

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

*Sistema de apoio à tomada de decisão para atribuição de responsabilidade
por perda de qualidade devido à variação de tensão de curta duração*

Maria da Conceição Pereira Fonseca

DM 03 / 2009

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Maria da Conceição Pereira Fonseca

*Sistema de apoio à tomada de decisão para atribuição de responsabilidade
por perda de qualidade devido à variação de tensão de curta duração*

DM 03 / 2009

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Maria da Conceição Pereira Fonseca

*Sistema de apoio à tomada de decisão para atribuição de responsabilidade
por perda de qualidade devido à variação de tensão de curta duração*

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Pará (UFPA) para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

UFPA / ITEC / PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil

2009

F676s Fonseca, Maria da Conceição Pereira

Sistema de apoio à tomada de decisão para atribuição de responsabilidade por perda de qualidade devido à variação de tensão de curta duração / Maria da Conceição Pereira Fonseca; orientador, Ubiratan Holanda Bezerra; 2009.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2009.

1. Sistemas de energia elétrica – controle de qualidade. 2. Sistemas de energia elétrica – simulação por computador. 3. Sistemas de energia elétrica – medidas de segurança. 4. Compatibilidade eletromagnética. I. Orientador. II. Título.

CDD 22. Ed. 621.3191

Maria da Conceição Pereira Fonseca

*Sistema de apoio à tomada de decisão para atribuição de responsabilidade
por perda de qualidade devido à variação de tensão de curta duração*

Dissertação de Mestrado submetida à avaliação da Banca Examinadora aprovada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal do Pará (UFPA) e julgada adequada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistema de Energia Elétrica.

APROVADA EM: 13 março de 2009.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ubiratan Holanda Bezerra
Orientador – PPGEE / UFPA

Prof. Dr. Raimundo Nonato das Mercês Machado
Membro – IFPA

Prof. Dr. Aldebaro B. da R. Clautau Junior
Membro – PPGEE / UFPA

Prof. Dr. Maria Emília de Lima Tostes
Membro – PPGEE / UFPA

Prof. Dr. Marcus Vinícius Alves Nunes
Coordenador do PPGEE / UFPA

VISTO:

Prof. Dr. Marcus Vinícius Alves Nunes
Coordenador do PPGEE / UFPA

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Benedito Costa Fonseca e Raimunda Pereira Fonseca
que sempre são fontes de grande inspiração
para meu progresso;*

*Ao meu companheiro, José Adolfo da Silva Sena, pelo apoio familiar
e intelecto sempre imprescindível nos momentos que
mais precisei, sendo também um suporte
nos meus projetos e conquistas;*

*Ao meu filho, Vitor, por fazer parte da minha vida,
justamente nessa época, trazendo-me muita
alegria e entendimento do verdadeiro
significado da vida.*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus por mais essa oportunidades de crescimento.

Ao Prof. Ubiratan Holanda Bezerra, pelas orientações e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Jurandyr Nascimento Garcez, pelos preciosos ensinamentos e conselhos, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também pela dedicação, paciência e apoio, além das diretrizes seguras e decisivas.

Ao Prof. Marcus Vinícius Alves Nunes, pela oportunidade de trabalhar no projeto de pesquisa “Sistema Inteligente de Apoio à Tomada de Decisões Baseado na Análise das Perturbações na Tensão e Freqüência no Sistema Santarém Provocadas por Contingências Locais e no Sistema TRAMOESTE”, ao qual originou esta dissertação.

A equipe de Sistemas de Controle, em especial ao Prof. Walter Barra Junior, por permitir que eu utilizasse o laboratório (“LABCONSE”) para estudar e desenvolver esta dissertação. Além do permanente incentivo ao meu aperfeiçoamento e incalculável apoio.

À Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), pela oportunidade de estudar no curso de mestrado, onde pude realizar mais este sonho.

Aos colegas do projeto: Marcus G. Rocha, Jefferson M. Moraes, Antônio J. B. Carvalho e Luiz Miguel M. Lobo, pela troca de conhecimentos e trabalho em equipe.

Aos colegas do laboratório, em especial aos amigos Fabrício Gonzalez Nogueira, Anderson Roberto Barbosa de Moraes e Paulo Sergio Nascimento Filho, pela amigável convivência.

As Centrais Elétricas do Pará, especificamente aos Eng. Francerdey Marlos Menezes Pinheiro, Luiz Henrique Pereira e Jucileno Silva e Silva, pelas valiosas sugestões, ajuda e apoio durante o decorrer do desenvolvimento do projeto e conseqüentemente deste trabalho.

A minha família, que sempre esteve ao meu lado, proporcionando-me estrutura

para que eu alcançasse mais este projeto de vida. Especialmente ao meu companheiro Adolfo, que muitas vezes foi dormir no sofá da sala, evitando que o bebê (Vitor) acordasse várias vezes à noite, garantindo assim mais tempo para a conclusão da escrita deste trabalho. Ao meu filho Vitor que foi concebido e nasceu no período do desenvolvimento desta dissertação, e por isso teve que dividir minha atenção nos seus primeiros três meses de vida. Em especial a minha mãe, Raimunda, que veio de Cametá, deixou sua casa e família, juntamente com as minhas irmãs: Líbia e Lusiane e a amiga Esnalde que cuidaram da minha casa e do meu filho nesse período. Todas essas ajudas foram fundamentais para que a conclusão desta dissertação ocorresse em tempo hábil.

A todos, professores e amigos, que de alguma forma também fizeram parte dessa conquista, o meu muito obrigada!

“Orientar os que não têm problemas, os que já nasceram vitoriosos, é muito fácil. Bastam-lhes pequenas correções de rumo. Mas, o mérito maior é sempre o de pegar os que têm dificuldades, dar-lhes o ânimo necessário para que acreditem no seu potencial, transformando-lhes também em vitoriosos”

*Prof. Dr. Raimundo Nazareno Cunha Alves
(1954-2004)*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Revisão Bibliográfica.....	2
1.3 Objetivo Geral do Trabalho	5
1.4 Descrição do Trabalho	6
2 ASPECTOS SOBRE A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE POTÊNCIA	8
2.1 Introdução	8
2.2 Aspectos da Perda de Qualidade da Energia Elétrica	9
2.3 Atribuições e Responsabilidades.....	13
2.4 Legislação (Órgão).....	15
2.5 Conclusão.....	18
3 VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO	19
3.1. Introdução	19
3.2. Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD's).....	20
3.2.1. Definição das VTCD's	20
3.2.2. Características das VTCD's.....	21
3.4. Principais Causas das VTCD's	22
3.4. Conclusão.....	23
4 SISTEMA DE ATRIBUIÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR PERDA DE QUALIDADE	25
4.1. Introdução	25
4.2. O Problema no Sistema Elétrico	25
4.3. Prática Atual do Processo de Ressarcimento	27

