FERDINANDO CRISPINO

**Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de
Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Informações
Geográficas**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção de título de Mestre
em Engenharia.

São Paulo
2001

FERDINANDO CRISPINO

**Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição de
Energia Elétrica Utilizando Sistemas de Informações
Geográficas**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção de título de Mestre
em Engenharia.

Área de Concentração:
Sistema de Potência

Orientador:
Prof. Dr. Hernan Prieto Schmidt

São Paulo
2001

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Hernan Prieto Schmidt pelo apoio, incentivo e orientação dispensados, sem o qual este trabalho não teria se concretizado.

Ao meu irmão pelo estímulo e incansável apoio.

À todos que diretamente ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de figuras

Lista de tabelas

Glossário

Resumo

“Abstract”

1	PREÂMBULO.....	1
1.1	Apresentação.....	1
1.2	Formulação do Problema.....	1
1.3	Objetivos.....	5
1.4	Organização do Trabalho.....	6
2	ESTADO DA ARTE.....	7
2.1	Introdução.....	7
2.2	Automação de Redes Primárias de Distribuição.....	7
2.3	Modelos de Dados.....	12
2.3.1	Base de Ocorrências.....	13
2.3.2	Base de Topologia da Rede.....	15
2.3.3	Base Comercial.....	19
2.4	Armazenamento de Dados em SIG.....	20
2.4.1	Banco de Dados Hierárquico.....	23
2.4.2	Banco de Dados em Rede.....	24
2.4.3	Banco de Dados Relacional.....	25
2.4.4	Banco de Dados Orientado a Objeto.....	28
3	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E SUAS APLICAÇÕES.....	31
3.1	Introdução.....	31
3.2	Sistemas de Informações Geográficas.....	31
3.2.1	Representação das Entidades Espaciais.....	32
3.2.2	Sistemas de Projeção.....	33
3.2.3	Modelos de Representação de Dados Geo-Referenciados.....	36

3.2.4	Relações Espaciais.....	39
3.2.5	Uso de Símbolos.....	41
3.2.6	Temas.....	41
3.2.7	Integração com outros Sistemas.....	43
3.2.8	OpenGis	43
3.2.9	Dados Espaciais.....	48
3.3	Aplicações de SIG na Engenharia Elétrica.....	51
3.3.1	Operação	51
3.3.2	Engenharia	53
3.3.3	Manutenção	55
4	RECONFIGURAÇÃO DE REDES PRIMÁRIAS DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO SIG.....	56
4.1	Introdução	56
4.2	Metodologia	56
4.2.1	Algoritmo Pai-Filho.....	57
4.2.2	Modelo de Dados.....	61
4.3	Implementação Computacional	62
4.3.1	Ferramentas de SIG	64
4.3.2	Módulo de Gerenciamento de Dados	65
4.3.3	Módulo de Criação de Temas	67
4.3.4	Módulo de Reconfiguração, Visualização e Análise.....	69
4.3.4.1	Acrescentando Temas	70
4.3.4.2	Controlando os Símbolos.....	72
4.3.4.3	Diagrama de Blocos de Carga.....	74
4.3.4.4	Consumidores.....	75
4.3.4.5	Reconfigurando a Rede Elétrica.....	76
4.3.4.6	Seleção Espacial dos Circuitos.....	78
4.4	Aplicação	80
5	CONCLUSÕES	92
5.1	Principais Contribuições do Trabalho	92
5.2	Tópicos para Ulterior Desenvolvimento	93
	ANEXO A – Modelagem de Dados	94

A.1	Introdução	94
A.2	Detalhes de Implementação	97
A.3	Modelagem LÓGICA do Banco de Dados	98
A.4	Modelagem FÍSICA do Banco de Dados	99
A.5	Dicionário de Dados	100
ANEXO B – Programa de Cálculo de Fluxo de Potência.....		111
B.1	Introdução	111
B.2	Bloco Título	111
B.3	Bloco Dados Gerais para Queda de Tensão	111
B.4	Bloco Dados Gerais para Curto Circuito.....	114
B.5	Bloco de Dados de Cabos Alimentadores	115
B.6	Bloco de Topologia da Rede.....	115
B.7	Bloco de Períodos do Ano	117
B.8	Bloco de Períodos da Semana.....	117
B.9	Bloco Definição da Curva de Carga Anual	118
B.10	Bloco Definição da Curva de Carga Semanal	118
B.11	Execução do Cálculo da Queda de Tensão.....	119
B.12	Execução do Cálculo do Curto Circuito.....	119
B.13	Finalização do Programa	119
B.14	Limites do Programa	120
B.15	Operação do Programa.	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		121

Lista de Figuras:

Figura 2-1 – Topologia da Rede de Distribuição no SCADA.....	9
Figura 2-2 – Entidade-Relacionamento – Base de Dados de Ocorrências	13
Figura 2-3 – Entidade-Relacionamento – Base de Dados de Topologia da Rede.....	18
Figura 2-4 – Entidade-Relacionamento – Base de Dados Comercial.....	19
Figura 2-5 – Modelo de Banco de Bados em Rede	24
Figura 2-6 – Diagrama E-R do Modelo de Banco de Dados Relacional	25
Figura 2-7 – Diagrama E-R - Um para Um.....	27
Figura 2-8 – Diagrama E-R - Um para Muitos	27
Figura 2-9 – Diagrama E-R - Muitos para Muitos	28
Figura 2-10 – Diagrama E-R - Convenção – Verbo	28
Figura 3-1 – Projeção Cilíndrica	33
Figura 3-2 – Projeção Cônica.....	34
Figura 3-3 – Projeção Azimutal	35
Figura 3-4 – Fuso do Sistema UTM	36
Figura 3-5 – Formato Raster e Vetorial	37
Figura 3-6 – Adjacência.....	39
Figura 3-7 – Conectividade	39
Figura 3-8 – Continência.....	40
Figura 3-9 – Proximidade.....	40
Figura 3-10 – Camadas	42
Figura 3-11 – Arquitetura Monolítica de um SIG	45
Figura 3-12 – Componentes do SIG	46
Figura 3-13 – Evolução do SIG.....	49
Figura 4-1 – Exemplo de Rede Fictícia com Nós e Números de Referência.....	58
Figura 4-2 – Topologia de Rede Fictícia com seus Respectiveos Nós e Seqüências...60	
Figura 4-3 – Diagrama E-R do Modelo Conceitual de Dados	61
Figura 4-4 – Sistema SIG.....	62
Figura 4-5 – Fluxo de Informações do Aplicativo	64
Figura 4-6 – Módulo de Carga	66
Figura 4-7 – Criação de Temas	67

Figura 4.8 – Informações para Criação de Temas	68
Figura 4-9 – Sequência Indeterminada	69
Figura 4-10 – Ferramentas de Edição	70
Figura 4-11 – Descrição do Tema Selecionado.....	71
Figura 4-12 – Tela Principal do Programa.....	72
Figura 4-13 – Controle de Legenda	73
Figura 4-14 – Diagrama do Circuito em Blocos de Carga.....	74
Figura 4-15 – Ferramenta de Busca de Consumidores	75
Figura 4-16 – Consumidores da Instalação Transformadora	76
Figura 4-17 – Ferramentas de Controle e Visualização.....	76
Figura 4-18 – Trocando Estado das Chaves.....	78
Figura 4-19 – Circuito Selecionado	79
Figura 4-20 – Reconfigurando a Rede Elétrica – Caso 1.....	81
Figura 4-21 – Circuito 106 Antes e Depois da Reconfiguração – Caso 1	82
Figura 4-22 – Circuito 105 Antes e Depois da Reconfiguração – Caso 1	82
Figura 4-23 – Identificação das Características da Entidade Selecionada.....	83
Figura 4-24 – Análise Gráfica da Tensão nos Trechos dos Circuitos – Caso 1	84
Figura 4-25 – Análise Gráfica da Corrente nos Trechos dos Circuitos – Caso 1.....	85
Figura 4-26 – Distribuição de Tensão e Carregamento por Faixas – Caso 1	86
Figura 4-27 – Demanda e Energia do Circuito – Caso 1	87
Figura 4-28 – Reconfigurando a Rede Elétrica – Caso 2.....	88
Figura 4-29 – Circuito 104 Antes e Depois da Reconfiguração – Caso 2	88
Figura 4-30 – Análise Gráfica da Tensão nos Trechos dos Circuitos – Caso 2.....	89
Figura 4-31 – Análise Gráfica da Corrente nos Trechos dos Circuitos – Caso 2.....	89
Figura 4-32 – Distribuição de Tensão e Carregamento por Faixas – Caso 2	90
Figura A.1 – Diagrama Lógico do Modelo de Dados	98
Figura A.2 – Diagrama Físico do Modelo de Dados	99

Lista de Tabelas:

Tabela 2-1 – Circuitos.....	26
Tabela 2-2 – Blocos	26
Tabela 4-1 – Tabela de Referência de Nós da Rede.....	59
Tabela 4-2 – Tabela de Sequência Inicial de Nós da Rede	59
Tabela 4-3 – Tabela de Sequência Final de Nós da Rede.....	60
Tabela 4-4 – Atributos Alfanuméricos do Tema.....	77
Tabela 4-5 – Comparação entre o Caso 1 e o Caso 2	91

Glossário

Neste glossário são apresentados os principais termos e siglas utilizadas neste trabalho.

ADT	Abstract Data Types
AM/FM	Automated Mapping / Facility Management
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
API	Application Program Interface
CAD	Computer Aided Design
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CN	Câmara Network
CT	Câmara Transformadora
Datum	Refere-se ao modelo matemático teórico da Terra ao nível do mar
DBA	Data Base Administrator
DBMS	Data Base Management System
DDL	Data Definition Language
DEC	Índice de Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor
DEP	Índice de Duração Equivalente de Interrupção por Potência
DGPS	Differential GPS (GPS Diferencial)
DIC	Índice de Duração Individual de Interrupção por Consumidor
DLL	Dynamic Link Libraries
DMS	Distribution Management System
DXF	Drawing Exchange Format
Layer	Camada ou Tema
ET	Estação Transformadora
ETD	Estação Transformadora de Distribuição
FEC	Índice de Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor
FEP	Índice de Frequência Equivalente de Interrupção por Potência

FIC	Índice de Frequência Individual de Interrupção por Consumidor
Fotogrametria	Método de levantamento geográfico baseado na observação do mesmo objeto de dois ou três ângulos diferentes, possibilitando a reconstituição de uma imagem espacial a partir de imagens bi-dimensionais.
Geodésia	Ciência da Medição e do Mapeamento da Superfície da Terra
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
IP	Transformador de Iluminação Pública
ISAM	Indexed Sequential Access Method
ODBC	Open Data Base Connectivity
OGC	Open GIS Consortium
OGIS	Open Geodata Interoperability Specifications
OLAP	On-line Analytical Processing
OLE	Object Linking and Embedding
OODBMS	Object Oriented Data Base Management System
ORB	Object Request Broker
RDBMS	Relational Data Base Management System
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SDE	Spatial Data Engine
SE	Subestação
SGDB ou DBMS	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SGBDR	Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional
SGBDOO	Sistema Gerenciador de Banco de Dados Orientado a Objeto
SIG ou GIS	Sistema de Informações Geográficas
SQL	Structured Query Language
UDF	User Definition Function
UT	Unidade Transformadora
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS-84	Datum (Word Geodetic System - 1984)

RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema de informações geográficas (SIG) como ferramenta de análise da reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica, juntamente com a evolução e tendências para os sistemas SIG. É utilizado um banco de dados relacional para armazenar dados geográficos e não geográficos e resultados de cálculo de fluxo de potência. A região em estudo é visualizada em forma de mapa sobrepondo a rede primária e os seus elementos elétricos. A simulação do novo estado da rede é feita, intuitivamente com o mouse, a partir dos elementos gráficos. O aplicativo apresenta graficamente os resultados de simulações de manobras na rede de distribuição e os valores resultantes do fluxo de potência para suas principais grandezas elétricas.

Index Terms – Sistemas de Informações Geográficas, SIG, Reconfigurador de Redes, Fluxo de Potência, Banco de dados geográfico, OpenGis.

ABSTRACT

This work describes the implementation of a Geographical Information System (GIS) based reconfiguration system, aimed at primary distribution feeders (13.8 kV), together with an overview on the evolution and future trends of GIS applications. A relational database stores both spatial and non-spatial data, which are shown on the screen as a map on top of which all elements of the electrical system are displayed. An intuitive user interface, through the use of the mouse and graphical resources, allows the state of protective/switching devices to be easily changed (from closed to open and vice-versa). A load-flow routine can be executed at any time, allowing the evaluation of the impact of a particular operation. Simulation results are presented in two forms: graphical data shown directly on the screen and alphanumeric reports for later analysis.

Index Terms - Geographic Information Systems, GIS, Network reconfiguration, OpenGis.

1 PREÂMBULO

1.1 Apresentação

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas computacionais capazes de capturar, armazenar, analisar e imprimir dados referenciados espacialmente em relação à sua localização sobre a superfície terrestre. Os SIG são usados no suporte às aplicações na área de Geoprocessamento, uma área multidisciplinar que engloba conhecimentos de diferentes campos, como Geografia, Cartografia, Geodésia, Sensoriamento Remoto, Ciência da Computação e diversos ramos da Engenharia e Matemática.

As vantagens da utilização de ferramentas SIG são grandes. Na solução proposta o sistema é interligado a um banco de dados relacional com informações da rede elétrica. Assim a topologia da rede elétrica está sempre atualizada, diferente dos sistemas de mapas em papel onde muitas vezes não há a certeza das informações estarem atualizadas. Outra vantagem é a possibilidade de integração com sistemas SCADA e diferentes tipos de bancos de dados e assim ter informações on-line de parâmetros dos elementos da rede elétrica, essenciais para a tomada de decisão, ou até mesmo controlar remotamente alguns equipamentos da rede elétrica como *tap* de transformadores, retirada ou inserção de banco de capacitores ou controlar abertura e fechamento de chaves. É facilmente integrável com outros programas existentes e pode disponibilizar mapas atualizados, para outras áreas da empresa, sem o problema de controle de versões, tanto pela rede corporativa quanto pela internet, aumentando o dinamismo do sistema elétrico.

1.2 Formulação do Problema

Nos últimos anos, as empresas do setor elétrico, principalmente as de distribuição de energia elétrica, têm buscado métodos de melhorar a qualidade do fornecimento de energia elétrica aos seus consumidores. Houve também criação de metas de qualidade no fornecimento de energia, mais restritivas, definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão regulador do setor elétrico [1].

A ANEEL utiliza-se de indicadores técnicos de qualidade coletivos e individuais, para medir o desempenho das empresas em relação ao fornecimento de energia elétrica. Esses indicadores medem basicamente o desempenho das empresas no atendimento das ocorrências, a conformidade do produto “energia elétrica” fornecida aos consumidores e a continuidade da distribuição de energia elétrica [1], [5].

Um sistema elétrico de potência é composto por 3 sistemas distintos: geração, transmissão, e distribuição. O sistema de transmissão permite que a energia produzida pela geração seja transportada até o sistema de distribuição. Devido a restrições técnicas e econômicas, o transporte de energia elétrica é feito em altas tensões (230 kV e acima). Nestes níveis de tensão, a energia elétrica não apresenta utilidade para uso pelos consumidores finais. Desta forma, a principal finalidade do sistema de distribuição é entregar energia elétrica diretamente aos consumidores finais em níveis de tensão compatíveis com suas necessidades de demanda e energia. Com relação aos níveis de tensão, o sistema de distribuição pode ser dividido em 3 subsistemas: subtransmissão (69 – 138 kV), distribuição primária (11,9 – 34,5 kV), e distribuição secundária (110 – 480 V). Uma indústria de grande porte, tal como uma fábrica de automóveis, é um exemplo comum de consumidor atendido em tensão de subtransmissão. Uma indústria de porte médio, com demanda máxima na faixa de 200 a 500 kW, é normalmente suprida pelo subsistema de distribuição primária. Finalmente, pequenas indústrias e comércios, bem como consumidores residenciais, são supridos pelo subsistema de distribuição secundária. Subestações de distribuição e transformadores de distribuição realizam as necessárias conversões de tensão nos pontos de interface entre os diversos subsistemas.

Do ponto de vista acadêmico a área de Distribuição de Energia Elétrica preocupa-se, então, em estudar e desenvolver soluções para problemas encontrados nos sistemas de distribuição. De uma maneira geral, tais problemas podem ser classificados nas seguintes categorias:

- operação do sistema distribuidor, onde procura-se garantir que a rede esteja de fato atendendo a todos os consumidores, levando-se em consideração a variação temporal do consumo (curva diária de carga), os defeitos que ocorrem nas redes elétricas e as ações corretivas para saná-los (abertura e fechamento de chaves,

operação de equipamentos de reserva, etc.), e a execução de serviços de manutenção programada;

- planejamento do sistema distribuidor, onde procura-se determinar a melhor estratégia de expansão do sistema (comissionamento de novos transformadores, de novas linhas, etc.) face ao crescimento da carga ao longo do tempo, considerando-se tipicamente horizontes de 5 a 10 anos. De uma forma geral, pode-se afirmar que a “melhor” alternativa de expansão é aquela que apresenta custo mínimo e ao mesmo tempo garante que todos os equipamentos do sistema (transformadores, alimentadores, etc.) trabalhem dentro de critérios técnicos aceitáveis (carregamento máximo, níveis de tensão, etc.);
- regulamentação e fiscalização dos serviços de distribuição de energia elétrica, onde são estabelecidas as condições mínimas de qualidade que o produto (energia elétrica) deve possuir, através de leis, decretos e resoluções elaboradas pelas agências federais e estaduais. No caso particular do Brasil, esta área encontra-se atualmente em uma fase de rápido desenvolvimento, face às mudanças que o setor elétrico vem experimentando nos últimos anos, com a privatização das companhias concessionárias de energia elétrica e o aparecimento de novos agentes no setor.

A Distribuição de energia elétrica envolve atividades multidisciplinares integradas incluindo engenharia, gerenciamento, comercialização e administração. Por um lado, enquanto que a geração e transmissão cuidam de poucas grandes obras, a distribuição cuida de muitas pequenas obras, e portanto a sua engenharia tem enfoque diferente [2].

As diretorias de distribuição das concessionárias contém departamentos para cuidar de: construção, projeto, operação, comercialização e manutenção. Para executar suas atividades estes departamentos dispõem de sistemas computacionais, sendo estas atividades inseridas dentro da tecnologia denominada Informatização da Distribuição.

Informatização da Distribuição constitui-se então, na integração destes sistemas digitais de forma que utilizem dados comuns, mas que mantenham sua independência e autonomia.

A utilização de métodos computacionais avançados permite uma maior otimização de seus serviços, propiciando o crescimento do interesse pelas concessionárias por novas tecnologias, principalmente quanto aos recursos oriundos dos sistemas SIG e CAD.

Estes sistemas surgem como uma tendência de se transferir para meio magnético as informações quanto a visualização da rede de distribuição, que hoje ainda são armazenados em folhas de mapas. Com a integração entre o SIG e bases de dados alfanuméricas surgem aplicativos que manipulam não só a localização dos equipamentos que compõem a rede elétrica, mas também suas características técnicas de maneira simples e intuitiva, que antes eram procedimentos demorados e separados entre si.

O problema da reconfiguração de redes de distribuição procura determinar o estado (aberto/fechado) das chaves que existem na rede de forma a obter configurações ótimas. Existem diversos critérios para definir o que é uma configuração ótima, entre os quais destacam-se a minimização das perdas de energia e a qualidade da distribuição de tensões nos nós da rede. Ambos critérios podem ser abordados a partir de uma ótica estática (rede operando em condição normal) ou dinâmica (rede operando em condição de emergência devido à ocorrência de defeito em algum ponto da rede e conseqüente operação automática dos dispositivos de proteção).

Serão consideradas as redes primárias de distribuição, que transportam energia elétrica das subestações de distribuição aos transformadores de distribuição localizados nos postes da rede, usualmente na tensão de 13800 V.

Uma característica importante do presente trabalho é a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para desenvolvimento da ferramenta. Um SIG é um conjunto de *softwares* que permitem incorporar elementos geográficos às informações técnicas próprias do problema em estudo (no caso, a reconfiguração de redes). Desta forma, explora-se de maneira eficiente a enorme capacidade do ser humano de visualizar e processar informações visuais. Um SIG, portanto, oferece recursos para visualização e manipulação eficiente dos elementos que caracterizam o problema: postes, trechos de rede, chaves de seccionamento e proteção, fusíveis, etc.

1.3 Objetivos

Sendo a tecnologia AM/FM/GIS uma tendência, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de metodologia e protótipo computacional para suporte à automação da operação de redes primárias de distribuição, utilização de plataforma de SIG para suporte à reconfiguração de redes baseado em cálculo de fluxo de potência, permitindo verificar níveis de tensão e carregamento em cada alternativa formulada pelo usuário.

O aplicativo desenvolvido chamado de ProjGis, é um reconfigurador de rede primária que visualiza a região em forma de mapa sobrepondo a ela a rede primária e os seus elementos elétricos (chaves, transformadores, etc.). A simulação do novo estado da rede é feita, intuitivamente com o mouse, com uma simples mudança no estado das chaves a partir dos elementos gráficos. O aplicativo apresenta graficamente os resultados de simulações de manobras na rede de distribuição e os valores resultante para suas principais grandezas elétricas, provendo assim a capacidade de análise das diferentes possibilidades de reconfiguração da rede elétrica. Pode-se também verificar os consumidores afetados pelas manobras e as características, elétricas e espaciais, de qualquer elemento gráfico da rede elétrica, bem como uma visualização de diagramas de blocos de carga dos circuitos.

1.4 Organização do Trabalho

Este capítulo 1, “Preâmbulo”, contém descrição básica deste trabalho. É feita uma introdução sobre o problema em estudo, uma breve descrição do objetivo e a organização do trabalho.

No capítulo 2, “Estado da Arte”, são discutidos os problemas da reconfiguração de redes primárias de distribuição, a utilização de banco de dados para lidar com grandes quantidades de informações e modelagem de dados para concessionárias. São apresentados modelos de banco de dados hierárquico, em rede, relacional, e orientado a objeto com uma breve explicação sobre cada modelo.

No capítulo 3, “Sistemas de Informações Geográficas e suas Aplicações”, são apresentadas os conceitos e definições de SIG, alguns exemplos de aplicação na automação e a interação com outros sistemas. São também mostradas as ferramentas utilizadas para desenvolvimento do sistema proposto.

No capítulo 4, “Reconfiguração de Redes Primárias de Distribuição Utilizando SIG”, são apresentadas a metodologia de reconfiguração, dados necessários, o sistema desenvolvido e análises de casos.

No capítulo 5, “Conclusões”, são relatadas as conclusões do trabalho desenvolvido, suas contribuições e possíveis desenvolvimentos futuros.

Dois anexos complementam o trabalho descrevendo a modelagem adotada para a base de dados com comentários de todas os campos e tabelas e a estrutura dos arquivos para o cálculo do fluxo de potência. Finalmente as “Referências Bibliográficas” permitem aos interessados localizar publicações para se aprofundarem mais na proposta desse trabalho.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Introdução

Esse capítulo apresenta o estado da arte da automação de sistemas de distribuição, do problema de reconfiguração de redes primárias de distribuição e do armazenamento das informações da rede elétrica.

Inicialmente apresenta-se as funções básicas de um sistema de automação de redes e a sua integração com ferramentas AM/FM/GIS, bem como aspectos relevantes na tomada de decisão na análise da reconfiguração de redes.

