especificar-se regras tais que os dados devem satisfazer;
- Permite a extensibilidade, onde é possível acrescentar-se dados ao banco de dados sem afetar os programas existentes e, além disso, os dados podem ser reorganizados para melhorar o desempenho;
- Possibilita o compartilhamento entre aplicações, onde vários programas de aplicação podem ler e gravar dados no mesmo banco de dados, sendo este um meio neutro que facilita a comunicação entre programas independentes.

Por fim, o sistema possui um banco de dados que permite gerenciar todas as informações pertinentes ao problema, além de ser capaz de transferir estas informações para os demais módulos do programa, proporcionando uma maior flexibilidade ao sistema. Deste modo, futuras ferramentas podem ser desenvolvidas tendo como base os dados existentes.

#### **4.4 Monitoramento dos Índices de Confiabilidade**

Sempre que um desligamento causa um corte na carga, esta interrupção, independente da sua causa, afeta as atividades dos consumidores, podendo causar prejuízos das mais diversas naturezas e danos irreparáveis, tais como a morte de uma pessoa.

De modo a inibir as interrupções, a concessionária que fornece a energia elétrica a um conjunto de consumidores deve investir recursos financeiros de modo a operar com uma determinada confiabilidade (THOMAZ, 1998). Esta confiabilidade deve ser tal que minimize os prejuízos e danos aos seus clientes, isto é, às cargas alimentadas pelo sistema.

Mas nem sempre os investimentos em confiabilidade proporcionam um retorno financeiro de acordo com os recursos imobilizados para tal. Portanto, se não houver um agente regulador num ambiente de energia elétrica privado, estes investimentos podem não acontecer. Isto é verificado no modelo de regulamentação internacional, de um modo geral, conforme proposto em OLGUÍN (2000).

Como dito no capítulo 2, no caso das concessionárias de distribuição de energia elétrica, estas irão receber uma penalidade da ANEEL, caso os índices de confiabilidade e

qualidade (queda de tensão sustentada), ultrapassem os limites impostos pelo regulamento. Os desligamentos programados contribuem para aumentar tais índices de indisponibilidade (DEC e FEC), e portanto, devem ser monitorados neste novo mercado de energia elétrica.

Com o objetivo de manter os índices dentro dos limites especificados pela agência reguladora (ANEEL), o sistema possui um programa procedimental para calcular os índices DEC e FEC, de modo a controlar a possibilidade de desligamento em uma dada área, sem que para isso, a concessionária incorra num erro operacional e receba uma penalidade.

O programa estima para quanto iriam estes índices (DEC e FEC) se o desligamento for efetuado de acordo com a fórmula especificada no capítulo 2 e armazena seu respectivo valor numérico no banco de dados, da maneira descrita no item anterior deste capítulo. Uma vez que os valores se encontram no banco de dados, estes podem ser comparados com os índices de referência contidos na base de conhecimento do sistema especialista para gerar um fato.

Assim como o fluxo de potência, este programa é executado externamente ao sistema especialista, que recebe apenas os valores simbólicos para o mecanismo de inferência verificar as regras que dispõe na base de conhecimento.

Os possíveis fatos gerados na base de conhecimento durante o processo de inferência, são:

DEC\_acima\_limite ou DEC\_abaixo\_limite;

FEC\_acima\_limite ou FEC\_abaixo\_limite.

Deste modo, dependendo dos valores dos índices de confiabilidade, um fato será gerado para ser utilizado com uma dada regra. Neste caso, adotou-se como regra que se os índices estiverem acima do limite, a solicitação de desligamento deve ser reprovada. Observou-se que na prática, o especialista não dispõe de um sistema para verificar tais índices de acordo com a área de desligamento, sendo que o volume de trabalho necessário para isto leva o especialista a ignorar esta restrição.

É claro que os índices levam em conta os desligamentos programados e não-programados, mas pode-se obter uma estimativa média de qual o percentual de desligamentos programados com relação ao total de desligamentos ocorridos (programados e não-programados), por trimestre, por ano, e para todas as áreas, de modo que este

trabalho deve ser feito de qualquer maneira para que tais índices sejam informados à ANEEL. Assim pode-se implementar uma heurística para determinar qual o percentual de desligamentos programados numa dada área, por ano e por trimestre. Este percentual poderia ser utilizado como limite dos índices de confiabilidade usados como restrição na aprovação de solicitações de desligamentos. A estimativa poderia ainda determinar quantas interrupções programadas poderiam ser feitas por trimestre e por ano, considerando dados estatísticos obtidos dos anos anteriores.

Com a relação percentual média de desligamento por trimestre, por ano, e para todas as áreas, pode-se determinar quantos desligamentos programados o sistema irá aprovar (considerando um percentual de margem de segurança para os desligamentos não-programados). No caso de haver a necessidade de executar um dado trabalho na rede, pode-se viabilizar um estudo para direcionar as turmas de linha-viva para efetuar tal trabalho, de modo a não mais desligar o sistema em tal área. Isto poderia evitar uma multa da ANEEL à concessionária, dependendo da situação. De qualquer modo é uma ferramenta a mais que a concessionária tem para monitorar e adequar o planejamento de desligamentos em sistemas de distribuição, de acordo com os recursos disponíveis.

#### **4.5 O *shell* Expert SINTA**

A seguir apresenta-se uma breve descrição dos componentes VCL (Visual Component Library) do *shell* Expert SINTA, que permitiu a construção da base de conhecimento na forma de regras e fatos, além de uma interface com o usuário personalizada de acordo com o problema em questão, observando os padrões utilizados no dia a dia de trabalho do especialista.

O Expert Sinta VCL é uma biblioteca de componentes para programação de sistemas especialistas baseados em regras de produção, fatores de confiança, além do encadeamento para trás de modo semelhante ao clássico MYCIN (SINTA, 1997). Dentre as tarefas desempenhadas por esta biblioteca de componentes visuais, tem-se:

- Encapsular a máquina de inferência e a estrutura de dados que representa o conhecimento (regras de produção);
- Fornecer mecanismos para entrada de dados do usuário;
- Fornecer mecanismos de depuração;
- Permitir a personalização da aplicação fina;.

Os componentes nativos do Expert SINTA VCL podem ser divididos nas seguintes categorias: componente principal, componentes gerais de interface gráfica, componentes de depuração e componente de navegação.

Componente Principal (*TexpertSystem*): este componente encapsula a máquina de inferência e a estrutura de dados que representa a base de conhecimento. Para tal, referencia um arquivo de base de conhecimento gerado pelo *shell*. Todos os outros componentes fazem referência a um dado componente *TexpertSystem* direta ou indiretamente.

Componentes Gerais de Interface Gráfica: são componentes de visualização. Estes componentes são:

*TruleView*: exibe as regras de uma base de conhecimento referenciada por um componente *TexpertSystem*.

*TexpertPrompt*: um menu para entrada de dados do usuário em resposta a uma determinada pergunta efetuada pelo sistema. Uma pergunta ao usuário não é a única maneira que um sistema especialista utiliza para obter informações complementares, embora seja comum.

*TlabelQuestion*: é a única opção de personalização de interface integrada no *shell* Expert SINTA, ou seja, é a possibilidade de mudança da mensagem que aparece em uma pergunta para cada variável.

*TvaluesGrid*: exibe instâncias (valores) de uma dada variável por ordem decrescente de grau de confiança.

Componentes de Depuração: são componentes de visualização de variáveis, regras, explicações, entre outros. Estes componentes são:

*TwhyDialog*: caixa de diálogo que exibe uma explicação para a necessidade de uma dada pergunta, baseando-se em explicações criadas pelo projetista da base no *shell* ou, na falta destas, em explicações montadas automaticamente a partir das regras.

*TDebugPanel*: semelhante a *TruleView*, exibe as regras da base de conhecimento de um sistema especialista em um painel, mas indica também qual premissa (ou conclusão) está sendo analisada pela máquina de inferência em um determinado ponto de consulta.

*TWatchPanel*: de forma similar a opção *Watch* de um ambiente de programação, exibe as instâncias (valores atribuídos durante uma consulta) de todas as variáveis através de dois painéis: o superior lista todas as variáveis e o inferior, as instâncias da variável selecionada no painel superior.

*TallVars*: mais um componente de exibição de instâncias de variáveis, mas de forma hierárquica. De modo contrário ao componente *TWatchPanel*, este componente não se atualiza automaticamente para cada nova instância criada pela máquina de inferência.

*TConsultTree*: um sistema especialista precisa explicar porque (como) determinadas conclusões foram atingidas. Este componente pode criar e exibir de forma hierárquica todos os passos seguidos do começo ao fim de uma consulta.

Componente de Navegação (*TExNavigator*): é basicamente um navegador que controla o fluxo de consulta em conjunto com as respostas entradas pelo usuário e outros componentes de interface acrescentados pelo desenvolvedor da aplicação. Suas operações básicas são iniciar consulta, voltar à pergunta anterior, dar uma pausa na consulta, executá-la passo a passo, e cancelar a consulta.

Por ser o componente principal (*TExpertSystem*) o mais importante do sistema especialista em questão, apenas o mesmo será descrito relacionando a teoria de programação orientada a objeto. A descrição dos demais componentes pode ser consultada no manual do desenvolvedor do Expert SINTA VCL (SINTA, 1997).

O *TExpertSystem* é a classe principal, possuindo propriedades, métodos e eventos associados ao componente. Todos os outros componentes referem-se de algum modo a este componente, sendo este a super-classe do programa. De acordo com as características de um objeto, apresenta agregação, herança e polimorfismo. As propriedades, métodos, e eventos deste objeto são apresentadas no capítulo 5.

#### 4.6 Base de Conhecimento

A base de conhecimento de um sistema especialista permite armazenar o conhecimento concreto e abstrato (fatos e regras) de uma forma que o computador entende (CAPANEMA, 1999). A forma de armazenar este conhecimento tem como base o *shell* utilizado para a implementação do sistema, de acordo com a suas características da representação descritas anteriormente.

O *shell* utilizado para implementação do sistema têm um editor de regras, que facilita a implementação das regras de produção. As bases de conhecimento geradas com o *shell* são armazenadas em um arquivo com extensão “.bcm”. A ferramenta utilizada para elaborar o sistema contém a seguinte arquitetura (*shell*), descrita a seguir conforme pode ser visualizada na figura 4.2. Assim, temos:

- **Base de conhecimento:** armazena o conhecimento concreto e abstrato (fatos e regras) de uma forma computacional, o conhecimento que o especialista utiliza.
- **Editor de Bases:** é o meio pelo qual implementam-se a(s) base(s) de conhecimento na forma de regras de produção.
- **Máquina de Inferência:** é a parte do sistema especialista responsável pelas deduções sobre a base de conhecimento.
- **Banco de Dados Global:** são as evidências transferidas ao sistema pelo usuário, durante uma consulta.

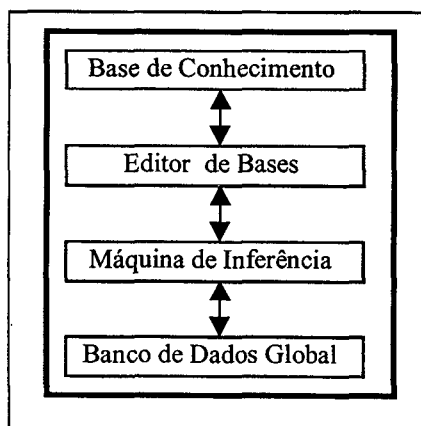


Figura 4.2 – Arquitetura simplificada do Expert SINTA

Portanto, com esta arquitetura, o *shell* possibilitou construir uma base de conhecimento de forma rápida e de testá-la sem precisar completar a ferramenta para fazer os primeiros testes e verificações. Com a base de conhecimento inserida no *shell*, é possível testar e verificar o conhecimento adquirido, bem como a seqüência de passos seguida no processo de raciocínio pelo mecanismo de inferência. Este é um fator importante, pois permitiu validar parte da etapa de aquisição do conhecimento e da forma de representação do conhecimento, sem que esta estivesse elaborada na sua forma final. Após validar a base de conhecimento, o sistema a ser elaborado passa a ser refinado e provido de uma interface adequada para o usuário final, bem como novos paradigmas de programação poderiam ser utilizados para compor a ferramenta final.

A figura 4.3 a seguir mostra o ambiente de programação que permite a edição de uma base de conhecimento para um sistema especialista. A figura apresenta os ícones e o menu de atalho de comandos, as regras criadas, além dos botões de edição: nova regra, abrir, excluir e visualizar regra, variáveis, objetivos, interface, informações e fechar. Na parte superior apresenta o nome da base de conhecimento em edição “sd.bcm”.

Antes de criar uma base de conhecimento é necessário definir as variáveis a serem utilizadas, o tipo de variável, bem como seus respectivos valores, isto é, quando uma variável é criada, os valores que esta pode assumir devem ser definidos antes numa lista de possibilidades, de acordo com seu tipo. O tipo de uma variável define a natureza dos valores que esta pode assumir. Os valores que uma variável pode assumir consiste numa lista de possibilidades pré-estabelecida.

O SINTA permite criar e utilizar três tipos de variáveis, classificadas como variáveis univaloradas, multivaloradas e numéricas. As variáveis univaloradas podem assumir apenas um único valor de uma lista pré-definida. As multivaloradas podem assumir vários valores de uma lista, comportando-se como um vetor que assume um subconjunto dos valores possíveis.

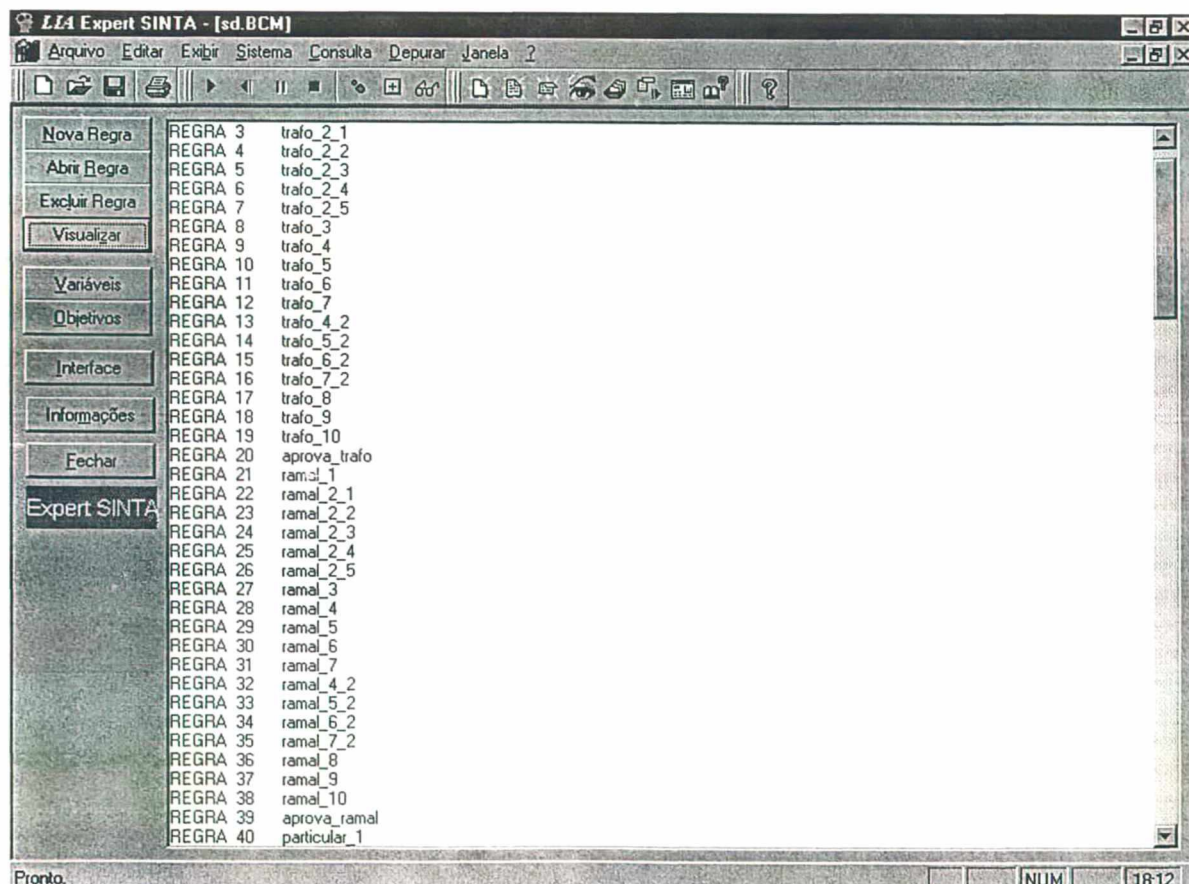


Figura 4.3 – Ambiente de programação da base de conhecimento do Expert SINTA



Ao fazer uma consulta (busca da meta) ao sistema, este inicia o processo de inferência. Durante este processo, os valores assumidos pelas variáveis multivaloradas são acumulados, dentre os valores possíveis. Os valores das variáveis univaloradas e numéricas, diferentemente das multivaloradas, são únicos e uma vez assumidos, não podem ser alterados até que um novo processo de inferência seja executado. As variáveis numéricas podem assumir qualquer valor inteiro compreendido num dado intervalo anteriormente definido.

Os valores inseridos na lista de valores que uma variável pode assumir, constituem-se de frases, palavras, enfim, um conjunto de caracteres. No processo de inferência, de acordo com os dados de entrada, o mecanismo de inferência solicita o valor das variáveis, de modo a estabelecer os fatos necessários para avaliar uma regra. Os fatos podem ser fornecidos diretamente pelo usuário ou recebidos do banco de dados.

A figura 4.4 a seguir mostra a janela de programação onde as variáveis são criadas, de acordo com a definição acima. Quando não é inserido nenhum valor na lista de valores possíveis que uma variável pode assumir, o *shell* assume que ela é uma variável lógica.