4.4.	Metodologia Proposta do Novo Sistema de Atribuição de Responsabilidade.....	32
4.4.1.	Dados para Caracterização do Problema.....	32
4.4.2.	Instalações dos Instrumentos Monitoradores	32
4.4.3.	Modelagem e Simulação	34
4.4.4.	Validação dos Modelos Matemáticos.....	35
4.4.5.	Desenvolvimento do Software de Classificação	35
4.4.6.	Parecer Técnico	35
4.5.	Conclusão.....	36
5	BASE DE DADOS	37
5.1.	Introdução	37
5.2.	Simulações Computacionais	38
5.2.1.	Simulações de Fluxo de Potência	38
5.2.2.	Simulações em Regime Permanente.....	44
5.2.3.	Simulações de Transitórios Eletromagnéticos com o ATP	47
5.2.4.	MER do Banco de Dados de Simulação.....	54
5.3.	Monitoramento.....	55
5.3.1.	Estrutura do Banco de Dados de Monitoramento.....	57
5.3.2.	MER do Banco de Dados de Monitoramento.....	62
5.4.	Suportabilidade de Equipamentos.....	63
5.4.1.	Procedimento para Aquisição das Curvas de Suportabilidade	67
5.4.2.	Equipamentos com Curva de Suportabilidade no Banco de Dados	67
5.4.3.	O MER do Banco de Dados de Suportabilidade de Equipamentos.....	68
5.5.	Conclusão.....	71
6	ASPECTOS COMPUTACIONAIS DO SISTEMA PROPOSTO.....	72
6.2.	Introdução	72
6.3.	Metodologia Usada no Desenvolvimento do Aplicativo	72
6.2.1.	Estrutura do Aplicativo.....	72
6.2.2.	Módulo da Base de Dados	73
6.2.3.	Módulo de Análise Nexo-Causal.....	74
6.2.4.	Fluxograma do Sistema Inteligente	75

6.4.	Descoberta de Conhecimento em Base de Dados	75
6.3.1.	As Etapas do Processo de KDD	76
6.4.2.	O Processo de Classificação	81
6.4.3.	Definição da Técnica de Mineração de Dados	82
6.5.	O Pacote WEKA	84
6.4.1.	Usando o Aplicativo WEKA	86
6.4.2.	O Classificador com o KNN.....	88
6.4.3.	O Classificador com a RNA	92
6.5.	Conclusão.....	98
7	ESTUDO DE CASO DO SISTEMA PROPOSTO.....	99
7.1.	Introdução	99
7.2.	Análise de Nexo-Causal Utilizando os Classificadores	99
7.2.1.	Dados de Entrada Utilizando Banco de Monitoramento.....	99
7.2.2.	Dados de Entrada Utilizando Banco de Simulação.....	101
7.2.3.	Detalhes da Execução dos Classificadores.....	103
7.3.	Estudo de Caso.....	106
7.3.1.	Estudo de Caso com Dados de Monitoramento.....	107
7.3.2.	Estudo de Caso com Dados de Simulação no ATP.....	113
7.3.3.	Estudo de Caso com Dados de Simulação do ANAFAS/ANAQUALI.....	116
7.4.	Conclusão.....	120
8	CONCLUSÃO.....	121
8.1.	Considerações Finais.....	121
8.2.	Proposta de Trabalhos Futuros.....	123
8.3.	Publicações Deste Trabalho	124
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Número de solicitações por ano na ANEEL (ANEEL). 10

Figura 2.2 - Divisão percentual das solicitações por ano na ANEEL (ANEEL)..... 10

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 - Definição da magnitude e duração do afundamento de tensão..... 22

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Sistema Tramo Oeste, destacando o sistema Santarém. 26

Figura 4.2 - Fluxograma genérico do Procedimento de Qualidade..... 28

Figura 4.3 - Localização da instalação dos instrumentos monitoradores de QEE. 33

Figura 4.4 - Fotos da instalação dos instrumentos monitoradores de QEE..... 34

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN01..... 39

Figura 5.2 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN02..... 39

Figura 5.3 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN03..... 39

Figura 5.4 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN04..... 40

Figura 5.5 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN05..... 40

Figura 5.6 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN06..... 40

Figura 5.7 – Diagrama unifilar modificado do alimentador TP02. 41

Figura 5.8 – Diagrama unifilar modificado do alimentador TP03. 41

Figura 5.9 – Diagrama unifilar modificado do alimentador TP04. 41

Figura 5.10 – Representação dos dados de entrada da modelagem do ANAREDE. 43

Figura 5.11 – Representação dos dados de saída do ANAFAS/ANAQUALI. 47

Figura 5.12 – Representação no ATPA da Barra 100 e as barras conectadas a esta. 48

Figura 5.13 – Representação dos dados de entrada do modelo no ATP de Santarém.... 49

Figura 5.14 – Perfil do afundamento de tensão originado por curto circuito FT. 50

Figura 5.15 – Perfil do afundamento de tensão originado por curto circuito FFT. 51

Figura 5.16 – Perfil do afundamento de tensão originado por curto circuito FFFT..... 52

Figura 5.17 – Perfil do afundamento de tensão devido a perda da interligação com a
UHE de Tucuruí. 53

Figura 5.18 – MER do banco de dados das simulações computacionais. 55

Figura 5.19 - Referente ao MER do banco de dados de monitoração.	62
Figura 5.20 - Curva de sensibilidade de equipamentos de informática – CBEMA (IEEE STD 446-1995).	63
Figura 5.21 - Curva ITIC (Curvas ITIC/CBEMA).	64
Figura 5.22 - Curva SEMI (IEEE Std 446-1995).	65
Figura 5.23 - Curva de sensibilidade a elevações de tensão a um aparelho de microondas. Fonte: (Matsuo et al., 2006).	66
Figura 5.24 - Curva de sensibilidade a afundamento de tensão a um aparelho de som. Fonte: (Matsuo et al., 2006).	66
Figura 5.25 - MER do BD de suportabilidade de equipamentos.	68

CAPÍTULO 6

Figura 6.1 – Estrutura do aplicativo.	73
Figura 6.2 – Fluxograma do sistema inteligente.	75
Figura 6.3 – As etapas do processo de KDD.	81
Figura 6.4 – Tela de entrada do Weka.	85
Figura 6.5 – Trecho de um Arquivo ARFF com a BD de Suportabilidade.	87
Figura 6.6 – Esquema de como é feita a classificação pelo algoritmo KNN.	89
Figura 6.7 – Resultado do treino do modelo do classificador utilizando o KNN.	90
Figura 6.8 – Resultado do teste do modelo do classificador KNN.	91
Figura 6.9 – Comandos para executar o treino do classificador com o KNN.	92
Figura 6.10 – Comandos para executar o teste do classificador com o KNN.	92
Figura 6.11 - O neurônio biológico. Fonte com modificações: (Neves, 2008).	93
Figura 6.12 - Modelo de McCulloch-Pitts. Fonte: (Fonseca <i>et al.</i> , 2008).	93
Figura 6.13 - Modelo gráfico de uma rede MLP.	94
Figura 6.14 - Gráfico da combinação de pesos e respectiva taxa de erro.	95
Figura 6.15 – Arquitetura da RNA utilizado no modelo do classificador no WEKA.	96
Figura 6.16 – Resultado do treino do modelo do classificador utilizando a RNA.	97
Figura 6.17 – Resultado do teste do modelo do classificador RNA.	97
Figura 6.18 – Comandos para executar o treino do classificador com a RNA.	98
Figura 6.19 – Comandos para executar o teste do classificador com a RNA.	98