Em seguida, aborda-se um modelo de dados para rede elétrica, descrevendo detalhes de diferentes base de dados (cartográfica, consumidores, topologia da rede, etc.).

Finalizando o capítulo, apresenta-se definições de diferentes estruturas de banco de dados e discute-se a importância das informações para o desenvolvimento de sistema de automação.

2.2 Automação de Redes Primárias de Distribuição

As funções de um sistema de automação da distribuição, além daquelas básicas de monitoração e controle providas por sistemas SCADA, incluem também aquelas relativas a automação de circuitos alimentadores, gerenciamento de cargas e leitura de medidores. As funções SCADA são responsáveis pelas medições de tensão, corrente e fluxo de potência ao longo da rede, além da monitoração das indicações de estado de equipamentos tais como chaves, religadores automáticos e bancos de capacitores. Possibilita ainda o telecomando dos equipamentos, bem como sua parametrização remota.

As funções relativas à automação de alimentadores, incluem:

- Localização de faltas:

Na ocorrência de falta permanente, que causa desligamento da rede ou de faltas de alta impedância, que nem sempre são detectadas pelos equipamentos comuns de proteção, o despachante baseia-se nas medições disponíveis e/ou reclamações

de consumidores indicando interrupção no fornecimento de energia, para determinar o local provável do defeito e enviar turmas de manutenção.

- Isolamento de defeitos:

Possíveis falhas na rede que causam interrupção no fornecimento de energia devem ser isoladas, a fim de que o suprimento de energia possa ser restabelecido ao restante dos consumidores. Através de chaves seccionadoras, os trechos em defeito são isolados e o circuito é reenergizado através de comandos remotos ao disjuntor da subestação.

- Reconfiguração de rede:

Em casos de manobras programadas ou de caráter emergencial, trechos da rede podem ficar isolados interrompendo o fornecimento aos consumidores. Manobrando-se convenientemente chaves seccionadoras, pode-se eventualmente transferir trechos que estavam desenergizados para outros circuitos, minimizando assim o número de consumidores afetados.

Embora essas funções sejam suficientes para a operação do sistema de distribuição, o sistema SCADA usualmente trabalha com desenhos esquemáticos que não representam com fidelidade a rede elétrica, e sua localização. Na figura 2-1 é mostrado um exemplo de uma tela de um sistema SCADA [36].

Figura 2-1 – Topologia da Rede de Distribuição no SCADA

A integração dos sistemas SCADA com ferramentas AM/FM/GIS vem para suprir essa deficiência, e somadas a ferramentas computacionais avançadas voltadas para a operação e controle, formam em conjunto um sistema de gerenciamento da distribuição ou DMS.

São funções avançadas de um sistema DMS:

- Estimador de estado:
São algoritmos que promovem a filtragem em tempo real das medições redundantes removendo erros e inconsistências. Em sistemas com deficiência em pontos de medição da rede, o estimador de estado pode compensar essa falta fazendo uso das leituras históricas de consumo mensal, combinando-as e adequando-as em conformidade com medições disponíveis em tempo real.

- Fluxo de potência:
Permite efetuar simulações de manobra, criando cenários baseados nos valores de carga, tensão e topologia da rede. Devem ser capazes de modelar reguladores de tensão, banco de capacitores, e diferentes tipos de cargas.
- Curto Circuito:
Calcula os valores das correntes para curtos trifásicos, bifásicos e monofásicos, para simulações sobre topologia da rede baseado nas indicações das chaves e disjuntores.
- Localização de falta:
Ferramentas baseadas em inteligência artificial e lógica “fuzzy”, utilizam as medições da rede, combinando-as com a topologia descrita pelo sistema SCADA, para indicar o local mais provável do defeito. Essa ferramenta é especialmente importante em circuitos subterrâneos em face da complexidade de se efetuar inspeções.
- Reconfigurador de rede:
Sem essa ferramenta os despachantes tem que se basear na sua experiência e nas medições disponíveis para escolher a melhor alternativa de suprimento, para aquele instante. Programas computacionais utilizam a topologia da rede e medições disponíveis para recomendar a melhor coleção de manobras objetivando isolar trechos com defeito ou para manutenção, reduzir perdas, eliminar sobrecargas em alimentadores, ou para restaurar o fornecimento.
- Controle de tensão e reativos:
Efetua a coordenação entre reguladores de tensão e banco de capacitores, de modo a determinar a melhor combinação entre o ajuste dos reguladores e ação de controle nos bancos de capacitores, de modo a manter o perfil de tensão dentro dos limites operacionais em todo os pontos da rede, com o menor nível de perdas.

Reconfiguração de circuitos alimentadores envolve a abertura e fechamento de chaves ao longo da rede elétrica, o que provoca uma alteração nos fluxos de potência, obrigando assim a uma análise criteriosa das várias possibilidades, de maneira que sejam respeitadas as restrições, e para que uma dada função objetivo seja, dentro do possível, otimizada. Sob operação normal, os objetivos são evitar

sobrecargas nos transformadores de distribuição, sobrecarga térmica nos alimentadores, níveis de tensão anormais em diferentes pontos da rede e minimização do impacto nos indicadores técnicos de qualidade (DEC, FEC, TMA, FMA, etc.), enquanto, simultaneamente, são reduzidas as perdas. Para tanto, o reconfigurador possibilita analisar o comportamento de circuitos em diferentes situações de carregamento e topologia.

Quando ocorre um defeito na rede elétrica ou uma manutenção programada que requer um desligamento da rede, há a necessidade de reconfigurar o sistema a fim de minimizar a quantidade de consumidores prejudicados. Devem ser levadas em conta situações especiais como consumidores que possuem equipamentos de suporte a vida, que deve ser feito tudo para evitar a falta de energia desse consumidor, ou se não for possível deve-se avisá-lo com antecedência do desligamento e até mesmo deslocar um gerador móvel até o local. As notificações de falta de energia devem ser feitas com antecedência e informar a data prevista de início e término do desligamento.

Hospitais que não possuem geração própria e grandes centros comerciais são alguns exemplos de fatores externos que influenciam na decisão da melhor reconfiguração da rede elétrica.

Restauração é conceituada como a ação genérica de se tentar reenergizar uma porção de um circuito que se apresenta desenergizada. Em geral, um problema de desenergização requer os seguintes passos: o primeiro consiste em identificar o elemento que falhou e isolá-lo da rede. Feito isso, deve-se pesquisar uma nova configuração que alimente todas as cargas, e de preferência sem violação de critérios técnicos previamente estabelecidos. Encontrada uma configuração que atenda às exigências, esta deve ser posta em operação.

Os sistemas geralmente se apresentam em estado preventivo com relação a falhas, ou seja, existem várias possibilidades de reconfiguração da rede elétrica. Chaves estrategicamente localizadas ao longo dos circuitos permitem a reconfiguração do sistema remanejando cargas entre circuitos próximos tanto da mesma subestação quanto a circuitos de outras subestações.

Ainda hoje muitas empresas de distribuição de energia elétrica utilizam mapas em papel, onde um operador analisa a melhor situação, utilizando diferentes mapas,

obtendo as chaves que serão manobradas e então um programa de computador simula a nova situação da rede elétrica a partir dessas chaves, verificando os critérios técnicos e assim a viabilidade da nova configuração. Caso essa reconfiguração não seja aceitável, retorna-se aos mapas da rede elétrica para tentar uma nova reconfiguração do sistema.

Além dos critérios técnicos, a viabilidade da reconfiguração leva em consideração critérios adicionais como:

- Localização geográfica – disponibilidade de mover equipes para executar as manobras e dificuldades de acesso.
- Eventos culturais e políticos – grandes eventos culturais e políticos deslocam grande quantidade de pessoas em aglomerações, onde o fornecimento de energia elétrica é um fator de segurança, e deve ser mantido.
- Condições meteorológicas – em casos de chuvas de verão, onde podem haver alagamentos dificultando o acesso ao local do defeito, entre outros.

Assim o operador deve ponderar não só entre critérios técnicos, mas também deve considerar outros critérios como os exemplificados acima, e dependendo da situação em questão até transgredir algum critério técnico em favor da segurança ou de algum outro critério.

Sendo indesejáveis as consequências sociais e econômicas de uma falha em um sistema de potência, torna-se essencial minimizar a duração e quantidade de consumidores afetados nas interrupções. Consequentemente prioriza-se a busca de soluções que permitam simular antecipadamente os possíveis cenários, de maneira que, caso ocorram, o processo de restauração seja agilizado.

Para que isso ocorra fica evidente a necessidade de um sistema de informações integrado e atualizado em tempo real.

2.3 Modelos de Dados

Um Banco de Dados Geo-Referenciado é uma coleção de dados referenciados espacialmente, que funciona como um modelo da realidade. Um banco de dados é um modelo da realidade por representar um conjunto selecionado de fenômenos da

natureza, que podem estar associados a diferentes períodos de tempo (passado, presente ou futuro) [19]. Modelagem de dados geográficos é o processo de discretização que converte uma realidade geográfica complexa em um conjunto finito de registros ou objetos de um banco de dados [20]. Os modelos de dados existentes para SIG estão relacionados com as diferentes formas de percepção da realidade que podem ser empregadas.

A modelagem de dados proporciona um conjunto central de regras e relações sobre sua infra-estrutura para ser utilizado por muitos aplicativos diferentes. Um modelo bem projetado é a base fundamental para um sistema de AM/FM/GIS escalável e de resposta rápida em uma empresa. Uma das representações possíveis é o diagrama de entidade-relacionamento, que é adotado neste trabalho.

Uma concessionária de distribuição de energia elétrica utiliza com bastante intensidade bases de dados para armazenamento das suas informações. Os três modelos de dados fundamentais para a operação de uma concessionária são: base de dados de ocorrências, da topologia da rede e base de dados comercial, apresentadas a seguir.

2.3.1 Base de Ocorrências

Essa base de dados visa armazenar as ocorrências do sistema elétrico, e dispõe de interface gráfica para consulta, inserção e modificação dos dados [3].

Tem-se na figura 2-2 uma possível modelagem da base de dados de ocorrências:

Figura 2-2 – Entidade-Relacionamento – Base de Dados de Ocorrências

Essa modelagem apresenta as seguintes entidades básicas:

- Ocorrência: Guarda as informações gerais da ocorrência como data e hora inicial, data e hora final, localização do defeito, classe e causa do defeito, etc.
- Desligamento: Nem toda ocorrência apresenta desligamento, mas essa tabela oferece campos adequados para armazenar o número sequencial do desligamento dentro de uma ocorrência, data e hora inicial, data e hora final, identificação do circuito e fase, identificação da instalação onde ocorreu a interrupção (disjuntor, chave, poste, etc.), localização, número de consumidores primários e secundários afetados, potência instalada interrompida dos consumidores primários e total, e identificação do bloco de carga interrompido.
- Serviço: detalha as atividades realizadas para normalização do fornecimento de energia elétrica. Para cada serviço são identificadas a data e hora inicial, data e hora final, equipamento retirado e equipamento instalado.
- Manobra: mantém a relação de manobras efetuadas para cada ocorrência, especificando data e hora inicial, data e hora final, número de sequência da manobra na ocorrência, identificação do equipamento manobrado e situação do equipamento após a manobra (aberto/fechado).
- Deslocamento: armazena para cada ocorrência todos os deslocamentos realizados incluindo identificação da turma de manutenção, data e hora do aviso, data e hora de chegada ao local da ocorrência, data e hora do término dos serviços, data e hora de retorno à garagem e quilometragem percorrida [3], [4].

2.3.2 Base de Topologia da Rede

A base de dados da topologia da rede visa a atender às necessidades das gerências técnica, planejamento, construção, supervisão, controle, operação, atendimento a consumidores, manutenção e atualização da base de dados, de uma concessionária de energia elétrica. Para atender a essas necessidades a base de dados armazena basicamente dados dos trechos de circuitos de distribuição primária, secundária e de iluminação pública, além das características de todos os equipamentos e componentes utilizados, tais como transformadores, banco de capacitores, religadores, chaves, etc., indo até o ponto de entrega de energia elétrica do consumidor. Todos os equipamentos ou componentes são associados às suas coordenadas UTM que definem univocamente o local onde se encontra instalado [6].

As principais entidades que definem a rede elétrica são:

- Instalação: é considerada instalação o compartimento onde estão instalados os equipamentos. As instalações podem representar: Estação Transformadora de Distribuição (ETD), Estação Transformadora (ET) para alimentação de circuito secundário ou de iluminação pública, Câmara Transformadora (CT), Banco de Capacitores (BC), Reguladores de Tensão (RV), Chaves Seccionadoras (CH), etc.

Muitas vezes instalações complexas são formadas por instalações menores. Assim, por exemplo, as subestações são compostas de instalações tipo UT (Unidades Transformadoras) que representam os *bays* dos transformadores abaixadores.

As instalações do tipo Unidades Transformadoras alimentam circuitos primários que são formados por uma sucessão de trechos. Esses trechos alimentam instalações transformadoras ET ou CT. As instalações ETs alimentam trechos secundários aéreos ou redes de iluminação pública. Já as CTs alimentam mini-reticulados que por sua vez possuem trechos de circuitos secundários subterrâneos.

- Equipamento: armazena as características básicas dos equipamentos, tais como seu tipo, fabricante, classe, tipo de isolante, e serviços de manutenção executados, etc.
- Circuito: identifica o código do circuito de uma instalação, equipamento, ou trecho de circuito ao qual está conectado. Os circuitos primários se originam em instalações tipo UT, enquanto que os circuitos secundários e de iluminação pública tem seu início em instalações transformadoras de distribuição (ET ou IP).
- Trecho de circuito: armazena trechos de circuitos aéreos e/ou subterrâneos, de redes primárias, secundárias e de iluminação pública. Cada trecho pode apresentar uma ou mais fases. É considerado trecho de circuito a porção deste que está compreendida entre dois delimitadores que podem ser câmaras transformadoras para trechos secundários de reticulado, reguladores de tensão, troca de bitola do cabo, chaves seccionadoras e bifurcações.

Os trechos são identificados por coordenadas UTM dos nós iniciais (de) e finais (para). Para distinguir trechos de um mesmo circuito que possuem extremos coincidentes é utilizado um diferenciador. Os trechos possuem pontos onde se fixam instalações ou componentes, tais como postes e luminárias.

- Pontos de fixação: identificam os pontos de sustentação da rede aérea (postes) ou pontos onde saem cabos de derivação para alimentação de consumidores primários ou secundários. No caso de redes subterrâneas os pontos de fixação representam poços, câmaras ou pontos necessários para representar a topologia dos trechos.

Os postes ou câmaras subterrâneas servem de suporte para instalações, tais como ET (transformadores para alimentação de secundários), IP (transformadores para iluminação pública), bancos de capacitores, etc.

Pontos que fixam as CTs indicam a existência de mini-reticulado como derivação do circuito primário. Os tipos de pontos de fixação são identificados por códigos, sendo que esses códigos estão definidos em uma tabela de natureza de ponto de fixação.

Os pontos de fixação são identificados pelas suas coordenadas X, Y e pela sua canaleta. A canaleta é o diferenciador que permite distinguir a altura dos pontos que possuem as mesmas coordenadas X e Y.

- Blocos elétricos: os blocos de carga constituem a menor unidade de manobra, delimitada por chaves seccionadoras, sendo composto por um ou mais trechos de circuito. Os blocos apresentam o relacionamento de anterioridade, classificando-os de fonte ou carga, em relação à instalação seccionadora que delimita dois blocos (anterior e posterior), conforme o sentido do fluxo de energia. Cada bloco identifica todos os trechos pertencentes a ele.
- Mini-reticulado: é um conjunto de trechos secundários interligados em malha (*network*). A estrutura física (ou civil) que suporta o mini-reticulado é denominada banco de dutos.
- Ponto de Entrega: o ponto de entrega identifica um ou mais medidores de consumo de um ou mais consumidores primários ou secundários, que se localizam num mesmo endereço. O consumidor está ligado à rede primária ou secundária através de um cabo de derivação, a partir de um ponto de fixação. Os consumidores encontram-se classificados por atividade, sendo que os códigos utilizados nessa classificação encontram-se descritos na tabela atividade. Associado a cada consumidor encontra-se um resumo do faturamento dos últimos três meses, logradouro, fase do circuito primário que o está alimentando, classe de tensão a que pertence, etc.

Um modelo entidade-relacionamento da base de dados da rede de distribuição de energia elétrica é apresentado a seguir (Figura 2-3) [4],[6].

Figura 2-3 – Entidade-Relacionamento – Base de Dados de Topologia da Rede

2.3.3 Base Comercial

Uma possível modelagem dessa base de dados é apresentada na figura 2-4 a seguir.

Figura 2-4 – Entidade-Relacionamento – Base de Dados Comercial

São destacadas as seguintes entidades:

- **Consumidor:** além de informações relativas ao seu tipo de atividade, contém dados cadastrais dos consumidores, permitindo definir um endereço diferenciado para contato e outro para correspondência, caso o local seja desabitado, como é o caso de estações de bombeamento de água, etc.

Além do número de identificação do consumidor na concessionária e sua prioridade relativa para suprimento, apresenta também a identificação do circuito e do transformador que o alimenta, ressaltando se é consumidor primário, além do consumo em kWh nos últimos doze meses.

- **Observação:** armazena informações de caráter específico sobre o consumidor, tais como: presença de paciente que depende de aparelhos de manutenção à vida, prédio desocupado, etc.

- Ponto de Entrega: identificação do ponto de entrega de energia ao consumidor, apresentando também detalhes sobre o regime de trabalho do consumidor (no caso de empresa) destacando se o mesmo funciona 24h/dia, tem expediente aos sábados, domingos e feriados. Informa também se o consumidor dispõe de gerador próprio, e em caso afirmativo, sua potência nominal.
- Cartas Enviadas: armazena todas as datas e números das cartas de aviso de interrupção ao consumidor. É útil no caso de reclamação do consumidor referente a danos em seus aparelhos elétricos, ou pendências judiciais quanto a lucros cessantes, etc.

2.4 Armazenamento de Dados em SIG

Uma empresa de distribuição de energia elétrica possui desde alguns milhares até milhões de consumidores supridos através de uma infra-estrutura de rede que envolve uma quantidade enorme de postes, chaves, transformadores, etc. É necessário que essas empresas disponham de uma estrutura computacional que permita o armazenamento e manipulação de uma quantidade muito grande de informações.

A principal ferramenta computacional utilizada é denominada de Sistema de Gerenciamento de Base de Dados (SGBD), que provê recursos para o armazenamento ordenado e confiável de informações relativas a todos os equipamentos instalados, com detalhes que vão desde suas características elétricas até sua localização geográfica, data de aquisição, histórico de manutenção, etc. Armazena ainda detalhes técnicos e comerciais dos consumidores de modo a permitir associar cada endereço geográfico ao correspondente endereço elétrico [3].

Grande quantidade de pesquisa tem sido realizada por parte da comunidade de banco de dados, sob o tema de banco de dados espaciais, com o objetivo de buscar soluções adequadas para o problema de gerenciamento de dados geo-referenciados [21]. Atualmente, a arquitetura mais empregada na construção dos SIG é a que utiliza um sistema dual, onde o SIG é composto de um SGBD relacional, responsável pela gerência dos atributos não gráficos, acoplado a um componente responsável pelo gerenciamento dos atributos espaciais [22].

O conceito de Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados tem origem na década de 70, objetivando maior controle sobre a informação e promover a redução da duplicidade de dados, através de seu compartilhamento por múltiplos programas [3].

Sua principal característica está na capacidade de separar o processo (*software*) dos dados, eliminando assim a necessidade de cada aplicação manter sua própria base de dados que muitas vezes são redundantes com outras aplicações [3].

Há dois tipos básicos de arquitetura para o SGBD, a centralizada e a distribuída. O primeiro caso é muito utilizado por computadores de grande porte, os chamados *mainframes*.

A arquitetura distribuída permite que haja o compartilhamento de programas e bases de dados entre computadores que podem estar distantes geograficamente. Porém há um aumento no controle devido à complexidade na coordenação da execução das aplicações distribuídas, sincronização de programas e dados replicados, detecção e recuperação de falhas, além das necessidades de segurança [3].

Uma das formas mais utilizadas em sistemas distribuídos para controle e coordenação de acesso é a arquitetura cliente-servidor. Nessa arquitetura, um programa denominado cliente requisita uma operação ou serviço para uma outra aplicação denominada servidor. Ao receber uma requisição de um cliente, o servidor desempenha o serviço solicitado, retornando o resultado [3].

Numa arquitetura cliente-servidor, o servidor é responsável pelos dados enquanto que o cliente apresenta a interface gráfica com o usuário.

A arquitetura cliente-servidor permitiu também o surgimento de uma nova tecnologia que é conhecida como *Data Warehouse* (o termo surgiu em 1990) e é definida como um conjunto de bases de dados concebidos para possibilitar o acesso a grandes quantidades de informações. O *Data Warehouse* geralmente não é atualizado em tempo real. As atualizações são realizadas ao final do dia, semana, mês ou período fiscal. Apesar dele estar defasado em relação às suas fontes de informação o *Data Warehouse* pode ser utilizado para monitorar e comparar informações atuais com as passadas e com isso prever situações futuras através de ferramentas voltadas para o suporte à decisão chamadas de OLAP. Integrando informações provenientes de fontes diversas, estas ferramentas permitem análises estatísticas sofisticadas e simulação eficiente de novas associações entre os dados.

O uso de SIG como instrumento de suporte à decisão torna-se evidente ao considerar-se sua capacidade de integração de dados e múltiplas alternativas de apresentação das informações aos usuários, o que potencializa a capacidade de abstração e simulação de resultados. Inicialmente explorado em áreas que suportam a definição de estratégias e políticas governamentais, a exemplo de meio ambiente e economia. No entanto, as atuais ferramentas de SIG ainda exigem considerável esforço para a manipulação e extração de resultados [42].

A utilização dos recursos de SIG no apoio à decisão gerou a definição do conceito de Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão (SESD), que não são a mesma coisa que SIG, embora repousem sobre a mesma tecnologia [39]. Um Sistema de Suporte à Decisão tradicional é definido como um sistema computacional de auxílio à decisão que contém bases de dados, um conjunto de modelos otimizados para apuração dos dados visando apoio à decisão e uma interface amistosa e flexível que permita a tomada de decisões baseada em consultas e manipulações das bases de dados e modelos, seguindo critérios próprios, em tempo real [38]. Um SIG pode incluir todos estes atributos tornando-se um SESD, utilizando intensivamente seus recursos de análise espacial, ora na visualização de "camadas" de informação comuns a uma dada região, ora na construção de mapas temáticos ou na análise estatística e de prognósticos.

Em grande parte das bases de dados corporativas repousa um atributo, um campo, uma referência geográfica ou espacial, que vai desde o endereço dos consumidor até a distribuição das filiais da empresa. Uma decisão sobre as estratégias do negócio irá reunir em algum ponto as características espaciais e não espaciais dos dados disponíveis [40]. A melhor forma de expressar relacionamentos geográficos entre os dados é através de um mapa, o que mostra um distanciamento entre a arquitetura e as ferramentas de manipulação da informação espacial, o SIG.