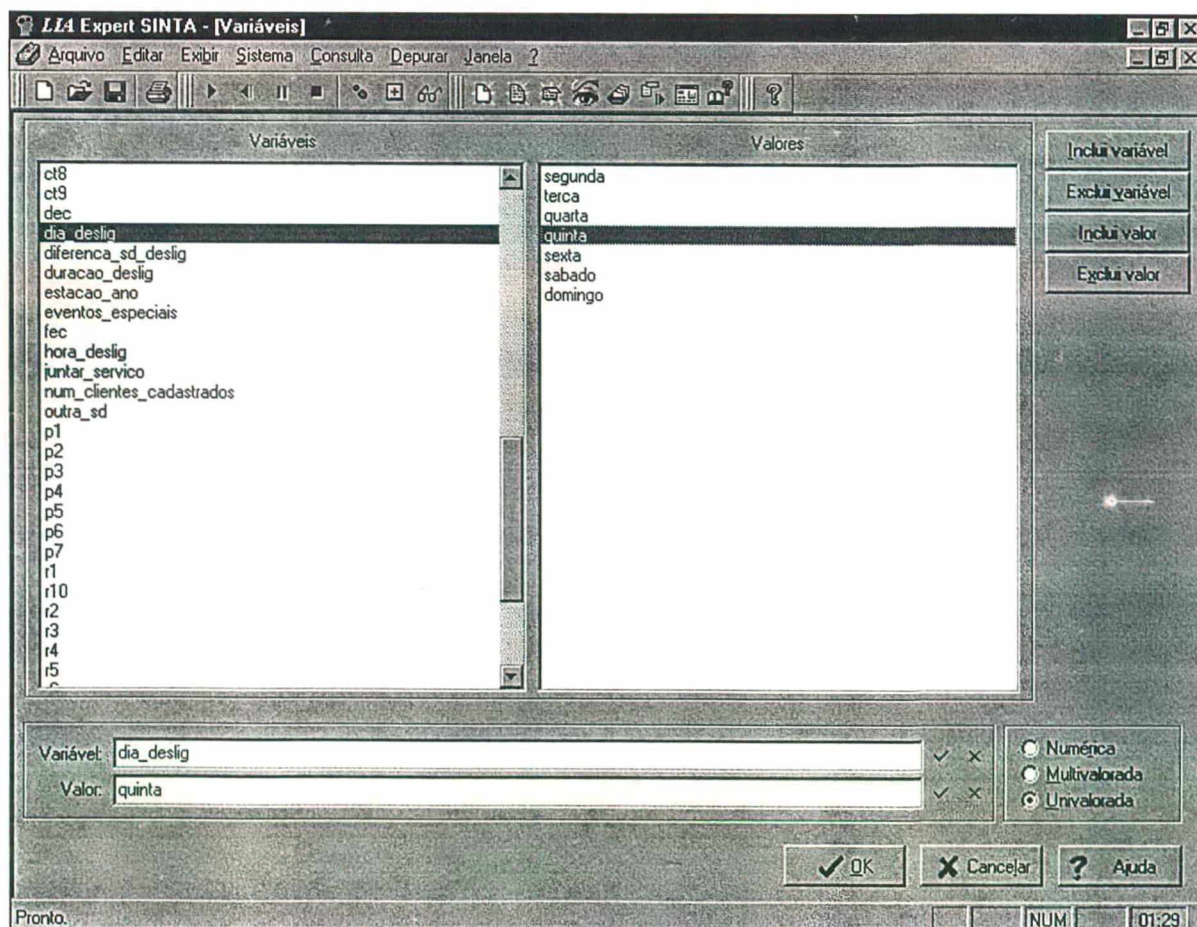


Figura 4.4 – Janela de edição de variáveis do Expert SINTA

Neste caso, a variável aceita valores do tipo “Sim” e “Não”. No caso de uma variável não receber nenhum valor, no processo de inferência, o *shell* assume que o seu valor é desconhecido. Portanto, uma variável, pode assumir valores pré-definidos, do tipo lógico e desconhecido no processo de inferência.

Uma vez definidas as variáveis a serem utilizadas, com suas respectivas lista de valores, pode-se iniciar a elaboração das regras. A notação das regras no Expert SINTA é proveniente da linguagem PROLOG, na qual as conclusões encabeçam as cláusulas. Assim, denominam-se os conseqüentes de uma regra como as cabeças da regra e as condições, são as caudas. Para criar as bases de conhecimento usando o Expert SINTA, a seguinte sintaxe para definição de assertivas deve ser seguido:

a) Estrutura de cauda de regra ( premissa ) deve obedecer o seguinte modelo:

<Conectivo>	<Atributo>	<Operador>	<Valor>
-------------	------------	------------	---------

onde:

**Conectivo:** é um dos seguintes elementos utilizados na lógica clássica: NÃO, E, OU. Sua função é unir a sentença ao conjunto de premissas que formam a seção de antecedentes de uma regra;

**Atributo:** é uma variável capaz de assumir uma ou múltiplas instâncias no decorrer da consulta à base de conhecimento. Cabe ao desenvolvedor definir o tipo de atributo. Um atributo é uma entidade totalmente abstrata, capaz de armazenar listas de valores cujo significado depende do contexto da base;

**Operador:** é um elo de ligação entre o atributo e o valor da premissa que define o tipo de comparação a ser realizada. São operadores relacionais: =, <, <=, >, >=, <>, entre outros;

**Valor:** é um item de uma lista a qual foi previamente criada e relacionada a um atributo. No momento da criação de um atributo, também é possível que seja definida uma lista de valores que constituirá o universo ao qual suas instanciações devem necessariamente pertencer. Um valor também pode ser um número, caso o atributo permita.

b) Estrutura de cada cabeça de regra ( conclusão ) deve obedecer o seguinte modelo:

<Atributo>	< = >	<Valor>	<Certeza>
------------	-------	---------	-----------

onde:

Atributo: equivale ao mesmo atributo usado em caudas;

“ = ”: é um operador de atribuição, isto significa que, os atributos nas cabeças de regra, são sempre instanciados a um valor. Dependendo se a variável pode ou não acumular múltiplas instanciações, o novo valor substituirá o antigo ou será empilhado com os demais;

Valor: equivale ao mesmo valor utilizado em caudas;

Certeza: é uma porcentagem indicando a confiabilidade daquela conclusão específica da regra. O fator de certeza varia de 0 a 100%, sendo isto determinado pelo programador no *Shell*.

Para mostrar a utilização desta estrutura de formação da regras, apresenta-se uma das regras contidas na base de conhecimento do sistema proposto, como segue:

**SE** *tipo de desligamento* = transformador;

**E** *existe outra solicitação deste desligamento* = não;

**E** *existe chave no transformador* = sim;

**E** *última solicitação do desligamento deste equipamento*  $\geq$  6 dias;

**E** *DEC* = abaixo do limite;

**E** *FEC* = abaixo do limite;

**E** *duração do desligamento*  $\leq$  4 horas;

**E** *teve desligamento anterior*  $\geq$  15 dias;

**E** *hora do desligamento*  $\neq$  17:30 às 20:30;

**ENTÃO** *condição 1 para aprovação* = aprovada;

A figura 4.5 a seguir mostra a janela onde as regras são editadas. Esta janela contém na área central como a regra se encontra, abaixo os botões de edição e acima o nome da regra com sua respectiva ordem. A ordem de uma regra define a seqüência de busca no processo de inferenciação, de acordo com a meta estabelecida.

A figura mostra também um segundo exemplo de uma regra implementada na base de conhecimento do sistema especialista. Deste modo é possível verificar a forma genérica de como as sentenças são elaboradas, para que o sistema apresente uma resposta para o usuário ao final do processo. A figura mostra também o ambiente de programação e sua limitação quanto ao processamento numérico e a necessidade de um sistema de banco de dados.

Na figura 4.6, aparece a janela de edição das premissas, ou seja, as condições a serem verificadas para determinar se uma dada regra é verdadeira ou falsa. Esta janela mostra a variável, o operador de comparação, o valor a ser comparado, o conectivo, uma caixa para avaliar a sentença pela sua negativa e os botões de edição da regra.

Na figura 4.7, aparece a janela de conclusão, ou seja, se a regra é verdadeira, a variável da conclusão receberá uma atribuição com um dado valor. Nesta janela aparece o item da regra (variável que recebe a atribuição), o operador de atribuição, o valor a ser atribuído e o fator de confiança que determina o grau de certeza da resposta. No sistema elaborado, todas as regras têm um grau de certeza de cem por cento nas resposta, não trabalhando com incertezas.

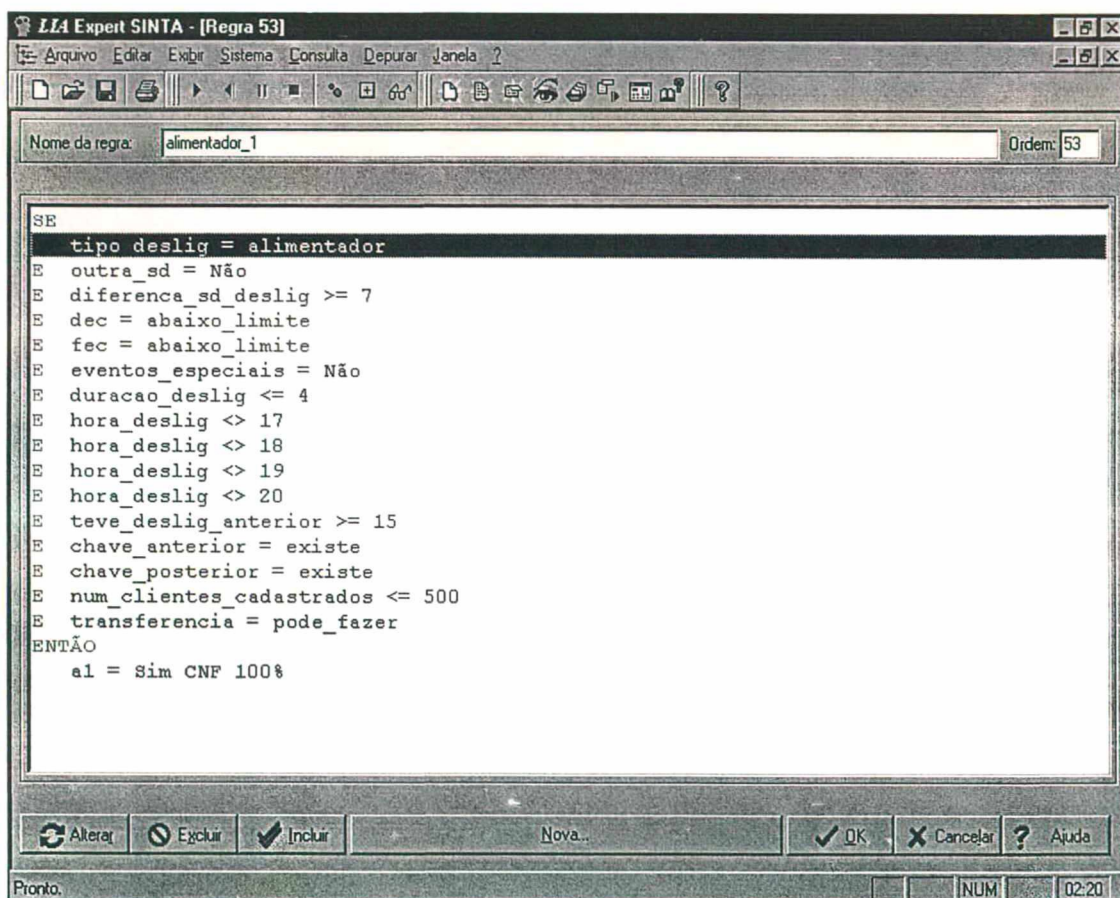


Figura 4.5 – Janela de edição de regras do Expert SINTA

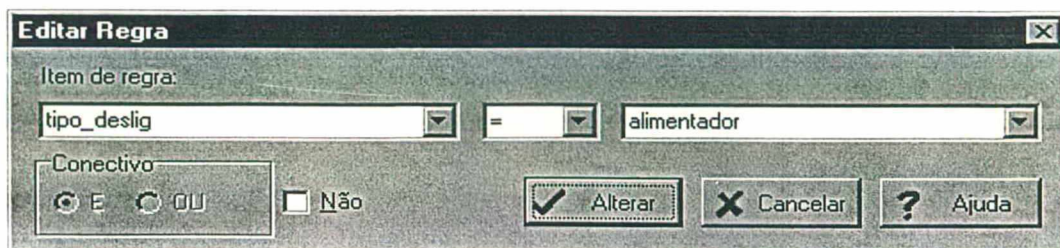


Figura 4.6 – Janela de edição de premissas do Expert SINTA

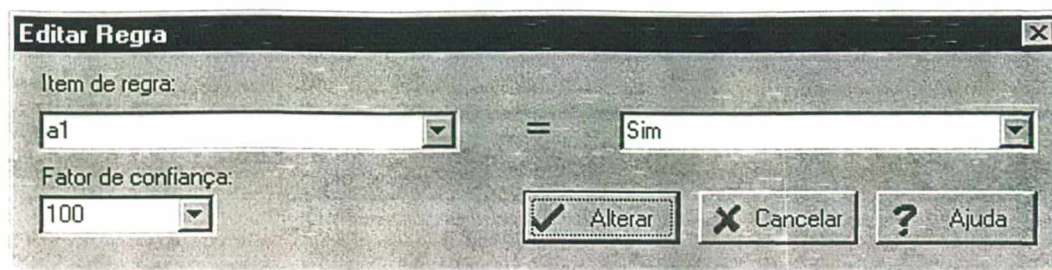


Figura 4.7 – Janela de edição da conclusão do Expert SINTA

Uma vez elaboradas as regras da base de conhecimento, é necessário estabelecer a meta ou as metas do sistema. As metas de um sistema são os objetivos a serem alcançados após uma consulta. Assim, o objetivo de uma consulta a um sistema especialista é encontrar a resposta para um dado problema.

Como os “problemas” são representados por variáveis e para que o sistema possa saber o que deve ser respondido quando se faz uma consulta, é preciso informar-lhe qual ou quais são as variáveis objetivo. Estas variáveis é que irão controlar o modo como a máquina de inferência se comporta (SINTA, 1997).

A figura 4.8, mostra a janela do *shell* onde se determinam o(s) objetivo(s) do sistema, com sua respectiva variável objetivo. No caso de não ser definido um objetivo para o sistema especialista, seria o mesmo que conversar com um especialista humano sem ter o que descobrir. A janela apresenta a lista das variáveis existentes no sistema e as variáveis objetivos, além de um marcador para indicar se a resposta deve ser apresentada.

Como o problema apresenta apenas o objetivo de aprovar e reprovar um desligamento programado, o encadeamento para trás inerente à ferramenta, é utilizado. O mecanismo de inferência sabe que deve utilizar o encadeamento para trás devido à forma com que os objetivos foram definidos, este deve a partir da meta objetivo final, tentar provar as suas premissas e para isso, irá fazendo a busca dos fatos necessários para provar que a meta é verdadeira.

O sistema especialista implementado oferece uma interface que se comunica com o usuário através de menus de múltipla escolha ou escolha simples, dependendo do tipo da variável, para determinação do seu valor. Estes menus são criados automaticamente pelo *shell*, sendo que alguns detalhes são especificados pelo criador da base de conhecimento.

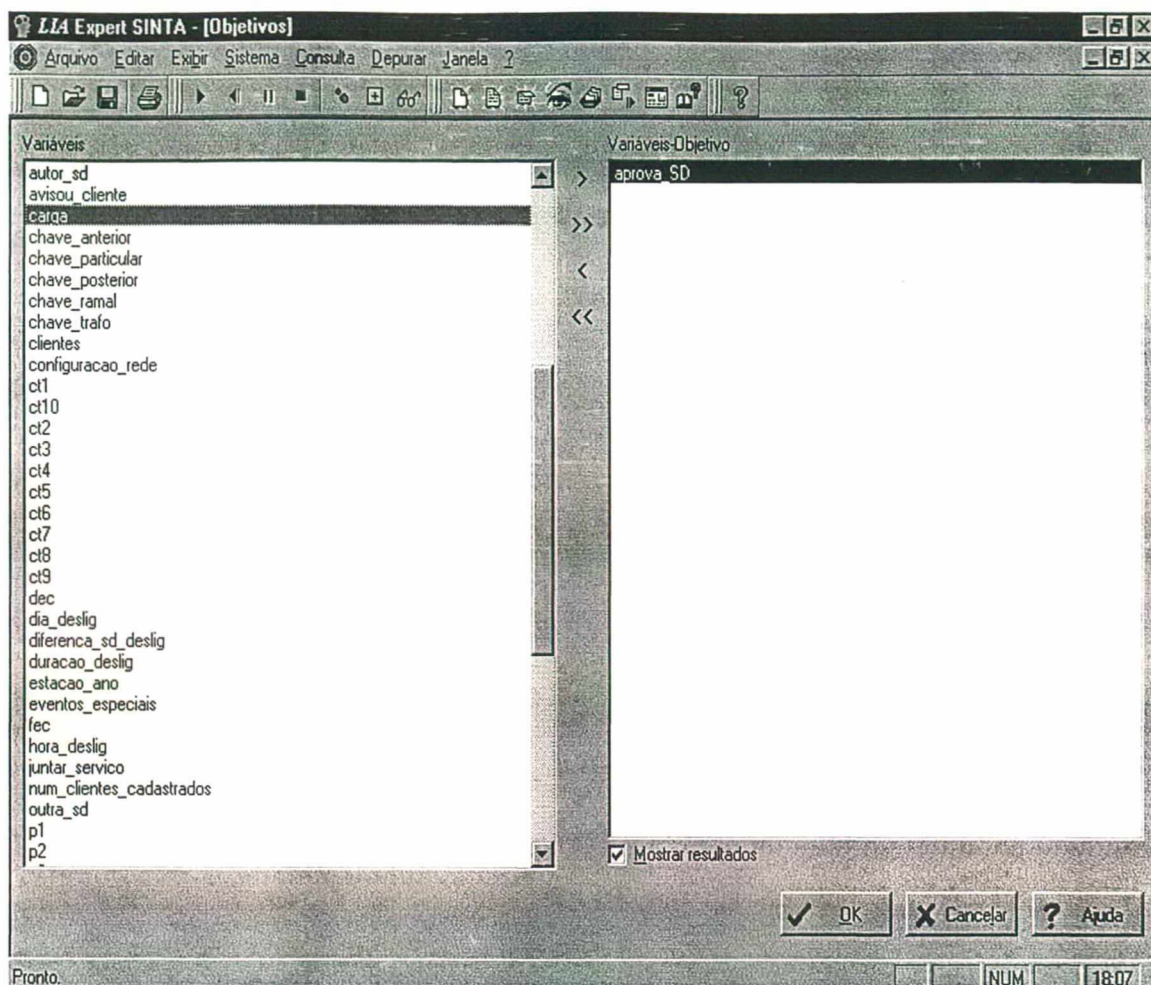


Figura 4.8 – Janela de edição de objetivos do Expert SINTA

Porém a interface disponível não permite a criação de uma ferramenta personalizada, o que é indispensável ao sistema final. Com o objetivo de apenas apresentar a interface disponibilizada pelo *shell*, as figuras 4.9 e 4.10 a seguir mostram a janela de edição da interface com o usuário e a janela de interface em execução. Na figura 4.9 da janela de edição da interface, pode-se visualizar as variáveis que possuem perguntas e as que não possuem, a pergunta a ser feita para o usuário e no caso deste querer informações a respeito da pergunta pode-se especificar o motivo, através de uma caixa de texto.