CAPÍTULO 7

Figura 7.1 - Interface de análise denexo-causal com dados monitorados.	100
---	-----

Figura 7.2 - Interface de análise denexo-causal com dados de simulações computacionais com o ANAFAS/ANAQUALI.....	102
Figura 7.3 - Interface de análise denexo-causal com dados de simulações computacionais com o ATP.....	103
Figura 7.4 - Trecho do arquivo de “teste.arff” para análise denexo-causal.....	104
Figura 7.5 - Linha de comando para classificar um novo registro utilizando o kNN. .	104
Figura 7.6 - Linha de comando para classificar um novo registro utilizando a RNA..	104
Figura 7.7 - Linha de comando para gerar um novo modelo do classificador kNN. ...	105
Figura 7.8 - Linha de comando para gerar um novo modelo do classificador RNA....	105
Figura 7.9 - Trecho do arquivo de saída gerado pelo classificador (kNN ou RNA)....	105
Figura 7.10 - Fluxo de informações no processo de análise denexo-causal.....	106
Figura 7.11 - Frequência de ocorrência dos distúrbios monitorados.....	107
Figura 7.12 - Forma de onda instantânea em 13.8 kV.....	108
Figura 7.13 - Forma de onda RMS em 13.8 kV.	109
Figura 7.14 – Representação do local das faltas no sistema Tramo Oeste para a base de dados do programa ATP.....	113
Figura 7.15 – Representação do local das faltas no sistema Tramo Oeste para a base de dados de simulação do programa ANAFAS/ANAQUALI.	117

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 – Classificação das VTCD’s.....	20
--	----

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1 - Descrição do arquivo gerado pelo ANAFAS/ANAQUALI.....	46
Tabela 5.2 – Descrição da entidade “PARÂMETRO”.....	57
Tabela 5.3 - Descrição da entidade “EVENTO”.....	59
Tabela 5.4 - Descrição da entidade “CURVA”.....	60
Tabela 5.5 - Descrição da entidade “RMS”.....	61
Tabela 5.6 - Descrição de entidade “LOCAL_MONITORACAO”.....	61
Tabela 5.7 – Descrição dos equipamentos registrados no banco de dados de Suportabilidade de Equipamentos.....	68
Tabela 5.8 - Descrição dos atributos da entidade “EQUIPAMENTO” do banco de dados de Suportabilidade de Equipamentos.....	69
Tabela 5.9 - Descrição dos atributos da entidade “REGISTRO” do banco de dados de Suportabilidade de Equipamentos.....	70

CAPÍTULO 6

Tabela 6.1 – Resultado dos modelos de treinamento dos classificadores.....	84
Tabela 6.2 - Resultado dos testes dos classificadores.....	84
Tabela 6.3.- Descrição dos principais parâmetros do KNN implementado no WEKA.....	89

CAPÍTULO 7

Tabela 7.1 - Dados de entrada monitorados para análise denexo-causal.....	100
Tabela 7.2 - Dados de entrada de simulações computacionais (ANAFAS/ANAQUALI) para análise denexo-causal.....	102
Tabela 7.3 – Avaliaçãonexo-causal para o equipamento “telefone sem fio”.....	110
Tabela 7.4 – Avaliaçãonexo-causal para o equipamento “microondas”.....	111
Tabela 7.5 – Avaliaçãonexo-causal para o equipamento “televisor”.....	112
Tabela 7.6 – Avaliaçãonexo-causal para o equipamento “microondas”.....	112
Tabela 7.7 – Avaliaçãonexo-causal de vários aparelhos localizados no alimentador TP04-12 (Tapajós)com dados de simulações no ATP.....	114

Tabela 7.8 – Avaliação nexó-causal de vários aparelhos localizados no alimentador STM_01 (Santarém) com dados de simulações no ATP.....	115
Tabela 7.9 – Avaliação nexó-causal do classificador KNN para o equipamento ar condicionado.....	118
Tabela 7.10 – Avaliação nexó-causal do classificador RNA para o equipamento ar condicionado.....	118
Tabela 7.11 – Avaliação nexó-causal de um curto circuito na barra para o equipamento “aparelho de som”.	120
Tabela 7.12 – Avaliação nexó-causal de um curto circuito na barra para o equipamento “microcomputador”.	120

RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo detalhar uma ferramenta computacional desenvolvida para auxiliar na tomada de decisão em procedimentos de pedido de indenização por danos em equipamentos elétricos do consumidor, devido a perturbações na tensão da rede elétrica, relacionadas às Variações de Tensão de Curta Duração – VTCD's, que podem causar danos em equipamentos sensíveis. O aplicativo desenvolvido é baseado em modelos e medidas composto por um módulo de dados, que compreende um banco de dados, contendo resultados de simulações computacionais sobre ocorrência de prováveis defeitos na rede elétrica; um banco de dados de monitoramento, obtido a partir das medidas coletadas junto aos medidores instalados no sistema elétrico no decorrer deste trabalho; e um banco de dados de suportabilidade de equipamentos elétricos. O módulo de dados está integrado ao módulo de análise nexocausal, que utiliza descoberta de conhecimento em base de dados na sua composição, sendo que na etapa de mineração de dados tem-se a opção de utilizar dois classificadores, o *k-Nearest Neighbors* - kNN ou uma Rede Neural Artificial - RNA, que no processo de análise, apresentam como saída subsídios para a elaboração do parecer técnico comprovando a existência ou não do nexo de causalidade, fornecendo assim suporte às equipes responsáveis a elaboração do parecer técnico do processo do pedido de indenização por danos em equipamentos do consumidor.

Palavras-chave: Sistema de suporte a decisão; variações de tensão de curta duração; descoberta de conhecimento em base de dados; suportabilidade de equipamentos elétricos; processo de ressarcimento a danos.

ABSTRACT

The objective of this work is to detail a computational tool development to help electrical utilities in procedures for decision-making process to claim compensation for damage in electrical equipment, due to disturbances in voltage in electrical grid related to short duration voltage variations that may cause damage in sensitive electrical equipments. The development is based on models and measures, comprising a data module, which forms a database containing results of computer simulations of occurrences of failures in the electrical grid; a monitoring database, obtained from the measurements collected from the meters installed in the electrical grid; and a database of electrical equipment supportability. The data module is integrated with the causal-link analysis module, which uses knowledge discovery in database in its composition. With respect to the data mining procedure, one has the option of using two classifiers: the k-Nearest Neighbors, kNN, or the Artificial Neural Network, ANN, which, in the analysis process, has as output the subsidies for the development of technical advice that shows whether or not the causal-link is verified, thus providing support to technical teams responsible for the preparation of the technical report concerning the process for damage compensation to the consumer equipment.