A componente espacial de um *Data Warehouse* pode ser assimilada de três formas. Em primeiro lugar é necessária uma ferramenta que execute as agregações espaciais e as conversões geográficas (atribuição de coordenadas ou códigos que estabeleçam a referência espacial). Em segundo lugar, o banco de dados de apoio ao *Data Warehouse* deve ser modelado seguindo uma mistura entre as características de um banco de dados espacial e de um banco de dados voltado para *Data Warehouse*,

incluindo suporte a multidimensionalidade e escalabilidade. E finalmente, a análise estatístico-espacial dos dados e a apresentação dos resultados em mapas ou tabelas. O objetivo mais importante será sempre permitir que sejam feitas consultas ao *Data Warehouse* a partir dos atributos geográficos, uma análise espacial destes resultados, habilitar refinamentos sucessivos e agregar os resultados em áreas geográficas visualizadas instantaneamente [41].

Assim estas possibilidades são viabilizadas somente se existir um suporte de SGBD adequado e uma ferramenta OLAP de apuração de dados contemplada com muitas facilidades de SIG. Por outro lado, considerando-se um SIG que possa acessar uma base de dados modelada como *Data Warehouse*, haverá uma falta de flexibilidade que para tratar dados analíticos no mesmo nível que uma ferramenta OLAP. Assim, as duas ferramentas, SIG e OLAP, se ressentem da falta de integração, seja no ambiente de *Data Warehouse* ou para uso geral no suporte à decisão. A apresentação de um produto denominado *Data Warehouse Geográfico* ou *Sistema de Informações Geográficas Orientado para Data Warehouse* passa obrigatoriamente pela composição destas ferramentas, seu sucesso depende do grau de transparência ao usuário dos recursos individualmente suportados por cada uma delas.

2.4.1 Banco de Dados Hierárquico

A maior parte das empresas de distribuição de energia elétrica ainda utiliza o modelo de dados hierárquico, como o ADABAS C, que oferece ao usuário uma visão do banco de dados como uma estrutura em árvores, onde os registros se equívalem às folhas enquanto que as ligações aos ramos. Assim sendo, cada registro pode ter um número qualquer de descendentes, mas apenas um ascendente (exceto a raiz, que não possui ascendente por se o topo da estrutura) [3].

Numa Hierarquia, o acesso aos dados é feito através de segmento "Raiz", quando um campo é escolhido como "campo chave" e os outros são baseados em índices ou acessos aleatórios.

2.4.2 Banco de Dados em Rede

Uma rede é essencialmente um conjunto ilimitado de nós (tipos de registros neste caso) e de ramais de ligação, ou bordas. Na verdade, uma hierarquia é apenas um tipo particular de rede. Uma rede não apresenta o conceito de nó “raiz” e os registros podem ter diversos tipos de registros pais, assim como diversos tipos de registros filhos.

Na figura 2-5 é mostrado um exemplo de um modelo de um banco de dados em rede.

Figura 2-5 – Modelo de Banco de Bados em Rede

Verifica-se neste modelo que um departamento possui diversos empregados e diversos escritórios e que, em cada escritório, há vários empregados. Portanto, no modelo, não há sentido de “raiz” embora se possa argumentar que o registro EMPREGADO tenha dois “pais”.

Um modelo de rede para um sistema de gerenciamento de dados compartilha funcionalmente muitas características comuns com o modelo hierárquico. As ocorrências de registros são interligadas por ponteiros.

Os ramais apresentam relacionamentos de um-para-muitos, os registros especiais chamados de registros de “ligação”, são usados com relacionamento um-para-muitos, para se implantar relacionamentos de muitos-para-um. Os registros na rede são “interligados” do mesmo modo que o são os registros hierárquicos.

É importante lembrar que os sistemas hierárquicos e de rede são chamados de “sistemas de navegação” já que nos dois casos, é preciso atravessar um conjunto de

registros pré-articulados (pré-interligados). Esta pré-articulação representa um benefício em termos de desempenho, embora seja restrito em termos da complexidade do processo e de modificações posteriores ao projeto.

2.4.3 Banco de Dados Relacional

O modelo relacional baseia-se no conceito que os dados são vistos pelo usuário como se estivessem dispostos em estruturas na forma de tabelas arranjadas em linhas e colunas (ou atributos ou domínio). Cada tabela armazena os dados relevantes a um determinado tipo de entidade, enquanto as colunas representam os atributos dessa tabela. Cada coluna contém dados de um mesmo tipo. A interseção de uma coluna e uma linha de uma tabela sempre produz um único valor e nunca uma outra tabela [3]. Para recuperar os dados, deve-se buscar uma relação entre as tabelas. Daí o nome Banco de Dados “Relacional”. Este modelo é baseado no conceito matemático de matrizes, onde as linhas (da matriz) corresponderiam aos registros e as colunas (da matriz) aos campos [3].

Na figura 2-6 é apresentado um exemplo de um modelo de banco de dados relacional.

Figura 2-6 – Diagrama E-R do Modelo de Banco de Dados Relacional

O modelo relacional deve apresentar características de relacionamento e cardinalidade, exemplificadas a seguir.

- Relacionamento;

No modelo relacional duas ou mais tabelas podem compartilhar atributos comuns. Esse compartilhamento, denominado relacionamento, permite consultar simultaneamente dados que estão em diferentes tabelas.

Como exemplo de relacionamento temos as tabelas de circuitos e blocos elétricos (Tabela 2-1 e Tabela 2-2). Na tabela de circuitos temos o identificador do circuito, identificação da subestação e do conjunto ANEEL. Já na tabela de blocos elétricos temos o identificador do bloco, o identificador do circuito e o identificador do bloco anterior. O relacionamento das duas tabelas é feito através do identificador do circuito. Tem-se a seguir uma representação do exemplo descrito (tabelas 2-1 e 2-2):

Tabela 2-1 – Circuitos

Id_Circuito	Nome_Subestação	Conjunto_ANEEL
AAA 0001	AAA	01
ABC 0002	ABC	02
ABN 0012	ABN	02

Tabela 2-2 – Blocos

Id_Bloco	Id_Circuito	Bloco_Anterior
R0014444	AAA 0001	R0014443
R0025555	ABC 0002	R0025554
R0036666	ABN 0012	R0036665

O relacionamento de uma tabela com outra é realizado através de atributos comuns conhecidos como chaves. As chaves podem ser formadas por um ou mais atributos de uma mesma tabela. No exemplo acima o relacionamento da tabela de circuitos e blocos é realizado através da chave “Id_Circuito”. Com isso a chave é o atributo que

identifica univocamente um registro da entidade e é chamada de Chave Primária da tabela de circuitos e de Chave Estrangeira na tabela de blocos.

Um circuito primário é formado de vários blocos, portanto a tabela de blocos não tem nenhum sentido sem a tabela de circuitos, logo ela é denominada de entidade fraca. Já a tabela de circuitos é denominada de entidade forte. Esses dois conceitos estão relacionados com o conceito de dependência existencial, ou seja, a entidade fraca depende da entidade forte. Quando uma entidade forte for removida a entidade fraca deve ser removida também. No exemplo acima se a tabela de circuitos elétricos for removida a tabela de blocos elétricos também deve ser removida [6].

- Cardinalidade do relacionamento;

A cardinalidade do relacionamento expressa o número de registros ao qual outra entidade pode estar associada através de um relacionamento. A cardinalidade pode ser de três tipos:

- UM PARA UM – uma entidade A está associada no máximo a uma entidade B e uma entidade B está associada no máximo a uma entidade A. Este tipo de relacionamento é representado graficamente por uma reta contendo nas extremidades uma seta:

Figura 2-7 – Diagrama E-R - Um para Um

- UM PARA MUITOS – uma entidade A está associada a uma ou mais entidades B e uma entidade B está associada no máximo a uma entidade A. Este tipo de relacionamento é representado graficamente por uma reta contendo uma seta em uma das extremidades e duas setas na extremidade oposta:

Figura 2-8 – Diagrama E-R - Um para Muitos

- **MUITOS PARA MUITOS** – uma entidade A está associada a uma ou mais entidades B e uma entidade B está associada a uma ou mais entidades A. Este tipo de relacionamento é representado graficamente por uma reta contendo duas setas nas extremidades:

Figura 2-9 – Diagrama E-R - Muitos para Muitos

Associado ao relacionamento utiliza-se um verbo que identifica o relacionamento entre entidades e deve ser colocado da seguinte forma:

- de preferência na voz ativa;
- se a linha for horizontal, o verbo deve ficar acima da mesma e próximo à entidade referenciada; e
- se a linha for vertical, o verbo deve, de preferência, ficar do lado direito da mesma e próximo à entidade referenciada.

Figura 2-10 – Diagrama E-R - Convenção – Verbo

2.4.4 Banco de Dados Orientado a Objeto

Um SGBDOO pode ser definido como sendo um SGDB que suporta diretamente os conceitos de orientação a objetos, tais como: o objeto, a mensagem, o método e a classe. Nesse paradigma um objeto representa uma entidade do mundo real, apresentando um estado interno e uma interface. A interface é composta de um conjunto de mensagens que um objeto pode trocar, podendo ser tanto uma solicitação para alteração do seu estado, como para retornar um resultado qualquer. A fim de que um objeto possa responder a uma mensagem, ele necessita executar um método

apropriado, que nada mais é do que um conjunto de códigos escritos numa linguagem qualquer, com suporte a objetos. No modelo de banco de dados orientado a objeto, as características de um objeto são armazenadas em variáveis chamadas de “variáveis de instância” dentro do objeto. Cada variável dessas pode, ainda, ser um outro objeto, ou seja, é possível fazer o encaixotamento de objetos em diversos níveis de forma arbitrária. Quando um objeto possui trechos de código, eles são chamados de métodos. Os objetos que possuem as mesmas variáveis e os mesmos métodos são agrupados em grupos, chamados de classe. As classes identificam o tipo de objeto e possuem funções para suporte ao paradigma da orientação à objeto, tais como abstração, herança, encapsulamento e polimorfismo.

Para exemplificar essas definições, pode ser dados o seguinte exemplo, baseado em exemplo de Korth [37]: suponhamos um objeto que represente as instalações de uma rede elétrica. Este objeto possui as variáveis de instância “instalação transformadora” e “carregamento”. Há ainda o método “calcula-carregamento”, que faz o cálculo de carregamento de um transformador. Considere que houve uma mudança de limites para uma instalação transformadora seja considerada sobrecarregada. Por exemplo os limites passaram de 150% para 130% de carregamento para transformadores de alta tensão e de 150% para 140% para transformadores de baixa tensão. Nos programas tradicionais de banco de dados essa mudança implicaria em alterar o código fonte de vários programas. No método orientado a objeto bastaria alterar o método ‘calcula-carregamento’.

Os SGBDOO, além de tornar mais fácil o processo de manutenção dos aplicativos em um banco de dados, mostram o seu grande potencial quando há a necessidade de se manipular objetos complexos (Dados espaciais, de áudio, e vídeo).

No modelo relacional, o que diferencia duas entidades é a informação contida em sua chave primaria. No modelo orientado a objeto, cada entidade/objeto é distinto do outro, independente de terem as mesmas qualidades. Para isso, cada objeto, possui uma identificação própria (instância).

Contudo, os SGBDOOs ainda são poucos utilizados. Apenas os usuários que necessitam de intenso processamento de dados complexos fazem questão desses sistemas. Com isso houve um desenvolvimento de produtos híbridos, que na verdade implementam uma camada de abstração de dados sobre os métodos relacionais,

permitindo o manuseio de estruturas de dados mais complexas. Esses produtos, denominados de objetos – relacionais, embora não implementem todas as funcionalidades do paradigma de OO, facilitam a migração dos sistemas procedurais para sistemas puramente orientados a objetos. Como exemplo desses produtos tem-se: SQL Server, Oracle 9i e o Universal Database (DB2).

Como desvantagens do SGDBOO, tem-se:

- Falta de padronização de uma linguagem orientada a objeto;
- As linguagens de consulta são mais difíceis de serem implementadas do que uma linguagem relacional;
- Elevados custos de implementação.

3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E SUAS APLICAÇÕES

3.1 Introdução

Esse capítulo apresenta os principais aspectos, conceitos e definições referentes a sistemas de informações geográficas. Entre estas definições estão as representações das entidades espaciais, os sistemas de projeções, modelos de representação de dados geo-referenciados, as relações espaciais, o uso de símbolos e camadas, bem como a possibilidade de conectividade entre SIG e os outros sistemas.

A seguir é descrito o padrão OpenGis, que define as especificações da interoperabilidade no geoprocessamento, e suas vantagens.

Logo em seguida são mostradas as definições e exemplos de dados espaciais e a evolução dos sistemas de informações geográficas quanto ao acesso às informações.

Por fim são descritos alguns exemplos de aplicações de SIG em engenharia na área de projetos, operação e na manutenção do sistema de distribuição de energia elétrica.

3.2 Sistemas de Informações Geográficas

Os sistemas que manipulam informações geo-referenciadas foram surgindo de forma natural a partir do uso dos computadores, sendo que a área militar permitiu um desenvolvimento ainda maior em áreas relacionadas à fotogrametria, topografia e cartografia dentre outras. Este desenvolvimento permitiu que sua tecnologia se expandisse a outras áreas, como agricultura, engenharia, planejamento urbano, etc.

O SIG permite uma fácil visualização de mapas digitalizados e entes geo-referenciados (elementos com coordenadas expressas por algum sistema de coordenadas geográficas), e possibilita realizar análises, consultas e aplicações onde há um inter-relacionamento.

Segundo Marcos Rodrigues, define-se Sistema de Informações Geográficas (SIG, ou Geographic Information System – GIS) como sendo “sistemas que visam a coleta, armazenamento, manipulação, análise e representação da informação sobre entes de expressão espacial” [43].

Uma das características mais importantes dos SIGs, é a capacidade desses sistemas possuírem estruturas para o armazenamento dos relacionamentos (vizinhança, proximidade e pertinência) entre os objetos espaciais [23]. Estes relacionamentos são fundamentais para possibilitar a realização de diversos tipos de operações de análise espacial.

Quando um mapa de uma região que está sobre a superfície curva da Terra, é construído sobre uma superfície plana (ex.: folha de papel), algumas propriedades são alteradas (ex.: ângulos e distâncias), enquanto que outras permanecem (ex.: adjacências e pertinências). Estas propriedades que não se alteram quando o mapa sofre uma transformação são conhecidas como propriedades topológicas [24].

O termo topologia é atribuído às estruturas de relacionamentos espaciais que podem, ou não, ser mantidas no banco de dados. Um banco de dados espacial é dito topológico se ele armazena a topologia dos objetos. Por outro lado, um banco de dados é dito cartográfico se os objetos são vistos e manipulados somente de forma independente [25].

Um sistema baseado em SIG abarca, portanto, diversas etapas que devem ser atendidas e devidamente analisadas, garantindo-se, com isso, a consistência de todas as informações espaciais e não espaciais.

3.2.1 Representação das Entidades Espaciais

As entidades geográficas podem ser representadas graficamente no mapa de três formas diferentes: pontos, linhas e polígonos. Os sistemas SIG permitem, ainda, a visualização dos entes de um mapa em três dimensões (3D). Contudo a representação que se adota nos mapas é freqüentemente bidimensional (2D), que também será adotada nas explicações a seguir.

- Pontos – são todos os entes que são representados no mapa através de uma localização discreta. A sua posição é definida através de um único par de coordenadas (x,y). A definição sobre se um objeto é ou não um ponto, depende de seu tamanho em relação ao mapa digitalizado e também aos outros entes espaciais ou segundo critérios de modelamento. Por exemplo, uma subestação pode ser simbolizada por meio de um único ponto ou por um

polígono (cuja área é delimitada pelos muros em volta dessa construção), conforme a forma de representação que se deseja dar a esta entidade.

- Linhas – também chamadas de arcos por alguns SIG. A sua posição é definida através de dois pares de coordenadas (x,y). São entidades onde não há necessidade de se representar a sua largura e, portanto, não possuem área.
- Polígonos – é formado por uma mais de duas coordenadas (x,y) e sua seqüência dá a devida representação. Podem ser elementos abertos ou fechados, neste último caso possuem área. São utilizados para representar áreas rurais, municípios, prédios, etc.

3.2.2 Sistemas de Projeção

Todo mapa é uma representação de dados da superfície terrestre. A única maneira fidedigna de representá-lo é o próprio globo terrestre, mas não é uma forma prática para manuseio e transporte dessas informações. Representá-lo no plano provoca deformações. O objetivo das projeções cartográficas é o de resolver os problemas decorrentes dessa representação da Terra num plano. Há 3 principais métodos ou tipos de projeções cartográficas: cilíndricas, cônicas e azimutais (ou planas).

As projeções cilíndricas são denominadas assim porque são feitas pelo envolvimento da esfera terrestre por um cilindro tangente a ela. Elas apresentam o inconveniente de deformar as superfícies nas altas latitudes, mantendo as baixas latitudes em forma e dimensão mais próximas do real.

Figura 3-1 – Projeção Cilíndrica

A única linha que se apresenta em seu tamanho original é a do Equador, nessas projeções cilíndricas, que se caracterizam por apresentarem os paralelos e os meridianos retos e perpendiculares entre si. Elas são as projeções mais utilizadas e conhecidas.

As projeções cônicas decorrem do desenvolvimento da superfície esférica terrestre sobre um plano de cone. Em face disso, elas se individualizam em relação às outras duas por apresentarem os paralelos concêntricos em relação ao vértice do cone, enquanto os meridianos são radiais e retos convergindo num dos pólos. Essas projeções são mais utilizadas para a representação cartográfica de áreas de altas latitudes, como a América do Norte, a Europa Setentrional e a parte norte da Ásia.

Figura 3-2 – Projeção Cônica

As projeções azimutais (planas ou polares) são executadas a partir de um plano tangente sobre a esfera terrestre; o ponto de tangência se torna o centro dessa representação cartográfica. As áreas próximas a esse ponto de tangência

apresentam pequenas deformações; entretanto, as mais distantes são muito distorcidas, ou então desaparecem porque elas abrangem apenas um hemisfério quando centradas num dos pólos.

Figura 3-3 – Projeção Azimutal

Quando a projeção azimutal é centrada num dos pólos, os meridianos são convergentes neste centro da projeção e os paralelos são concêntricos e a superfície abrangida é apenas a de um hemisfério (N ou S).

Aplicados a esses métodos de projeções existem vários modelos matemáticos da forma e dimensão da Terra chamados “datum”. Isso é feito pois a forma da Terra é bastante irregular devido às concentrações de massa [32],[33].

A projeção UTM é uma projeção cilíndrica que toca a terra em várias longitudes chamadas meridianos centrais e usa um ponto de projeção no centro da terra (por isso Universal). O modelo matemático (datum) mais comum é WGS-84 que define um elipsóide que envolve a Terra. O datum WGS-84 foi criado a partir do datum de Clarke de 1866 usado pela maioria dos mapas. A distorção cresce à medida em que ocorre um afastamento do meridiano central. No caso do Brasil, a maioria dos mapas são baseados em cartas do IBGE, que utiliza o datum 'Córrego Alegre'.

Na Projeção UTM, os meridianos centrais são separados por 6° de longitude, sendo a terra dividida em 60 fusos, que cobre uma região de 4° de latitude por 6° de longitude. O meridiano central encontra-se no meio da zona UTM e o equador representa a referência para todas as zonas. A figura 3-4 mostra a divisão dos fusos do sistema UTM.

Figura 3-4 – Fuso do Sistema UTM

Esse sistema de projeção é frequentemente utilizado para minimizar distorções ao mapear feições terrestres que tem seu desenvolvimento no sentido norte-sul. Os únicos parâmetros necessários para definir esse sistema de projeção são a longitude do meridiano central e uma latitude de referência. Valores do meridiano central para o Brasil são: 33, 39, 45, 51, 57, 63, 69 ou 75 [33].

3.2.3 Modelos de Representação de Dados Geo-Referenciados

A variação geográfica no mundo real é infinitamente complexa. Para serem armazenados no banco de dados, os dados precisam ser reduzidos a uma quantidade finita e gerenciáveis, o que é feito através de processos de generalização ou abstração. Um modelo de dados fornece um conjunto de regras para converter variações geográficas no mundo real, em objetos discretos armazenados de forma digital [26].

Existem duas abordagens principais de representação dos componentes espaciais associados às informações geográficas: o modelo matricial (ou raster) e o modelo vetorial, exemplificados na Figura 3-5.

Formato Raster

Formato Vetorial

Figura 3-5 – Formato Raster e Vetorial

No modelo raster, a área em questão é dividida em uma grade regular de células, normalmente quadradas ou retangulares. A posição da célula é definida de acordo com a linha e a coluna onde está localizada. Cada célula contém um valor que corresponde ao tipo de entidade que é encontrada naquela posição. Normalmente, uma área é representada no modelo raster através de diferentes camadas (mapas temáticos), onde as células de uma camada armazenam os valores associados a uma única variável ou tema [27]. O espaço é todo coberto, uma vez que cada localização na área de estudo corresponde a uma célula no raster.

No modelo vetorial, as entidades do mundo real são representadas como pontos, linhas e polígonos. A posição de cada objeto é definida por sua localização no espaço, de acordo com algum sistema de coordenadas. Objetos vetoriais não preenchem todo o espaço, ou seja, nem todas as posições do espaço necessitam ser referenciadas no modelo.

Os polígonos, formados por uma cadeia de linhas, representam os limites das entidades do tipo área (ex.: um lago, um lote urbano, etc.), enquanto que no modelo raster as entidades são representadas em toda a extensão da área dentro do polígono. As linhas, além de servirem de construtores dos polígonos, também representam entidades lineares como estradas, rios, redes elétricas, etc.

Ao contrário do modelo vetorial, onde cada entidade do mundo real está associada a um objeto espacial (ponto, linha ou polígono), no modelo raster as entidades estão associadas a grupos de células de mesmo valor. O valor

armazenado em uma célula representa a característica mais marcante da variável em toda a área relativa à célula.

Dependendo do tipo de atributo observado e da potencialidade do sistema, as células podem conter diferentes tipos de valores (ex.: inteiro, decimal, caractere, etc.).

Muitos sistemas só permitem o tipo inteiro, enquanto outros restringem um único tipo de valor por camada [28].

Dois conceitos importantes no modelo raster dizem respeito à resolução e à orientação. A resolução corresponde à dimensão linear mínima da menor unidade do espaço geográfico que está sendo considerado. A maioria dos sistemas utilizam unidades (células) retangulares ou quadradas, embora existam modelos que utilizem hexágonos ou triângulos [29]. Quanto menor a dimensão das células, maior a resolução da área e, conseqüentemente, maior a quantidade de memória necessária para armazená-las.

A orientação de uma imagem raster corresponde ao ângulo entre o norte verdadeiro e a direção definida pelas colunas da imagem. Normalmente, a localização geográfica verdadeira de um ou mais vértices da imagem é conhecida.

No modelo raster cada célula armazena um único valor, que corresponde a uma área específica na superfície terrestre. O número total de valores que precisam ser salvos para o armazenamento de uma única imagem, é igual ao produto do número de linhas pelo número de colunas da imagem raster. Assim, geralmente são gerados grandes volumes de dados e por isso torna-se necessário o emprego de estruturas de dados que utilizem técnicas de compactação de dados.

Como as entidades no modelo raster são representadas por um agrupamento de células, todas contendo um mesmo valor, um número considerável de valores redundantes ocorre em toda a extensão da imagem. Esta característica é muito explorada nos métodos de compactação empregados nos SIG. Essas técnicas de compactação não serão abordadas nesse trabalho [23].