Na figura 4.10 da interface que irá aparecer quando o sistema estiver sendo executado, aparece uma janela com a pergunta que é feita, as possíveis opções de escolha e o grau de confiança da resposta do usuário, quando a variável não for numérica.

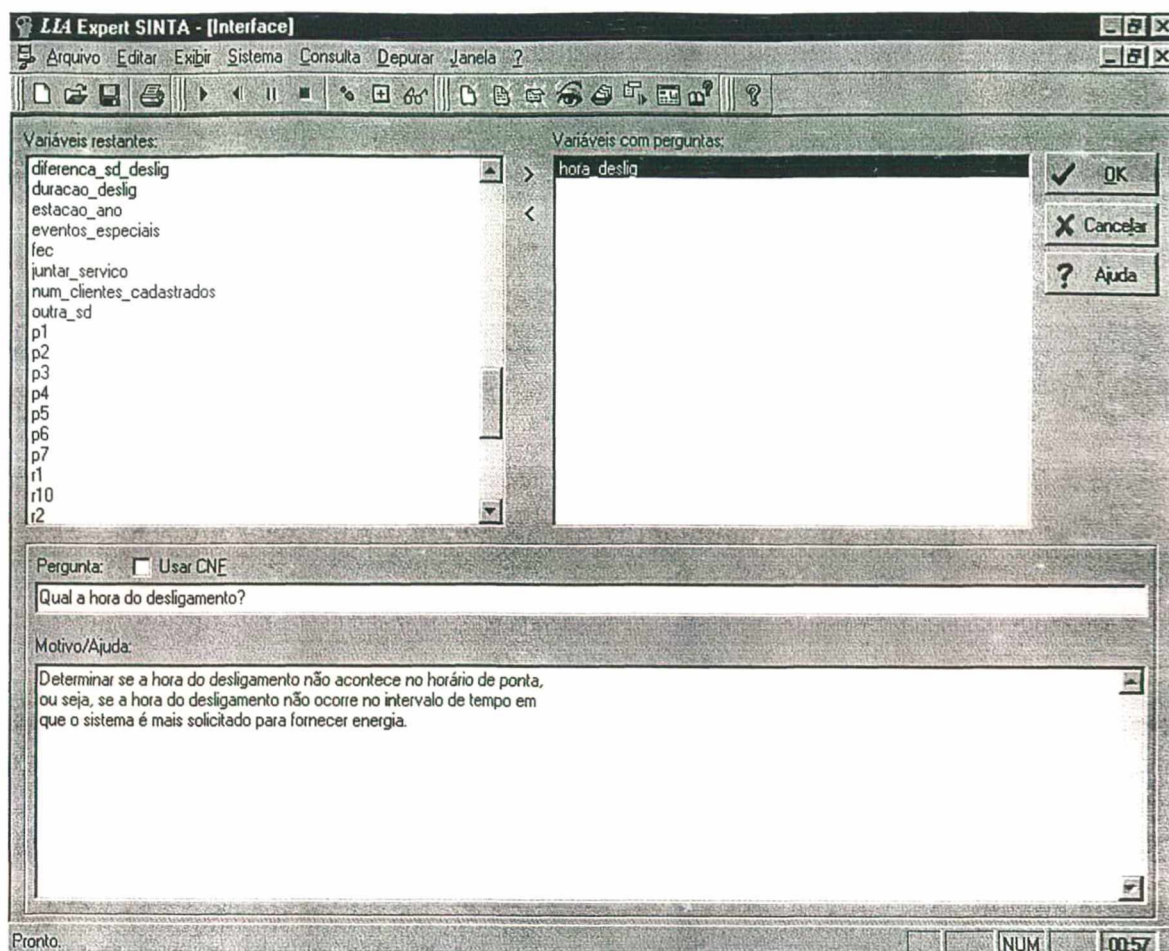


Figura 4.9 – Janela de edição de interface do Expert SINTA

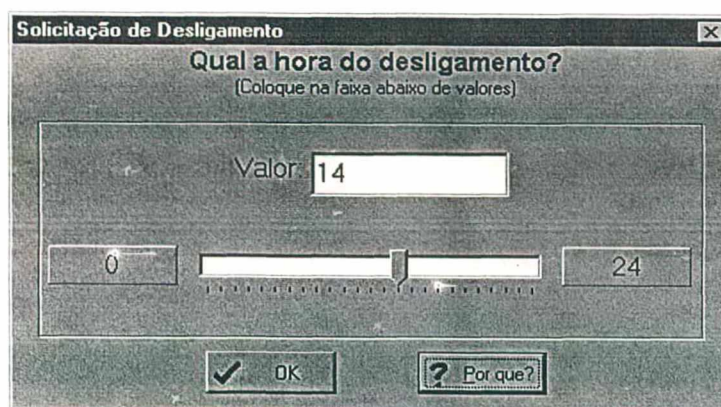


Figura 4.10 – Janela de interface com o usuário automática do Expert SINTA

O ambiente permite ainda, incluir uma janela de informações adicionais sobre a base de conhecimento, onde se permite inserir o nome da base, o nome dos autores da base, um texto de abertura com informações sobre o sistema. A figura 4.11 a seguir mostra a janela no momento da edição.

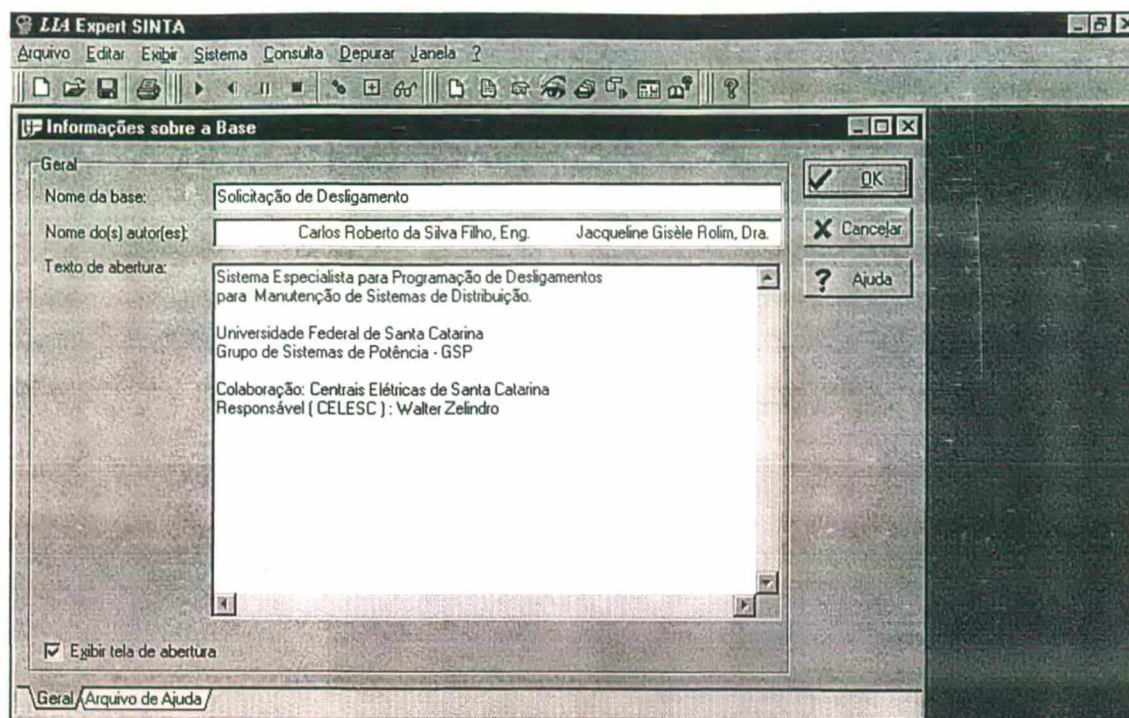


Figura 4.11 – Janela de informações sobre a base de conhecimento com o Expert SINTA

Na figura 4.12 a seguir, é apresentada a janela de informações no momento da execução, onde esta não difere em muito da janela de programação.

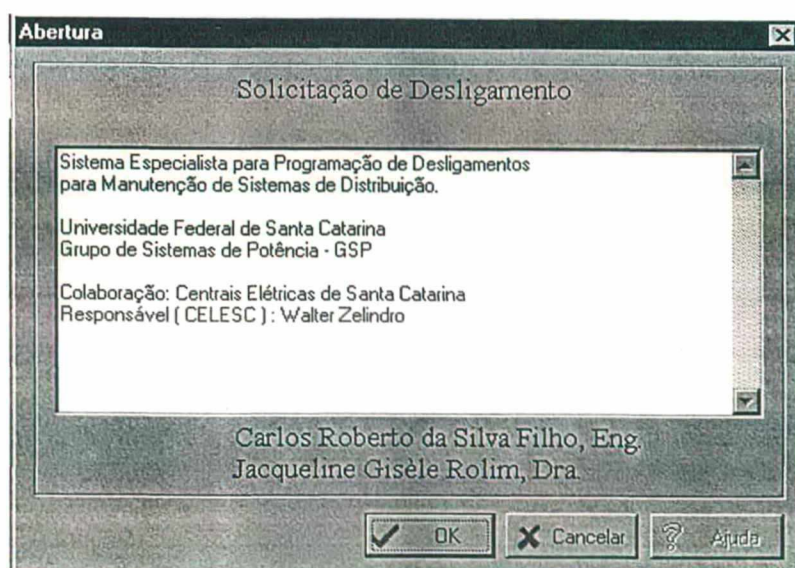


Figura 4.12 – Janela de informações sobre a base de conhecimento com o Expert SINTA

Na maioria das aplicações práticas, deseja-se que o sistema especialista seja capaz de se comunicar com outros programas, que utilizem uma linguagem de programação. Esta



linguagem deve ser capaz de se comunicar com os objetos do *shell*. De modo a possibilitar a comunicação com outros programas o Grupo de de Sistemas INTeligentes Aplicados – SINTA da Universidade Federal do Ceará, criou o Expert SINTA VCL, ou seja, uma biblioteca de componentes visuais (VCL – Visual Component Library). Esta biblioteca pode ser inserida nas linguagens “C++” e “Delphi”, o que permite utilizar os recursos de uma linguagem de programação com os recursos de uma ferramenta para criação de sistemas especialistas.

Com a utilização do Expert SINTA VCL, a base de conhecimento é gerada no *shell*, e pode ser usada com outros programas. Assim, o uso das biblioteca, permitiu criar uma interface personalizada a partir de uma linguagem de programação, o uso do banco de dados e os demais programas envolvidos, de modo a elaborar uma ferramenta para satisfazer as condições necessárias à solução do problema em questão. A forma de comunicação entre a base de conhecimento, os demais programas procedimentais e os objetos da biblioteca, serão apresentados no item 4.8.

#### **4.7 Interface com o Usuário**

Uma boa interface com o usuário é uma das características indispensáveis aos sistemas especialistas. Com a utilização da biblioteca do Expert SINTA, e uma linguagem de programação, tornou-se viável elaborar uma interface personalizada para o sistema. A linguagem de programação usada foi o “Delphi 3.0”, pois o *shell* foi escrito nesta linguagem, facilitando a programação.

De acordo com o Manual de Procedimentos da CELESC para Programação de Desligamentos em sistemas de distribuição, foi elaborado um formulário para solicitação de desligamento similar à encontrada no manual, mudando e incluindo apenas os campos convenientes à ferramenta, de acordo com o conhecimento elicitado do especialista.

A tela de solicitação de desligamento implementada na ferramenta é apresentada na figura 4.13 a seguir.

Sistema de Apoio a Programação da Manutenção de Sistemas de Distribuição

**SOLICITAÇÃO DE DESLIGAMENTO - SD** Número

Serviço a Executar

Observações

Observações

Figura 4.13 – Janela de interface personalizada – Solicitação de Desligamento

Após esta etapa, os campos existentes no formulário foram ligados ao banco de dados do sistema, onde todas as informações são armazenadas. Estas informações existentes nos campos do formulário possuem informações pertinentes que servem de fatos para o sistema especialista e que devem ser recuperadas do banco de dados, posteriormente durante o processo de inferência.

Além desta tabela, mais dois formulários personalizados foram implementados, que são o relatório de Solicitação de Desligamento e a Declaração de Trecho Desligado, segundo as recomendações do especialista.

O relatório de Solicitação de Desligamento é um documento impresso, gerado a partir da Solicitação de Desligamento, para ser entregue ao despachante, para que este saiba quais são os desligamentos programados do dia. Este relatório foi criado devido ao fato do protótipo não ser um sistema ligado em rede, com banco de dados compartilhado, para que mais de um mesmo usuário possa acessar as informações em locais diferentes.

Além disso, o Relatório de Solicitação de Desligamento (figura 4.14) é gerado automaticamente pelo sistema especialista implementado, com as informações obtidas a partir daquelas preenchidas na Solicitação de Desligamento, quando um pedido é feito. O preenchimento é feito recuperando-se as informações armazenadas no banco de dados do programa. Este relatório pode ser impresso em papel.

SEAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição



## Relatório de Solicitação de Desligamento

**Solicitação Número:**

<input type="text" value="Agência"/>	<input type="text" value="Área"/>	<input type="text" value="Município"/>	<input type="text" value="Data / /"/>	<input type="text" value="Dia da Semana"/>
<input type="text" value="Horário"/>	<input type="text" value="Duração"/>	<input type="text" value="Desligamento de"/>	<input type="text" value="Equipamentos"/>	<input type="text" value="Eventos"/>
<input type="text" value="Localização"/>				<input type="text" value="Tipo"/>
<input type="text" value="Serviço a Executar"/>				
<input type="text" value="Alterações na Rede"/>	<input type="text" value="Execução"/>	<input type="text" value="Entrega e Recebimento do Trecho"/>		
<input type="text" value="Observações"/>				
<input type="text" value="Titular Responsável"/>	<input type="text" value="Setor"/>	<input type="text" value="Substituto Responsável"/>	<input type="text" value="É Também Resp. Pelo Deslig."/>	

Page 1 of 1

Figura 4.14 – Janela de interface personalizada – Relatório de Solicitação de Desligamento


A Declaração de Trecho Desligado (figura 4.15) é um documento gerado de modo similar ao formulário encontrado no manual de procedimentos de desligamentos da CELESC e de acordo com o conhecimento elicitado, serve para que alguém se responsabilize por entregar a rede sem tensão no trecho dos serviços. A responsabilidade garante que os serviços podem ser executados na rede para o eletricitista que vai executar o referido serviço.

A Declaração de Trecho Desligado também é um documento gerado de modo automático pelo sistema especialista implementado, pois este documento é de vital importância para execução dos serviços. Pode-se até dizer que sem ele, um eletricitista tem o

direito de recusar-se a executar o referido serviço porque ninguém se responsabiliza por entregar o referido trecho da rede sem tensão.

O trecho da rede só deve ser novamente energizado, quando não houver mais serviços sendo executados no referido trecho e com a informação e autorização do despachante. A figura do despachante é a última palavra na operação da rede. Esta informação deve ser passada pelo rádio ou qualquer meio de comunicação para que o despachante autorize uma manobra na rede.

SEAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição



## DECLARAÇÃO DE TRECHO DESLIGADO - DTD

Trecho

Responsável

ENTREGA DE TRECHO DESLIGADO

Eu, representante do COD, abaixo assinado, declaro, ao responsável pelos trabalhos, que o trecho de rede, identificado acima, está desligado.

Data <input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	Horário <input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	Assinatura <input style="width: 150px; height: 20px;" type="text"/>	Matrícula <input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
--	---	---	---

Eu, responsável pelos trabalhos, abaixo assinado, declaro, ao representante do COD, que o trecho de rede, identificado acima, está liberado para religamento.

Data <input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	Horário <input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	Assinatura <input style="width: 150px; height: 20px;" type="text"/>	Matrícula <input style="width: 80px; height: 20px;" type="text"/>
--	---	---	---

Observações

Page 1 of 1

Figura 4.15 – Janela de interface personalizada – Relatório de Trecho Desligado

Após o término da implementação da interface de acordo com as sugestões do especialista, a próxima etapa era estabelecer a comunicação entre as partes do sistema.

#### 4.8 Integração Entre as Partes do Sistema

A integração entre as partes do sistema é fundamental para consolidar a ferramenta, uma vez que as condições (informações) necessárias para aprovação de um desligamento estão dispersas pelos módulos independentes deste sistema.

Como mostrado nos itens anteriores, nem todas as informações pertinentes a um desligamento programado encontram-se no formulário descrito na instrução normativa, e outros fatos são necessários para análise do especialista, tais como: índices de confiabilidade, o último desligamento realizado no trecho de rede a ser desligado, a possibilidade de transferência de carga entre alimentadores (sem afetar os limites físicos da rede), o tipo de cliente conectado e se há a possibilidade do mesmo sofrer uma queda de tensão momentânea devido a uma manobra na rede; verificar se o trecho a ser desligado está delimitado por duas chaves, que estarão abertas no momento da execução de alguma atividade na rede, com a numeração correta, entre outros.

Como descrito anteriormente, os dados do formulários estão armazenados num banco de dados, na forma de uma tabela, de acordo com os campos presentes no referido formulário. Além deste há ainda um campo para identificar se a solicitação de desligamento foi aprovada, reprovada ou se está a espera de uma consulta no sistema, sendo este campo identificado como “status”, identificando a situação corrente de uma solicitação.

Além das informações encontradas no formulário, o sistema usa outras tabelas armazenadas no banco de dados que contém informações sobre:

- Os equipamentos e dispositivos instalados na rede de alta tensão, tais como chaves fusíveis, chaves faca, transformadores, com suas respectivas numerações;
- A distância entre os equipamentos e dispositivos, bem como o tipo de cabo entre os equipamentos;
- Os clientes especiais cadastrados com endereço e telefone ou telefone de contato, assim como a que equipamento estão ligados e sua classificação quanto à possibilidade de interrupção sob aviso prévio ou permissão para manobras na rede sob aviso prévio de acordo com o horário de funcionamento do estabelecimento;
- Os índices de confiabilidade DEC e FEC atualizados.

No instante que começa o processo de inferência, os fatos já estão descritos no banco de dados, ou foram determinados por um procedimento externo. A forma como os fatos são transferidos para o sistema especialista é através da troca de mensagens entre os objetos. Basicamente, o sistema é composto por três objetos, o objeto consulta, o objeto sinta e o objeto solicitação de desligamento. O objeto sinta é o mecanismo de inferência

disponibilizado pela biblioteca de componentes visuais (Expert SINTA VCL), da Universidade do Federal Ceará, já implementado.