Keywords: decision support system, short duration voltage variation; knowledge discovery in databases, supportability, electrical equipment and procedure for damage compensation.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Devido ao avanço tecnológico dos processos e equipamentos industriais, comerciais e residenciais, os consumidores têm demandado um padrão de qualidade ainda não disponível pelo sistema supridor de energia elétrica, provocando inúmeros problemas que impactam diretamente nas relações entre a empresa de energia e os consumidores referentes aos pedidos de indenização por queima de aparelhos.

Esses problemas têm impulsionado os órgãos reguladores a pressionarem as empresas de eletricidade a investirem na melhoria da qualidade do serviço prestado aos seus clientes, exigindo, pelo menos, um padrão mínimo de qualidade capaz de atender as novas exigências de equipamentos sensíveis.

Diante deste cenário, as empresas do setor elétrico, principalmente as de distribuição, direcionam esforços objetivando amenizar esse impasse estabelecendo critérios e orientações para o processo de ressarcimento de danos originados devido à falta de qualidade da energia elétrica ofertada aos clientes.

Uma das alternativas para melhorar o problema da má qualidade é estabelecer um programa de manutenção preditiva instalando dispositivos de monitoramento em locais críticos, objetivando a identificação de diferentes distúrbios que possam ocorrer no sistema elétrico, responsáveis pelos danos aos equipamentos dos consumidores. Outra alternativa é realizar uma série de simulações de contingências, através de programas de simulações computacionais, capazes de representar fielmente o modelo do sistema elétrico, objetivando encontrar pontos de falhas, que possam ser responsáveis por gerar distúrbios prejudiciais ao funcionamento de equipamentos sensíveis.

Qualquer uma dessas alternativas, ou em ambas em concomitância, como normalmente são utilizadas, trarão uma grande quantidade de registros de informações do sistema elétrico, devendo, portanto, serem interpretadas para se ter o entendimento desejado. Essa gama de dados brutos impulsiona estudos relativos à aplicação da Descoberta do Conhecimento em Base de Dados (do inglês: *Knowledge Discovery in Databases* - KDD), objetivando extrair conhecimento da base de dados, através de tarefas e técnicas que possam identificar a existência ou não denexo de causalidade

entre as faltas que ocorrem na rede elétrica e o prejuízo causado em equipamento dos consumidores.

Dentro desse contexto, os objetivos dos estudos descritos nesta dissertação visaram desenvolver uma ferramenta que estabelecesse diretrizes a atribuição de responsabilidades em pedido de indenização por danos em equipamentos dos consumidores, provocados por possíveis contingências no sistema de distribuição.

No desenvolvimento da ferramenta proposta, foi incorporada uma grande base de dados adquirida de monitoramento do sistema elétrico, de simulações computacionais e de registros de suportabilidade de equipamentos. Além disso, utilizou-se o pacote WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) para o processo de KDD, utilizando tanto o kNN (*k – Nearest Neighbors*) quanto uma RNA (Rede Neural Artificial) como classificadores na etapa de mineração de dados.

1.2 Revisão Bibliográfica

Consumidores de energia elétrica estão se tornando cada vez mais intolerantes quanto à falta de qualidade da energia elétrica, exigindo um melhor desempenho de suas prestadoras de serviço. Em contrapartida, as concessionárias de energia tentam se adequar aos limites de desempenho exigidos e melhorar o serviço prestado. Entretanto, em muitos casos observa-se uma lacuna entre as necessidades do cliente e a qualidade do serviço prestado pelas empresas distribuidoras de energia elétrica.

Essa lacuna se alarga a medida que há maior quantidade de equipamentos sensíveis a certos limites de tolerância de tensão exigidos, incompatíveis com os limites que a maioria das redes de distribuição podem oferecer.

Há décadas vem sendo estudado o problema da falta da qualidade de energia elétrica na tentativa de minimizar esse impasse, objetivando definir um compromisso entre equipamentos sensíveis e qualidade de energia, satisfazendo assim tanto as necessidades dos clientes, que pagam por essa qualidade, quanto para as empresas que precisam e querem prestar serviço de qualidade.

Muitos trabalhos técnicos e científicos estão direcionados a esse fim, com aplicações de técnicas diversas, na tentativa de identificar e minimizar o problema da má qualidade de energia, focando principalmente nas variações de tensão de curta duração, e mais especificamente nos afundamentos de tensão, que por serem os maiores responsáveis por danos em equipamentos elétricos, conseqüentemente gerando elevados

prejuízos financeiros, vem ganhando importância maior dentre os estudiosos que buscam a qualidade da energia elétrica.

Dentre estes, foi descrito, nos próximos tópicos, um resumo dos trabalhos mais relevantes aceitos nas revistas científicas, conferências e/ou congressos, na última década.

Em Bonatto *et al.* (1998) apresentou uma aplicação de lógica fuzzy em um estudo de caso de qualidade da energia, descrevendo o computador como uma carga sensível a afundamento de tensão de acordo com a curva CBEMA (*Computer Based Equipment Manufacturer Association*). Segundo os autores, a lógica fuzzy permite identificar à incerteza inerente a confiabilidade da carga (sucesso ou fracasso) na presença de variações de tensão de curta duração. Ou seja, a tolerância a má qualidade de energia varia de acordo com os diferentes fabricantes de equipamentos, com a aplicação do dispositivo, e assim por diante. Por fim, apresenta como resultado um sistema inteligente para diagnosticar distúrbios de qualidade de energia, demonstrando o potencial da técnica como resposta às necessidades dos fabricantes e dos usuários de equipamentos elétricos sensíveis.

Cumbria *et al.* em 1999, fez uma investigação dos vários efeitos dos distúrbios elétricos que se aplicam a várias cargas domésticas sensíveis, como computador pessoal (PC) e eletrodomésticos. Em testes, o PC e vários eletrodomésticos foram submetidos a sobretensões, interrupções, bem como subtensões momentâneas e temporárias, para simular quedas e apagões no sistema elétrico.

Cornick e Li apresentaram, em 2000, o que vem a ser o problema da queda de tensão, fazendo uma breve descrição da causa, suas características e estatísticas, além de relatar a sensibilidade e controle de equipamento frente às normas estabelecidas. Os autores sugerem que para o equilíbrio construtivo, seja necessário que fornecedores e usuários de energia elétrica trabalhem em conjunto para alcançar uma solução mais econômica, objetivando atender mutuamente um padrão aceitável de qualidade.

Em 2002, Ferrari *et al.*, apresenta um sistema informatizado de análise e suporte técnico para atendimentos de pedidos de indenização de consumidores por queima de aparelhos. O trabalho realiza simulações utilizando o programa ATP de ocorrências na rede elétrica das solicitações a que os consumidores são submetidos. Com base nas informações disponíveis, realiza diagnóstico dos casos de pedidos de indenização.