3.2.4 Relações Espaciais

O inter-relacionamento entre objetos espaciais pode ser agrupado em quatro tipos básicos que são: adjacência, conectividade, continências e proximidade. As três primeiras são consideradas relacionamentos fortes, por não apresentarem ambigüidade de interpretação, sendo a proximidade um relacionamento espacial fraco pois é um conceito relativo.

- Adjacência – refere-se aos polígonos apenas. Dois polígonos são adjacentes quando possuem um ou mais segmentos comuns, e interseção nula (conforme figura 3-6). Um exemplo são os municípios da grande São Paulo.

Figura 3-6 – Adjacência

- Conectividade – refere-se a linhas e pontos. Diz-se que duas entidades estão conectadas quando existir um linha ou ponto que as unam. Um exemplo são os trechos da rede elétrica que devem estar conectados entres si, conforme figura 3-7. Há também os postes que estão conectados aos trechos.

Figura 3-7 – Conectividade

- Continência – diz-se que uma entidade está contida em outra quando o domínio espacial desta está contido totalmente no domínio da primeira. A continência vale para pontos, linhas e polígonos, conforme figura 3-8 a seguir. Um exemplo seria os consumidores de alta tensão de uma localidade.

Figura 3-8 – Continência

- Proximidade – duas entidades espaciais estão próximas quando a distância entre as duas for menor ou igual a um valor definido por um observador colocado na primeira entidade. Na figura 3-9 é representado um exemplo de proximidade para um ponto, uma linha ou um polígono. Como exemplo seria o caso de saber qual a turma de emergência está mais próxima de uma contingência que ocorreu em uma determinada avenida.

Figura 3-9 – Proximidade

3.2.5 Uso de Símbolos

Para maior facilidade de visualização e diferenciação das entidades, os sistemas de SIG permitem o uso de símbolos para representar as entidades espaciais. Um símbolo é um objeto que contém características e atributos que controlam a forma como um gráfico ou um mapa é representado. Dependendo do tipo de característica ou mapa que se deseja trabalhar, pode-se especificar o tipo de símbolo a ser usado. No caso de uma linha pode-se querer representar como uma linha pontilhada, tracejada ou com uma determinada espessura. No caso de pontos pode-se representar com desenhos, ou associá-los a uma determinada fonte e assim representá-los através de letras. E no caso de polígonos pode-se representar o seu preenchimento de várias formas diferentes (hachurado, sólido, transparente, etc.). Os objetos em um SIG podem ser representados por cores e tamanhos variados.

3.2.6 Temas

Um tema ou camada (*Layer*) é uma coleção de elementos geométricos tendo atributos associados. Por exemplo, uma camada em um SIG pode incluir características topográficas, enquanto outro pode descrever uma densidade populacional, e uma terceira ainda pode descrever a disposição geográfica de ruas e pontes em uma área representados por linhas e pontos (ver figura 3-10). Cada elemento de uma camada é associado a índices espaciais e armazenados em tabelas de um banco de dados.

Figura 3-10 – Camadas

A implantação de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) pelas empresas é onerada pelo volume de recursos necessários ao levantamento da topografia dos municípios, já que usualmente nem as prefeituras dispõem dessas bases cartográficas digitalizadas. Consórcios para geração das bases cartográficas através de levantamento aerofotogramétrico, até hoje não têm sido bem sucedidos, em função da divergência de interesses das empresas de distribuição de energia, telefonia, TV a cabo e prefeituras.

Algumas empresas, até em função do seu porte, já conseguiram concluir o levantamento e criar internamente seus sistemas SIG, tal como a Elektro, que faz uso de sistema proprietário e da Light-Rio, que utiliza o ArcInfo [3].

Dependendo da precisão pode-se fazer uso de imagens de satélites, cujo custo tem diminuído com a popularização dessa tecnologia.

3.2.7 Integração com outros Sistemas

Embora muitos sistemas SIG utilizem bases de dados proprietárias na sua operação, normalmente oferecem interface com bases de dados relacionais. Em particular, em ambientes Microsoft a maioria dos produtos de mercado suportam interface ODBC, que através de “drivers” adequados possibilitam a integração com qualquer produto. A facilidade de utilização desse padrão fez com que outros fabricantes também passassem a suportá-lo, inclusive em ambientes UNIX. Dessa forma, sua integração com sistema do tipo SCADA, ou sistemas corporativos de equipamentos, ou ainda com bases de dados da rede elétrica, tornam-se facilitadas.

Outra forma de integração com sistemas SCADA é a utilização do CORBA, que através do processamento distribuído possibilita o envio de informações, referentes a grandezas elétricas e estado dos equipamentos monitorados, diretamente para o SIG sem passar por um banco de dados.

3.2.8 OpenGis

Os sistemas de informações geográficas sempre foram reconhecidos pela utilização de modelos de dados proprietários, além de implementação de funções monolíticas em seus sistemas. Isso estimulou a proliferação de diferentes tipos de dados geográficos, dificultando o compartilhamento de dados. Para poder trocar dados espaciais entre diferentes sistemas SIG, normalmente é necessário efetuar uma complexa conversão.

Na tentativa de solucionar esse problema foi fundada uma organização sem fins lucrativos denominada “Open GIS Consortium” (OGC), dedicada à interoperabilidade de aplicações de geoprocessamento. A OGC congrega representantes das empresas de *software*, de equipamentos, empresas de telecomunicações, universidades, prestadores de serviços e agências do governo norte americano, e de países da Europa.

A comunidade de tecnologia da informação está abraçando padrões abertos por motivos óbvios: custo e performance. Interoperabilidade, componentização, programação distribuída e a internet são alguns dos motivos por trás dessa tendência.

Além disso, a comunidade usuária de SIG está demandando programas de geoprocessamento que tenham a capacidade de interagir com diferentes plataformas [17].

O OGC produziu um conjunto de especificações técnicas denominada “Open GIS”, sendo seu principal produto o documento denominado “Open Geodata Interoperability Specifications” ou simplesmente OGIS, que é composto de três partes:

- “Open Geodata Model” – é um modelo voltado à representação de elementos geográficos, propõe-se a ser um modelo universal, que deverá ser suportado por todos os fabricantes por meio de uma interface padrão.
- “OGIS Information Communities Model” – objetiva integrar dados espaciais que foram criados para diferentes usos. Diferentes categorias de usuários representam objetivos geográficos com enfoque nem sempre coincidentes. Assim, por exemplo um engenheiro civil ao mapear uma rua, provavelmente irá precisar cadastrar além da largura e da localização, elementos específicos tais como pavimentação e drenagem, enquanto um engenheiro eletricista irá mapear essa rua de maneira mais genérica, pois para ele, é apenas um local por onde irão trafegar veículos de manutenção. A fim de que ambos possam compartilhar uma mesma modelagem, o modelo OGIS voltado à comunidade, especifica um modo de representação da semântica para benefícios de ambas as partes. Assim, estabelece a construção de tradutores de semânticas, que irão prover o mapeamento entre vários esquemas semânticos. A configuração e manutenção do tradutor de semântica é uma atividade a ser realizada pelos representantes das comunidades, mas uma vez configurado, irá oferecer a visão desejada para um mesmo mapeamento universal.
- “OGIS Services Architecture” – especifica os serviços que devem ser suportados através de acesso remoto em ambiente de geoprocessamento heterogêneo, incluindo interfaces com plataformas de processamento distribuído, tal como CORBA.

Adotando o padrão OpenGis, que define as especificações da interoperabilidade no geoprocessamento, a comunidade SIG irá ser capaz de livremente acessar e trocar

informações geo-referenciadas, utilizar componentes escritos por desenvolvedores de todo o mundo, além da vantagem de poder utilizar da computação distribuída ou utilizar ferramentas de geoprocessamento e acessar dados geográficos espalhados pela internet.

O uso de componentes padronizados para a construção de produtos é uma prática comum. A indústria fez avanços significativos quando incorporou o uso de partes padronizadas em processos de produção. Com isso há uma grande vantagem no reaproveitamento de itens na produção de novos produtos.

O produtos tradicionais de SIG à venda no mercado são construídos e mantidos em camadas que trabalham juntas. Nestas camadas estão inclusos o sistema operacional proprietário, modelagem dos objetos, acesso ao banco de dados, e ferramentas de interface com o usuário, constituindo assim um sistema monolítico (figura 3-11).

Figura 3-11 – Arquitetura Monolítica de um SIG

Nesse sistema monolítico todas as camadas são acopladas e não são abertas a outros sistemas, com exceção de processos de conversão de dados, que mesmo assim mantém as características de sistemas não abertos. Há literalmente centenas de formatos proprietários e abertos e com isso centenas de filtros e utilitários de conversão para esses sistemas. Esses processos são trabalhosos, não são otimizados e precisam de melhoramentos [18].

A indústria do SIG segue em direção a modelos de componentização, segundo os quais a funcionalidade de um SIG pode ser quebrado em quatro grupos básicos: os dados, o acesso à base de dados, as tecnologias espaciais e a aplicação final do usuário. Através da componentização dessas quatro partes, cada um dos

componentes pode ser suprido por um fornecedor diferente, se forem observados rigorosamente os padrões de interface. O resultado final é que um usuário SIG pode agora usar várias ferramentas para construir uma aplicação. Eles podem agora escolher a mais competitiva tecnologia espacial disponível no mercado, podem usar o melhor repositório¹ de dados e podem acessar diferentes bancos de dados. Além disso, esses componentes podem ser integrados com outros sistemas de informação, ou seja, automação de escritórios, aplicações de engenharia, etc. Na figura 3-12 observa-se diversos componentes de um SIG.

Figura 3-12 – Componentes do SIG

A parte de acesso ao dados da componentização do SIG é definido pelo OGC no *Open Geodata Interoperability Specification* (OGIS).

O OGC está desenvolvendo uma especificação estrutural de programas para acesso distribuído de dados geográficos e recursos de geoprocessamento. Essa especificação irá dar ao desenvolvedor de programas ao redor do mundo um detalhamento de interfaces comuns para escrever programas que irão se interrelacionar com outros

¹ Podemos definir repositório de dados de várias maneiras, por exemplo, como um “pool” de objetos de negócio ou um banco de dados. Bancos de dados constituem o tipo mais comum de repositório.

escritos por diversos desenvolvedores. O mais importante é que a especificação define interfaces-padrão que possibilitam fornecedores de produtos SIG implementarem ferramentas de geoprocessamento e acesso a dados geográficos que são *Plug and Play*. Com isso os desenvolvedores de aplicativos podem ser mais rápidos e flexíveis quanto a:

- Escrever programas para acessar dados geográficos e acessar recursos de geoprocessamento;
- Aplicações sob medida para as necessidades do usuário, integrando dados espaciais e não espaciais;
- Escolha de ambiente de desenvolvimento;
- Reutilização de códigos de programação.

O gerente de informações tem maior flexibilidade para:

- acessar e/ou distribuir dados geográficos;
- integrar dados geográficos e processamento na arquitetura computacional da empresa;
- escolher a plataforma apropriada, tipo de computadores pessoais e tipo de servidores;
- servir o usuário com ferramentas adequadas de geoprocessamento.

E usuários são beneficiados, recebendo:

- acesso em tempo real de um grande e variado universo de informações geográficas;
 - maior quantidade de aplicativos disponíveis que se utilizam de informações geográficas;
 - a habilidade de trabalhar com diferentes tipos e formatos de dados geográficos com um único aplicativo, sem se preocupar com detalhes desses tipos e formatos.
-

3.2.9 Dados Espaciais

A maioria das informações de negócio são armazenados hoje em bases de dados relacionais. Entretanto, os sistemas de gerenciamento tradicionais da base de dados relacional (SGBDR) não podem facilmente suportar os tipos de dados geográficos requeridos por estas novas aplicações. A maioria de usuários destes tipos de dados usam sistemas especializados de informação geográficos que modelam, manipulam, perguntam, e analisam dados espaciais. Embora estes sistemas de SIG com SGBDR, que controlam o acesso aos dados alfanuméricos, eles se utilizam de um acesso de dados em separado (com APIs - *Application Program Interface* proprietárias) para acessar informações espaciais. A desvantagem de confiar nestes acessos a dados espaciais é que podem ser difíceis de controlar e são incapazes de reagir rapidamente às necessidades das mudanças constantes do mercado.

SGBD com extensões do SQL são utilizados para armazenar tipos de dados complexos tais como dados espaciais, fornecendo assim uma opção melhor a longo prazo. Estas extensões do SQL permitem que as aplicações armazenem e manipulem objetos da aplicação diretamente dentro da base de dados. Assim é possível construir um sistema firmemente integrado, consistente que possa explorar o total potencial da inteligência de negócio através de uma relação do SQL.

Pode-se assim fazer a gerência de dados espaciais através de um banco de dados relacional ou orientado a objetos para uma forma fácil e mais natural de usuários das aplicações acessarem a informações tal como um sistema de informação geográfico. Uma vez que estes dados são armazenados em uma base de dados, pode-se facilmente manipular, recuperar, e relacionar-se a todos os dados restantes armazenados na base de dados.

Um exemplo comum de dados espaciais pode ser visto em um mapa de estrada. Um mapa de estrada é um objeto bidimensional que contém pontos, linhas, e polígonos que podem representar cidades, estradas, e limites políticos, tais como estados ou províncias. Um mapa de estrada é uma visualização da informação geográfica. A posição das cidades, das estradas, e dos limites políticos que existem na superfície da terra é projetada em duas dimensões ou em uma parte de papel bidimensional, preservando as posições relativas e as distâncias relativas dos objetos.

Na primeira geração SIG, o *software* de SIG funciona como uma aplicação onde todos os dados e os índices espaciais são armazenados em arquivos sequenciais, e é o software de SIG que controla esses dados. A limitação desta arquitetura é que ela trabalha somente com dados espaciais. O código da aplicação é requerido para combinar dados espaciais com outros dados de negócio.

A etapa seguinte na evolução é dar responsabilidades da gerência de dados a um SGBD. O SIG pode trabalhar com o SGBD para armazenar dados e atributos geográficos nas tabelas relacionais. Isto lhe dá a habilidade de gerar perguntas mais complexas. Mas ainda se está usando um SIG proprietário, APIs para o acesso e análise de dados espaciais, e acrescenta com isso mais uma tarefa sobre o DBA, que deve controlar ambos os sistemas.

Um SIG inteiramente integrado é realmente apenas uma outra parte do SGBD. Dados espaciais são simplesmente outro tipo de dados, pode-se gerar buscas sofisticadas e ter a vantagem de otimizar o custo do SGBD. Dessa forma o DBA não tem que se preocupar em controlar um sistema em separado. Na figura 3-13 é mostrada a evolução dos sistemas SIG quanto ao acesso a bases de dados.

Figura 3-13 – Evolução do SIG

Algumas empresas de banco de dados, como Oracle e DB2, já estão na terceira geração, e estão em constante aprimoramento das funções de busca, criação de índices e forma de armazenagem de dados espaciais.

As extensões do DB2 para dados espaciais, *DB2 Spatial Extender*, foi construída com a tecnologia espacial do SDE¹ (*Spatial Data Engine*) licenciada da ESRI.

As habilidades do *DB2 Spatial Extender* de trazer potencialidades de pesquisas espaciais se baseia nas seguintes extensões importantes:

- Tipos de dados abstratos (ADT - *Abstract data types*): ADT são as definições de tipos que podem descrever dados complexos (como exemplo elementos espaciais) usando uma estrutura encapsulada interna;
- Extensões de índices: A maioria dos SGBD, incluindo o DB2, utilizam o mecanismo de índices B-Tree – (árvore binária);
- Especificação do predicado em funções definidas pelo usuário (UDF – *User Definition Function*): DB2 suporta UDF, que o deixam incluir métodos para tipos definidos. Os exemplos de UDF incluem os predicados *dentro*, *contêm*, *sobreposição*, *interseção* entre outros.

O Banco de dados ORACLE a partir da versão 8i oferece também ferramentas de análise de dados espaciais. Os dados espaciais podem ser armazenados diretamente no banco de dados propiciando, através de instruções SQL, a qualquer linguagem de programação criar sistemas SIG, desvinculando-se assim dos programas que utilizam sistemas proprietários para armazenagem de dados espaciais.

Essa ferramenta consiste em quatro componentes:

- Um esquema preparado para armazenar os dados, sintaxe, e semântica dos tipos de elementos geométricos suportados;
- Um mecanismo de índices espaciais;
- Um conjunto de operadores e funções para melhorar a performance de busca de áreas de interesse;
- Seleções espaciais utilizando instruções SQL.

¹ SDE é um sistema para o acesso a dados espaciais, implementado sobre vários sistemas de gestão de bases de dados relacionais (SGBD), que permite acessar diretamente dados espaciais armazenados em bases de dados relacionais.

3.3 Aplicações de SIG na Engenharia Elétrica

Sistemas SIG encontraram na área de engenharia elétrica um campo vasto de aplicações, das quais serão ressaltadas aquelas relacionadas com o tratamento de redes de distribuição de energia elétrica na área de operação, engenharia e manutenção.

3.3.1 Operação

Na operação de redes elétricas de distribuição de energia, um sistema SIG pode auxiliar em várias etapas do processo de atendimento de reclamações dos consumidores, a saber:

- Localização geográfica do consumidor:

No instante em que o consumidor telefona informando algum problema técnico no suprimento de energia, a disponibilidade de um sistema SIG permite a rápida localização geográfica do reclamante, quer seja através do nome do logradouro, quer seja por meio de interface com sistema URA [4].

Através da observação do mapa focalizado no local fornecido pelo consumidor, sobreposto com o circuito elétrico segundo simbologia de cores que indica o estado atual da rede elétrica que o alimenta, um atendente poderá informar se já existe cadastrada a causa do problema, sua duração prevista, etc.

Em grandes centros urbanos o crescimento desordenado faz com que surjam logradouros não oficialmente cadastrados, o que dificulta a determinação exata do local estabelecido pelo consumidor. Nesse caso, o mapa digital faz com que o atendente possa se guiar através de pontos de referência apontados pelo consumidor.

- Triagem das reclamações:

As reclamações recebidas são submetidas a um processo de triagem, onde são classificadas segundo o tipo, consumidor primário ou secundário, reclamação sobre iluminação pública, etc., sendo atribuídos a elas uma prioridade refletindo a gravidade do problema ou importância do consumidor.

Nesse processo de triagem, muitas das reclamações tem origem num mesmo problema técnico, sendo necessária sua aglutinação. Para tanto, os recursos de tratamento de redes proporcionados pelos softwares SIG, permitem que a cada nova reclamação demarcada num circuito, seja efetuado um procedimento de navegação em direção à fonte de alimentação a fim de determiná-la como sendo proveniente de uma nova causa ou como consequência de causa já estabelecida. Mesmo sendo consequência de causa já conhecida, usando a capacidade de navegação em rede, caminha-se no circuito, a partir do ponto de defeito em direção à subestação alimentadora, a fim de contribuir na determinação da provável região onde se localiza o defeito [3].

- Despacho:

Numa etapa seguinte deve-se definir a necessidade ou não de efetuar manobras ao longo da rede a fim de isolar o defeito. Nesse aspecto o SIG pode ser utilizado na localização visual das chaves seccionadoras próximas à região de defeito. Se houver integração com sistemas de supervisão e controle pode-se representar através de simbologia adequada o estado em tempo real dos equipamentos, bem como ressaltar os trechos de circuitos desenergizados através de cor diferenciada. Caso esse processo seja automatizado através de reconfiguradores de rede, o sistema SIG pode ser utilizado como interface gráfica da topologia da rede. O SIG pode ainda contribuir para que o despachante oriente através de rádio as turmas de manutenção no processo de localização do logradouro onde se localiza o provável defeito.

Caso o veículo utilizado pelas turmas de manutenção for equipado com aparelho de GPS diferencial¹, poderá transmitir continuamente via rádio ou via satélite sua posição para um sistema que colete essas coordenadas e alimente o sistema SIG,

¹ O GPS é na atualidade o sistema de posicionamento global mais difundido e utilizado. Os receptores GPS, de baixo custo tem, uma imprecisão de até 15 metros no posicionamento horizontal. Para se melhorar a precisão do GPS, pode ser utilizada a chamada "correção diferencial", sendo esse sistema chamado de Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) ou GPS diferencial. O funcionamento do DGPS baseia-se na suposição de que o erro na determinação de um ponto é semelhante para todos os receptores situados em um raio de até centenas de quilômetros. A eliminação desse erro permite que o usuário reduza significativamente o erro total presente. Com a utilização do GPS diferencial a precisão no posicionamento pode aumentar até números sub-métricos, dependendo da qualidade do receptor e do sinal de correção utilizados.

possibilitando dessa forma que o despachante passe a ter, visualmente, a posição das turmas de manutenção. Munido dessas informações adicionais, o despachante tem uma visão clara da proximidade das turmas ao local de defeito [3].

- **Roteamento:**

O SIG poderá inclusive promover o roteamento ideal da viatura, desde que disponha de cadastro atualizado com as mãos de direção, ruas interditadas, tipos de calçamento (terra, asfalto, paralelepípedo, etc.). Esse cadastro pode ser atualizado dinamicamente de modo a refletir acidentes de causas naturais tais como enchentes, deslizamentos, trasbordamento, além de interdições de logradouros por manifestações, feiras etc.

O processo de leitura de medidores de consumo de energia elétrica é na maioria das empresas uma tarefa desempenhada manualmente, que vem sofrendo pouca evolução devido aos custos envolvidos. Para minimizar tais custos há necessidade de criar roteiros de leitura que otimizem o trabalho do leiturista.

Neste aspecto o SIG, através do seu cadastro de logradouros associado ao cadastro de consumidores, consegue estabelecer roteiros adequados à capacidade do leiturista, considerando as distâncias envolvidas, número de consumidores e algoritmos diferenciados para cada região, com variadas densidades populacionais.

A partir dos roteiros estabelecidos são geradas listas, para serem carregadas em equipamentos portáteis onde o próprio leiturista digita o consumo. Uma vez concluído um roteiro, ele é transferido do equipamento portátil para cadastro de consumidores da empresa de distribuição, ficando assim também disponíveis para consulta ou aplicativos, já que os consumidores são também georeferenciados [3].

3.3.2 Engenharia

Plataformas SIG facilitam o planejamento e projeto de novas obras na rede elétrica, oferecendo interface gráfica amigável, onde a análise das alternativas visualmente representadas torna-se imediata.

O projeto passa a ser efetuado graficamente, de modo que a inserção de novos postes, equipamentos ou mesmo trechos de circuito, podem ser visualizados imediatamente, ao mesmo tempo que programas técnicos podem avaliar o comportamento elétrico e mecânico. Soluções técnicas são custeadas e comparadas, oferecendo assim um leque de subsídios às opções do projetista.

Detalhamento de projetos, tais como relocação de poste, definição de vão entre postes, não mais necessitam de deslocamento de pessoal até o local da obra, já que o mapeamento oferece o arruamento com a respectiva calçada acompanhado dos edifícios e casas.

Soluções técnicas são confirmadas instantaneamente através de programas de cálculo de fluxo de potência e de esforços mecânicos. A padronização de equipamentos, cabos e componentes fica facilitada, pois toda inserção ou alteração é efetuada usando como referência listas de equipamentos cadastrados na base de dados.

Uma vez detalhada a obra, lista de materiais são produzidas automaticamente, podendo inclusive verificar junto ao sistema de estoque sua disponibilidade, ou ainda promover a sua reserva, no ato.