De modo a poder-se visualizar este processo de operação da ferramenta, apresenta-se a seguir a figura esquemática das partes do sistema, com seus referidos objetos, na figura 4.16.

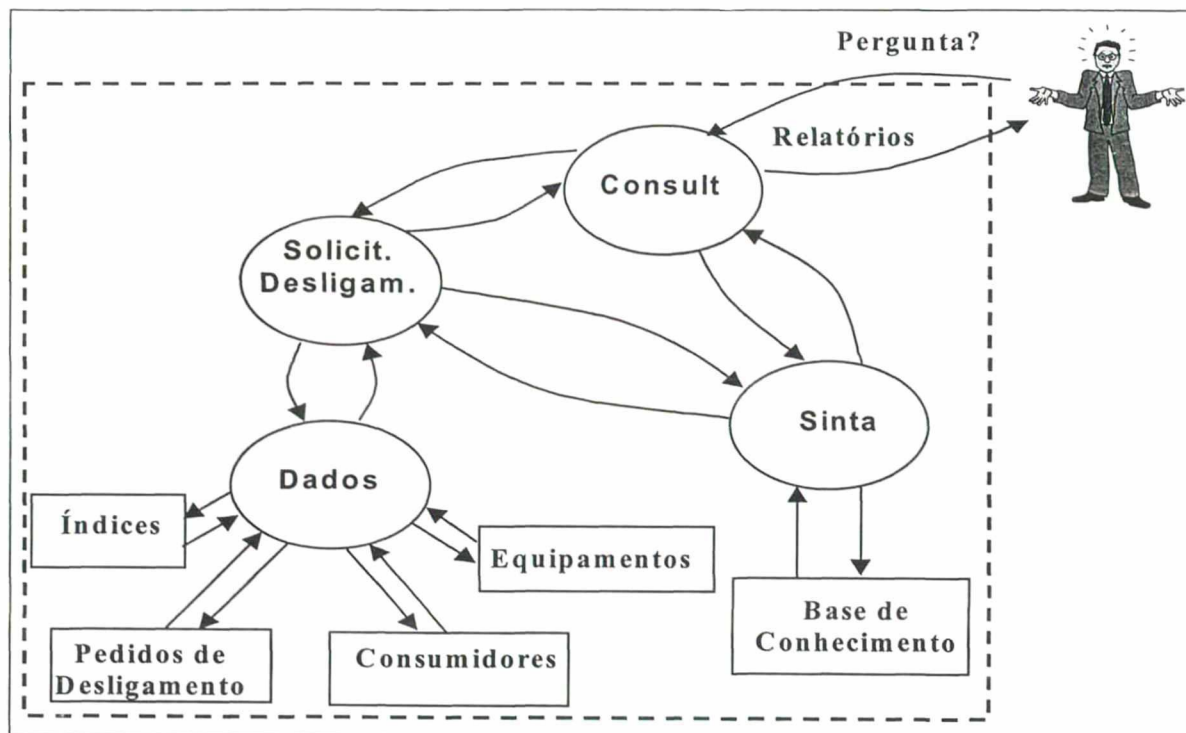


Figura 4.16 – Relação entre os diferentes componentes do sistema proposto

O objeto *Consult* é responsável pelo carregamento das solicitações de desligamentos para serem analisadas pelo sistema, de apresentar o resultado da aprovação e o caminho seguido pelo sistema especialista ao usuário e de transferir para o objeto Solicitação de Desligamento se o desligamento foi aprovado ou reprovado. O objeto Solicitação de Desligamento é responsável pelo armazenamento dos dados do formulário no banco de dados, pois seus campos, apresentados na tela para edição do usuário, estão referenciados a uma tabela do banco de dados. Além disso, este é responsável pela transferência destes dados ao objeto Sinta numa forma que este possa interpretar, isto é, transfere o valor do(s) fato(s) com os atributos que as variáveis que o Sinta usa. O objeto Sinta é responsável pela comunicação com a base de conhecimento e pelo processo de inferência, além de transferir o resultado de uma análise ao objeto Consulta, bem como o

caminho utilizado para chegar a este resultado e os valores assumidos pelas variáveis (fatos) no final da análise.

Depois de chegar ao final da análise, o sistema permite que o usuário visualize na interface do objeto *Consult* se a solicitação foi aprovada ou reprovada, bem como permite imprimir o relatório da solicitação de desligamento, e se esta foi aprovada, imprimir a Declaração de Trecho Desligado, para que o eletricitista leve consigo para execução dos serviços.

Quando o usuário pede uma consulta ao sistema, esta é recebida pelo módulo *Consult*. Este, por sua vez, cria uma instância do tipo *SD* (solicitação de desligamento) que fica responsável por resolver todos os valores das variáveis que serão utilizadas no “juízo” da consulta. Quando *SD* já está de posse de todos os valores, ele comunica ao *Consult* que dispara uma consulta no módulo *Sinta*.

O *Sinta*, de acordo com as regras definidas na sua *Base de Casos*, vai solicitando os valores de suas variáveis a *SD*. Quando *Sinta* chega à alguma conclusão, ele comunica ao *Consult* que, então, relata ao usuário o resultado da solicitação de desligamento.

#### 4.9 Conclusões

O sistema possui um ambiente integrado de modo a realizar a programação de desligamentos em sistemas de distribuição, onde as partes que compõem o todo do sistema são de certa forma independentes. Esta independência possibilita ao sistema a possibilidade de implementar novas restrições do problema, bem como novas ferramentas para apoio ao planejamento da manutenção, planejamento da expansão e outros temas referentes a sistemas de distribuição.

O sistema possui interface gráfica personalizada, proporcionando um avanço ao trabalho do especialista, trocando arquivos em papel por registros em sistema computacional, em um ambiente que realiza tarefas de modo automático e próximo da realidade do programador de desligamentos.

O sistema dispõe de um banco de dados próprio para armazenar os dados referentes aos clientes a serem interrompidos, o que facilita a consideração de suas atividades na programação de desligamentos. O sistema também gerencia os desligamentos aprovados e reprovados anteriormente, possibilitando ao programador considerar desligamentos passados baseados numa base de dados, ao invés de confiar na sua memória.

O sistema dispõe ainda de programas numéricos para determinar a viabilidade de interrupções programadas, considerando a legislação imposta pela ANEEL, devido ao novo mercado de energia elétrica no Brasil. Dentre eles o cálculo dos índices de confiabilidade de forma automática e não manual, como na prática do dia a dia.

O sistema é apenas um protótipo, mas é suficiente para apresentar o potencial das técnicas de sistemas especialistas no tratamento de problemas que envolvem o raciocínio e a dedução. Além disso, mostra ao usuário o processo de raciocínio seguido pelo programa, de modo que o conhecimento fica explícito e armazenado pelo tempo que for conveniente.

O protótipo constitui uma ferramenta que permite estudar e aperfeiçoar o problema em questão, de modo que as decisões tornem-se cada vez menos intuitivas e mais concretas, possibilitando inclusive a incorporação de novas restrições.



## Capítulo 5 RESULTADOS E CONCLUSÕES

### 5.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados quatro exemplos de análise de solicitações de desligamentos de modo a demonstrar a potencialidade da ferramenta, de acordo com a sua apresentação nos capítulos anteriores. Os exemplos demonstram os casos mais comuns de desligamentos na rede de distribuição:

- Programação de desligamento de um transformador de um cliente particular a pedido do mesmo;
- Programação de desligamento de um transformador da concessionária;
- Programação de desligamento de um ramal;
- Programação de desligamento de um alimentador.

Estes desligamentos programados têm como objetivo a manutenção preventiva da rede de distribuição, e as atividades serão efetuadas por turmas da concessionária. Para cada um dos exemplos serão apresentadas as telas da interface com o usuário de acordo com o problema, mas não de forma repetitiva. Os comentários a respeito de cada programação descreverão as restrições observadas em cada caso.

### 5.2 Exemplo 1: Programação de Desligamento de um Transformador de um Cliente Particular

O desligamento programado de um transformador de um cliente particular pode acontecer se o cliente fizer um pedido à concessionária para que possa realizar atividades de manutenção na sua rede e no seu padrão de entrada.

No momento de fazer um pedido, o cliente entra em contato com a divisão de distribuição (DVDI), que emite uma solicitação de desligamento ao centro de operação da distribuição (COD), para análise. Este pedido é analisado pelo engenheiro programador de desligamentos da concessionária que dá seu parecer de aprovação ou reprovação, dependendo da observação dos seguintes requisitos:

- O preenchimento correto do formulário padrão com as informações pertinentes;
- A existência de um desligamento programado no trecho da rede;

- Verificar o valor dos índices de confiabilidade;
- Verificar se a data do pedido foi feita com 2 dias de antecedência ao desligamento programado;
- Verificar a não existência de duplicidade de solicitações de desligamento para o mesmo componente da rede.

Estes itens devem ser verificados para que a solicitação de desligamento do cliente seja atendida. Analisando estas condições, tem-se:

- O não preenchimento correto do formulário inviabiliza a análise do programador quanto à solicitação de desligamento do cliente;
- A existência de um desligamento programado na rede pode auxiliar a minimizar os índices de confiabilidade, isto é, se houver um desligamento no trecho do equipamento, será aproveitado o desligamento para realizar as diversas atividades previstas;
- Mesmo um desligamento a pedido do cliente será contabilizado nos índices de confiabilidade que devem ser verificados quanto aos seus valores (DIC) no momento do pedido, para que a concessionária não receba uma multa;
- Quando uma solicitação de desligamento é feita, é necessário que haja um prazo de 2 dias para que o programador analise a solicitação e emita seu parecer. Além disso, deve-se comunicar o centro de operação da distribuição (COD), para mobilizar uma turma para manobrar a rede na hora prevista (disponibilidade);
- Verificar se o cliente não fez duas solicitações com prazos sobrepostos, de modo que haja a aprovação do desligamento duas vezes ao mesmo equipamento.

Diante destas restrições a serem analisadas, o sistema especialista proposto inicia o processo com a tela de abertura (figura 5.2) e com o preenchimento do formulário da solicitação de desligamento (SD). Depois do preenchimento, as informações são armazenadas no banco de dados do sistema. Se em algum momento do preenchimento do formulário da solicitação houve um erro por parte do usuário, basta que a solicitação seja editada novamente, para que os erros sejam corrigidos. O exemplo do equipamento para o qual será feita a solicitação (número 72031) pode ser observado no diagrama unifilar no apêndice A.

Ao iniciar o programa, o sistema apresenta a tela de abertura do programa (figura 5.1). Neste ponto o usuário deve selecionar o menu arquivo e selecionar uma nova solicitação de desligamento (SD), e o programa abre a tela para preenchimento do formulário da solicitação

(figura 5.2). Feito o devido preenchimento do formulário, deve-se pressionar o botão de “O.K.” para finalizar a operação. Estas informações ficarão disponíveis para consulta no sistema, quanto à aprovação ou reprovação do pedido.

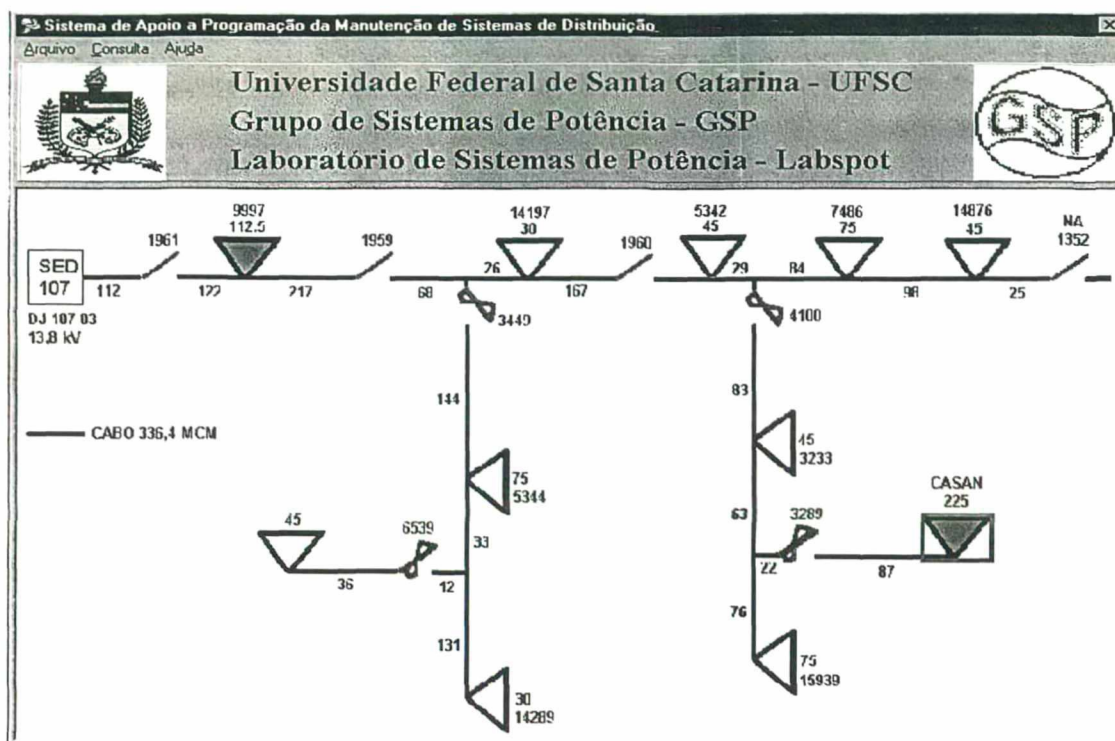


Figura 5.1 – Tela de Início do Sistema – Exemplo 1

The form is titled 'SOLICITAÇÃO DE DESLIGAMENTO - SD' and includes the following fields:

- Agency:** Florianópolis
- Area:** ARFLO
- Municipality:** Florianópolis
- Date Disconnection:** 12/06/2001
- Day of the Week:** Segunda
- Hour:** 14:00
- Duration:** 16:00
- Disconnection of:** 2 Particular
- Equipments that delimit the section of the network to be disconnected:** 72031
- Special Events:** 3420
- Location of the section / Street / Neighborhood:** Rua: Bertalutz, 170 Cachoeira do Bom Je
- Type of Locality:** Bairro
- Service to be Executed:** Alteração do Padrão de Entrada do Hotel, com troca de poste e cruzeta
- Will there be changes in the network:** Altera temporariamente
- Company that will execute the services:** UFSC
- Local for delivery and receipt of the disconnected network section:** no local
- Responsible for the Disconnection:** Carlos
- Responsible for the Request:** Carlos
- Center of Operation of the Distribution - COD:** 75 COD
- Responsible for the Disconnection:** Moacir
- Observations:** Abertura de Chave Fusível sem Carga

Figura 5.2 – Tela da Solicitação de Desligamento – Exemplo 1

Depois disso, deve-se entrar no menu consulta, no item iniciar para aparecer a tela de consulta (figura 5.3). Esta tela apresenta as solicitações dos últimos 15 dias, conforme requisitado pelo especialista. Basta então selecionar a solicitação pelo seu número e apertar o botão (Consultar) para iniciar a consulta. Logo em seguida o sistema apresenta o resultado, bastando selecionar a paleta de resultado (figura 5.4).

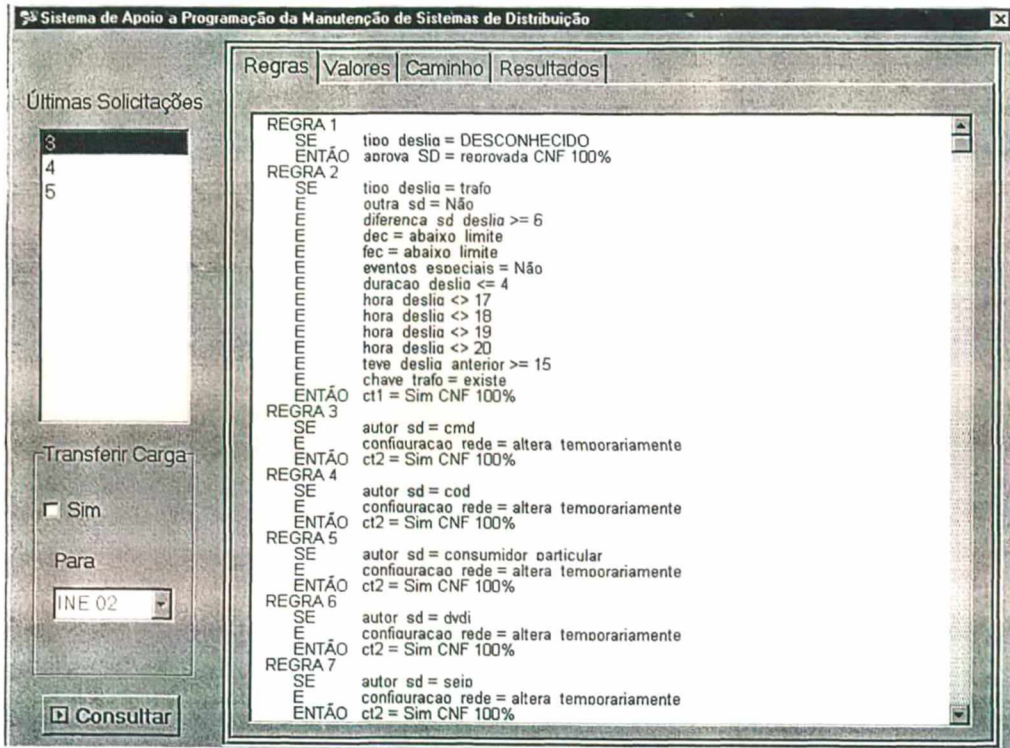


Figura 5.3 – Tela de Consulta – Exemplo 1

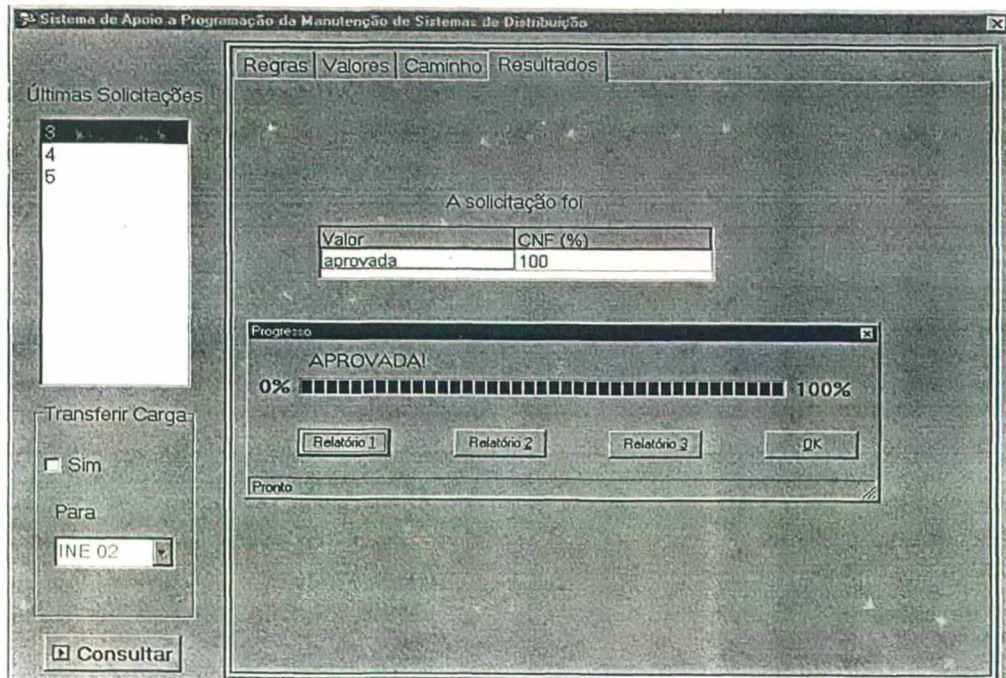


Figura 5.4 – Tela de Resultado da Consulta – Exemplo 1

O sistema possui a alternativa de apresentar o caminho percorrido e lista dos valores instanciados no processo de inferência, conforme figuras 5.5 e 5.6.