Em Garcez *et al.* (2003) apresentou um sistema inteligente para auxílio à tomada de decisões, quanto a responsabilidade de danos provocados em equipamentos de

consumidores por perda de qualidade no fornecimento de energia elétrica pela concessionária. O sistema consta de interfaces para registro e caracterização de ocorrências de danos ao consumidor, ocorrências de perturbações de qualidade de energia elétrica na rede de distribuição e um módulo inteligente para apoio a tomada de decisão quanto à responsabilidade por danos elétricos em equipamentos do consumidor, baseado em Rede Neural Artificial tipo IAC (*Interactive Activation and Competition*). Estudos de casos são apresentados atestando a adequação do sistema desenvolvido à determinação das responsabilidades para ressarcimentos causados por possíveis anormalidades na prestação de serviços de energia elétrica da Concessionária.

Em Shen *et al.* (2005) apresenta uma aplicação da técnica de lógica fuzzy para quantificar o nível de perturbação do afundamento de tensão. Ele descreve os conjuntos fuzzy se-então e regras de inferência envolvidas no processo para proporcionar um nível de perturbação do afundamento de tensão com base na janela do mergulho da tensão do evento. A saída fornece um único fator que indica o nível de perturbação relativa de um afundamento de tensão.

Em (2007) Chan-Nan Lu e Cheng-Chieh Shen apresentaram um método para prever o número de interrupções de equipamentos devido a afundamento de tensão no tempo, com base em um conceito descrito na IEC 61000-3-7. A proposta do método usa o sistema de distribuição probabilístico de perturbação e índices de imunidade de equipamentos, obtidos a partir de uma única nebulosa máquina de inferência para representar a severidade dos distúrbios e susceptibilidade dos equipamentos frente aos afundamentos de tensão.

Kagan *et al.*, em 2008 apresentaram aspectos técnicos julgados importantes relacionados à análise de danos em aparelhos que geram pedidos de indenização às empresas de distribuição. Abordando em uma metodologia aplicada em uma ferramenta computacional de análise. Essa ferramenta incorpora um sistema de consulta dos bancos de dados para acessar as ocorrências na rede e identificar indícios de situações que podem ter causado perturbações na rede que sejam potencialmente associáveis a danos de equipamentos, efetuando análise das possibilidades de danos em função do sistema de distribuição que alimenta o consumidor, tipo de equipamento e sua suscetibilidade a perturbações.

Considerando a modelagem computacional, Bacca *et al. em* (2009) faz uma abordagem utilizando a plataforma ATP representando a performance de frigoríficos domésticos com distúrbios de qualidade de energia. Segundos os autores, a análise do

desempenho do modelo do frigorífico foi submetido a condições de oferta não-ideal analisando a resposta do equipamento.

Considerando essas referências bibliográficas e objetivando focar a questão da responsabilidade por danos em equipamentos elétricos sensíveis, na presença de distúrbios de variações de tensão de curta duração, este trabalho foi direcionado a consolidar e preencher algumas lacunas discutidas e também ainda não preenchidas nas bibliografias destacadas.

1.3 Objetivo Geral do Trabalho

Este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que possa auxiliar no parecer técnico a pedidos de indenização por danos em equipamentos elétricos dos consumidores.

Para isso, foi desenvolvido um aplicativo que possui dois módulos principais, que são:

1. Módulo da base de dados: composto por um banco de dados de simulação, formado por um conjunto de informações provenientes de simulações computacionais desenvolvidas nos programas ATP (*Alternative Transients Program*) e ANAFAS/ANAQUALI (Programa de Análise de Falhas Simultâneas/Análise de Afundamentos de Tensão); banco de dados de monitoramento, formado por aquisições de distúrbios de variações de tensão de curta duração, relacionadas à má qualidade de energia elétrica e banco de dados de suportabilidade de equipamentos elétricos;
 2. Módulo de análise nexa-causal: desenvolvido para fazer o relacionamento entre as características dos distúrbios com os dados de suportabilidade de equipamento. Essa relação é executada dentro do pacote WEKA, concebida através de duas técnicas de classificação, que são: o algoritmo de classificação kNN (k – vizinho mais próximo) ou uma RNA, ambos alimentados pelo módulo da base de dados.
-

1.4 Descrição do Trabalho

Após a apresentação do trabalho descrita neste Capítulo, no Capítulo 2, foi apresentado os principais aspectos da qualidade da energia existentes nos sistemas elétricos de potência, enfatizando os principais problemas devido à falta de qualidade da energia elétrica. Também é feito um breve comentário sobre atribuição de responsabilidade por perda da qualidade, além de enfatizar as legislações vigentes e os órgãos regulamentadores.

No Capítulo 3, foi descrito as principais definições e características dos fenômenos de variação de tensão de curta duração, além de detalhar as principais causas dos distúrbios.

No Capítulo 4, foi apresentado o sistema de atribuição de responsabilidade por perda de qualidade, enfatizando o problema no sistema elétrico de Santarém, que foi a principal motivação no desenvolvimento deste trabalho. Neste capítulo, também é descrita a prática atual no Processo de Ressarcimento por Danos ao Consumidor nas empresas de distribuição, além de descrever a metodologia proposta, enfatizando principalmente, a etapa “ÁREA TÉCNICA”, que é o foco principal deste trabalho.

No Capítulo 5 foi organizada uma descrição sobre as bases de dados, descrevendo-se o processo de desenvolvimento do banco de dados de simulações computacionais, da aquisição dos dados pelo sistema de monitoramento e de como foi adquirido e inserido os registros na base de dados de suportabilidade de equipamentos.

No Capítulo 6, foi mostrado os aspectos computacionais para o sistema proposto, descrevendo-se a metodologia usada no desenvolvimento do aplicativo. Também foi organizada uma breve descrição sobre o processo de KDD com maior ênfase as duas técnicas de classificação utilizadas na etapa de mineração de dados no programa proposto. Além de descrever o funcionamento dos classificadores (kNN e RNA) foi também detalhado a utilização desses classificadores dentro do programa desenvolvido. Ainda fazendo parte desse capítulo, foi sucintamente descrito o pacote WEKA, enfatizando sua incorporação na ferramenta proposta.

No Capítulo 7, foram exibidos alguns dos resultados obtidos dos estudos de caso de simulações de análisenexo-causal com os modelos de cada um dos dois classificadores, tendo como entrada a base de dados tanto de monitoramento como a de simulações computacionais, e como saída o diagnóstico de como se comporia o equipamento na presença de variações de tensão de curta duração. Sendo que, o

principal objetivo do estudo de caso foi validar a ferramenta proposta e a tarefa e as técnicas de KDD utilizadas.

No Capítulo 8, foram tecidas as conclusões finais, enfatizando-se as vantagens e desvantagens da metodologia proposta, assim como as dificuldades encontradas na execução deste trabalho. Foram propostas, ainda, algumas sugestões de trabalhos futuros com a finalidade de aperfeiçoar e ampliar a ferramenta proposta, bem como realizar melhorias que podem ser realizadas no programa para futuras aplicações. E por fim, foram enfatizadas as publicações referentes a este trabalho.