Um exemplo desses sistemas é o Visual Projac [34] (utilizado pela Eletropaulo Metropolitana - Eletricidade de São Paulo), destinado a auxiliar o pessoal técnico na elaboração de projetos de redes elétricas de distribuição.

As principais características do Visual Projac são a edição gráfica de redes (adição, remoção e alteração de postes, trechos e demais elementos, execução de manobras, etc.), o cálculo elétrico de redes primárias e secundárias (fluxo de potência, curto-circuito e balanceamento da carga), o cálculo de esforços mecânicos nos postes da rede e finalmente o módulo para execução de orçamentos associados aos projetos técnicos.

A diminuição do tempo médio de projeto é hoje uma realidade na Eletropaulo, principalmente quando se considera a integração que o sistema Visual Projac permite entre os sistemas técnicos de projeto e de orçamentação, diretamente no computador pessoal situado na mesa do projetista [34].

3.3.3 Manutenção

Os serviços de manutenção preventiva e corretiva ficam facilitados, uma vez que o geo-referenciamento vincula a cada equipamento um base alfanumérica que poderá conter o seu histórico, permitindo, permitindo a visualização gráfica das seguintes perguntas:

- Localização de equipamentos que apresentam mais do que um determinado número de defeitos no período considerado, bem como roteiro para turma de manutenção que irá fazer uma vistoria neles;
- Visualização de todos os trechos de circuito nas proximidades de árvores e cursos d'água passíveis de trasbordamento;
- Programação de desligamentos de forma a aglutinar num mesmo desligamento todas as obras de uma região de um circuito.

4 RECONFIGURAÇÃO DE REDES PRIMÁRIAS DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO SIG

4.1 Introdução

Neste capítulo será mostrada inicialmente a metodologia desenvolvida para reconfigurar as redes primárias de distribuição de energia elétrica, definindo dados necessários, modelo da rede elétrica a ser utilizado e programa de cálculo de fluxo de potência.

Logo em seguida será apresentado o sistema computacional empregado para o desenvolvimento do sistema de reconfigurador de redes primárias de distribuição, com descrição das linguagens utilizadas, principais estruturas de dados, módulos do sistema e principais componentes.

No item seguinte serão mostrados detalhes do sistema com exemplos de aplicação, destacando recursos do mesmo. Será feita uma análise através de casos exemplos dos principais resultados obtidos, destacando casos que resultaram em manobras sem sobrecarga nos alimentadores e casos com sobrecargas e quedas de tensão acima dos padrões estabelecidos.

4.2 Metodologia

Quando há necessidade de reconfigurar um sistema de distribuição de energia elétrica deve-se ter disponível a topologia da rede elétrica com a localização geográfica dos elementos que compõem a rede elétrica (chaves, transformadores, etc.). Essas informações serão obtidas de um banco de dados geo-referenciado onde os modelos lógico e físico são mostrados em detalhes no anexo A.

A metodologia para reconfigurar a rede consiste na troca do estado das chaves seccionadoras ao longo da rede alterando a topologia inicial dos circuitos elétricos envolvidos, mas mantendo a sua topologia radial.

As chaves seccionadoras delimitam blocos de carga, assim existem chaves no início e fim de cada bloco. Sendo que o bloco inicial é delimitado pelo disjuntor no ponto

inicial e por chave seccionadora no ponto final. Os blocos de carga são formados por vários trechos e podem conter vários transformadores (ET, EP, etc.).

O cálculo elétrico é executado por um programa auxiliar de fluxo de potência. Este programa foi desenvolvido para o tratamento de redes radiais, sendo capaz de identificar, previamente à fase de cálculo, redes que apresentam inconsistências tais como fechamento de malha e existência de trechos isolados. A carga é considerada com sendo equilibrada, e é representada pelo modelo de corrente constante, no qual a corrente não varia quando a tensão de alimentação varia. A demanda máxima em cada transformador de distribuição é calculada através da potência nominal do mesmo e do correspondente valor do fator de demanda. Além disso, as cargas podem ser removidas ou inseridas no circuito, possibilitando a análise de diferentes cenários. As correntes de todos os trechos de rede, e as tensões em todas as barras, são obtidas através dos seguintes passos:

- calculam-se as correntes injetadas em todas as barras de carga (consumidores primários, transformadores de distribuição, iluminação pública e bancos de capacitores), considerando-se que todas as barras estejam com a tensão nominal do circuito;
- partindo-se das barras terminais da rede, percorre-se os trechos ordenados através do algoritmo “Pai-Filho” [6], em direção ao início do alimentador, acumulando-se as correntes de cada trecho, no trecho imediatamente a sua montante e para cada trecho de rede, calculam-se as quedas de tensão.
- partindo-se da barra inicial da rede, na saída da subestação, calculam-se as quedas de tensão acumuladas até cada uma das barra da rede, a partir dos valores de queda de tensão calculados no passo anterior.

4.2.1 Algoritmo Pai-Filho

O algoritmo coloca os trechos numa seqüência de modo que o trecho pai tenha sempre um número seqüencial menor que o trecho filho. Quando um trecho tem ligado a si um outro trecho, no sentido fonte-carga, diz-se que é um trecho pai. Consequentemente, o trecho a seguir é um trecho filho. Cada trecho de circuito tem nós iniciais e finais, que correspondem a coordenadas iniciais e finais. O disjuntor

deve ter o menor índice da sequência de todo o circuito devido à sua localização na subestação.

O algoritmo tem a seguinte rotina básica:

Inicialmente, todos os trechos recebem zero como número sequencial. Procura-se então dentre os trechos se existe algum em que o nó inicial seja igual ao do disjuntor. Se não foi achado nenhum trecho, a rotina deve ser encerrada pois deve haver algum problema na base de dados. Se achou, guardam-se os nós iniciais e utiliza-se os nós finais do trecho encontrado. Procura-se por outro trecho que tenha nó inicial igual ao nó final deste trecho. Cada trecho encontrado recebe um número sequencial. O procedimento anterior é repetido até que não se ache mais nenhum trecho que tenha número sequencial igual a zero. Quando isso ocorrer, significa que se chegou ao fim do circuito [6], [15].

Um exemplo do algoritmo “Pai-Filho” é mostrado a seguir.

Figura 4-1 – Exemplo de Rede Fictícia com Nós e Números de Referência

Como pode ser visto nesse circuito, a montagem da tabela inicia-se no nó 340 e tem os trechos indicados a seguir:

Tabela 4-1 – Tabela de Referência de Nós da Rede

Referência	Nó Inicial	Nó Final	Seqüência
1	445	475	0
2	501	562	0
3	475	487	0
4	340	364	0
5	518	501	0
6	364	356	0
7	475	501	0
8	364	445	0

Notar que inicialmente o valor de seqüência é zero para todos os trechos. Aplicando-se a rotina, toma-se por base o nó do disjuntor (inicial do circuito) que é 340. Procura-se um trecho que tenha o nó inicial idêntico ao do circuito. No caso, encontra-se o trecho de referência 4, numera-se sua seqüência como sendo 1 e indica seu pai, no caso o disjuntor.

Em seguida, procura-se o primeiro trecho que tenha nó inicial igual ao nó final deste trecho, ou seja 364. Encontra-se o trecho de referência 6 que tem nó final 356, marca-se o trecho que tem como pai o número de seqüência do trecho que o procurou. Passa-se a procurar o trecho que tem nó inicial igual a 356. Se não encontrado, como no nosso caso, o nó inicial passa a ser igual ao nó final do trecho se seqüência 1, que é 364.

Tabela 4-2 – Tabela de Seqüência Inicial de Nós da Rede

Referência	Nó Inicial	Nó final	Seqüência
4	340	364	1
6	364	356	2

Novamente procura-se o primeiro trecho que tenha nó inicial igual a 364 e que tenha seqüência igual a zero. Encontra-se no exemplo o trecho de referência 8. Dando continuidade ao processo, chegando ao nó final 487, deve ser procurado o primeiro trecho que tenha nó inicial 487. Não há mais nenhum trecho, pois é um final de linha. Volta-se então ao nó inicial 340 e procura-se o primeiro trecho que tenha nó inicial 340 e tenha seqüência igual a zero. Dessa forma o nó inicial de busca passa a ser o do

trecho de seqüência 4, que é 475. Novamente procura-se um trecho que tenha nó inicial igual a 475 e seqüência igual a zero, encontrando-se o trecho de referência 7 que passa a ser o trecho de seqüência 6. Segue-se então a rotina e então encontra-se o trecho de referência 5 e atribui-se seqüência 7 a ele.

Chegou-se a outro final de linha e então volta-se ao disjuntor e procura-se novamente trechos que tenham seqüência igual a zero. Encontra-se o trecho de seqüência 6, que tem nó final 501. Então procura-se um trecho que tenha nó inicial igual a 501 e encontra-se o trecho de referência 2, passando a ser o trecho de seqüência 8. A partir daí os trechos para critério de busca são alterados, pois não existe nenhum outro trecho que já não tenha seu número de seqüência. Assim, obtém-se a topologia final do circuito, com a seguinte ordem:

Tabela 4-3 – Tabela de Seqüência Final de Nós da Rede

Referência	Nó Inicial	Nó Final	Seqüência
4	340	364	1
6	364	356	2
8	364	445	3
1	445	475	4
3	475	487	5
7	475	501	6
5	501	518	7
2	501	562	8

Figura 4-2 – Topologia de Rede Fictícia com seus Respetivos Nós e Seqüências

4.2.2 Modelo de Dados

O modelo de dados proposto, mostrado na figura 4-3, provê recursos para o armazenamento ordenado e confiável das informações relativas a todos os equipamentos instalados, com detalhes que vão desde suas características elétricas até sua localização geográfica, armazena ainda detalhes técnicos e comerciais dos consumidores, associando cada endereço geográfico ao correspondente endereço elétrico.

Detalhes sobre a modelagem com descrição de todos os campos e relacionamentos são fornecidos no anexo A.

Figura 4-3 – Diagrama E-R do Modelo Conceitual de Dados

4.3 Implementação Computacional

As informações da rede elétrica para o aplicativo foram disponibilizados por uma concessionária de energia elétrica. Esses dados encontravam-se em mainframe (computar de grande porte) com ADABAS C, que é um sistema gerenciador de banco de dados hierárquico. A migração desses dados para um de banco de dados relacional, ORACLE, foi feita através de programas extratores (retiram dados do banco de dados hierárquico em arquivos seqüenciais) e de programas importadores (inserem dados no banco de dados relacional a partir de arquivos seqüenciais).

Tem-se na figura 4-4 uma visão geral do funcionamento do sistema desenvolvido.

Figura 4-4 – Sistema SIG

O sistema desenvolvido é composto por programas extratores de dados do *mainframe*, escritos na linguagem de programação Natural, por um programa de importação de dados *SQL*Loader* (ORACLE), um SGBD ORACLE 8i e interfaces com o usuário escritas em linguagem Microsoft Visual Basic 6.0 com componentes *MapObjects 2.0* da ESRI.

Os programas extratores geram arquivos seqüenciais que são lidos pelo programa importador. Os arquivos seqüenciais contém informações da topologia da rede elétrica e todos os seus elementos juntamente com os consumidores das instalações transformadoras, conforme modelagem de dados definida no anexo A.

Arquivos de controle, contendo as especificações das tabelas a serem carregadas, são gerados pelo programa principal, que executa o programa *SQL*Loader* com esses parâmetros de controle. Assim, são carregadas as informações no banco de dados Oracle. Uma vez carregadas no banco de dados Oracle, essas informações são acessadas pelo aplicativo que consulta e modifica essas informações através de consultas do *SQL* e através da execução de *Procedures* diretamente no banco de dados.

As informações necessárias para a criação dos temas são carregadas localmente criando arquivos do tipo SHP. Esses arquivos são os temas com as características elétricas como a distribuição dos circuitos, a localização das chaves, transformadores e subestações. Outros arquivos utilizados são do tipo DGN, oriundos de sistemas CAD. Esses arquivos contém as plantas topográficas, ou seja as ruas, logradouros e edifícios de maior importância. Todos esses arquivos são carregados em mapas de camadas onde a interação entre eles e o banco de dados resulta a análise das informações.

O aplicativo desenvolvido é um sistema formado por três módulos:

- Gerenciamento de dados para inserção no banco de dados;
- Criação de temas para análise (circuitos , chaves, transformadores, etc.);
- Reconfiguração, visualização e análise da rede elétrica.

O acesso as informações é feito a três bases distintas, o SGBD ORACLE onde estão os dados alfanuméricos da rede elétrica e dos consumidores, a base de dados contendo as plantas topográficas onde são colocados os mapas com logradouros, ruas, etc., e a base de dados dos temas. Essas informações trafegam em uma rede *Ethernet* controladas pelo aplicativo. Podem ser utilizados vários aplicativos ao mesmo tempo. Os aplicativos podem estar distribuídos em várias estações de trabalho, onde cada aplicativo pode analisar regiões ou situações diferentes e disponibilizar os resultados para os outros aplicativos, como mostra a figura 4-5.

Figura 4-5 – Fluxo de Informações do Aplicativo

4.3.1 Ferramentas de SIG

Foram escolhidas as ferramentas da ESRI utilizando os componentes MapObjects devido à ampla utilização pelo mercado, à disponibilidade de documentação dos seus componentes e devido à compatibilidade com o produto Microsoft Visual Basic (VB). Esses componentes foram desenvolvidos pela ESRI utilizando interface OLE, isto é, como um módulo OCX, permitindo dessa forma a inclusão desses objetos diretamente nas ferramentas do VB e assim acessar todos os métodos, propriedades e eventos associados.

Os componentes MapObjects podem ser incluídos em muitos ambientes de desenvolvimento standard, como o Visual Basic, Delphi, PowerBuilder, Visual C++, Access entre outros. Os MapObjects podem ser usados para desenvolver aplicações com capacidades SIG ou integrar funcionalidades de SIG em aplicações já existentes.

O controle de mapa inclui o seguintes objetos:

- *Map Layer*, é o mais importante objeto do sistema. Um mapa tem vários *Layers*. Cada *Map Layer* representa um tema no mapa, eles podem ser mostrados todos de uma vez ou selecionados um a um pelo usuário. Os *Map Layer* são baseados em pontos, linhas e polígonos.
- *Image Layer*, são baseados em vetores do tipo Raster como imagens de satélite ou fotos aéreas. Podem ser integrados com o *Map Layer* no mesmo tema.

- *Tracking Layer*, são camadas especiais que estão sempre na camada superior. Esta camada contém objetos chamados de *GeoEvents* as quais podem ser movimentados continuamente, sem requerer uma complexa manipulação como no caso do *Map Layer* ou do *Image Layer*.
- *Event Render*, pode ser utilizado para simbolizar um evento a uma determinada distancia ao longo de uma linha. Geralmente é utilizado para simbolizar determinadas características ou para escrever informações em torno de um objeto.
- *Value Map Render*, associa um único símbolo para cada valor de atributo de uma determinada característica do mapa, dessa forma é possível mostrar diferentes características em um único tema.
- *Dot Density Render*, associa cores de forma a simbolizar uma densidade a partir de um valor de um atributo de uma determinada característica.
- *Label Render*, aplica textos ao mapa dispostos automaticamente associados a uma determinada característica.

Os componentes do MapObjects também incluem elementos de geometria básica como pontos, linhas, polígonos, retângulos, elipses, e objetos de transformação de sistema projeção que acessam dados espaciais para serem convertidos em diferentes projeções.

4.3.2 Módulo de Gerenciamento de Dados

O modulo de gerenciamento de dados é responsável, na importação, pela edição de um arquivo de controle para cada tabela do banco de dados a ser carregada. Os arquivos de controle são arquivos de entrada para o programa de carga “*SQL*Loader*” que é um aplicativo da Oracle para inserção de dados no banco. Esses arquivos mantêm uma ordem para ser executados que depende da modelagem do banco de dados, ou seja deve-se carregar primeiro as tabelas filhas e depois a tabela pai, mantendo a integridade referencial.

Nesses arquivos são especificados o arquivo de entrada, o arquivo de registros descartados pelo banco de dados Oracle devido a violações de restrições de integridade relacional, o arquivo de registros ruins que são eliminados devido a

problemas com os dados no arquivo de extração ou por restrições impostas no próprio arquivo de controle, o tipo de inserção no banco (*insert*, *append*, *truncate* ou *replace*) e por fim a descrição dos campos da tabela com as suas restrições.

O *Insert* é o método principal. É o mais rápido de todos e requer que as tabelas estejam vazias. O *append* é utilizado quando já existem dados nas tabelas e se deseja acrescentar novos registros. O *replace* é utilizado para apagar os dados linha a linha das tabelas antes de inserir os novos valores, essa opção pode ser demorada dependendo da quantidade de registros da tabela. O *truncate* apaga a tabela inteira e insere os dados na tabela vazia. Para esse método todas as restrições de integridade relacional devem estar desabilitadas [10].

Na figura 4-6 é mostrado a tela do aplicativo que gerência a carga dos dados para o base de dados Oracle.

Figura 4-6 – Módulo de Carga

Após a importação dos dados no banco, o programa gera arquivos de texto para registro de erros, que podem ser visualizados pelo aplicativo. O usuário deve tomar decisões, de aceitar como corretos os dados inseridos no banco de dados, a partir desses arquivos e tendo a modelagem do banco de dados como parâmetro, verificando a relevância das mensagens de erros apresentadas.

4.3.3 Módulo de Criação de Temas

No módulo de criação de temas objetiva criar os temas contemplando a topologia dos circuitos. Os dados são obtidos no banco de dados Oracle separados por subestação e por tipo (Circuito, Subestação, Transformadores e Chaves Seccionadoras).

Para a criação dos temas seleciona-se o botão na barra de ferramentas “Tema” onde é necessário fazer a conexão ao banco de dados (figura 4-7). Caso já esteja conectado aparecerá diretamente a tela para a criação das temas. Caso ainda não esteja conectado ao banco de dados, é mostrada uma tela de conexão onde é pedido senha, usuário e instância do banco de dados.

Figura 4-7 – Criação de Temas

Feita a conexão com sucesso, é mostrada a tela de criação de Temas onde deve-se selecionar os tipos de temas disponíveis (Circuitos, Transformadores, Subestação ou Chaves). Feita a escolha do tipo de tema e da subestação desejada são retirados do banco de dados os valores geográficos e atributos alfanuméricos necessários para a sua construção. Para cada tema são gerados três arquivos, um arquivo principal chamado de *shapefile* (shp), um arquivo de índices (shx) e um arquivo de dados alfanuméricos (dbf), como é mostrado na figura 4-8.

Um *shapefile* guarda informações da geometria e de atributos para as características espaciais. A geometria para uma característica é armazenada enquanto uma forma que compreende um conjunto de vetores ordenados de coordenadas. Com isso os *shapefiles* não requerem muitos gastos de processamento com uma estrutura de dados, tem velocidade de desenho e habilidade de edição. Também requerem pouco espaço em disco e são fáceis de ler e escrever. Os *shapefiles* suportam pontos, linha, ou áreas. Os atributos são guardados em formato ISAM nos arquivos de dados alfanuméricos e cada registro do atributo tem um relacionamento um para um com o registro geográfico associado.

Figura 4.8 – Informações para Criação de Temas

Para o correto funcionamento do reconfigurador de redes é necessário que existam os temas de Circuito, Subestação, Transformadores e Chaves Seccionadoras para cada subestação a ser analisada, já que existe uma interação entre os temas.

A modelagem de dados de rede elétrica contém a sequência de poste para cada trecho do alimentador. Para a construção do tema de Circuitos, busca-se no banco de dados essas informações a qual serão transformadas em elementos espaciais. Devido ao impacto na performance no banco de dados de se impor uma regra de carga para a sequência de postes para cada trecho de cada circuito, foi adotado fazer essa verificação no momento que são gerados os dados espaciais. Essa verificação é importante para inversões na sequência de postes provocando a formação de trechos em zig e zag, impactando no cálculo do fluxo de potência.

O algoritmo de verificação assume que a seqüência correta é aquela cuja a seqüência de pontos de fixação seja a mais próxima, ou seja é a menor distancia euclideana entre dois pontos.

Nessa verificação é gerado um arquivo com os trechos que não satisfizeram a condição de menor distância entre as seqüência de pontos de fixação. Neste são mostrados os circuitos, os trechos e a seqüência correta dos pontos de fixação.

Verificou-se que na grande maioria dos casos realmente existia um erro de cadastro na seqüência de fixação dos trechos, porém em alguns casos não foi possível verificar a seqüência correta (figura 4-9), então fica a cargo do usuário aceitar as modificações e alterar, na tabela, os valores da seqüência de pontos de fixação. Essas alterações podem ser gravadas de volta no banco de dados Oracle.

Figura 4-9 – Seqüência Indeterminada

No caso dos temas de Transformadores, Chaves Seccionadoras e Subestação, cuja representação geográfica são pontos, cada elemento é representados por um pequeno quadrado, posteriormente este símbolo poderá ser alterado para uma melhor representação dos elementos geográficos. No botão “Gravar Shape” aparecerá a caixa de dialogo, pedindo nome e diretório do arquivo de dados geográficos que será gravado.

4.3.4 Módulo de Reconfiguração, Visualização e Análise

Neste módulo está envolvida a abertura e fechamento de chaves para reconfigurar o sistema. É apresentado ao usuário um mapa com a sobreposição dos temas das chaves, dos circuitos, dos transformadores e das subestações. Esses temas irão interagir para a verificação do caminho elétrico e da sua conectividade gerando um

Figura 4-11 – Descrição do Tema Selecionado

Selecionando o botão de *View* será acrescentado o tema ao mapa. Repetindo o processo para todos os temas, temos um mapa com a sobreposição dos elementos necessários para reconfigurar a rede elétrica (circuitos, chaves transformadores e subestação).

O mapa possui uma legenda a esquerda, que controla a visualização dos temas. É possível ligar ou desligar um tema com o mouse apertando sobre o tema desejado e ativando ou desativando o quadro de seleção do tema (*check box*). A legenda também controla o tipo de símbolo associada a uma determina característica do tema, além de determinar a posição de sobreposição no mapa através da posição na legenda. De cima para baixo a primeira posição é a mais externa, ou seja o tema que se encontra no inicio da legenda é aquele que está em cima de todas as outras temas. Esse fato é importante para a visualização dos temas que se sobrepõem podendo encobrir alguma característica. Para controlar a posição do tema na legenda basta arrastar e soltar, na legenda, o tema para a posição desejada. Na figura 4-12 mostra-se a tela do aplicativo com vários temas.

Figura 4-12 – Tela Principal do Programa

4.3.4.2 Controlando os Símbolos

A utilização adequada de símbolos em um SIG é muito importante. O símbolo é o elemento básico de identificação e interação com o mapa. Uma escolha ruim de símbolos pode levar a poluição visual do mapa ou até a uma indefinição nos elementos geográficos, somando-se a isso uma falta de uma padronização de símbolos onde cada departamento de uma empresa desenvolve símbolos próprios e de sua necessidade.

As formas sozinhas não dão bastante informação sobre um elemento; assim, símbolos gráficos ajudam a identificar características e fornecer a informação sobre elas. Há símbolos para pontos, para linhas, e para áreas. Símbolos para pontos geralmente são elementos gráficos de lembram de alguma forma o elemento que esta sendo representado. Como exemplo, o símbolo para um aeroporto pode ser um pequeno avião. Os símbolos de linhas incluem linhas grossas ou finas, contínuas ou

quebradas, e podem ser de várias cores. Os símbolos de área incluem as cores e os padrões usados para preencher uma área. Algumas cores têm uma relação natural aos objetos que representam, como o azul para a água e o verde para parques.