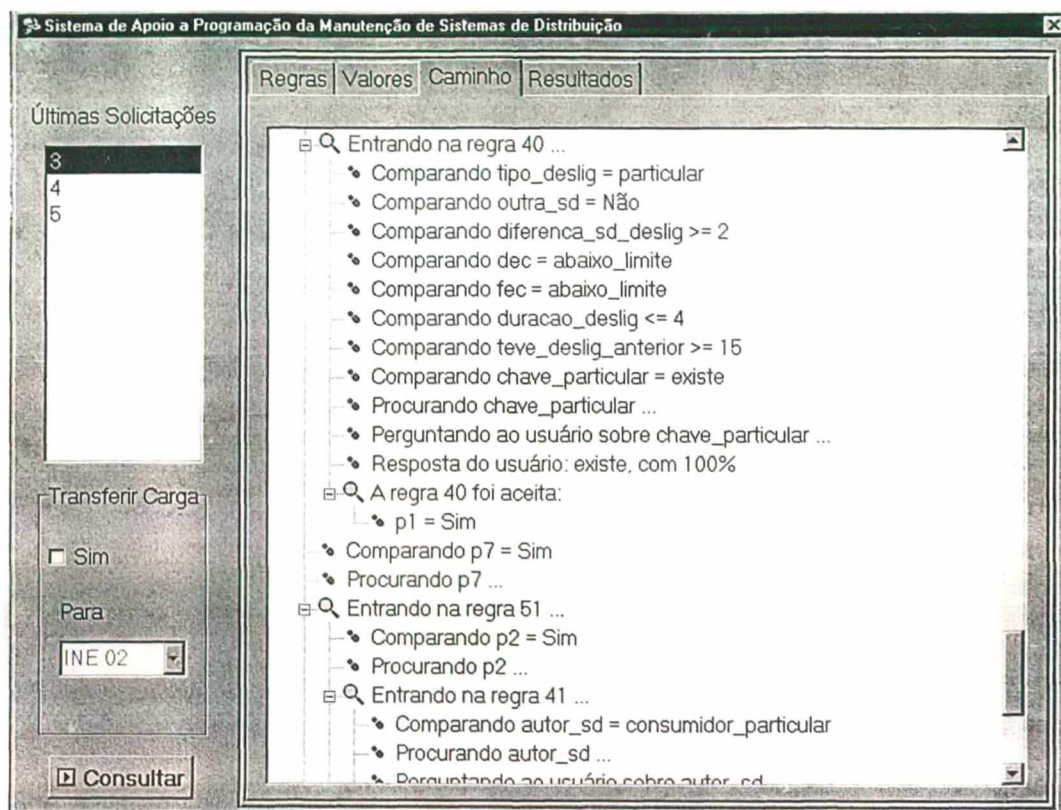


Figura 5.5 – Tela de Explicação – Caminho Percorrido – Exemplo 1

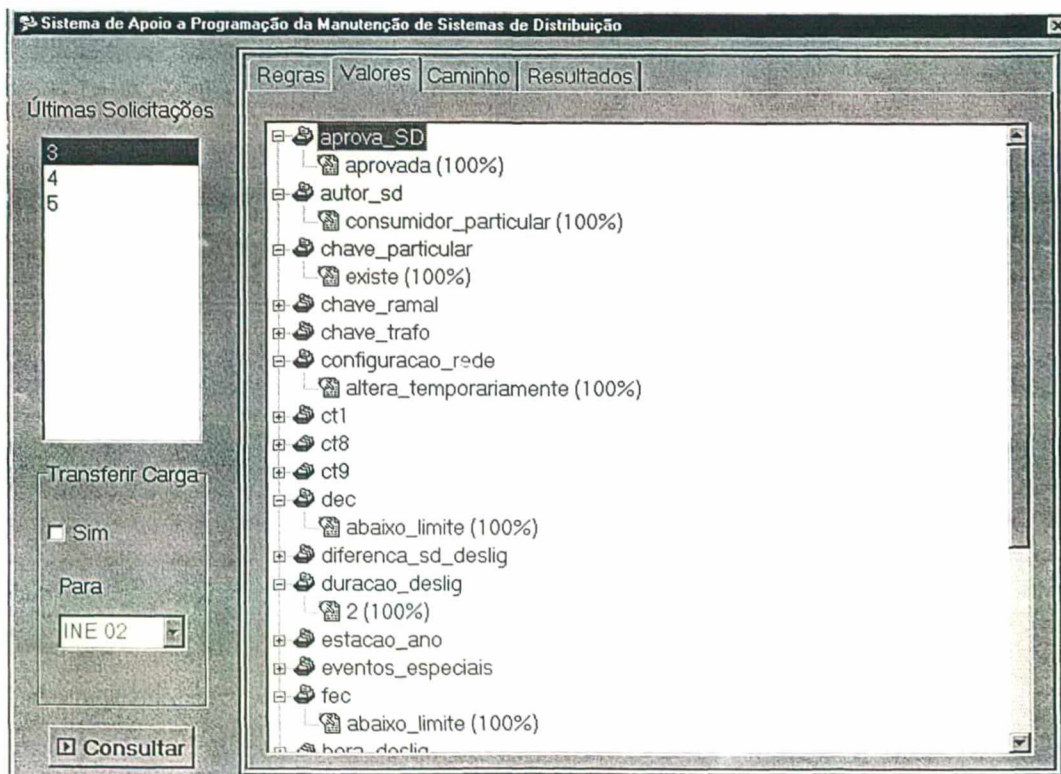



Figura 5.6 – Tela dos Valores Instanciados – Exemplo 1

Além disso o sistema pode emitir 3 relatórios para serem entregues ao despachante. Estes relatórios são apresentados nas figuras 5.7, 5.8, e 5.9.

SEAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição




### Relatório de Solicitação de Desligamento

**Solicitação Número:** 3

Agência Florianópolis	Área ARFLO	Município Florianópolis	Data 12 / 8 / 2001	Dia da Semana Segunda
Horário 14:00 às 18:00	Duração 2	Desligamento de Particular	Equipamentos 72001 3420	Eventos Não
Localização Rua: Betalutz, 170 Cachoeira da Bom Je				Tipo Baixa
Serviço a Executar Alteração do Padrão de Entrada do Hotel, com troca de poste e cruzeta				
Alterações na Rede Alta temporariamente	Execução UFSC	Entrega e Recebimento do Trabalho na local		
Observações A pedido do cliente				
Titular Responsável UFSC	Sector CONSUMIDOR	Substituto Responsável UFSC	Também Resp. Pelo Deslig. Sim	
Responsável Pelo Desligamento Carlos		Responsável Pela Solicitação Carlos		
Centro de Operações da Distribuição - COD				
Data do Recebimento 12 / 8 / 2001	Horário 07:00:00	Tipo Sem Carga	KVA 75	Responsável COD Macier
Observações Abertura de Chave Fusível sem Carga				
				Situação <b>A P R O V A D A</b>

Figura 5.7 – Relatório de Solicitação de Desligamento – Exemplo 1

SEAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição



### Clientes Que Devem Ser Avisados

NOME	FONE	FAX	Horário	Duração
HOTEL ATLANTIS	200000		14:00	2

Figura 5.8 – Relatório de Clientes a Serem Avisados – Exemplo 1

SCAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição



**DECLARAÇÃO DE TRECHO DESLIGADO - DTD**

Trecho: 72001 3420

Responsável: Maciel

**ENTREGA DE TRECHO DESLIGADO**

Eu, representante da COD, abaixo assinada, declaro, ao responsável pelos trabalhos, que o trecho de rede, identificada acima, está desligado.

Data: 12 / 6 / 2001 Horário: 14:00 Assinatura: Matricula: COD

Eu, responsável pelos trabalhos, abaixo assinada, declaro, ao representante da COD, que o trecho de rede, identificada acima, está liberada para religamento.

Data: Horário: Assinatura: Matricula:

Observações:

Figura 5.9 – Declaração de Trecho Desligado – Exemplo 1

O primeiro relatório (figura 5.7) serve para que o despachante possa selecionar uma turma para efetuar o desligamento, quando for o caso. O segundo (figura 5.8) serve para avisar o cliente do desligamento e o terceiro é a Declaração de Trecho Desligado (figura 5.9), que será assinada pelo responsável e entregue ao eletricitista, para o mesmo executar os trabalhos na rede. Este documento deve ser devolvido após o término dos trabalhos na rede.

### 5.3 Exemplo 2: Programação de Desligamento de um Transformador da Concessionária

O desligamento de um transformador da concessionária pode ocorrer por solicitação dos setores de manutenção, iluminação pública, construção e divisão de distribuição, ou até o próprio centro de operação da distribuição. Estes setores podem pedir o desligamento programado de qualquer equipamento do sistema, ou qualquer trecho da rede. Para tal, deve-se preencher a solicitação de desligamento, para posterior análise pelo engenheiro programador de desligamentos.

Para dar seu parecer, o engenheiro observa o atendimento dos seguintes requisitos:

- O preenchimento correto do formulário padrão com as informações pertinentes;
- A existência de um desligamento programado no trecho da rede;
- Verificar os consumidores afetados pelo desligamento, bem como o tipo de atividade do consumidor e a época do ano;
- Verificar o valor dos índices de confiabilidade;
- A existência de eventos especiais ligados ao componente (equipamento)
- As alterações a serem feitas na rede;
- Verificar se a data do pedido foi feita com 6 dias de antecedência ao desligamento programado;
- Verificar a não existência de duplicidade de solicitações de desligamento para o mesmo componente da rede.

Estes itens devem ser verificados para que a solicitação de desligamento seja atendida. Analisando estas condições, respectivamente, exceto as analisadas no exemplo anterior, tem-se:

- Dependendo do tipo do consumidor, este deve ser avisado por escrito, para cliente com carga superior a 500 kW do desligamento com antecedência de 5 (cinco) dias úteis e os demais com antecedência de 72 horas, para que não seja surpreendido e tenha problemas, em função de sua atividade. Por exemplo, se este cliente for um restaurante, o desligamento pode inviabilizar que o mesmo sirva almoço ou jantar a seus clientes, principalmente se este desligamento é no verão, os turistas serão prejudicados;
- Novamente, um desligamento será contabilizado nos índices de confiabilidade que devem ser verificados quanto ao seus valores no momento do pedido, para que a concessionária não receba uma multa;
- Deve-se verificar se o equipamento não está ligado à existência de eventos especiais, atrapalhando as atividades dos mesmos. Por exemplo, o transformador pode alimentar um salão comunitário, no qual haverá atividades comunitárias, o que pode inviabilizá-las;
- As alterações na rede devem ser específicas para que a operação possa controlar a configuração da rede;



- Se a solicitação de desligamento feita respeitou o prazo de 6 dias para que o programador analise a solicitação e dê seu parecer, bem como, comunicar o centro de operação da distribuição (COD), para mobilizar uma turma para manobrar a rede (disponibilidade).

O sistema inicia novamente pela tela de abertura ou se o programa não tinha sido interrompido, basta ativar a tela de solicitação em branco e preencher o formulário. Depois, seleciona-se a solicitação através de seu número correspondente e se consulta. A figura 5.10 a seguir apresenta a tela de solicitação de desligamento. Este equipamento a ser desligado (número 14289), pode ser encontrado no diagrama unifilar do apêndice A.

Sistema de Apoio a Programação da Manutenção de Sistemas de Distribuição											
SOLICITAÇÃO DE DESLIGAMENTO - SD									Número		
4											
Área Solicitante											
Agência	Área	Município		Data Desligamento		Dia da Semana					
Florianópolis	ARFLO	Florianópolis		13	6	2001	Segunda				
Horário	Duração	Desligamento de	Equipamentos que delimitam o trecho da rede a desligar		Eventos Especiais						
14:00	16:00	2	Trafo	14289		3420		Nao			
Localização do trecho / Rua / Bairro								Tipo de Localidade			
Rua: Bertalutz, 70 - Cachoeira do Bom Je								Bairro			
Serviço a Executar											
Medição do aterramento do transformador											
Haverá alterações na rede		Firma que Executará os Serviços		Local para entrega e recebimento do Trecho de Rede Desligado							
Altera temporariamente		UFSC		No local							
Observações											
Verificar resistência de aterramento											
Titular Responsável pelos Trabalhos		Setor Responsável	Substituto Responsável pelos Trabalhos		É também responsável pelo desligamento						
Carlos		CMD	UFSC		Sim						
Responsável pelo Desligamento					Responsável pela Solicitação: Nome						
Carlos					Carlos						
Centro de Operação da Distribuição - COD											
Data do Recebimento		Horário	Tipo de Desligamento		KVA a Desligar		Responsável pelo Desligamento				
12		6	2001		07:30:00		Com Carga		75	CMD	Nelson
Observações											
Abertura de Chave fusível com carga											
<div style="text-align: center;"> <span>◀</span> <span>◁</span> <span>▷</span> <span>▶</span> <span>↻</span> </div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <input type="button" value="OK"/> </div>											

Figura 5.10 – Tela de Solicitação de Desligamento – Exemplo 2

A seguir pode-se ver a tela de resultados na figura 5.11 e se desejar, o caminho percorrido na figura 5.12. A figura 5.13 apresenta os valores instanciados e a figura 5.14 o relatório da solicitação.

Assim como anteriormente, pode-se ter o relatório dos clientes a serem avisados e o relatório da declaração de trecho desligado e estes não serão apresentados novamente.