2 ASPECTOS SOBRE A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA NOS SISTEMAS DE POTÊNCIA

2.1 Introdução

A energia elétrica na atualidade é essencial para a realização da maioria das atividades humanas como o comércio, a indústria, o lazer, dentre outras. É um produto incomum porque deve estar disponível continuamente e não pode ser armazenado em grandes quantidades, devendo ser produzida na medida em que é necessária. Por outro lado, primeiro é utilizada para depois ser submetida a medidas de mitigação para garantir sua qualidade. Entretanto, deve possuir confiabilidade no fornecimento, com capacidade de suportar variações aceitáveis sem causar prejuízos aos usuários.

Além do mais, garantir a qualidade da energia entregue no ponto de uso é uma tarefa complexa que necessita de muitos cuidados, desde o ponto de geração até o ponto de entrega, já que não existe um procedimento que permita retirar a energia que não atenda às especificações da cadeia de fornecimento ou que tenha sido rejeitada pelo consumidor.

Normalmente, a energia é gerada longe do ponto de utilização, e no caso do sistema ser interligado, como é o caso do sistema elétrico brasileiro, há a junção da energia gerada por muitos outros geradores, administrados e mantidos por diferentes concessionárias, passando por vários transformadores através de muitos quilômetros de linhas aéreas até finalmente chegar ao ponto de entrega.

Portanto, é de fundamental importância realizar inúmeros estudos e programas de controle de processos e de qualidade, como: manutenção preventiva, programas de conscientização, fiscalização, estabelecimento de normas e índices para assegurar a qualidade do produto, além dos cuidados com fenômenos da natureza, entre outros, para garantir no mínimo que a energia entregue seja de boa qualidade, com funcionamento contínuo, seguro e adequado aos equipamentos elétricos e processos associados, sem afetar o meio ambiente e o bem estar das pessoas (Bronzeado *et al*, 1997).

Neste trabalho, o principal foco foi relacionado os fenômenos de variações de tensão de curta duração, sensíveis e prejudiciais aos consumidores atendidos em tensão igual ou inferior a 2,3 kV, sendo que este capítulo concentra-se nos principais aspectos

da perda de qualidade de energia, da atribuição de responsabilidade e da legislação vigente no país.

2.2 Aspectos da Perda de Qualidade da Energia Elétrica

O mundo globalizado tem cada vez mais interagido com a energia elétrica. Percebe-se que o processo de industrialização tem-se acelerado juntamente com o incentivo de substituir tarefas que antes eram executadas de forma manual ou mecânica, por procedimentos automatizados executados na grande maioria por aparelhos eletroeletrônicos ou micro-processados, aumentando o dinamismo da indústria e o conforto das pessoas. Sendo assim, a energia elétrica passa a ser uma importantíssima matéria-prima para quase todos os tipos de operações comerciais e, como toda matéria prima, a qualidade no fornecimento deve ser extremamente confiável. Entretanto, o interesse por se exigir energia de boa qualidade intensificou-se, principalmente devido aos elevados prejuízos econômicos associados à ocorrência da perda de qualidade da energia. Segundo (Carvalho, 1997), os EUA têm apresentado prejuízos anuais da ordem de dezenas de bilhões de dólares, em decorrência de falhas em equipamentos eletroeletrônicos. Estima-se que na União Européia a indústria e o comércio possuem um custo com problemas de qualidade de energia da ordem de 10 bilhões de euros por ano (Chapman, 2002). No Brasil, estima-se que esses prejuízos sejam da ordem de 2 bilhões de dólares anuais, tendendo a aumentar, uma vez que a indústria tem investido cada vez mais em automação e controle de máquinas e equipamentos. (Carvalho, 1997).

De acordo com (Gbirardi *et al*, 2002) um dos objetivos da privatização dos serviços de distribuição de energia elétrica no Brasil foi capacitar as empresas a investirem de forma a garantir a qualidade do serviço e a universalização do atendimento. Entretanto, o investimento com medidas preventivas e corretivas para garantir a qualidade no fornecimento de energia tem sido insuficiente, tanto do ponto de vista da concessionária como do consumidor. Isso se verifica à medida que se observa a intensificação das Solicitações por Ano, recebidas pela ANEEL e pelas Agências Estaduais Conveniadas, classificadas por tipo como: informações, reclamações e denúncias. Essas solicitações, em geral são realizadas por consumidores insatisfeitos com a falta de qualidade da energia recebida. Nas Figuras 2.1 e 2.2 visualizam-se quantitativamente essas solicitações, ocorridas no período de 2000 a 2008, disponíveis no site da ANEEL (www.aneel.gov.br), com acesso em 22 / 01 / 2009.



Nome Cubo	Data da Última Atualização
Ouvidoria	7/11/2009 23:37:03

Período	Solicitações
2000	264.261
2001	4.490.262
2002	10.395.154
2003	8.678.726
2004	7.714.512
2005	6.175.449
2006	970.549
2007	1.074.748
2008	968.599
Total Geral	40.732.260

Figura 2.1 - Número de solicitações por ano na ANEEL (ANEEL).

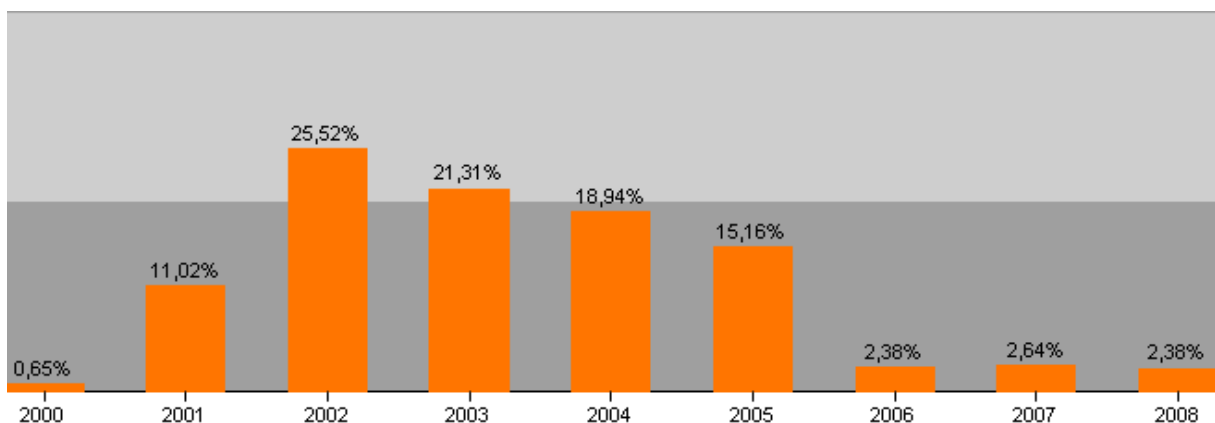


Figura 2.2 - Divisão percentual das solicitações por ano na ANEEL (ANEEL).