Às vezes somente os símbolos não dão bastante informação sobre o elemento, assim são adicionados textos que ajudam a identificar suas características. Por exemplo, sabe-se que a área em azul em um mapa é um rio, mas não se sabe qual é, então é necessário etiquetas para identificá-lo pelo nome.

Muitas vezes é necessário apresentar informações que têm um grande número de valores tais como a corrente nos trechos de um circuito, tensão em cada ponto do circuito ou os consumidores de uma região. Desde que torna-se muito confuso indicar cada valor no mapa, pode-se dividi-los em grupos. Cada membro de um grupo recebe o mesmo símbolo. Dividir valores em grupos, ou classificá-los, faz com que grande parte da informação seja apresentada em um mapa.

Para alterar os símbolos de um determinado tema deve-se pressionar duas vezes o botão do mouse sobre o tema na legenda (*double click*). Aparecerá uma caixa de dialogo com os possíveis controles sobre o tema escolhido. Neste controle estão três pastas, a pasta de símbolo, texto e tamanho. Na pasta de símbolo aparece os nome dos campos dos atributos alfanuméricos que podem ser associados ao símbolo, assim o tipo de símbolo e cor podem ser definidos pelos diferentes valores do atributo. Na pasta de texto aparece o texto da legenda para cada símbolo, com valores padrões, que podem ser alterados pelo usuário e por fim na pasta tamanho pode-se definir o tamanho com que os símbolos são mostrados no mapa (figura 4-13).

Figura 4-13 – Controle de Legenda

4.3.4.3 Diagrama de Blocos de Carga

Em redes de distribuição com alimentadores com grande quantidade de ramais ou vários alimentadores passando pela mesma área, há uma dificuldade de visualização da topologia do circuito inteiro. Essa dificuldade se reflete na busca das possibilidades de reconfiguração do sistema, fazendo com que um operador não muito experiente perca alguma possibilidade de reconfiguração da rede elétrica. Neste caso é possível, a partir do aplicativo, ter uma imagem do circuito em diagrama de blocos, o qual permite uma fácil verificação de todas as chaves e a distribuição de cargas pelo circuito. Esse diagrama de blocos de carga é gerado automaticamente com informações retiradas do banco de dados, como é mostrado na figura 4-14.

Figura 4-14 – Diagrama do Circuito em Blocos de Carga

4.3.4.4 Consumidores

Mantendo-se um cadastro, no banco de dados, sempre atualizado dos consumidores, é possível através do aplicativo encontrar todos os consumidores das instalações que foram afetadas por uma manobra na rede elétrica. E assim dar um tratamento diferenciado a cada consumidor, que pode ser avisado com antecedência do desligamento. Essas instalações podem ser tanto transformadores que alimentam vários consumidores de baixa tensão (ET), bem com transformadores que alimentam um único consumidor de média tensão (EP).

Após identificar os trechos que ficaram desenergizados na manobra, no mapa, facilmente identifica-se as instalações transformadoras que pertencem a esses trechos de circuito. Na barra de ferramentas temos um botão que aciona a função de busca de consumidores. Esta função busca no mapa os atributos de identificação dos transformadores selecionados e faz uma busca na base de dados Oracle, retornando todos os consumidores que pertencem a essas instalações.

Na figura 4-15 é mostrada a barra de ferramentas do aplicativo, ressaltando o botão de busca dos consumidores.

Figura 4-15 – Ferramenta de Busca de Consumidores

Na figura 4-16 são mostrados os consumidores encontrados, de uma instalação transformadora específica, através da função de busca de consumidores do aplicativo. Assim é possível identificar previamente os consumidores afetados e tomar providências para informá-los do desligamento, podendo automatizar o envio de cartas de aviso aos consumidores, ou analisar a importância desses consumidores podendo buscar alternativas para não desligá-los.

Consumidores das Instalações			
Referência	Instalação		Nome do Consumidor
BTE045021058	354ET061100	9	MARIA ALVES
BTE045021066	354ET061100	9	DJALMA
BTE045021074	354ET061100	9	FRANCISCO SOARES
BTE045021082	354ET061100	9	JOAO EVERARDO
BTE045021091	354ET061100	9	JOSE CARLOS
BTE078243726	354ET061100	9	SAMUEL ROSA
BTE045021104	354ET061100	9	ANTONIO
BTE045021112	354ET061100	9	FRANCISCA C
BTE045021121	354ET061100	9	MARIA DAS GRACAS
BTE045021139	354ET061100	9	MARIA TEREZA
BTE045021147	354ET061100	9	MARIA DE FATIMA RODRIGUES
BTE045021155	354ET061100	9	ERASMO FRANCISCO
BTE045021163	354ET061100	9	MARIA J C NASCIMENTO
BTE045021996	354ET061100	9	ANTONIO PEDRO
BTE045022003	354ET061100	9	JOSEMIR EUCLIDES

Figura 4-16 – Consumidores da Instalação Transformadora

4.3.4.5 Reconfigurando a Rede Elétrica

Após a inserção de todos os temas e símbolos necessários para a análise, pode-se reconfigurar a rede elétrica de forma a simular uma nova situação do sistema. Foi implementada uma função nos botões de ferramentas de controle que permite a troca do estado da chave a partir da seleção gráfica do elemento chave, desde que o tema a ser alterado esteja ativo, no caso o tema das chaves seccionadoras, juntamente com o botão na barra de controle (ver figura 4-17) e então é habilitado a seleção das chaves através do mouse. Pode-se selecionar uma de cada vez, ou várias de uma só vez.

Figura 4-17 – Ferramentas de Controle e Visualização

Para auxiliar a busca das chaves pode-se usar as ferramentas de controle de visualização (*zoom* e *pan*), localizados na mesma barra de ferramentas.

A simbologia adotada para a representação do estado da chaves, aberta ou fechada é feita através de cores. A cor vermelha indica que a chave esta no estado fechado enquanto que a cor verde indica o estado aberto da chave. A alteração do estado da chave implica em uma alteração no atributo alfanumérico do arquivo “dbf” referente ao tema das chaves. Na tabela 4-4 é mostrado uma pequena parte do arquivo de atributos alfanuméricos do tema das chaves. Nela vemos os atributos “ETD” indicando o nome da subestação a que pertence, “NROCIRT” é o atributo que indica o número do circuito, “IDBLOCO” é o atributo que contém o nome do bloco que a chave pertence, “VISAVIS” é o atributo indicador que a chave faz conexão com outro circuito (0 = não ou 1 = sim), “TIPO” é o atributo que indica o tipo de elemento (chave seccionadora, base fusível, chave faca ou disjuntor), “SITU” indica o estado do elemento (0 = aberto e 1 = fechado), este utilizado para editar o estado da chave, “CAPNOMI” é o atributo da capacidade nominal, em ampères, do elemento, e por fim o “IDINST” é o atributo com o identificador da instalação.

Tabela 4-4 – Atributos Alfanuméricos do Tema

Etd	NroCirt	IdBloco	Visavis	Tipo	Situ	CapNomi	IdInst
NMU	101	BLNMU101	0	DJ	0DJ	1200	9UDJNMU101
NMU	101	BLO3542637	0	CH	0CH	400	9UCH050161
NMU	101	BLO3542645	1	CH	1CH	400	9UCH050163
NMU	101	BLO3542645	1	CH	1CH	400	9UCH050162
NMU	101	BLO3542645	1	CH	1CH	400	9UCH050166
NMU	101	BLO3542645	1	CH	1CH	400	9UCH050172
NMU	101	BLO3542645	1	CH	1CH	400	9UCH050177

Na figura 4-18 pode-se ver facilmente a legenda, à esquerda, com o tema das chaves ativo, com o botão da função de troca de estado da chave selecionada e um retângulo, no mapa, envolvendo a chave que terá seu estado alterado de aberto para fechado. Deve-se ressaltar a possibilidade de manobrar qualquer elemento geográfico no tema como base fusível, chaves facas e até mesmo o disjuntor se assim for necessário.

Assim, para cada elemento do tema pode-se repetir o processo até reconfigurar o sistema da forma desejada, lembrando-se que para o cálculo de fluxo de potência a rede elétrica necessita estar radial.

Figura 4-18 – Trocando Estado das Chaves

4.3.4.6 Seleção Espacial dos Circuitos

Para executar o cálculo de fluxo de potência da rede elétrica (*Load Flow*) é necessário selecionar os circuitos a serem calculados, podendo ser todos de uma determinada subestação ou algum circuito em particular. Na barra de ferramentas de controle e visualização existe um botão de seleção de circuitos. Esse botão habilita uma caixa de texto para inserção do número do circuito. A função de seleção de circuitos parte da barra da subestação, onde está o disjuntor, e procura graficamente o próximo trecho do circuito que está conectado a ele. A seleção espacial verifica o estado das chaves que encontra pelo caminho elétrico para se certificar da conectividade, ou seja, além de verificar a conectividade geográfica verifica também a conectividade elétrica através do estado das chaves encontradas, interagindo entre as diversas camadas. Faz também uma verificação dos elementos de conectividade através de atributos para descartar a conectividade de trechos que se cruzam porém não estão conectados eletricamente, como no caso de circuitos que passam em alturas

diferentes pelo mesmo trecho e que na visualização no sistema 2D não é possível identificar geograficamente.

Assim sendo é feito uma ordenação “Pai-Filho” utilizando-se de elementos geográficos em vez de tabelas com identificadores de início e fim de trecho. Cada seleção de trecho é desenhada no mapa podendo assim acompanhar a evolução do circuito selecionado.

A cada trecho selecionado busca-se, também geograficamente, as cargas instaladas no trecho, através da interação com o tema de transformadores, armazenando esses valores para então produzir um arquivo, contendo a sequência de trechos, as bitolas, comprimentos de cada trecho e as somatória das cargas encontradas em cada trecho.

Esse arquivo será utilizado como entrada do programa de cálculo de fluxo de potência. Além da topologia de rede esse arquivo contém no início do arquivo, as características elétricas dos cabos utilizados no circuito. O anexo B mostra com detalhes as definições das estruturas dos arquivos de dados bem como as características do programa de cálculo de fluxo de potência.

Na figura 4-19 temos um exemplo de um circuito selecionado com a identificação da subestação e a localização de todos os seus transformadores.

Figura 4-19 – Circuito Selecionado

Para o cálculo elétrico as cargas são consideradas concentradas no transformador de distribuição e seu valor será a potência nominal dos transformadores com um fator de potência de 0,9 (redefinível pelo usuário) e carga assumida como sendo equilibrada.

O cálculo da queda de tensão pode ser efetuado modelando-se as cargas como sendo de impedância constante, corrente constante, potência constante ou ainda uma combinação dessas modelagens. Nas análises efetuadas foi adotado o modelo de carga de corrente constante, pois melhor se adapta à maioria das cargas instaladas. Os resultados do processamento do programa de cálculo elétrico são gravados num arquivo de atributos do circuito elétrico (dbf), e podem ser consultados e analisados através das ferramentas do aplicativo SIG.

4.4 Aplicação

O caso exemplo consiste em analisar os requisitos de limites de tensão, corrente admissíveis nos trechos e carregamento dos transformadores, depois de uma reconfiguração da rede elétrica.

É feita uma simulação de uma manutenção na rede elétrica, desligando-se alguns trechos de circuito e então tenta-se encontrar, através de uma visualização gráfica dos circuitos e das chaves, uma configuração para alimentar os trechos a jusante dos trechos desligados, tentando diminuir o número de consumidores afetados pela manobra. Por fim, são analisadas as características elétricas da nova topologia da rede e encontram-se os consumidores das instalações que ficaram desligados na simulação de manutenção da rede elétrica.

Dessa forma obtêm-se as informações suficientes para avaliar a possível utilização da nova configuração, que devem ser somadas a critérios subjetivos, como período do ano ou hora do dia, localização geográfica, número e tempo de manobras, eventos esportivos, políticos e culturais, tipos de consumidores que serão afetados, condições meteorológicas, entre outros fatores.

Na figura 4-20 é mostrado parte de um mapa enfocando alguns circuitos de uma subestação. Destaca-se as chaves que serão abertas, assim isolando uma parte do circuito, no caso exemplo para uma manutenção preventiva, e a chave que será fechada, transferindo a carga do circuito número 105, que ficaria desligada, para o

circuito número 106, que é uma das possíveis soluções para esta operação de manutenção na rede elétrica.

Figura 4-20 – Reconfigurando a Rede Elétrica – Caso 1

Analisando os circuitos, para o mesmo problema, notamos a possibilidade de transferência da carga também para o circuito número 104 (ver a legenda do mapa na figura 4-20) ou até mesmo uma solução mista, transferindo parte da carga para o circuito número 106 e parte da carga para o circuito número 104 aumentando, é claro, o número de manobras realizadas na rede. O sistema de distribuição permite ainda a manobra entre circuitos de diferentes subestações através de chaves seccionadoras chamadas de vis-à-vis ou chaves de socorro que são normalmente abertas, aumentando assim as possibilidades de solução do problema.

Observando apenas os circuitos envolvidos nas manobras tem-se na figura 4-21 o circuito número 106 original e ao lado está o mesmo circuito após a manobra, no qual observa-se um acréscimo de trechos, enquanto na figura 4-22 tem-se o circuito

número 105 na sua configuração original, que terá os trechos desligados para a simulação da manutenção, e ao lado o mesmo circuito após a reconfiguração.

Figura 4-21 – Circuito 106 Antes e Depois da Reconfiguração – Caso 1

Figura 4-22 – Circuito 105 Antes e Depois da Reconfiguração – Caso 1

O fluxo de potência é aplicado somente para redes radiais. O resultado do cálculo de fluxo de potência são os valores de tensão em cada ponto da rede, corrente nos trechos, perdas ativas e reativas e potência passante para cada trecho. Caso existam trechos que formem malha, o processo de ordenação dos trechos mostrará os trechos

onde isso ocorre, assim o usuário tem condições de reconfigurar o sistema sem que ocorram malhas. O cálculo da queda de tensão será efetuado considerando-se as cargas como sendo de corrente constante.

Os resultados podem ser analisados através de ferramentas de análise por tensão e de análise por corrente. Na análise por tensão tem-se uma visualização gráfica de todos os trechos dos circuitos que ultrapassaram os limites de tensão estabelecidos, tanto para cima como para baixo, em cores distintas para cada 5% de acréscimo ou decréscimo de tensão nominal. Na representação gráfica é adotado que o trecho inteiro tem a mesma cor representativa da tensão no ponto final do mesmo, ou seja para os trechos cuja tensão resultar entre 1,05 e 1,10 pu, serão desenhados em uma cor e os que estiverem entre 0,95 e 0,90 pu serão desenhados em outra cor e assim por diante, para cada 5% de acréscimo ou decréscimo de tensão, até serem esgotados todos os pontos com violação do limite de tensão. Esses valores se refletem em uma legenda que descreve os patamares de tensão associados e indicando se é um acréscimo ou um decréscimo de tensão. Para determinar com exatidão o valor de tensão de um determinado ponto do circuito em estudo pode-se recorrer à ferramenta de informações, onde basta selecionar com o mouse o ponto da rede desejada e então é mostrada uma caixa de texto com todas as informações relativas a esse trecho (tensão no final do trecho, queda de tensão no trecho, corrente passante, perdas ativas e reativas entre outras), como mostrado na figura 4-23.

Field	Value
CORR_FASE	6.31
Etd	NMU
IdBloco	BLO3542697
CodBitola	336
TENSAO_SIT	
PATIVA	5635.23
CORADM	18
Compri	205.0405
FeatureId	680
PERDA_REAT	13.83
BAR_PAI	293773
CORR_SITU	
CORR_TRECH	246.07
Ch---	nan

Fechar

Figura 4-23 – Identificação das Características da Entidade Selecionada

Na figura 4-24 são mostrados os circuitos de uma ETD, ressaltando em cor vermelha as tensões que transgrediram os limites de tensão para a reconfiguração do caso

acima. Através da análise por queda de tensão, nota-se nos trechos dos circuitos, em cor vermelha a região de fim de circuito com tensão fora dos limites estabelecidos, no caso entre 5% e 10% abaixo da tensão nominal.

Figura 4-24 – Análise Gráfica da Tensão nos Trechos dos Circuitos – Caso 1

Para uma análise por corrente pode-se obter uma visualização gráfica de todos os trechos do circuito que ultrapassaram o limite da capacidade térmica dos cabos, como mostra a figura 4-25. A divisão das faixas é análoga à do caso anterior (análise por tensão).

Figura 4-25 – Análise Gráfica da Corrente nos Trechos dos Circuitos – Caso 1

Essa visualização é estratificada em cores, onde cada cor representa um acréscimo de 5% na corrente admissível dos cabos, ou seja, para os cabos que estão entre 1 e 1,05 pu serão desenhados de uma cor, e os que estão entre 1,05 e 1,1 pu serão desenhados em uma outra cor, e assim por diante, até terminar todos os cabos que ultrapassarem a corrente admissível. A legenda então se modifica para identificar essa estratificação, acrescentando uma descrição dos patamares de corrente.

Além disso é possível verificar no histograma de tensões, onde são estabelecidos dez patamares entre o valor mínimo e máximo de tensão e então são calculadas as quantidades de trechos dentro de cada patamar. Com isso pode-se analisar a distribuição de tensões do circuito reconfigurado.

Ou o carregamento do circuito através de um histograma, que mostra o carregamento dos trechos, em pu, agrupados por distância, ou seja, entre o máximo e o mínimo de carregamento são definidas dez faixas e é associado a cada faixa de carregamento a soma dos comprimento dos trechos que estão dentro de cada faixa, mostrado na figura 4-26.

Figura 4-26 – Distribuição de Tensão e Carregamento por Faixas – Caso 1

Pode-se ainda fazer uma análise dos alimentadores como um todo, analisando a potência ativa, reativa e aparente para uma determinada reconfiguração, bem como analisar as perdas totais nos alimentadores. Na figura 4-27 é mostrada a análise de demanda e energia para o caso em estudo onde o circuito 105 recebeu um acréscimo de carga vinda do circuito 106 para diminuir o número de consumidores que poderiam ficar desenergizados.

Demanda e Energia do Circuito - NMU105					
	kVA	kW	kVAr	MWh	MVArh
Alimentador	15925.71	15828.30	1758.70	138655.904	15406.214
Consumidores	15337.96	15244.15	1693.79	133538.760	14837.639
Perdas no Al.	725.55	537.17	487.71	4705.604	4272.379
Desvio	-5.68	46.98	-422.81	411.540	-3703.804
Tensao Minima	0.948 pu - 13.082 kV	*** Barra: 4847387 - 764			
Tensao Maxima	1.000 pu - 13.795 kV	*** Barra: 3738865 - 94			

Figura 4-27 – Demanda e Energia do Circuito – Caso 1

A análise do caso em estudo mostra trechos nos circuitos com tensão abaixo dos estabelecidos nos criterios de tensão bem como um carregamento excessivo nos trechos iniciais do alimentador.

Analizando uma segunda solução para o mesmo problema, será transferida a carga do circuito 105 para o circuito 104. Para transferir a carga, são alteradas as chaves seccionadoras com mostrado na figura 4-28 e em seguida é calculado o fluxo de potência para a nova configuração do sistema.

Figura 4-28 – Reconfigurando a Rede Elétrica – Caso 2

Na figura 4-29 são mostrados os circuitos nas situações antes e depois da reconfiguração, onde observa-se o acréscimo de trechos ao circuito 104 e a diminuição no circuito 105:

Figura 4-29 – Circuito 104 Antes e Depois da Reconfiguração – Caso 2

Na figura 4-30 são mostrados os resultados da análise por tensão.

Figura 4-30 – Análise Gráfica da Tensão nos Trechos dos Circuitos – Caso 2

Na figura 4-31 são mostrados os resultados da análise por corrente.

Figura 4-31 – Análise Gráfica da Corrente nos Trechos dos Circuitos – Caso 2

Na figura 4-32 são mostrados os histogramas de tensão e de carregamentos para o caso exemplo.

Figura 4-32 – Distribuição de Tensão e Carregamento por Faixas – Caso 2

Na figura 4-33 é mostrada a análise de demanda e energia para o caso em estudo onde o circuito 104 recebeu um acréscimo de carga vinda do circuito 106 para diminuir o número de consumidores que poderiam ficar desenergizados.

Demanda e Energia do Circuito - NMU104					
	kVA	kW	kVAr	MWh	MVarh
Alimentador	31130.67	30944.00	3404.00	271069.472	29819.040
Consumidores	29850.79	29671.81	3264.02	259925.024	28592.832
Perdas no Al.	2293.83	1064.02	2032.13	9320.799	17801.432
Desvio	-58.11	208.18	-1892.15	1823.649	-16575.224
Tensao Minima 0.939 pu - 12.961 kV *** Barra: 4847387 - 764					
Tensao Maxima 0.999 pu - 13.791 kV *** Barra: 3738865 - 89					

Figura 4-33 – Demanda e Energia do Circuito – Caso 2

Comparando-se os dois casos propostos, tem-se as seguintes conclusões:

As tensões nos pontos dos trechos no final do circuito 104 referentes ao caso 2 e do circuito 106 referentes ao caso 1, ultrapassaram os limites de tensão como mostram as figuras 4-30 e 4-24 respectivamente. Porém observa-se uma maior quantidade de trechos com tensão abaixo do limite estabelecido (5%) no caso 2 como pode ser visto também na comparação dos histogramas de tensão (figura 4-30 e figura 4-24).

Há uma maior sobrecarga nos trechos iniciais do circuito 104 (caso 2) do que nos trechos do circuito 105 (caso 1), como pode ser visto nas figuras 4-29 e 4-23 respectivamente e nos histogramas de carregamento (figuras 4-32 e 4-26). Estas comparações são resumidas na tabela 4-5. A quantidade de manobras realizadas na rede elétrica são as mesmas para os dois casos, bem como a quantidade de consumidores afetados.

Tabela 4-5 – Comparação entre o Caso 1 e o Caso 2

Tensão			Corrente		
	Caso 1	Caso 2		Caso 1	Caso 2
Número de Barras	90	130	Comprimento dos trechos (m)	300	180
Tensão Mínima (pu)	0,948	0,939	Corrente Máxima (pu)	1,22	1,53

Assim poderiam ser analisados outros casos bem como outros elementos como o tempo necessário para executar as manobras, tipos de consumidores afetados ou uma nova configuração distribuindo parte da carga para outros circuitos ou até mesmo um corte temporários da carga e assim realizar comparações para avaliar a melhor reconfiguração.

5 CONCLUSÕES

5.1 Principais Contribuições do Trabalho

A utilização de um sistemas de informações geográficas, embora exijam grandes esforços e desafios em primeiro momento, representa uma ferramenta poderosa em sistemas de informações e que pode ser integrada a qualquer área de um concessionária de energia elétrica.

O mercado oferece vários produtos e tecnologias que podem ser integrados e que estão em constante aprimoramento. Com a tendência de criação de definições para padronização de arquivos e interfaces (*OpenGis*), utilizadas em aplicações de sistemas de informação geográficas, propiciará uma maior facilidade de utilização e transferência de dados geográficos. A utilização de SGBDs comerciais para armazenamento, consulta, e edição de dados geográficos, faz com que o usuário fique livre de tecnologias proprietárias e possa, com pouco esforço, desenvolver ferramentas de informações geográficas sob medida para as suas necessidades.