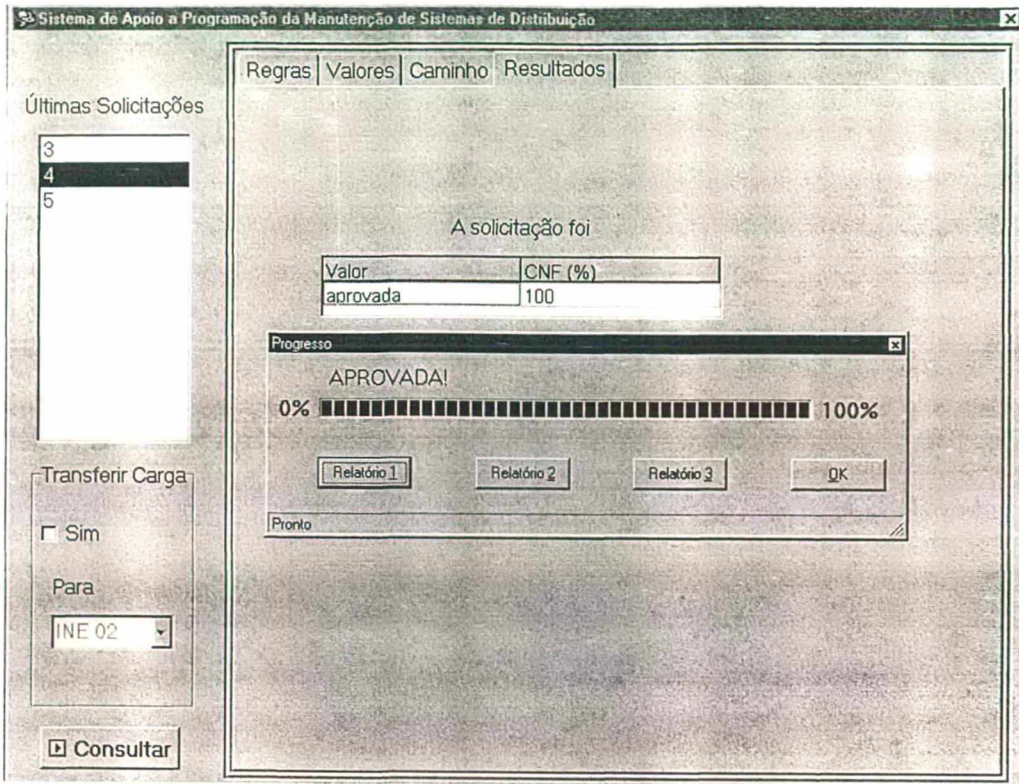


Figura 5.11 – Tela de Resultado da Consulta – Exemplo 2

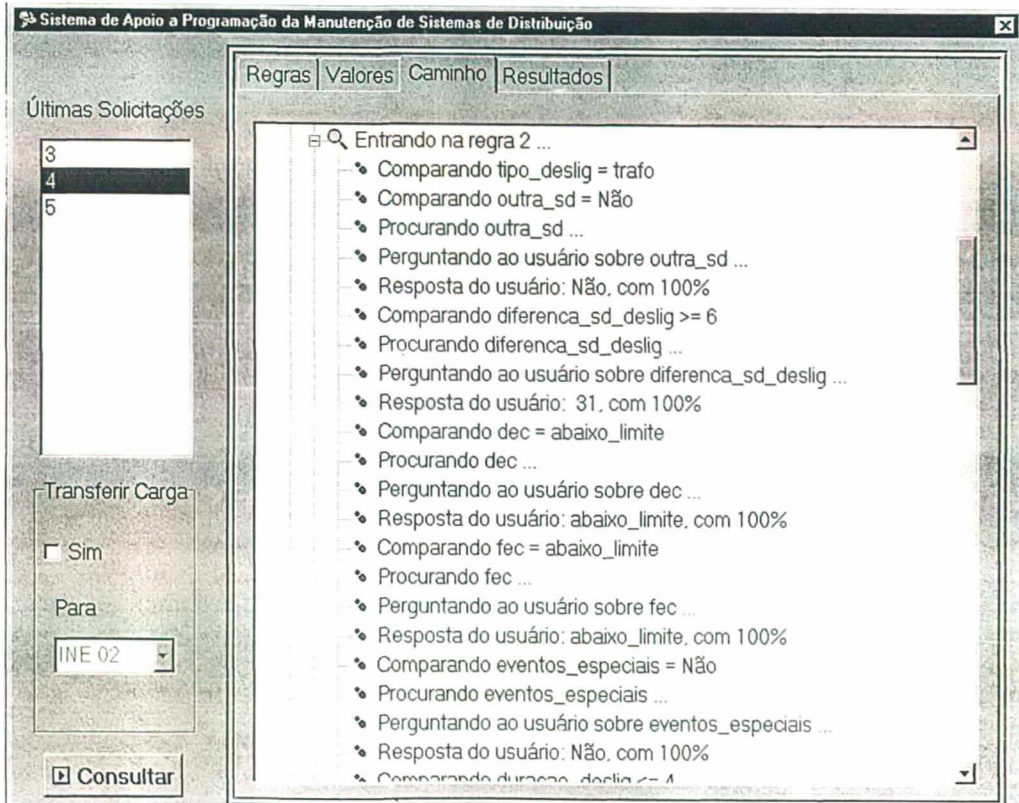


Figura 5.12 – Tela de Explicação – Caminho Percorrido – Exemplo 2

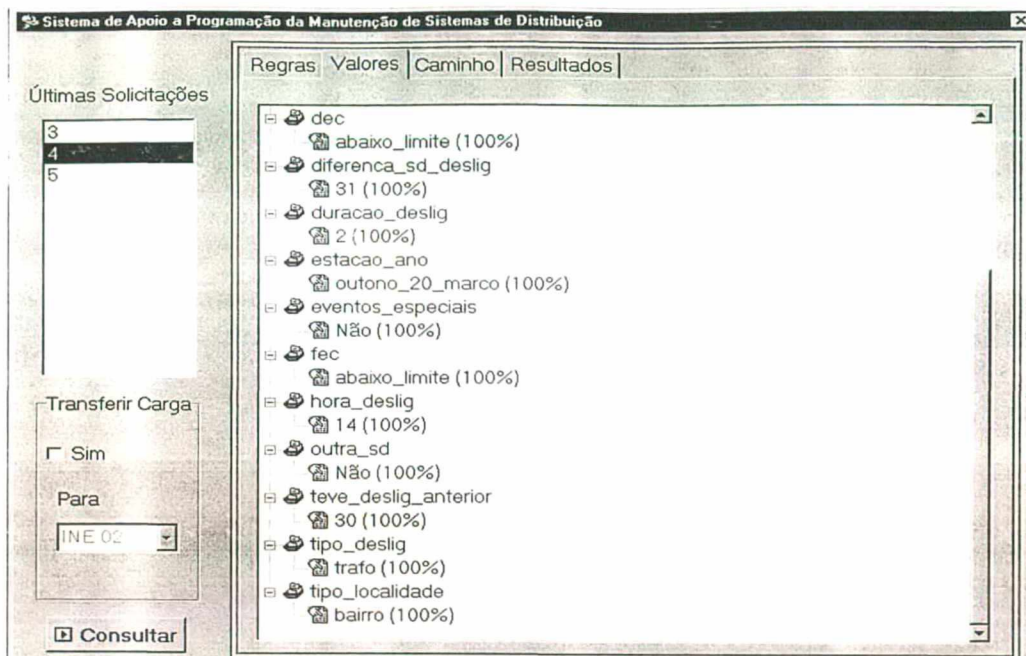



Figura 5.13 – Tela dos Valores Instanciados – Exemplo 2

SCAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição



### Relatório de Solicitação de Desligamento

Solicitação Número: 4

Agência Florianópolis	Área ARFLO	Município Florianópolis	Data 10 / 6 / 2001	Dia da Semana Segunda
Horário 14:00 às 18:00	Duração 2	Desligamento de Trafo	Equipamentos 14289 3420	Eventos Não
Localização Rua: Betaluz, 70 - Cachoeira da Bom Je				Tipo Bairro
Serviço a Executar Medição da aterramento da transformador				
Alterações na Rede Até a temporariamente	Execução UFSC	Entrega e Recebimento do Trcho No local		
Observações Verificar resistência de aterramento				
Titular Responsável Carlos	Sector CMD	Substituto Responsável UFSC	É Também Resp. Pelo Deslig. Sim	
Responsável Pelo Desligamento Carlos		Responsável Pela Solicitação Carlos		
Centro de Operações da Distribuição - COD				
Data do Recebimento 12 / 6 / 2001	Horário 07:30:00	Tipo Com Carga	KVA 75	Responsável CMD Nelson
Observações Abertura de Chave fusível com carga				
Situação A PR OVA DA				

Figura 5.14 – Relatório da Solicitação de Desligamento – Exemplo 2

Neste caso, pode-se notar a diferença de critérios conforme o tipo de desligamento.

### 5.4 Exemplo 3: Programação de Desligamento de um Ramal

Na programação de desligamentos de um ramal, os setores que podem fazer o pedido são o de manutenção e o de construção. Estes podem pedir o desligamento programado dos componentes existentes no ramal. Para tal, deve-se preencher a solicitação de desligamento, para posterior análise pelo engenheiro programador de desligamentos.

Dentre os requisitos a serem observados, o engenheiro analisa os seguintes:

- O preenchimento correto do formulário padrão com as informações pertinentes;
- A existência de um desligamento programado no trecho da rede;
- Verifica os consumidores afetados pelo desligamento, bem como o tipo de atividade do consumidor e a época do ano;
- Verifica o valor dos índices de confiabilidade;
- A existência de eventos especiais ligados ao trecho da rede;
- A existência de uma chave para seccionar o ramal;
- As alterações a serem feitas na rede;
- Verifica se a data do pedido foi feita com 6 dias de antecedência ao desligamento programado;
- Verifica a não existência de duplicidade de solicitações de desligamento para o mesmo componente da rede.

Estes itens devem ser verificados para que a solicitação de desligamento seja atendida, como pode-se observar, são os mesmos itens do caso de solicitação de desligamento de um transformador da concessionária, exceto que deve haver uma chave para seccionar o ramal. Se não houver esta chave, seria preciso abrir uma chave no alimentador, o que iria desligar mais clientes que o necessário. Neste caso, o índice DEC teria o seu valor acrescido em função de que mais clientes ficariam interrompidos.

No caso do desligamento deste ramal, o exemplo foi feito para mostrar que se houve uma aprovação de um equipamento naquele trecho, o sistema irá reprovar a solicitação já que o transformador no qual foi pedido o desligamento faz parte do mesmo trecho de rede. Neste caso, os serviços devem ser agrupados no conjunto de desligamento maior que é o ramal. Como antes de consultar o ramal, foi consultado o transformador e este foi aprovado, o sistema não pode incluir um conjunto maior (ramal) no desligamento do transformador que é o conjunto menor. O trecho do ramal a ser interrompido (número 3420) pode ser encontrado no diagrama unifilar do apêndice A.

O sistema começa novamente pela tela de abertura ou, se o programa não tinha sido interrompido, pode-se ativar a tela de solicitação e preencher um novo formulário. Portanto, a tela de abertura do programa não será apresentada novamente. Depois, basta selecionar a solicitação através de seu número correspondente e consultar o sistema. A figura 5.15 apresenta a tela de solicitação de desligamento e as figuras 5.16 e 5.17 os resultados.

**Sistema de Apoio a Programação da Manutenção de Sistemas de Distribuição**

**SOLICITAÇÃO DE DESLIGAMENTO - SD** Número: 5

**Área Solicitante**

Agência: Florianópolis | Área: ARFLO | Município: Florianópolis | Data Desligamento: 12/6/2001 | Dia da Semana: Segunda

Horário: 14:00 - 16:00 | Duração: 2 | Desligamento de: Ramal | Equipamentos que delimitam o trecho da rede a desligar: 3420 | Eventos Especiais: 1958 | Não

Localização do trecho / Rua / Bairro: Rua: Bertalutz - Cachoeira do Bom Jesus | Tipo de Localidade: Bairro

Serviço a Executar: Limpeza de vegetação na rede, lavagem de isoladores e colocação de separador de condutores

Haverá alterações na rede: Altera temporariamente | Firma que Executará os Serviços: CELESC | Local para entrega e recebimento do Trecho de Rede Desligado: No local

Observações: O serviço deverá ser feito em conjunto com o desligamento do transformador do St. Carlos

Titular Responsável pelos Trabalhos: Ademir | Setor Responsável: CMD | Substituto Responsável pelos Trabalhos: Gilberto | É também responsável pelo desligamento: Sim

Responsável pelo Desligamento: Ademir | Responsável pela Solicitação: Nome: Gilberto

**Centro de Operação da Distribuição - COD**

Data do Recebimento: 12/6/2001 | Horário: 07:30:00 | Tipo de Desligamento: Com carga | KVA a Desligar: 150 | Responsável pelo Desligamento: CMD | Paulo

Observações: Desligar o ramal após a abertura do transformador

Navigation: [Back] [Previous] [Next] [Forward] [Refresh] [OK]

Figura 5.15 – Tela de Solicitação de Desligamento – Exemplo 3

**Sistema de Apoio a Programação da Manutenção de Sistemas de Distribuição**

Regras | Valores | Caminho | Resultados

Últimas Solicitações: 3, 4, 5

Transferir Carga:  Sim


Para: INE 02

Consultar

- dec
  - abaixo\_limite (100%)
- diferenca\_sd\_deslig
  - 2 (100%)
- duracao\_deslig
  - 2 (100%)
- estacao\_ano
  - outono\_20\_marco (100%)
- fec
  - abaixo\_limite (100%)
- outra\_sd
  - Não (100%)
- p1
  - Não (100%)
- r9
  - teve\_deslig\_anterior
    - 3 (100%)
- tipo\_deslig
  - ramal (100%)
- tipo\_localidade
  - bairro (100%)

Figura 5.16 – Tela de Resultados Ramal – Exemplo 3

SCAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição



### Relatório de Solicitação de Desligamento

**Solicitação Número: 5**

Agência Florianópolis	Área ARFLO	Município Florianópolis	Data 12 / 8 / 2001	Dia da Semana Segunda
Horário 14:00 às 18:00	Duração 2	Desligamento de Ramal	Equipamentos 0420 1958	Eventos Não
Localização Rua: Betalutz - Cachoeira da Bom Jesus				Tipo Bairro
Serviço a Executar Limpeza de vegetação na rede, lavagem de isoladores e cablagem de separador de condutores				
Alterações na Rede Alter. temporariamente	Execução CELESC	Entrega e Recebimento do Trecho No local		
Observações O serviço deverá ser feito em conjunto com a desligamento do transformador da Str. Carbas				
Titular Responsável Ademir	Sector CMD	Substituto Responsável Gilbeta	É Também Resp. Pelo Deslig. Sim	
Responsável Pelo Desligamento Ademir		Responsável Pela Solicitação Gilbeta		
Centro de Operações da Distribuição - COD				
Data do Recebimento 12 / 8 / 2001	Horário 07:00:00	Tipo Com carga	KVA 150	Responsável CMD Paub
Observações Desliga ramal após a abet. do transformador				
Situação <b>REPROVADA</b>				

Figura 5.17 – Relatório de Solicitação de Desligamento – Exemplo 3

Como pode ser observado nas figuras acima, havia uma solicitação de desligamento aprovada no mesmo trecho da rede, isto é, a desligamento do transformador. Como um trecho de rede não deve ser desligado mais de uma vez em um curto espaço de tempo e a solicitação de desligamento do transformador havia sido consultada primeiro, a solicitação do ramal foi reprovada. É claro que a do ramal teria preferência e a tendência é aproveitar o mesmo desligamento para efetuar as atividades em conjunto no mesmo dia, mesmo que por equipes ou empresas diferentes, para efetuar os serviços necessários de acordo com cada caso, sem causar múltiplas interrupções.

Neste caso, a não existência da solicitação do transformador ou se a mesma estivesse arquivada mas ainda não tivesse sido analisada, o desligamento do ramal seria aprovado. Assim, quando a solicitação do transformador fosse analisada, seria reprovada. O motivo da reprovação é a duplicação de interrupções em um curto intervalo.

### 5.5 Exemplo 4: Programação de Desligamento de um Alimentador

O desligamento programado de um alimentador é o caso mais crítico, pois dependendo do trecho da rede onde este irá ocorrer, um maior número de clientes será interrompido e maior será a perda de credibilidade da concessionária. Além disso, ao solicitar uma interrupção de um alimentador, pode-se ter um hospital, uma fábrica ou um banco, onde mesmo uma manobra na rede para transferir carga para outro alimentador poderá causar prejuízos irreparáveis, devendo estes clientes ser avisados do desligamento e por acaso de uma manobra na rede (em torno de 3 minutos).

Nos casos de desligamentos em alimentadores existe a possibilidade de transferir parte da carga entre alimentadores, de modo a minimizar os prejuízos de todas as ordens, além de minimizar os índices de confiabilidade devido às interrupções programadas. Para verificar a possibilidade de transferência de carga entre alimentadores, é necessário executar um fluxo de potência de modo a simular as condições do alimentador que irá receber a carga. Entre as restrições a serem observadas no fluxo de potência estão:

- A máxima queda de tensão;
- A corrente nos condutores abaixo do limite;
- O tempo que este desligamento irá durar.

O tempo está relacionado à possibilidade de sobrecarga em um alimentador por um curto período de tempo, isto é, todos os materiais, dispositivos, equipamentos e componentes conectados à rede poderão operar em condições precárias por algum tempo, sem que suas características de projeto sejam deterioradas permanentemente, embora haja um desgaste.

Este fluxo de potência visa responder ao núcleo do sistema especialista sobre a possibilidade de transferência de carga entre alimentadores. A impossibilidade, irá gerar uma reprovação na solicitação de desligamento. Nestes casos, a concessionária deverá negociar com os clientes um horário e a duração da interrupção, para poder efetuar os serviços, sendo cada caso um caso. Como alternativa, pode-se deslocar turmas de linha-viva para tais atividades ou quando um desligamento não programado ocorrer, aproveitar para efetuar uma parte do serviço ou todo o serviço, dependendo do tempo necessário para o restabelecimento do fornecimento.

De forma similar aos casos anteriores, para pedir um desligamento num alimentador, deve-se preencher o formulário da solicitação de desligamento e esperar pela aprovação ou

reprovação do engenheiro programador. Entretanto, na prática, nem os valores dos índices de confiabilidade (DEC e FEC) acumulados são verificados, muito menos a ocorrência de um desligamento no trecho referido, pois isto demandaria tempo que o engenheiro não dispõe para tal tarefa. Um programa de fluxo de potência nunca é executado, pois o especialista admite que o sistema é estático por um período de um ano e que não há um grande crescimento de carga. Entretanto, isto é uma heurística que pode trazer graves conseqüências, no caso da hipótese ser falsa. É claro que isto geralmente se confirma, mas algumas vezes os desligamentos são interrompidos e os serviços não realizados devido a uma má avaliação das condições da rede. De tempos em tempos, o especialista observa a curva de carga dos alimentadores da subestação, isto é, a medida de corrente nos condutores (carregamento).

Além disso, uma segunda dificuldade do engenheiro programador é pesquisar todos os clientes conectados no trecho que exerçam uma atividade especial e que, portanto, devam ser avisados. Isto deve-se ao fato de que o tempo para pesquisar os registros é inviável. No caso da ferramenta, o banco de dados é capaz de fazer a pesquisa com rapidez, além de permitir inclusões de registros sem qualquer alteração no programa (flexibilidade e modularidade).

Geralmente, os índices de confiabilidade só são calculados no momento em que devem ser fornecidos para ANEEL (antigamente DNAEE), sendo uma restrição que o engenheiro programador nunca avalia. A tempos atrás a análise dos índices era incluída, mas isto inviabilizava o processo como um todo, pois o engenheiro não dava conta de retornar a informação de todos os pedidos em tempo. Na ferramenta desenvolvida os índices são monitorados e calculados rapidamente considerando que o desligamento solicitado seja efetuado e tenha a duração prevista, sendo estabelecido um valor percentual do valor máximo admitido dos índices. A heurística adotada é estabelecer um percentual dos índices de confiabilidade em relação aos limites estabelecidos pela ANEEL para aceitar ou postergar o desligamento. Neste caso, quantifica-se o número de desligamentos programados do ano anterior, assim como o seu percentual em relação ao total de desligamentos ocorridos na área em questão. É claro que o ideal seria uma análise estatística dos índices, mas não haveria tempo para tal análise. Com isto é estabelecido o valor numérico dos índices a serem observados no sistema. Neste caso, se o(s) valor(es) do(s) índice(s) ultrapassar(em) o(s) limite(s), a solicitação será reprovada. Assim para efetuar trabalhos na rede será necessário deslocar turmas de linha-viva.

Com base nestes valores e nas restrições para a aprovação de uma solicitação de desligamento em uma alimentador, o engenheiro programador verifica:



- O preenchimento correto do formulário padrão com as informações pertinentes;
- A existência de um desligamento programado no trecho da rede;
- Verifica os consumidores afetados pelo desligamento, bem como o tipo de atividade do consumidor e a época do ano;
- Verifica o valor dos índices de confiabilidade;
- A existência de eventos especiais ligado ao trecho da rede;
- A existência de uma chave para interromper o trecho da rede e o tipo de manobra a ser realizada se houver transferência de carga;
- As alterações a serem feitas na rede, alterando a operação normal da rede;
- Verificar se a data do pedido foi feita com 7 dias de antecedência ao desligamento programado;
- Verificar a não existência de duplicidade de solicitações de desligamento para o mesmo componente da rede.

Estes itens devem ser verificados para que a solicitação de desligamento seja atendida. Analisando estas condições, respectivamente, exceto as analisadas anteriormente, tem-se:

- Deve-se verificar se o trecho da rede não está ligado à existência de eventos especiais, atrapalhando as atividades dos mesmos;
- As alterações na rede devem ser específicas para que a operação possa controlar a configuração da rede;
- A não existência da chave implica em desligar a subestação ou outra chave a montante;
- Se a solicitação de desligamento feita respeitou o prazo de 7 dias para que o programador analise a solicitação e de seu parecer, bem como, comunicar o centro de operação da distribuição (COD), para mobilizar uma ou mais turmas para manobrar a rede.