Investir em qualidade de energia ainda é um desafio tanto para as concessionárias que oferecem a energia, quanto para os consumidores finais que não sabem como e com que dispositivos devem se prevenir contra qualquer dano que possa ocorrer em seus bens. Não há informações oficiais sobre qual o valor que deve ser investido em prevenções para compensar o risco da má qualidade de energia, esse valor depende da natureza dos negócios envolvidos. Entretanto, sabe-se que para chegar a

esse valor é necessário entender a natureza dos problemas e avaliar como cada um deles afeta a atividade empresarial e que tipo de perdas podem resultar. Outro fator importante é definir medidas preventivas e corretivas que possam minimizar o impacto sobre o prejuízo.

Para muitos consumidores, como os residenciais, a má qualidade da energia elétrica só é percebida quando há interrupções no fornecimento de energia, e só haverá grandes aborrecimentos ou mesmo perdas econômicas se essa interrupção for de longa duração ou quando estas interrupções são relacionadas com a queima de equipamentos. Entretanto, para os consumidores industriais muitas operações são extremamente sensíveis a má qualidade da energia elétrica, desde interrupções curtas onde a fábrica pára e o processo industrial tem que ser reiniciado, o que pode causar grandes prejuízos financeiros, até interrupções longas gerando variedades de perdas difíceis de serem mensuradas.

Como exemplos de operações de processos sensíveis destacam-se:

1. Operação de processo contínuo, onde interrupções de curta duração podem perturbar o sincronismo dos equipamentos de produção danificando grandes volumes de produtos semiprocessados que podem não serem aproveitáveis. Um exemplo típico é a indústria de tecidos onde a interrupção momentânea de tensão pode partir os fios do tecido, sendo que para reiniciar o processo será preciso emendar todos os fios que se partiram, e isso leva certo tempo, com perda de produção;
 2. Operação de produção em série, onde uma interrupção durante um processo pode interromper a programação das operações sequenciais. Um exemplo deste tipo é a indústria de semicondutores, onde a produção de uma placa semicondutora segue algumas dúzias de processos durante vários dias e a falha de um único processo tem efeito catastrófico;
 3. Operação de processamento de dados, onde há uma exigência na confiabilidade da informação recebida e transmitida. Neste caso, há inúmeros exemplos, desde um simples e-mail até os processos que envolvam transações de altos valores, como operações bancárias e operações no mercado de valores e câmbio. A interrupção de energia, mesmo por um período muito curto, mas que interfira na capacidade de negociar pode
-

resultar em grandes perdas que podem exceder de longe o custo da operação e manutenção.

4. Operações hospitalares, em que o ser humano é o objeto principal envolvido, onde uma pequena modificação na tensão pode levar a resultados imprecisos, diminuindo a confiabilidade do diagnóstico, implicando em danos catastróficos. Também pode haver outras implicações, como o aumento dos custos de manutenção (uma vez que os equipamentos podem ser considerados defeituosos e encaminhados para os serviços técnicos sem necessidade), a indisponibilidade de equipamentos e conseqüente paralisação do serviço médico, etc. (Cabral e Mühlen, 2005).

Além desses exemplos de indústrias sensíveis há outras grandes empresas que possuem vários pontos de vendas e equipamentos de controle de estoque computadorizados de forma distribuída. Estes também podem sofrer inúmeras perdas com a falta de qualidade da energia elétrica.

Desta forma, a falta de qualidade da energia elétrica é um grande desafio para todos os setores (residências, comércios ou indústrias) do mundo globalizado e industrializado. É um fator relevante na vida das pessoas, independente de serem pessoas físicas ou jurídicas. Todos estão sujeitos a perder quando a energia não está nas condições adequadas para o uso.

Diante deste fato, então como definir energia de boa qualidade? A energia de boa qualidade é aquela que está sempre disponível, dentro das tolerâncias de variações de tensão e frequência, e apresente uma forma de onda senoidal com níveis de distorções dentro das normas, onde o desvio da qualidade iria depender da tolerância da aplicação do usuário, do tipo de equipamento instalado e da percepção de suas próprias necessidades (Chapman, 2002).

Os principais problemas que fazem a energia elétrica ser considerada de má qualidade podem ser classificados em algumas categorias, como: distorção harmônica; corte no fornecimento; sub ou sobretensão de curta duração ou sustentada; surtos e transitórios; desequilíbrios e flutuações de tensão; *flicker*. Sendo que cada problema possui uma causa diferente. Alguns desses problemas são causados por falta de planejamento com relação a infra-estrutura e crescimento do processo, um exemplo típico é o sistema elétrico de distribuição, onde um ponto da rede é compartilhado por vários consumidores, sendo que uma falha na rede poderá causar um afundamento de

tensão que dependendo da intensidade poderá se espalhar por toda a rede afetando vários outros consumidores. Outro exemplo é o consumidor que está com a instalação elétrica comprometida provocando fenômenos transitórios e problemas de harmônicas que se propagam para muitos outros consumidores.

Garantir boa qualidade de energia requer um bom projeto inicial, equipamento de correção eficiente, co-operação com o fornecimento, monitoramento freqüente e boa manutenção. Em outras palavras, requer uma abordagem holística e uma boa compreensão dos princípios e dos procedimentos para a melhoria da qualidade da energia.

2.3 Atribuições e Responsabilidades

O novo modelo do Setor Elétrico Brasileiro - SEB está estruturado com base em aspectos jurídicos, ou seja, o “Vínculo Contratual”, contexto ao qual se somam o novo código civil, o código de defesa do consumidor, as normalizações e as fiscalizações da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Esse cenário caminha em direção às iniciativas de processos administrativos ou ações judiciais de indenizações por perdas e danos.

Dentro da nova estrutura do SEB, as empresas permissionárias e concessionárias dos serviços de energia elétrica têm a obrigação da prestação adequada dos serviços e a constatação na satisfação dos indicadores de qualidade do fornecimento (Garcez *et al*, 2003).

A Resolução Normativa n.º 61 de 29 de abril de 2004, da ANEEL, estabelece as disposições relativas ao ressarcimento de danos elétricos em equipamentos elétricos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbações ocorridas no sistema elétrico. Nesta resolução no item “DOS PROCEDIMENTOS” Artigo 5º e no item “DOS LIMITES DAS RESPONSABILIDADES”, no Artigo 10º, estão descritos os seguintes textos:

DOS PROCEDIMENTOS

“Art. 5º No processamento do pedido de ressarcimento, a concessionária deve comprovar a existência ou não do nexos de causalidade.

Parágrafo único. Na comprovação do nexo de causalidade devem ser considerados os eventos prováveis causadores do dano, entre outros, descargas atmosféricas e sobretensões oriundas da energização de circuitos, os quais não eximem a concessionária da responsabilidade do ressarcimento”.

DOS LIMITES DAS RESPONSABILIDADES

“Art. 10. A concessionária responde, independentemente da existência de culpa, pelos danos elétricos causados a equipamentos elétricos de consumidores, nos termos do caput do art. 3º desta Resolução.