O problema analisado refere-se à transferência de carga de trechos de circuito para outro circuito isolando alguns segmentos de circuito para manutenção da rede elétrica. O programa desenvolvido provê ferramentas suficientes para auxiliar a tomada de decisão da melhor reconfiguração do sistema, porém deve-se ressaltar que não é escolhida a melhor reconfiguração para um dado problema, porque essa depende de dados subjetivos como período do ano ou hora do dia, localização geográfica, eventos esportivos, políticos e culturais, tipos de consumidores que serão afetados ou condições meteorológicas entre outras. Assim, cabe ao usuário com todas as informações disponíveis escolher a melhor reconfiguração para um dado problema.

Há uma necessidade constante de controlar a qualidade das informações. Dados com erros podem surgir nos SIG, mas precisam ser identificados e tratados. Os erros podem ser introduzidos no banco de dados de diversas formas: serem decorrentes de erros nas fontes originais, serem adicionados durante os processos de obtenção e armazenamento, serem gerados durante a exibição ou impressão dos dados ou surgirem a partir de resultados equivocados em operações de análise dos dados.

Este trabalho tem como principais contribuições, o desenvolvimento de uma aplicação de reconfiguração de redes primárias de energia elétrica utilizando sistema de informações geográficas, que através de simulações analisa diversos casos de reconfiguração, publicação de artigo técnico em revista especializada [31] e artigo aprovado no IEEE T&D2002 [35].

5.2 Tópicos para Ulterior Desenvolvimento

Possíveis linhas de desenvolvimento desse trabalho são:

Aprimoramento do modelo de carga – Neste trabalho as cargas foram adotados as potências nominais dos transformadores com fator de carga e fator de potência definível pelo usuário. Uma proposta possível é a utilização de fator de carga e fator de potência para cada transformador ou utilizar curvas de cargas típicas, obtendo-se assim um modelo de carga mais próximo da realidade.

Com o avanço da internet e da programação distribuída será possível a utilização de aplicativos SIG a qualquer usuário conectado a internet, sem a necessidade do usuário ter um micro computador potente capaz de executar análises gráficas complexas. As consultas poderão ser enviadas e então processadas em diversas máquinas, e consultar diversas bases de dados geográficas espalhadas pela internet, aumentando assim o poder de processamento e a qualidade das informações.

Implementação de interfaces com o SCADA para obtenção da posição das chaves ao longo das chaves e das bases fusíveis, bem como o carregamento dos alimentadores.

A utilização de ferramentas SIG em equipamentos portáteis como os Palms poderão ser cada vez mais frequentes.

ANEXO A – Modelagem de Dados

A.1 Introdução

Este anexo, apresenta a modelagem de uma base de dados necessária para prover meios para as funcionalidades do sistema de informações geográficas proposto.

São descritas todas as tabelas com seus relacionamentos e uma breve descrição sobre cada campo. As tabelas foram separadas em duas *Tablespaces*, sendo uma para os dados e a outra exclusiva para os índices. A modelagem do banco de dados pode ser entendida como se fosse dividida em quatro subconjuntos, sendo o primeiro subconjunto referente a modelagem da rede elétrica, apresentando as entidades necessárias para os cálculos elétricos, a segunda refere-se a modelagem dos consumidores e sua fixação a rede elétrica, a terceira refere-se as tabelas de logradouros e a quarta parte refere-se a modelagem de consumidores especiais cuja sua importância necessitam de tratamento especial.

Essas entidades são:

- REGIONAL - Tabela contendo as regionais;
- ETD - Tabela contendo as subestações;
- LOCALIDADE - Tabela de localidades;
- CIRCUITO - Tabela com os circuitos elétricos;
- BLOCO - Tabela com os blocos elétricos ;
- TRECHO - Tabela com os trechos elétricos;
- CONECTORES - Tabela com os conectores (CH, FF, BF, etc.);
- INSTALACAO - Tabela com as instalações;
- TIPO_INSTALACAO - Tabela com os tipo de instalações;
- ESTACAO - Tabela com as estações transformadoras;
- PONTO_FIXA - Tabela com os pontos de fixação;
- SEQU_PONTO_FIXA - Tabela com as seqüências de pontos de fixação.

O segundo subconjunto contempla a modelagem comercial com destaque aos consumidores e o ponto onde eles são conectados a rede elétrica, essas entidades são:

- UNIDADE_CONSUMIDORA - Tabela com os todos os consumidores;
- PONTO_ENTREGA. - Tabela com os pontos de entrega.

O terceiro subconjunto é a de cadastro de logradouros com as tabelas de:

- MUNICIPIO - Tabela de municípios;
- BAIRRO - Tabela de bairros;
- LOGRADOURO - Tabela de ruas, logradouros;
- SEGMENTO_LOGRADOURO - Tabela de segmentos de logradouros.

e suas tabelas auxiliares:

- TIPO_LOG - Tabela de código de tipo de logradouro;
- TITU_LOG - Tabela de código de títulos de logradouro.

O quarto subconjunto é o cadastro dos consumidores prioritários com as seguintes tabelas:

- CONSUMIDOR_DESTINATARIO - Tabela de cadastro de consumidores prioritários;
- PONTO_ENTREGA_ESPECIAL - Tabela de ponto de entrega dos consumidores prioritários.

e suas tabelas auxiliares:

- LOG_RECAD - Tabela de identificação do atendente que cadastrou o consumidor prioritário;
- FONE_FAX_TELEX - Tabela de números de telefone fax ou telex do consumidor prioritário;

- TIPO_FONE_FAX - Tabela de tipos de códigos de cadastro de telefone fax ou telex;
- ATIVIDADE - Tabela de tipo de atividade do consumidor prioritário;
- TIPO_GERACAO - Tabela de tipo de gerador do consumidor prioritário;
- TIPO_TURNO - Tabela de tipo de turno de trabalho do consumidor prioritário;
- TIPO_SDF - Tabela de código de funcionamento aos sábados, domingos e feriados.

Maiores detalhes são mostrados nos diagramas da figura A-1 e da figura A-2.

A.2 Detalhes de Implementação

Deve-se criar duas Tablespaces, a TS_BDO_D, onde ficarão armazenados fisicamente os dados das tabelas e a TS_BDO_I, onde ficarão armazenados os índices das tabelas. Isso devido a melhora da performance do SGBD.

A sintaxe de comando SQL é:

```
CREATE TABLESPACE TS_BDO_D
  DATAFILE 'TS_BDO_D.ORA' SIZE 300000000
  DEFAULT
  STORAGE (
    INITIAL 300000000
    NEXT 500000000
    MINEXTENTS 1
    MAXEXTENTS 505
    PCTINCREASE 50 )
```

```
CREATE TABLESPACE TS_BDO_I
  DATAFILE 'TS_BDO_I.ORA' SIZE 300000000
  DEFAULT
  STORAGE (
    INITIAL 300000000
    NEXT 500000000
    MINEXTENTS 1
    MAXEXTENTS 505
    PCTINCREASE 50 )
```

A.3 Modelagem LÓGICA do Banco de Dados

Figura A.1 - Diagrama Lógico do Modelo de Dados

A.4 Modelagem FÍSICA do Banco de Dados

Figura A.2 - Diagrama Físico do Modelo de Dados

A.5 Dicionário de Dados

O relatório do modelo da base de dados consiste em mostrar todas as tabelas utilizadas com seus atributos como nome de campos seus tamanhos, uma breve descrição do que o campo significa, um indicador de campo se é chave primária e se ele é chave estrangeira e um indicador de necessidade de preenchimento do campo (Null ou Not Null). Os campos em branco nas tabelas significam que o valor é o mesmo do primeiro campo acima que esteja preenchido na mesma tabela.

Tabela: ATIVIDADE

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODATIVIDADE	VARCHAR2(5)	NOT NULL	código da atividade	Yes	No
DESCATIVIDADE	VARCHAR2(255)	NULL	descrição da atividade do consumidor	No	
MENSAGEMAVISO	VARCHAR2(2000)		mensagem de aviso para o consumidor		

Tabela: BAIRRO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODBAI	VARCHAR2(5)	NOT NULL	código do bairro	Yes	No
DESCBAI	VARCHAR2(25)		descrição do bairro	No	
ABREVMUN	VARCHAR2(3)		abreviatura do município		Yes
CODREGIONAL	VARCHAR2(2)	NULL	código da regional		No
CODBAIMAIOR	VARCHAR2(5)		código do bairro maior		

Tabela: CIRCUITO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDETD	VARCHAR2(5)	NOT NULL	Identificação da subestação	Yes	Yes
NROCIRCUITO	VARCHAR2(6)		Numero do circuito		No
IDINSTDISJ	VARCHAR2(11)	NULL	Identificação da instalação (DJ)	No	
IDBLOCO	VARCHAR2(10)		Identificação do 1o. bloco ligado a chave		
FRONTEIRA	VARCHAR2(1)		Setado para os circuitos de fronteira		

Tabela: CABOS

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDCABO	NUMBER(9)	NOT NULL	Identificador do cabo	Yes	No
ESTRUTURA	VARCHAR2(20)	NULL	Tipo de estrutura do cabo	No	
FORMACAO			Tipo de formação do cabo		
ISOLACAO			Tipo de insolação do cabo		
BITOLA_FASE	VARCHAR2(5)		Bitola da fase		
BITOLA_NEUTRO			Bitola do neutro		
MATERIAL_FASE	VARCHAR2(20)		Material da fase		
MATERIAL_NEUTRO			Material do neutro		
CODIGO_TENSAO	NUMBER(2)		Código de tensão do cabo		
QUAN_FASE	NUMBER(1)		Numero de fases do cabo		
CORN_NOM	NUMBER(9)		Corrente admissível (A)		
RESI_FASE			Resistência da fase (Ω/km)		
RESI_NEUTRO			Resistência do neutro (Ω/km)		
REAT_FASE			Reatância da fase (Ω/km)		
REAT_NEUTRO			Reatância do neutro (Ω/km)		

Tabela: CONECTOR

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
VISAVIS	NUMBER(1)	NULL	Indicador de chave visavis	No	No
FLAGPROT			Indicador de proteção		
IDCIRCUITOFONTE	VARCHAR2(20)		Identificador do circuito fonte		
IDCIRCUITOCARGA			Identificador do circuito carga		
IDINSTALACAO	VARCHAR2(11)	NOT NULL	Identificador da instalação	Yes	Yes
IDBLOCOCARGA	VARCHAR2(10)	NULL	Identificador do bloco carga	No	
IDBLOCOFONTE		NOT NULL	Identificador do bloco fonte		

Tabela: BLOCO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDBLOCO	VARCHAR2(10)	NOT NULL	identificador do bloco	Yes	No
IDETD	VARCHAR2(5)		identificador da subestação	No	Yes
NROCIRCUITO	VARCHAR2(6)		numero do circuito		
FLAGRAIZ	VARCHAR2(1)	NULL			No
STATUSNAT			indicador do estado natural		
NUNCONSRES	NUMBER(8)		numero de consumidores residências		
NUNCONSCOM			numero de consumidores comerciais		
NUNCONSIND			numero de consumidores industriais		
NUNCONSOUT			numero de consumidores outras atividades		

Tabela: ETD

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDETD	VARCHAR2(5)	NOT NULL	Identificador da subestação	Yes	No
CODREGIONAL	VARCHAR2(2)		Código da regional	No	Yes
DESCETD	VARCHAR2(25)	NULL	Descrição da subestação		No

Tabela: CONSUMIDOR_DESTINATARIO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
LOGRADOURO_INST	VARCHAR2(35)	NULL	nome do logradouro da instalação	No	No
NUMERO_INST	VARCHAR2(5)		numero no logradouro da instalação		
COMPLEMENTO_INST	VARCHAR2(15)		Complemento do logradouro da instalação		
ABREVMUN_CORR	VARCHAR2(3)		Abreviatura do Município para correspondência		Yes

CODTIPOLOG_INST			código do tipo de logradouro da instalação		No
CXPOSTAL_CORR	VARCHAR2(5)		numero da caixa postal para correspondência		
BAIRRO_CORR	VARCHAR2(25)	NOT NULL	nome do bairro para correspondência		
OBSERVACAO	VARCHAR2(400)	NULL	Observação		
REFERENCIA	VARCHAR2(80)		uma referencia do consumidor		
CEPLOG_INST	VARCHAR2(8)		numero do CEP da instalação		
BAIRRO_INST	VARCHAR2(25)		nome do bairro da instalação		
EMAIL	VARCHAR2(50)		e-mail para contato		
ABREVMUN_INST	VARCHAR2(3)		Abreviatura do município da instalação		Yes
FOLHA	VARCHAR2(2)		Numero da folha		No
DATA_CADASTRO	DATE		Data de Cadastro do consumidor		
IDETD	VARCHAR2(20)		Identificador da subestação		
NROCIRCUITO			Numero do circuito		
CODI_CONM	VARCHAR2(12)	NOT NULL	Código do consumidor	Yes	
IDEN_PONO	VARCHAR2(20)		Identificador do ponto de entrega	No	Yes
RAZAOSOCIAL	VARCHAR2(45)		Razão social do consumidor		No
CEPLOG_CORR	VARCHAR2(8)		Numero do CEP para correspondência		
NUMERO_CORR	VARCHAR2(5)		Número no logradouro para correspondência		
COMPLEMENTO_CORR	VARCHAR2(15)	NULL	Complemento do logradouro para correspondência		
NOMECONTATO	VARCHAR2(25)		Nome de contato		
IDINSTALACAO	VARCHAR2(11)		Identificador da instalação		Yes
LOGRADOURO_CORR	VARCHAR2(35)	NOT NULL	Nome do logradouro para correspondência		No
CODTIPOLOG_CORR	VARCHAR2(3)		Código do tipo de logradouro para correspondência		

Tabela: ESTACAO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDINSTALACAO	VARCHAR2(11)	NOT NULL	Identificador da instalação	Yes	Yes
CODIMONTA	VARCHAR2(2)	NULL	Código de montagem da instalação	No	No
IDTRECHO	VARCHAR2(10)	NOT NULL	Identificador do trecho		Yes
NUMCONSRES	NUMBER(8)	NULL	Número de consumidores residenciais		No
NUMCONSCOM			Número de consumidores comerciais		
NUMCONSIND			Número de consumidores industriais		
NUMCONSOUT			Número de outros tipos de consumidores		

Tabela: INSTALACAO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDINSTALACAO	VARCHAR2(11)	NOT NULL	Identificação da instalação	Yes	No
CODTIPOINSTALACAO	VARCHAR2(2)		Código do tipo de instalação	No	Yes
IDENPONO	NUMBER(10)		Identificador do ponto de entrega		
ESTADONAT	VARCHAR2(1)	NULL	Estado natural da instalação		No
CAPNOMI	NUMBER(7,2)		Capacidade nominal (KVA)		
CAPFUSI			Capacidade do elo fusível (A)		
TIOPER	VARCHAR2(2)				

Tabela: MUNICIPIO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
ABREVMUN	VARCHAR2(3)	NOT NULL	Abreviatura do município	Yes	No
DESCMUN	VARCHAR2(25)		Descrição do município	No	

Tabela: LOCALIDADE

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODI_LOCL	NUMBER(3)	NOT NULL	IDENTIFICADOR DA LOCALIDADE	Yes	No
CODREGIONAL	VARCHAR2(2)		CODIGO DA REGIONAL	No	Yes
CODI_ORGA	NUMBER(5)	NULL	CODIGO DO ORGAO		No
CODI_TIPO_LOCL	VARCHAR2(1)				
DESR_LOCL	VARCHAR2(40)		DESCRICAO DA LOCALIDADE		
DESR_ORGA	VARCHAR2(35)		DESCRICAO DO ORGAO		

Tabela: LOGRADOURO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODLOG	VARCHAR2(6)	NOT NULL	Código do logradouro	Yes	No
CODBAI	VARCHAR2(5)		Código do bairro	No	Yes
ABREVMUN	VARCHAR2(3)	NULL	Abreviatura do município		
CODTIPOLOG		NOT NULL	Código do tipo de logradouro		
CODTITULOLOG	VARCHAR2(4)	NULL	Código do título do logradouro		
NOMELOG	VARCHAR2(35)	NOT NULL	Nome do logradouro		No
NOMELOGFON	VARCHAR2(50)	NULL	Código fonetizado do nome do logradouro		
GUIA	VARCHAR2(8)		Numero da pagina do guia		
LogrPOSE	NUMBER(7)				

Tabela: LOG_RECADC

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDRECAD	NUMBER(11)	NOT NULL	Identificador do cadastro	Yes	No
ATENDENTE	VARCHAR2(15)	NULL	Nome do atendente que cadastrou	No	
DATARECAD	DATE		Data de cadastro		
CODI_CONM	VARCHAR2(12)	NOT NULL			Yes

Tabela: FONE_FAX_TELEX

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODI_CONM	VARCHAR2(12)	NOT NULL	Identificador do consumidor	Yes	Yes
NUMFONEFAX	VARCHAR2(20)		Numero do telefone/fax		No
RAMAL	VARCHAR2(4)	NULL	Numero do ramal	No	
CODFONEFAX	VARCHAR2(1)		Código do fone/fax		Yes

Tabela: PONTO_ENTREGA

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDINSTALACAO	VARCHAR2(11)	NULL	Identificação da instalação	No	Yes
VALO_COOR_UTM_PONTO	NUMBER(12)		Coordenada UTM do ponto de entrega		No
IDEN_PONO	VARCHAR2(20)	NOT NULL	Identificação do ponto de entrega	Yes	

Tabela: PONTO_ENTREGA_ESPECIAL

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDEN_PONO	VARCHAR2(20)	NOT NULL	Identificador do ponto de entrega	Yes	Yes
CODATIVIDADE	VARCHAR2(5)		Código de atividade do consumidor	No	
CODTURNO	VARCHAR2(1)		Código de funcionamento em turno		
CODSABADO			Código de funcionamento aos Sábado		
CODDOMINGO			Código de funcionamento aos Domingos		
CODFERIADO			Código de funcionamento aos feriados		
CODGER			Indicador de geração própria		
POTGERADOR	VARCHAR2(7)	NULL	Potência do gerador próprio (KVA)		No
PESO	VARCHAR2(3)				

Tabela: PONTO_FIXA

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDENPONO	NUMBER(10)	NOT NULL	Identificador do ponto de fixação	Yes	No
COORUTM	NUMBER(12)	NULL	Coordenada UTM do ponto de fixação	No	
CANALETA	NUMBER(2)		Indicador da posição (altura) do trecho		
CODMUM	VARCHAR2(3)		Código do município		
SERAPOSE	NUMBER(4)		Numero do poste		
DIFRPOSE	VARCHAR2(1)		Numero diferenciador do poste		
CODLOG	NUMBER(6)		Código do logradouro		
NUMELOG	NUMBER(5)		Numero do logradouro		
EXISJUNP	VARCHAR2(1)		Identificador de existência de jumper		

Tabela: REGIONAL

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODREGIONAL	VARCHAR2(2)	NOT NULL	CODIGO DA REGIONAL	Yes	No
DESCREGI	VARCHAR2(22)		DESCRICAO DA REGIONAL	No	

Tabela: SEGMENTO_LOGRADOURO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
DIFINI	VARCHAR2(2)	NULL	Diferenciador do numero inicial	No	No
NROFINAL	VARCHAR2(5)		Numero final do Segmento		
DIFFIN	VARCHAR2(2)		Diferenciador do numero final		
GUIA	VARCHAR2(20)		Numero da pagina do guia		
SECAO	VARCHAR2(60)		Nome da seção		
IDINSTALACAO	VARCHAR2(11)		Identificador da instalação		Yes
SEGLOG	NUMBER(11)	NOT NULL	Código do Segmento do logradouro	Yes	No
NROINICIAL	VARCHAR2(5)	NULL	Numero inicial do Segmento	No	
CODLOG	VARCHAR2(6)	NOT NULL	Código do logradouro		Yes
TIPONRO	VARCHAR2(1)	NULL			No

Tabela: SEQ_PONTO_FIXA

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
IDTRECHO	VARCHAR2(10)	NOT NULL	Identificador do trecho	Yes	Yes
SEQPONOTREC	NUMBER(2)		Seqüência de ligação do postes		No
IDENPONO	NUMBER(10)		Identificador do ponto de fixação	No	Yes

Tabela: TIPO_FONE_FAX

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODFONEFAX	VARCHAR2(1)	NOT NULL	Código do fone/fax	Yes	No
DESCTIPOFONEFAX	VARCHAR2(8)		Descrição do fone/fax	No	

Tabela: TIPO_GERACAO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODGER	VARCHAR2(1)	NOT NULL	Código do tipo de geração	Yes	No
DESCGERACAO	VARCHAR2(8)	NULL	Descrição do tipo de geração	No	
PONTOS	NUMBER(5)				

Tabela: TIPO_INSTALACAO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODTIPOINSTALACAO	VARCHAR2(2)	NOT NULL	Código do tipo de instalação	Yes	No
DESCTIPOINSTALA	VARCHAR2(50)		Descrição do tipo de instalação	No	
CODTIPOLIGACAO	NUMBER(1)	NULL	Código do tipo de ligação da instalação		

Tabela: TIPO_LOG

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODTIPOLOG	VARCHAR2(3)	NOT NULL	Código do tipo de logradouro	Yes	No
DESTIPOLOG	VARCHAR2(10)	NULL	Descrição do tipo de logradouro	No	

Tabela: TIPO_SDF

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODSDF	VARCHAR2(1)	NOT NULL	Código do sábado domingo feriado	Yes	No
DESCSDF	VARCHAR2(20)	NULL	Descrição de funcionamento	No	

Tabela: TIPO_TURNO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODTURN0	VARCHAR2(1)	NOT NULL	Código do tipo de turno	Yes	No
DESTURNO	VARCHAR2(20)	NULL	Descrição do turno de funcionamento	No	

Tabela: TITU_LOG

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODTITULOLOG	VARCHAR2(4)	NOT NULL	Código do título do logradouro	Yes	No
DESCITU	VARCHAR2(15)	NULL	Descrição do título do logradouro	No	

Tabela: TRECHO

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODINV	VARCHAR2(1)	NULL	Indicador de inversão de sentido da corrente	No	No
FASE			Quantidade de fases		
PONOFIXINI	NUMBER(10)		Coordenada do ponto inicial do trecho		Yes
PONOFIXFIM			Coordenada do ponto final do trecho		
CODIBITOLA	VARCHAR2(13)				No
IDTRECHO	VARCHAR2(10)	NOT NULL	Identificador do trecho	Yes	
CORADM	NUMBER(7,2)	NULL	Corrente admissível do trecho (A)	No	
IDCABO	NUMBER(9)		Identificador do cabo		Yes
IDBLOCO	VARCHAR2(10)	NOT NULL	Identificador do bloco		

Tabela: UNIDADE_CONSUMIDORA

Column Name	Datatype	Null Option	Comment	Is PK	Is FK
CODI_CONM	VARCHAR2(12)	NOT NULL	Código do consumidor	Yes	No
IDEN_PONO	VARCHAR2(20)		Identificador do ponto de entrega		Yes
CODI_CLAS_CONM	NUMBER(5)	NULL	Código da classe	No	No
NUME_PEGAS	VARCHAR2(12)		Numero pegasus		
CODI_EC	VARCHAR2(21)		Código da EC		
CODI_DIFR_UNID_CONM_FATU	VARCHAR2(1)		Codigo diferenciador		
IDEN_LOTE	NUMBER(2)		Identificador do lote		
IDEN_LIVR_LEIT	NUMBER(6)		Identificador do livro de leitura		
IDEN_INST_LEIT			Código da instalação de leitura		
IDEN_LOCA_LEIT	VARCHAR2(1)		Código do local de leitura		
CODI_PERF_CONM	NUMBER(2)		Codigo preferencial		
UNID_CONM_TYPE	VARCHAR2(1)		tipo de unidade consumidora		
GRUP_TENS_CODI_GRUP_TENS	NUMBER(2)		Grupo de tensao		
NOME_DESR_CONM	VARCHAR2(80)		Nome do consumidor		

ANEXO B – Programa de Cálculo de Fluxo de Potência

B.1 Introdução

Este programa calcula a queda de tensão e as correntes em cada trecho do circuito bem como os valores de correntes de defeito para curto trifásico, dupla fase, fase terra e dupla fase terra em redes radiais. Neste projeto foram utilizados apenas os cálculos de queda de tensão e as correntes, sendo que os valores de curto circuito poderão ser acrescentados ao projeto para análises futuras.