A ferramenta proposta é capaz de gerenciar estas restrições automaticamente, através do banco de dados, programas procedimentais e sistema especialista. Com isto fica mais fácil gerenciar e obter as informações e emitir um parecer quanto à aprovação ou reprovação de uma solicitação de desligamento. A figura 5.18 apresenta a tela da solicitação de desligamento de um alimentador preenchida, a 5.19 a tela de consulta, a 5.20 dos valores inferidos, a 5.21 do caminho percorrido, a 5.22 do relatório da solicitação, a 5.23 dos clientes a serem avisados e 5.24 da declaração de trecho desligado.

Sistema de Apoio a Programação da Manutenção de Sistemas de Distribuição

## SOLICITAÇÃO DE DESLIGAMENTO - SD

Número

---

**Área Solicitante**

Agência	Área	Município	Data Desligamento		Dia da Semana
Florianópolis	ARFLO	Florianópolis	12	6	2001
Horário	Duração	Desligamento de	Equipamentos que delimitam o trecho da rede a desligar		Eventos Especiais
08:00	11:00	3 Alimentador	1917		1958 Nao
Localização do trecho / Rua / Bairro					Tipo de Localidade
Av. Luiz Boiteux Piazza - Cachoeira do					Bairro

**Serviço a Executar**  
 Poda de árvores, retirada de elementos estranhos à rede, lavagem de isoladores, troca de postes e cruzetas.

Haverá alterações na rede  Fima que Executará os Serviços  Local para entrega e recebimento do Trecho de Rede Desligado

Alterar temporariamente  Observações  
 O trecho deve ser aberto sob carga, com Loadbuster. a carga restante deve ser transferida ao alimentador INE 05.

Titular Responsável pelos Trabalhos  Setor Responsável  Substituto Responsável pelos Trabalhos  É também responsável pelo desligamento  Nao

Responsável pelo Desligamento  Responsável pela Solicitação: Nome

**Centro de Operação da Distribuição - COD**

Data do Recebimento	Horário	Tipo de Desligamento	KVA a Desligar	Responsável pelo Desligamento
12	6	2001	07:30:00	Alimentador
			2100	COD
Moacir				

Observações  
 Haverá abertura de carga com loadbuster e bloqueio do relé de neutro.

Figura 5.18 – Tela de Solicitação de Desligamentos – Exemplo 4

Sistema de Apoio a Programação da Manutenção de Sistemas de Distribuição

Últimas Solicitações

6

Transferir Carga

Sim

Para

Regras | Valores | Caminho | Resultados

A solicitação foi

Valor	CNF (%)
aprovada	100

Progresso

APROVADA!

0%  100%

Pronto

Figura 5.19 – Tela de Resultados – Exemplo 4

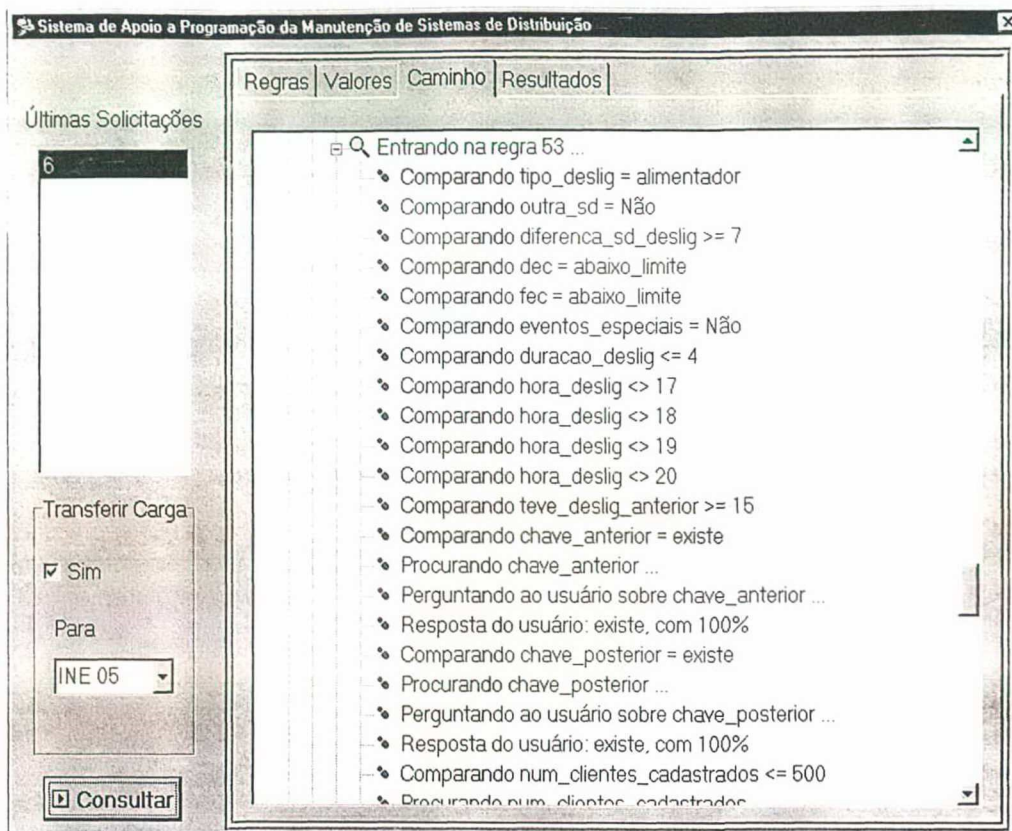


Figura 5.20 – Tela de Explicação – Caminho Percorrido – Exemplo 4

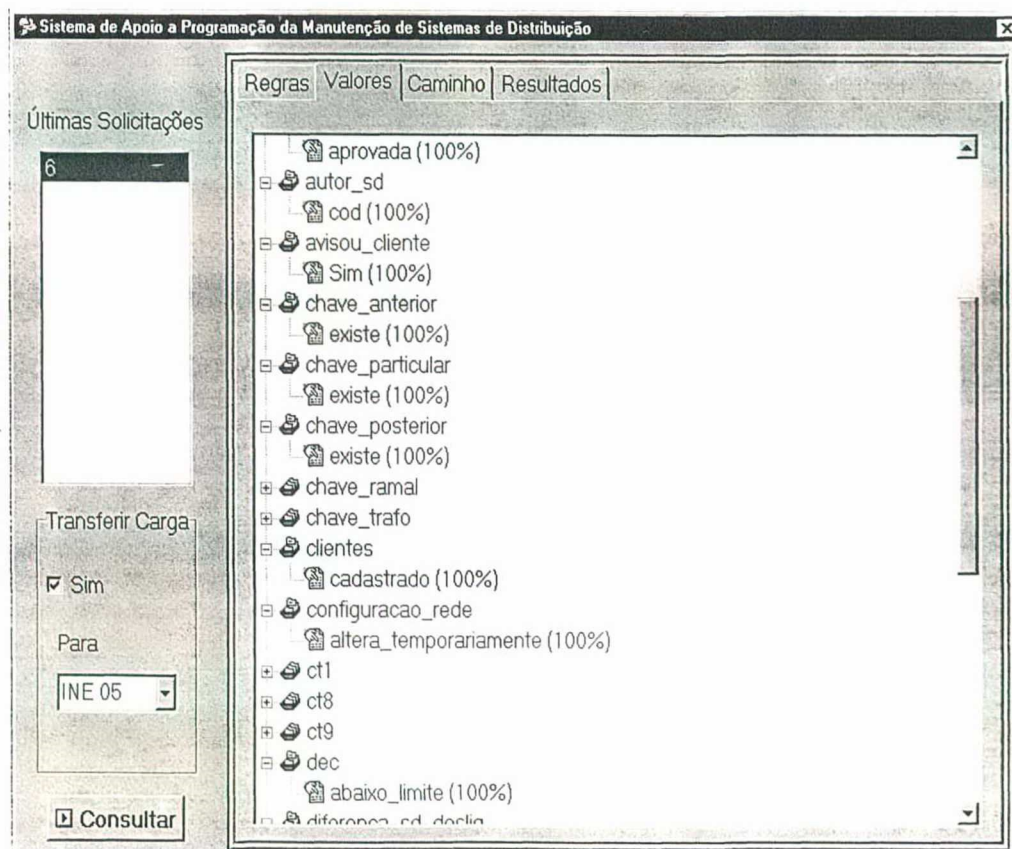



Figura 5.21 – Tela de Valores Instanciados – Exemplo 4

SCAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição



### Relatório de Solicitação de Desligamento

Solicitação Número: 6

Agência Florianópolis	Área AR.FLO	Município Florianópolis	Data 12 / 6 / 2001	Dia da Semana Segunda
Horário 08:00 às 11:00	Duração 3	Desligamento de Alimentador	Equipamentos 1917	Eventos Não
Localização Av.: Luiz Bo Lenz, Piazza - Cachoeira da				Tipo Baixa
Serviço a Executar Poda de árvores, estada de elementos estanhos à rede, lavagem de isoladores, troca de postes e cruzetas.				
Alterações na Rede Alta temporária		Execução UFSC	Entrega e Recebimento do Trecho na local	
Observações O trecho deve ser aberto sob carga, com Loadbuster, a carga restante deve ser transferida ao alimentador INE OS.				
Titular Responsável Carlos	Sector COD	Substituto Responsável Maacir	Também Resp. Pelo Deslig. Não	
Responsável Pelo Desligamento COD		Responsável Pela Solicitação Carlos		
Centro de Operações da Distribuição - COD				
Data do Recebimento 12 / 6 / 2001	Horário 07:00:00	Tipo Alimentador	KVA 2100	Responsável COD Maacir
Observações Haverá abertura de carga com loadbuster e triagem da rede de neutro.				
				Situação APROVADA

Figura 5.22 – Tela do Relatório de solicitação de Desligamento – Exemplo 4

SCAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição




### Clientes Que Devem Ser Avisados

NOME	FONE	FAX	Horário	Duração
IND DE ALIMENTOS SABORE	2945309		08:00	3
OFICINA TREVÓ	2981517		08:00	3
PANIF PONTO CERTO	2473005		08:00	3
PANIF TENDERA	2982058	2990700	08:00	3
PANIF TRES IRMÃOS	9724635		08:00	3
RESID BELLINO	2981147		08:00	3
SERTE	2980249		08:00	3

Figura 5.23 – Tela de Clientes a serem Avisados – Exemplo 4

SCAPOM - Sistema de Apoio da Manutenção de Sistemas de Distribuição



### DECLARAÇÃO DE TRECHO DESLIGADO - DTD

Trecho

Responsável

ENTREGA DE TRECHO DESLIGADO

E u, representante da COD, abaixo assinado, declaro, ao responsável pelos trabalhos, que o trecho de rede, identificado acima, está desligado.

Data  Horário  Assinatura  Matrícula

E u, responsável pelos trabalhos, abaixo assinado, declaro, ao representante da COD, que o trecho de rede, identificado acima, está liberado para religamento.

Data  Horário  Assinatura  Matrícula

Observações

Figura 5.24 – Tela de Declaração de Trecho Desligado – Exemplo 4

Como observado, na programação de desligamentos de alimentadores, todos os clientes encontrados no trecho a ser desligado foram pesquisados para serem avisados no caso da aprovação. Esta informações encontram-se no banco de dados no cadastro de clientes. Estes clientes possuem uma classificação e segundo esta, estes são ou não avisados. Além disso, as restrições apresentadas para a aprovação da solicitação foram respeitadas, de modo que o sistema aprovou o desligamento.

## 5.6 Conclusões Finais

O sistema apresenta uma boa interface com o usuário, de modo similar aos documentos utilizados pelo especialista na prática. Isto proporciona uma boa aceitação da ferramenta, pois o especialista sente-se como se seus padrões de trabalho não tenham sido bruscamente alterados.

Além disso a tela de explicação permite ao especialista verificar o caminho percorrido pelo sistema, bem como os valores das variáveis instanciadas, de modo que este compare com sua forma de pensar e de resolver o problema. Esta interface é um componente indispensável para validar a ferramenta, mesmo que apenas um protótipo.

O sistema elimina a necessidade do especialista verificar se todas as informações referentes ao desligamento contidas no formulário foram devidamente preenchidas. Caso isto não ocorra, a solicitação será reprovada e quem solicitou deverá completar as informações pertinentes, respeitados os prazos estabelecidos para nova solicitação. Além disso, faz com que as áreas que fazem os pedidos tenham maiores responsabilidades no preenchimento correto do formulário.

O sistema armazena a situação de uma solicitação de desligamento, que pode ser reprovada, aprovada, ou estar esperando para ser aprovada ou reprovada. Isto elimina a possibilidade de elaboração de duas solicitações de desligamento para um mesmo trecho da rede, já que o sistema percorre os equipamentos delimitados pelas chaves iniciais e finais. É importante notar que esta pesquisa não é na forma de um grafo, mas nos registros do banco de dados.

O sistema atingiu o requisitos estabelecidos na sua concepção, tornando-se uma ferramenta alternativa para a programação de desligamentos de sistemas de distribuição, considerando a sua complexidade como um todo. Abordou pontos inviáveis de serem considerados na programação sem o auxílio de uma ferramenta computacional, facilitando o trabalho do especialista.

### **5.7 Sugestões para Trabalhos Futuros**

Com o objetivo de aperfeiçoar o sistema desenvolvido e/ou dar continuidade a este trabalho, seria importante explorar os seguintes itens:

- Implementação de um banco de dados compartilhados do tipo cliente-servidor;
- Implementação de um fluxo de potência trifásico e com carga não-linear variável;
- Inserir dados da rede secundária de distribuição;
- Obter um cadastro completo de clientes da concessionária, na região considerada;
- Desenvolver um módulo de configuração da rede, para que o próprio sistema determine as chaves que devem ser abertas ou fechadas no caso de múltiplos chaveamentos para transferência de carga;
- Considerar as restrições de outros setores da concessionária na aprovação ou reprovação de uma solicitação de desligamento, como as restrições de manutenção.

## Apêndice A

O apêndice A apresenta o sistema utilizado para testar e validar o protótipo do sistema especialista proposto. Este sistema é composto por dois alimentadores da concessionária, referentes à Subestação Ilha Norte. O diagrama unifilar com os dados referentes ao sistema é apresentado.

No diagrama unifilar podem ser observados os alimentadores desde a subestação até as respectivas interconexões com outros alimentadores da mesma subestação. Estas ligações são utilizadas para transferência de carga entre alimentadores pela concessionária, quando uma parte do sistema a ser interrompido puder ser alimentada por outro alimentador, minimizando o número de clientes interrompidos. Estas transferências de carga entre alimentadores são feitas na prática de operação de sistemas de distribuição da concessionária.

O diagrama unifilar permite visualizar o ponto do sistema em que um pedido de desligamento foi feito, bem como o número do equipamento a ser interrompido. Com esta visualização é possível visualizar se o desligamento é de um consumidor particular, de um transformador da concessionária, de um ramal ou de um alimentador. A figura A.1 apresenta a simbologia utilizada pela concessionária no diagrama unifilar.

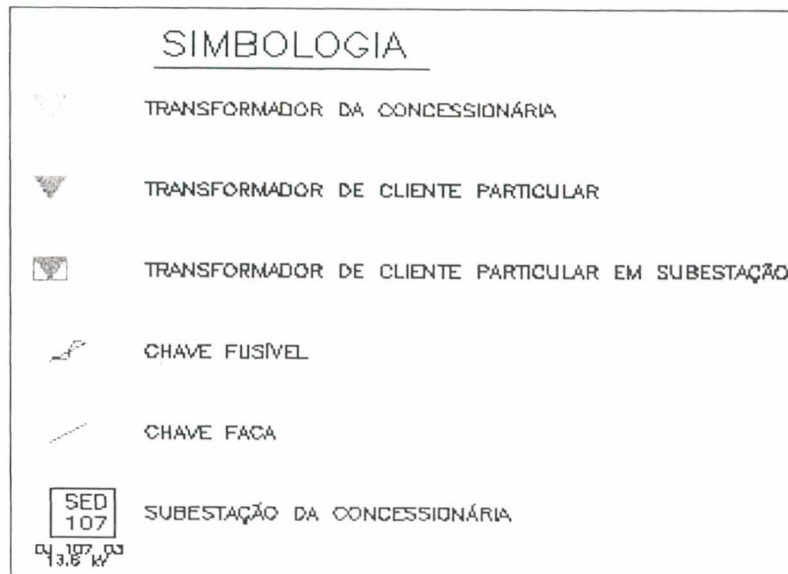
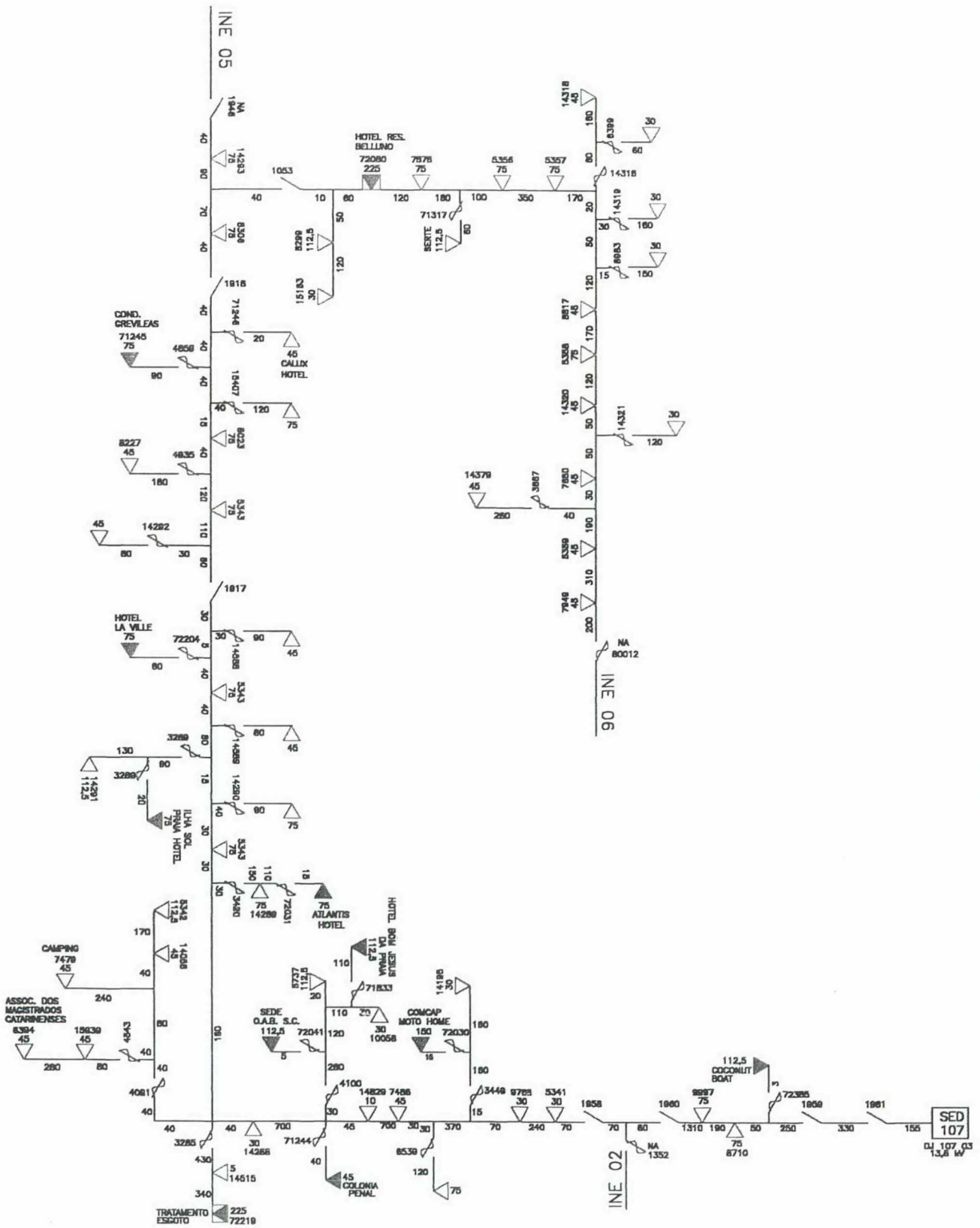