O cálculo da queda de tensão pode ser efetuado considerando-se as cargas como sendo de impedância constante, corrente constante, potência constante ou ainda uma combinação dessas modelagens.

Para maior facilidade os dados de entrada do programa foram agrupados em blocos, sendo que cada bloco se inicia com uma palavra chave.

Os cartões iniciados com o caractere "/" são considerados como comentários, isto é, são impressos mas não são decodificados.

B.2 Bloco Título

Este bloco permite a definição de um comentário que será impresso em todas as páginas do processamento. Este bloco é formado pelos seguintes cartões:

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 4 coloca-se a palavra chave TITU.

Segundo Cartão – mensagem

Digita-se a mensagem nas colunas de 1 a 80.

B.3 Bloco Dados Gerais para Queda de Tensão

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 8 coloca-se a palavra chave **GERADELV**.

Segundo Cartão - Dados utilizados no cálculo da queda de tensão

Tensão nominal da rede em kV: colunas de 1 a 5 (real).

No mesmo cartão são fornecidos os valores mínimo e máximo da tensão para efeito de verificação dos limites operacionais. As barras que ultrapassarem os limites fixados serão destacadas no relatório, através da impressão do sinal "+" no caso de violação do limite superior e "-" quando da violação do limite inferior de tensão. Para tanto são definidos os valores:

- Tensão mínima da rede em pu : colunas de 6 a 10 (real) (se nulo assume 0,95 pu);
- Tensão máxima da rede em pu : colunas de 11 a 15 (real)(se nulo o programa assume 1,05 p.u.).

A quantidade de símbolos "+" e "-" são controlados através da definição dos passos de tensão mínimo e máximo. Se por exemplo, definir-se um passo de tensão de 0,05 pu (5%), e um sistema de 13,8 kV tiver uma barra com tensão de 15 kV, será impressa um símbolo "+" para cada 5 % que a tensão da barra exceder a tensão nominal, ou seja "++". Os passos de tensão são definidos da seguinte forma:

- Passo da tensão mínima em pu : colunas de 16 a 20 (real, se nulo assume 0,025);
- Passo da tensão máxima em pu : colunas de 21 a 25 (real , se nulo assume 0,01).

O programa verifica também se o limite de carregamento dos condutores foi ultrapassado, imprimindo o símbolo "+" junto aos alimentadores que violaram o limite. O número de "+" pode ser controlado definindo-se o passo de corrente em pu. Será impresso um símbolo "+" para cada passo de corrente que ultrapassar a corrente admissível do cabo alimentador.

Passo da corrente em pu : colunas de 26 a 30 (real)(se nulo o programa assume 0,1).

É fornecida a tensão nominal da SE em pu, para os seis patamares da curva de carga semanal, que será definida em outro bloco. Os níveis de tensão serão fornecidos em ponto flutuante e ocuparão as colunas:

- Tensão nom.(pu) para o primeiro patamar: colunas de 31 a 35 (real);
- Tensão nom.(pu) para o segundo patamar: colunas de 36 a 40 (real);
- Tensão nom.(pu) para o terceiro patamar: colunas de 41 a 45 (real);
- Tensão nom.(pu) para o quarto patamar: colunas de 46 a 50 (real);
- Tensão nom.(pu) para o quinto patamar: colunas de 51 a 55 (real);
- Tensão nom.(pu) para o sexto patamar: colunas de 56 a 60 (real).

A modelagem das cargas para efeito de cálculo da corrente que flui nos vários trechos da rede é considerada como sendo de corrente constante. Entretanto o usuário pode optar pela modelagem de impedância constante, potência constante ou ainda uma combinação dessas três modelagens. Com exceção da modelagem de corrente constante, as demais modelagens são iterativas, devendo o usuário fornecer o número máximo de iterações para convergência e bem como a precisão desejada para a tensão em pu.

Modelo da Carga: coluna 62 (*string*). Pode assumir os seguintes valores:

- **"I"** - Para modelo de corrente constante
- **"P"** - Para modelo de potência constante
- **"Z"** - Para modelo de impedância constante
- **"M"** - Para composição dos três modelos. Neste caso junto com a topologia da rede deverá ser fornecida as porcentagens para cada modelo.

Se for omitido o programa assume o modelo de corrente constante.

Número máximo de iterações para convergência: colunas de 63 a 70 (inteiro).

Apenas necessário para os modelos iterativos. O valor padrão é 50.

Inverso da precisão da tensão em pu: colunas de 71 a 80 (real). O inverso do valor fornecido é a diferença máxima entre as tensões em pu de duas iterações consecutivas das barras. O Valor padrão é 10.000.

B.4 Bloco Dados Gerais para Curto Circuito

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 8 coloca-se a palavra chave **GERACURT**.

Segundo Cartão - Potência de Curto

Neste cartão são fornecidos a potência de curto circuito trifásico e fase à terra na barra da SE, com os respectivos ângulos de fase.

Potência de cc 3F na BT da SE em MVA : colunas de 1 a 10 (real).

Fase da Pot. de curto 3F em Graus : colunas de 11 a 20 (real).

Potência de cc FT na BT da SE em MVA : colunas de 21 a 30 (real).

Fase da Pot. de curto FT em Graus : colunas de 31 a 40 (real).

Terceiro Cartão - Relação de barras para curto

Neste cartão são relacionadas todas as barras em que se deseja calcular o curto circuito. São fornecidas 10 barras por cartão, podendo-se utilizar quantos cartões forem necessários.

Para o cálculo do curto em todas as barras, basta fornecer um cartão em branco. O formato de entrada dos dados é o seguinte:

- Número da Primeira Barra : colunas de 1 a 5 (int.);
- Número da Segunda Barra : colunas de 6 a 10 (int.);
- Número da Terceira Barra : colunas de 11 a 15 (int.);
- Número da Quarta Barra : colunas de 16 a 20 (int.);
- Número da Quinta Barra : colunas de 21 a 25 (int.);
- Número da Sexta Barra : colunas de 26 a 30 (int.);
- Número da Sétima Barra : colunas de 31 a 35 (int.);
- Número da Oitava Barra : colunas de 36 a 40 (int.);
- Número da Nona Barra : colunas de 41 a 45 (int.);
- Número da Décima Barra : colunas de 46 a 50 (int.).

Para encerrar a lista de barras, coloca-se como número de barra o valor 9999.

B.5 Bloco de Dados de Cabos Alimentadores

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 4 coloca-se a palavra chave ALIM.

Segundo Cartão - Dados dos Cabos

Deverá ser fornecido um cartão para cada cabo alimentador. Para cada cabo serão fornecidas as seguintes informações:

Número de identificação da bitola	: colunas de 1 a 5 (int.) (ex.: 3, 1, 56, etc.);
Código da bitola (string)	: colunas de 6 a 10 (ex.: 4/0, 336, 1/0);
Tipo da Bitola (string)	: colunas de 11 a 15 (ex.: CAA, EPR, etc.);
Resistência de seqüência direta (Ohm/km)	: colunas de 16 a 25 (real);
Reatância de seqüência direta (Ohm/km)	: colunas de 26 a 35 (real);
Resistência de seqüência zero (Ohm/km)	: colunas de 36 a 45 (real);
Reatância de seqüência zero (Ohm/km)	: colunas de 46 a 55 (real);
Corrente admissível (A)	: colunas de 56 a 65 (real).

Pode-se fornecer no máximo 500 bitolas. Após o último o bloco é finalizado colocando-se 99999 nas colunas de 1 a 5 (int.).

B.6 Bloco de Topologia da Rede

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 4 coloca-se a palavra chave REDE.

Segundo cartão – Subestações

Serão fornecidas os números das barras correspondentes ao disjuntor das subestações, isto é o início dos circuitos. Ocupam cinco caracteres, totalizando um máximo de 10 circuitos simultaneamente. O programa irá montar a rede a partir da barra fornecida, procedendo em seguida o cálculo da queda de tensão para o circuito.

Terceiro Cartão – Topologia

Deverá ser fornecido um cartão para cada ligação. A ligação deverá ser fornecida no sentido inverso ao fluxo, sendo a barra final colocada em primeiro lugar. Cada cartão conterá as seguintes informações:

Nó terminal da lig. no sentido do fluxo : colunas de 1 a 5 (int.)

Nó inicial da lig. no sentido do fluxo : colunas de 6 a 10 (int.)

Obs.: A subestação é considerada como nó zero. Assim a primeira ligação é codificada da forma $xx - 0$, onde xx é a primeira barra.

Número de identificação da bitola do cabo no bloco ALIM: colunas de 11 a 15 (int.)

Comprimento do alimentador (m) : colunas de 16 a 25 (real);

Parte real da carga em kVA da primeira barra : colunas de 26 a 35 (real);

Parte imaginária da Carga em kVAr da primeira barra : colunas de 36 a 45 (real).

Obs.: É adotada a convenção de sinais:

- $q > 0$ - carga indutiva.
- $q < 0$ - carga capacitiva.

Nome da primeira barra (string) : colunas de 46 a 60.

Identificação da curva carga semanal : colunas de 61 a 62 (int.).

Identificação da curva carga anual : colunas de 63 a 64 (int.).

Porcentagem em pu da carga a ser modelado em corrente constante: colunas de 65 a 70 (real).

Porcentagem em pu da carga a ser modelado em potência constante: colunas de 71 a 75 (real).

Porcentagem em pu da carga a ser modelado em impedância constante: colunas de 76 a 80 (real).

Essas porcentagens são aplicáveis apenas no modelo Misto.

O programa suporta no máximo 1000 ligações. Para finalizar o bloco referente aos dados de topologia colocar 99999 nas colunas de 1 a 5.

B.7 Bloco de Períodos do Ano

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 8 coloca-se a palavra chave PERIANO.

Segundo Cartão - duração dos patamares da curva de carga

Deverá ser fornecido um cartão definindo a duração de até seis patamares da curva de carga, em meses.

- Instante final do patamar 1 (em meses): colunas de 1 a 10 (real);
- Instante final do patamar 2 (em meses): colunas de 11 a 20 (real);
- Instante final do patamar 3 (em meses): colunas de 21 a 30 (real);
- Instante final do patamar 4 (em meses): colunas de 31 a 40 (real);
- Instante final do patamar 5 (em meses): colunas de 41 a 50 (real);
- Instante final do patamar 6 (em meses): colunas de 51 a 60 (real).

O último patamar deverá ser obrigatoriamente 12.

B.8 Bloco de Períodos da Semana

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 8 coloca-se a palavra chave PERISEMA.

Segundo Cartão - duração dos patamares da curva de carga

Deverá ser fornecido um cartão definindo a duração de até seis patamares da curva de carga, em horas.

- Instante final do patamar 1 (em horas): colunas de 1 a 10 (real);
- Instante final do patamar 2 (em horas): colunas de 11 a 20 (real);
- Instante final do patamar 3 (em horas): colunas de 21 a 30 (real);
- Instante final do patamar 4 (em horas): colunas de 31 a 40 (real);
- Instante final do patamar 5 (em horas): colunas de 41 a 50 (real);
- Instante final do patamar 6 (em horas): colunas de 51 a 60 (real).

O último patamar deverá ser obrigatoriamente 168.

B.9 Bloco Definição da Curva de Carga Anual

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 8 coloca-se a palavra chave CURVANO.

Segundo Cartão - Fatores multiplicativos

Deverá ser fornecido um cartão para cada curva desejada, definindo os fatores multiplicativos para os períodos do ano que tiveram sua duração estabelecida (máximo 6). Máximo de 30 curvas distintas.

- Número identificador da curva : colunas de 1 a 2 (int.);
- Fator multiplicativo do patamar 1 (pu) : colunas de 3 a 12 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 2 (pu) : colunas de 13 a 22 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 3 (pu) : colunas de 23 a 32 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 4 (pu) : colunas de 33 a 42 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 5 (pu) : colunas de 43 a 52 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 6 (pu) : colunas de 53 a 62 (real);

A última curva deverá ter o valor 99 nas colunas 1 e 2.

B.10 Bloco Definição da Curva de Carga Semanal

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 8 coloca-se a palavra chave CURVSEMA

Segundo Cartão - Fatores multiplicativos

Deverá ser fornecido um cartão para cada curva desejada, definindo os fatores multiplicativos para os períodos da semana que tiveram sua duração estabelecida (máximo 6). Máximo de 30 curvas distintas.

- Número identificador da curva : colunas de 1 a 2 (int. entre 1 e 29);
- Fator multiplicativo do patamar 1 (pu) : colunas de 3 a 12 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 2 (pu) : colunas de 13 a 22 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 3 (pu) : colunas de 23 a 32 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 4 (pu) : colunas de 33 a 42 (real);

- Fator multiplicativo do patamar 5 (pu) : colunas de 43 a 52 (real);
- Fator multiplicativo do patamar 6 (pu) : colunas de 53 a 62 (real);

A última curva deverá ter o valor 99 nas colunas 1 e 2.

B.11 Execução do Cálculo da Queda de Tensão

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 8 coloca-se a palavra chave **EXECDELV**.

O usuário pode optar por algumas impressões adicionais no relatório de saída.

Chaves de Impressão: Colunas 11, 12, e 13 (alfanumérico). Podem assumir os valores:

"H" para impressão do histograma de tensões e carregamentos;

"D" para impressão formatada dos dados de entrada;

"I" para impressão dos valores de tensão e corrente nas iterações;

"G" para gravação dos resultados em arquivo dbf.

As chaves podem ser fornecidas em qualquer ordem e quantidade.

B.12 Execução do Cálculo do Curto Circuito

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 8 coloca-se a palavra chave **EXECCURT**.

O usuário pode optar pela impressão adicional dos dados de entrada.

Chave de Impressão: 'D' na Coluna 11 (alfanumérico).

B.13 Finalização do Programa

Primeiro cartão - Palavra Chave

Nas colunas de 1 a 4 coloca-se a palavra chave **FIMF**.

B.14 Limites do Programa

O programa está dimensionado para suportar até 1000 trechos, sendo que cada circuito está limitado a um máximo de 500 nós. Pode-se cadastrar até 500 tipos de cabos alimentadores distintos. São admitidas também 30 curvas distintas de carga semanal e 30 curvas anual.

B.15 Operação do Programa.

Este programa roda sob o sistema operacional MS-DOS, em qualquer versão superior a 3.0. Para ativar o programa basta digitar:

```
C:>rer <nome do arquivo de trechos> <nome do arquivo a gerado com os  
resultados> <Arquivo dbf para armazenamento dos resultados>
```

Ao dados gerais serão sempre lidos do arquivo rerager.dat no mesmo diretório do programa.

Opcionalmente o programa poderá gravar os resultados do processamento em arquivo dbf, desde que esteja ativada a chave de impressão "G". Neste caso o programa assume que o arquivo dbf será passado como parâmetro de execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Resolução n °24, de 27 de Janeiro de 2000**, Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília 2000, Ministério de Minas e Energia.
- [2] JARDINI, José A. **Sistemas digitais para automação da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica**. Edição acadêmica, 1996
- [3] MAGRINI, L. C. **Integração de Subsistemas para Compor a Automação da Distribuição de Energia Elétrica**, São Paulo 1999, 275p., Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [4] KIYOHARA, H. K. **Automatização do Atendimento a Reclamações de Interrupção de Energia Elétrica**, São Paulo 1999, 90p., Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [5] SAIKI, G. Y. **Um Sistema para Avaliação de Indicadores de Qualidade da Distribuição de Energia Elétrica**, São Paulo 2001, 87p., Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [6] SOBRAL, M. A. B. **Desenvolvimento de um Banco de Dados para Uso em Concessionárias de Energia Elétrica na Área de Distribuição de Energia Elétrica**, São Paulo 1996, 130p., Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [7] KERN, V. M. **Bancos de Dados Relacionais**, Érica, 1994, 228p.
- [8] COOK, M. A. **Building Enterprise Information Architectures**, Prentice Hall PTR, 1996, 193p.
- [9] TAURION, C. **Data Warehouse: Estado da Arte e Estado da Prática**, Developers Magazine, ano 1, n.6, p. 10-11, fev. 1997.
- [10] ORACLE. [online]. SQL*Loader Control File Reference. Disponível em: <http://www.tecnet.oracle.com/doc/server.805/a58244/ch05.htm>. Acesso em: 18 Abril 2000.
- [11] LIN, Whei-Min.; TSAY, M. T.; WU, S. W. **Application of Geographic information System to Distribution Support**. IEEE Transactions on Power System, vol. 11, No. 1, February 1996. Pg. 190-196.
- [12] WU, F.; WEI, P. **Power Transfer Allocation for Open Access Using Graph Theory – Fundamentals and Application in System Without Loopflow**, IEEE Transactions on Power System, vol. 15, No. 3, August 2000.

- [13] AHRENS, D. L.; LAZARUS, S. P. **Using AM/FM/GIS Data Within a Distribution Automation System.** *AM/FM International*, pp. 629-638, 1994.
- [14] WEBER, M. A. A. **Aspectos da implementação de projetos AM/FM baseados em sistemas de informações geográficas para redes de distribuição de energia.** São Paulo, 1995. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).
- [15] CRISPINO, F.; KIKUDA, E. T.; JARDINI, J. A.; MAGRINI, L. C. **Reconfigurador de Redes de Distribuição utilizando-se de um Sistema de Informações Geográficas.** São Paulo, 1998. Projeto de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).
- [16] CHEN, Tsay-Hsiang; CHERNG, Jeng-Tyan. **Design of a TLM Application Program Based on an AM/FM/GIS System.** *IEEE Transactions on Power System*, vol. 13, No.3, August, 1998. Pg. 904-909.
- [17] REZEABEK; Douglas k. **The Positive Impact of OpenGis.** *AM/FM International* – XX annual conference, March, 1997.
- [18] OPEN GIS CONSORTIUM. [online] OpenGIS Abstract Specification. Disponível em: <http://www.opengis.org/techno/specs.htm>. Acesso em: 18 Maio 2001.
- [19] BARRERA, E.D.; FRANK, A.; AL-TAHA, K. **Temporal relations in geographic information systems.** *ACM SIGMOD Record*, New York, v.20, n.3, p.85-93, 1991.
- [20] GOODCHILD, Michael F. **Geographical data modeling.** *Computers & Geosciences*, London, v.18, n.4, p.401-408, 1992.
- [21] MEDEIROS, Cláudia B.; PIRES, Fátima. **Databases for GIS,** *ACM SIGMOD Record*, New York, v.23, n.1, 1994.
- [22] CÂMARA, Gilberto. **Análise de Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos Orientados-a-Objetos.** São José dos Campos, SP: USP, 1994. Tese de Doutorado.
- [23] ARONOF, S. **Geographic Information Systems: a management perspective.** Canada: WDL Publications, 1989.
- [24] KEMP, Zarine; THEARLE, Roy. **Modelling relationships in spatial databases.** In: INT. SYMP. SPATIAL DATA HANDLING, 5., Arlington, 1992. Proceeding... Arlington: [s.n.], 1992.
- [25] GOODCHILD, Michael F. **Geographical data modeling.** In: FRANK, A. U.; GOODCHILD, M.F. *Two Perspectives on Geographical Data Modelling.* Santa

Barbara, CA: National Center for Geographic Information & Analysis/NCGIA, 1990. (Technical Paper 90-11).

- [26] NATIONAL CENTER FOR GEOGRAPHIC INFORMATION AND ANALYSIS, NCGIA **Core Curriculum**. Edited by Michael F. Goodchild and Karen K Kemp (Eds.), Santa Barbara: University of California, 1990.
- [27] MAGUIRE, David J. **The raster GIS design model** - a profile of ERDAS. Computers and Geosciences, London, v.18, n.4, p.463-470, 1992.
- [28] PAREDES, E. A. **Sistema de Informação Geográfica** - Princípios e Aplicações: Geoprocessamento, São Paulo: Ed. Érica, 1994.
- [29] LAURINI, Robert; THOMPSON, Derek. **Fundamentals of Spatial Information Systems**. San Diego: Academic Press, 1992.
- [30] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Understanding GIS: The ARC/INFO Method**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 1991.
- [31] CRISPINO, Ferdinando, JARDINI, José Antonio, MAGRINI, Luiz Carlos, SCHMIDT, Hernan Prieto. **Automação de Redes de Distribuição de Energia Elétrica**, Revista Energia Elétrica&Eletrônica, Ano IX - nº115, p. 16-22 Outubro de 2000.
- [32] GPS Global - Artigos Datum. [online] Disponível em: <http://www.gpsglobal.com.br/Artigos>. Acesso em: 15 Março 2001.
- [33] CÂMARA, Gilberto. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996 (X Escola de Computação).
- [34] Visual Projac. **Projeto de Redes de Distribuição Assistido por Computador**. Versão 3.1, Eletropaulo Metropolitana, São Paulo, 2000.
- [35] CRISPINO, F.; JARDINI, J. A.; MAGRINI, L. C.; SCHMIDT, H. P. **GIS-Based Primary Distribution Feeder Reconfiguration**. Artigo aprovado no IEEE Transmission & Distribution 2002, march. 2002.
- [36] SURUR, Paulo S. M. **Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição**. São Paulo, 1996. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).
- [37] Korth, H. F.; Silberschatz, A.; Abe, M. H. G, trad; **Sistema de bancos de dados**; São Paulo : Makron, 2.ed. 754p. 1995.
- [38] Sprague, R. H. Framework to DSS. **Management Information Systems Quarterly**, 1980, vol. 4, n° 2, pp. 1-26.

- [39] Crossland, M. D., Wynne, B. E., Perkins, W. C. **Spatial decision support systems: An overview of technology and a test of efficacy. Decision support systems**, 1995, n° 14, pp. 219-235.
- [40] MapInfo Corporation White Paper. MapInfo and the Data Warehouse. Disponível em: <http://www.mapinfo.com/events/mapolap/olapadms.htm>. Acesso em: 23 Agosto 2001.
- [41] Berkel, Jan van. Data Warehouse: where to locate GIS. Disponível em: <http://www.esri.com/base/common/userconf/proc97/PROC97/PAP650/P650.HTM>. Acesso em: 23 Agosto 2001.
- [42] Ednilson C. S. S., Maria L. M. C. Integração de Sistemas de Informação Geográfica e Ferramentas OLAP. Disponível em: <http://fatorgis.com.br/artigos/gis/olap/olap.htm>. Acesso em: 07 Nov. 2001.
- [43] Rodrigues, M. Constatações sobre projetos SIG. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 4., São Paulo 1997 **Anais**. EPUSP-Laboratório de Geoprocessamento, 1997. p. 629-636.