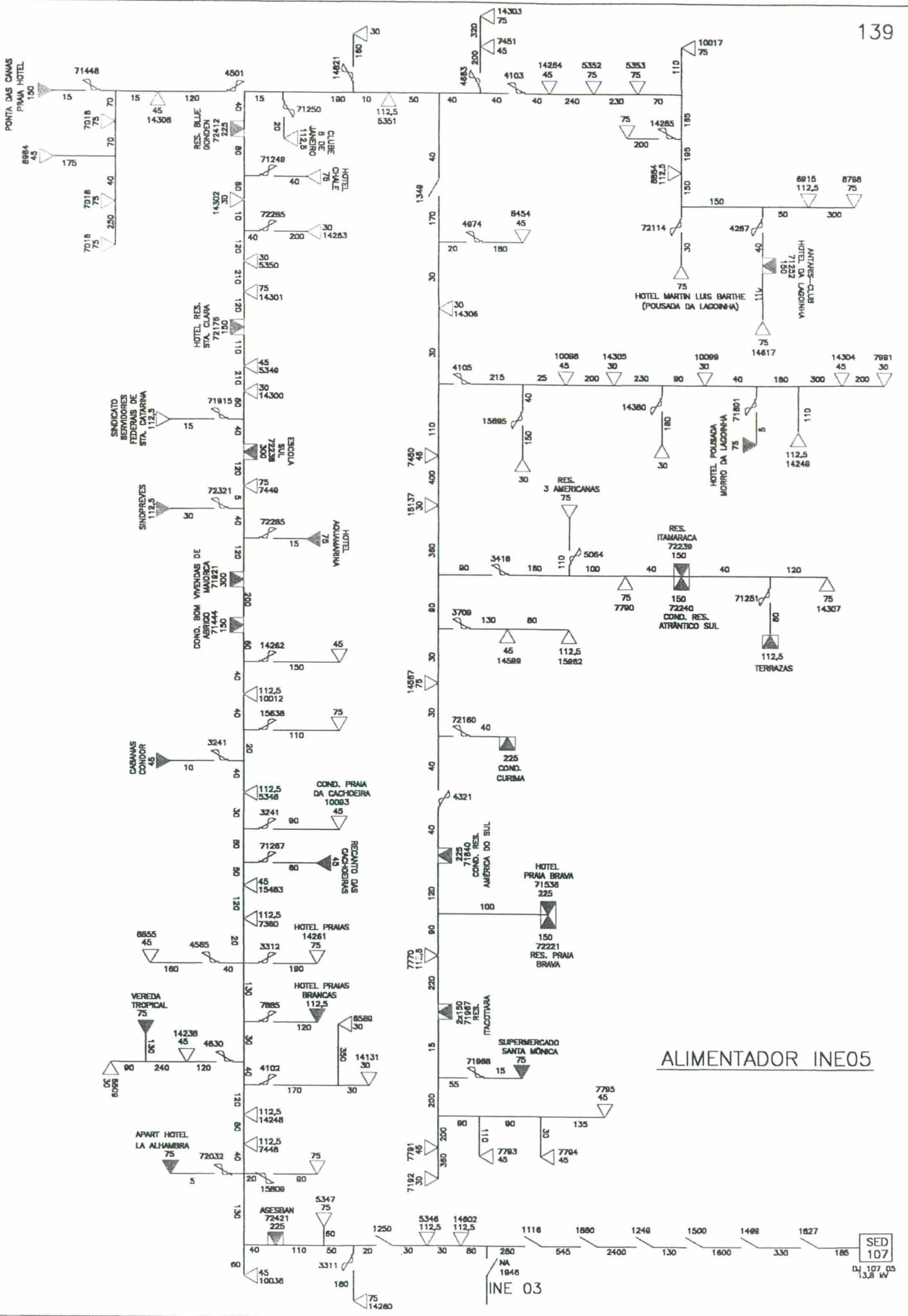
Figura A.1 – Simbologia do Diagrama Unifilar

Por fim, o diagrama unifilar auxilia a visualizar o componente do sistema no qual deseja-se fazer uma solicitação de desligamento.

ALIMENTADOR INE03







## **Bibliografia**

- ALTWEGG, J.; DUPRAS, J. P.; MARTIN, J.; et al.; 1999. O Telediagnóstico como Ferramenta de Otimização da Manutenção. In: XV SNPTEE - SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (15: out. 1999: Foz do Iguaçu, Paraná). **Anais**. Paraná, 1999.
- ARRIAGADA, A.; RUDNICK, H.; 1995. Evaluation And Improvement of Reliability Indexes In Electric Distribution Systems. In: FACT CONTROL OF POWER PLANTS AND POWER SYSTEMS (1995: Cancún, México). **Anais**. México, 1995. P. 139-143.
- ALVES, M. F.; FERNANDES, D. E. B.; 2000. Um Sistema para o Gerenciamento da Qualidade da Energia Elétrica. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA – CBA (13: set. 2000: Florianópolis). **Anais**. Florianópolis. P. 1932-1937.
- BATISTA, F. T. A.; CAMARGO, I. M. T.; 1998. Manutenção em Redes Aéreas de Distribuição em Baixa Tensão Energizada. In: III CONLADIS - CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (3: set. 1998: São Paulo, SP). **Anais**. São Paulo, 1998.p. 323-327.
- BIONDI, L.; CHIGANER, L.; 1999. Sistema Especialista Fuzzy no Diagnóstico de Falhas em Transformadores. In: XV SNPTEE – SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (15: out. 1999: Foz do Iguaçu, Paraná ). **Anais**. Paraná, 1999.
- BILLINTON, R.; ALLAN, R. N.; 1984. **Reliability Evaluation of Power Systems**. New York and London Plenum Books.
- BITETTI, W.; ORNELLAS,M.; SILVA, C. C.; et al.; 1997. Implantação do Sistema de Gerenciamento de Manutenção na CESP. In: III XIV SNPTEE – SEMINÁRIO

NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (14: 1997: Belém, PA ). **Anais**. Belém, 1997.

BRASIL. Portaria n. 046 de 17 de abril de 1978. Estabelece as disposições relativas à continuidade de serviço a serem observadas pelos concessionários de serviço público de eletricidade no fornecimento de energia elétrica a seus consumidores.

BRASIL. Portaria n. 047 de 17 de abril de 1978. Define os limites de variação de tensão, a serem observados pelos concessionários de serviço público de energia elétrica, no fornecimento de energia a seus concessionários.

BRASIL. Resolução n. 024 de 27 de janeiro de 2000. Estabelece as disposições relativas à continuidade de distribuição de energia elétrica, nos seus aspectos de duração e frequência, a serem observadas pelas concessionárias e permissionárias de serviço público de energia elétrica às unidades consumidoras.

COELHO, J.; CABRERA, F. C.; 1998. Confiabilidade de Sistema de Transmissão e Distribuição Considerando Falhas de Modo Comum. In: XII BRAZILIAN AUTOMATIC CONTROL CONFERENCE – XII CBA (12: set. 1998: Uberlândia, Minas Gerais). **Proceedings**. Minas Gerais, 1998. Vol. V. p. 1715-1720.

COUTO, M. B.; RODRIGUES, M. A. P.; SOUZA, J. C. S.; et al.; 1999. Localização de Defeitos em Sistemas de Energia Elétrica Utilizando Sistemas Inteligentes. In: XV SNTPEE – SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (15: out. 1999: Foz do Iguaçu, Paraná). **Anais**. Paraná, 1999.

CIPOLI, J. A.; 1993. **Engenharia de Distribuição**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark.

CAPANEMA, F. F.; 1999. **Ambiente para Construção de Sistemas Especialistas em Tempo Real para a Itaipu Binacional**. Florianópolis. Dissertação. Mestre em Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

COELHO, J.; 1996. **Planificacion y Operacion de Sistemas de Distribución**. 1ª ed. UFSC; LabPlan.

COELHO, J.; 1999. **Qualidade de Energia em Sistemas Industriais**. 1ª ed. UFSC; LabPlan.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA – CELESC. **Manual de Procedimentos – Programação de Desligamento, 1997**. Florianópolis, 1997.

DELBEM, A. C. B.; BRETAS, N. G.; 1998. Um Algoritmo de Inteligência Artificial com Heurísticas Fuzzy para restabelecimento de Energia em Sistemas de Distribuição Radiais. In: XII BRAZILIAN AUTOMATIC CONTROL CONFERENCE – XII CBA (12: set. 1998: Uberlândia, Minas Gerais). **Anais**. Minas Gerais, 1998. Vol. V. p. 1703-1708.

DENIS, I. A. F. E.; PADILHA, A.; 2000. Fluxo de Potência Trifásico para Redes de Distribuição. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA - CBA (13: setembro: Florianópolis). **Anais**. Florianópolis. P. 1598-1603.

Expert Sinta. Manual do Usuário – **Uma Ferramenta Visual Para Criação de Sistemas Especialistas**. Versão 1.1.,1996.

Expert Sinta Visual Component Library. Manual do Desenvolvedor – **Uma Ferramenta Visual Para Criação de Sistemas Especialistas**. Versão 1.1.,1997.

FELZKY, M. A.; SALGADO, R.; ZURN, H. H.; 1998. Fluxo de Potência em Redes Elétricas de Distribuição na Presença de Harmônicas Causadas por Cargas Não Lineares. In: III CONLADIS - CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (3: set. 1998: São Paulo, SP). **Anais**. São Paulo, 1998. p. 412-416.

FIGUEIREDO, F.; CAMARGO, I.; OLIVEIRA, M.; 1999. Transition From Cooperative to Competitive Model in Brazil the Vision of a Distribution Utility. In:

TRANSMISSION AND DISTRIBUTION CONFERENCE.(April 1999: New Orleans, LA). **Proceedings**. New Orleans, LA: IEEE/PES. P. 358-362.

GIARRATANO, J. C.; 1989. **Expert Systems: Principles and Programming**. 3. ed. Gary Riley: PWS Publishing Company.

GOMES PINTO, V.; PERON, G.; NEIVA, J. A.; et al.; 1982. **Manutenção e Operação de Sistemas de Distribuição**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus.

HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D. A.; LENAT, D. B.; 1983. **Building Expert Systems**. 1 ed. Reading: Addison-Wesley.

HASHIMOTO, K.; KAGAN, N.; 1998. Um Protótipo de Sistema para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. In: III CONLADIS - CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (3: set. 1998: São Paulo, SP). **Anais**. São Paulo, 1998. p. 203-207.

KAMINARIS, S. D.; MACHIAS, A. V.; PAPADIAS, B. C.; 1991. An Intelligent Tool for Distribution Substations Troubleshooting and Maintenance Scheduling. **IEEE Transactions on Power Delivery**, New York, v. 6, n. 3, (July), p. 1038-1044.

KAWAHARA, K.; SASAKI, H.; KUBOKAWA; et al.;1998. A proposal of a Supporting Expert System for Outage Planning of Electric Power Facilities Retaining High Power Supply Reliability. Part I. **IEEE Transactions on Power Systems**, New York, v. 13, n. 4, (Nov.), p. 1453-1458.

KAWAHARA, K.; SASAKI, H.; KUBOKAWA, et al.; 1998. A Proposal of a Supporting Expert System for Outage Planning of Electric Power Facilities Retaining High Power Supply Reliability. Part II. **IEEE Transactions on Power Systems**, New York, v. 13, n. 4, (Nov.), p. 1459-1465.

KINDERMANN, G.; 1997. **Curto - Circuito**. 2 ed. Porto Alegre: Sagra Luzzato.

- KELLER, R.; 1991. **Tecnologia de Sistemas Especialistas: Desenvolvimento e Aplicação**. 1. ed. São Paulo: Makron Books.
- LIE, C. H.; CHUN, Y. H.; 1986. An Algorithm for Preventive Maintenance Policy. **IEEE Transactions on Reliability**. New York, (Apr.), p. 71-75.
- MARTINO, M. B.; SILVA, M. B.; LOURENÇO, C. R.; et al.; 1999. Sistema Especialista de Auxílio à Recomposição do Sistema Furnas. In: XV SNPTEE – SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (15: out. 1999: Foz do Iguaçu, Paraná). **Anais**. Paraná, 1999.
- MOERBECK, F. S.; VARRICHIO, C. O. S.; AKIL, C. V.; 1997. SIMSE – Sistema Integrado de Manutenção do Sistema Elétrico. In: XIV SNPTEE – SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (14: 1997: Belém, PA). **Anais**. Belém, 1997.
- MEDEIROS, A. D. R.; MANZONI, A.; ZURN, H. H.; et al.; 1995. Uma Ferramenta Eficiente para Análise Elétrica de Sistemas de Distribuição. In: ELECTRO 95: XI CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA ELÉCTRICA (11: nov. 1995: Punta Arenas). **Anais**. 1995. p. 116-121.
- MEYER, L. H.; CABRAL, S. H.; MUSTAFA, T. I.; 1998. Fluxo de Potência em Redes de Distribuição Modelo de Carga Horário. In: III CONLADIS – CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (3: set. 1998: São Paulo, SP). **Anais**. São Paulo, 1998. p. 398-401.
- OLIVEIRA, M.; FIGUEIREDO, F. ; CAMARGO, I.; et al.; 1999. Power Quality Standards. In: BRAZIL DURING ELECTRICITY INDUSTRY RESTRUCTURING PROGRAM.
- OLIVEIRA, A. G.; FRAGA, S.; 1997. **Explorando Visão Geral do Delphi 2**. 1.ed. Florianópolis: BookStore.

- OLIVEIRA, A. G.; FRAGA, S.; 1997. **Explorando Banco de Dados com Delphi 2**. 1ed. Florianópolis. BookStore.
- OLGUÍN, G. M.; COELHO, J.; 2000. Regulamentação da Qualidade do Serviço em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica: Análise das Experiências Internacionais. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA - CBA (13: setembro: Florianópolis). **Anais**. Florianópolis. P. 753-758.
- OLGUIN, G. M. P.; 1999. **Proposta de regulamentação da Qualidade de Serviço em Sistemas de Distribuição**. Florianópolis. Dissertação. Mestre em Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- QUEIROZ, H. L.; 1988. **Manutenção em Sistemas de Distribuição em Energia Elétrica**. Florianópolis. Dissertação. Mestre em Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- RIBEIRO, H. C. S.; 1987. **Introdução aos Sistemas Especialistas**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC S.A.
- ROLIM, J. G.; 1998. Relatório Interno. LABSPOT, UFSC, 1988.
- SILBERSCHATZ, A.; KORTH. H.; SUDARSHAN,S.; 1998. **Sistemas de Banco de Dados**. 3ª ed. São Paulo; Makron.
- SITTITHUMWAT, A.; TOMSOVIC, K.; SOUND,F.; 1999. **Optimizing Maintenance Resources in Distribution System Application to Power Systems (ISAP 99)**, Rio de Janeiro, April 1999, p. 185-190.
- SILVA, C. R.; COITINHO, R. M.; ROLIM, J. G.; 2000. Sistema Especialista para Análise de Pedidos de Desligamentos em Sistemas de Distribuição. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA – CBA (13: setembro: Florianópolis, SC). **Anais**. Florianópolis, p. 1209-1214.

- SILVA, C. R.; ROLIM, J. G.; 2000. An Intelligent Tool for Maintenance Scheduling of Distribution Systems. In: DEREGULATION AND RESTRUCTURING AND POWER TECHNOLOGIES 2000 – DRPT (1: April: London, UK). **Proceedings**. London, p.215-220.
- TEIVE, R. C. G.; SILVA, E. L.; FONSECA, L. G. S.; 1998. A Cooperative Expert System for Transmission Expansion Planning of Electrical Power Systems. **IEEE Transaction on Power Systems**, New York, v. 13, n. 2, (May), p. 636-641.
- TEIVE, R. C. G.; FONSECA, L. G. S.; 1995. Aquisição de Conhecimento e Desenvolvimento de Um Sistema Especialista para o Planejamento Estático da Transmissão. In: ELECTRO 95: XI CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA ELÉCTRICA (11: nov. 1995: Punta Arenas). **Anais**. Punta Arenas, 1995. p.151-156.
- THOMAZ, W.; BORDINI, W. P.; HASSIN, E. S.; 1998. Qualidade de Fornecimento de Energia Elétrica. In: III CONLADIS – CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (3: set. 1998: São Paulo, SP). **Anais**. São Paulo, 1998. p. 13-17.
- TORREZAN, R.; ROMANI, E. G.; BOQUETTI, E.; 1998. Planejamento da Manutenção de Sistemas Elétricos de Distribuição. In: III CONLADIS – CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (3: set. 1998: São Paulo, SP). **Anais**. São Paulo, 1998. p. 319-322.
- ZAMORA, F. H. P.; 1998. **Um Programa Computacional de Apoio ao Planejamento de Sistemas de Distribuição**. Florianópolis. Dissertação. Mestre em Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.