Parágrafo único. A concessionária só poderá eximir-se do ressarcimento nos seguintes casos:

- I quando comprovar a inexistência de nexo causal, nos termos do art. 5º;
- II - quando o consumidor providenciar, por sua conta e risco, a reparação do(s) equipamento(s) sem aguardar o término do prazo para a inspeção, salvo nos casos em que houver prévia autorização da concessionária; ou
- III - quando comprovar que o dano foi ocasionado pelo uso incorreto do equipamento ou por defeitos gerados a partir das instalações internas da unidade consumidora”.

Ou seja, para que exista um responsável é necessário que se estabeleça uma relação de causalidade entre a ilicitude da ação e o mal causado; é preciso estar certo que, sem esse fato, o dano não teria acontecido. Mesmo que haja culpa e dano não existe obrigação de reparar se entre ambos não exista a relação causal. A causalidade não precisa ser imediata, sendo necessário, contudo, que se demonstre que o dano não teria ocorrido sem o fato causador.

Os pedidos de ressarcimento por danos elétricos são formalizados em função de ocorrências no sistema elétrico da concessionária, de origem elétrica ou mecânica e na prestação de serviços. Sendo que, para determinar a responsabilidade, a concessionária dispõe de manuais e normas de procedimentos a serem seguidos, estabelecendo critérios e rotinas quando da tramitação, análise e pareceres técnicos da solicitação de ressarcimento ao consumidor, por danos causados por possíveis anormalidades na prestação de serviços de energia elétrica (Garcez *et al*, 2003).

Essas diretrizes envolvem vários setores da concessionária, tais como: teleatendimento, escritórios, departamentos técnicos, entre outros, buscando a identificação de possíveis causas, que conduziram aos danos nos equipamentos reclamados pelos consumidores.

O que se verifica, efetivamente, relacionado a “Atribuições e Responsabilidade” é uma corrida por parte das concessionárias, de tentarem se adequar as leis que regularizam o SEB, objetivando não diminuir a receita nem perder suas concessões. Dependendo do caso, a perda financeira pode chegar a grandes valores, sendo por ressarcimento, por multas ou até mesmo por perda da concessão. Como tem se intensificado os pedidos de indenizações por danos, também há aumento das fiscalizações por parte das agências reguladoras, forçando as empresas do setor elétrico a aumentarem o investimento em pessoas, equipamentos, projetos de pesquisas, entre outras estratégias, objetivando estabelecer critérios e procedimentos para a análise técnica dos danos causados ao cliente em virtude de ocorrências no sistema da concessionária, de origem elétrica, mecânica e na prestação do serviço. Esses esforços minimizam as insatisfações dos consumidores, apesar de existirem casos onde não há um parecer satisfatório levando o reclamante insatisfeito para justiça.

Atribuir um responsável é uma tarefa complexa de difícil solução quando se trata de energia. Direcionar esforços para tentar diminuir o problema é um passo inteligente para buscar uma compreensão entre fornecedor e cliente, mas que ainda está longe de ser solucionado devido principalmente as diversas variáveis envolvidas no complexo cenário do Sistema de Energia Elétrica.

2.4 Legislação (Órgão)

A necessidade da regulamentação surgiu para que as concessionárias contemplem a implantação de padrões mínimos de qualidade, estabelecendo parâmetros básicos que garantam um serviço adequado de fornecimento de energia elétrica. Essa necessidade deve-se a vários fatores ligados ao setor elétrico a considerar o que está disposto na Resolução nº 456, de 29 de novembro de 2000, ANEEL, tal como:

1. “A necessidade de rever, atualizar e consolidar as disposições referentes às Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, visando aprimorar o
-

relacionamento entre os agentes responsáveis pela prestação do serviço público de energia elétrica e os consumidores”;

2. “A conveniência de imprimir melhor aproveitamento ao sistema elétrico e, conseqüentemente, minimizar a necessidade de investimentos para ampliação de sua capacidade”;
3. “A conveniência e oportunidade de consolidar e aprimorar as disposições vigentes relativas ao fornecimento de energia elétrica, com tarifas diferenciadas para a demanda de potência e consumo de energia, conforme os períodos do ano, os horários de utilização e a estrutura tarifária horosazonal”;
4. O monopólio caracterizado com poder de mercado o que possibilita a concessionária a apropriar-se do ganho com minimização do custo.

Dentro dessa perspectiva, a partir de 1995, o SEB vem passando por profundas transformações. Importantes leis e regulamentos foram instituídos em relação ao regime de concessão, à operacionalização de revisões tarifárias, à comercialização de energia, às regras para atendimento aos consumidores, e também à criação de novos agentes institucionais, além daqueles já existentes.

Dentro deste cenário, o SEB passou a ser representado por diferentes agentes - públicos e privados - responsáveis pela geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, bem como pela regulação e fiscalização dessas atividades, exercidas pelo Poder Concedente e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A partir de então, a ANEEL passou a elaborar normas, fiscalizando o seu cumprimento e aplicando punições, através de multas, caso a ausência do cumprimento venha causar prejuízo a sociedade em geral. Além disso, o Estado deve proteger o consumidor, garantindo-lhe qualidade a prestação de serviço de energia, preço justo e ritmo de expansão do setor elétrico adequado ao desenvolvimento econômico do país. (JUCÁ, 2003).

Na Lei 8.987, no capítulo II: – “Do Serviço Adequado”, em seu artigo 6º está descrito:

“Toda concessão ou permissão pressupõe a prestação de serviço adequado ao pleno atendimento dos usuários, conforme estabelecido nesta lei, nas normas pertinentes e no respectivo contrato.

§1o. Serviço adequado é o que satisfaz as condições de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, cortesia na sua prestação e modicidade de tarifas.

§2o. A atualidade compreende a modernidade das técnicas, do equipamento e das instalações e a sua conservação, bem como a melhoria e expansão do serviço”.

Apesar das muitas transformações que o setor elétrico tem passado a “proteção do Estado” ainda não está bem regulamentada. Apenas parte da questão da “Qualidade de Energia Elétrica” ficou esclarecida em dezembro de 2008, com os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica (ONS, 2008). Deixando ainda algumas lacunas para serem esclarecidas, como por exemplo, a falta de indicadores de desempenho da qualidade para as Variações de Tensão de Curta Duração – VTCD, o que seria primordial já que tanto a literatura quanto em experiência revelam que os distúrbios de curta duração são os que mais causam danos aos consumidores.

Também, não há uma padronização quanto aos medidores de qualidade, nem tão pouco quanto à fiscalização, ou até mesmo, certificação para os equipamentos responsáveis por diagnosticar se a energia é ou não de boa qualidade. Essa falta de padronização faz com que medidores diferentes ligados no mesmo ponto de medição levem a diagnóstico de qualidade diferentes.

Na normalização referente a questões de pedidos de indenização por danos, ainda há muito que melhorar. A Resolução Normativa da ANEEL nº 61 de 2004, referente ao ressarcimento de danos causados por deficiências no sistema elétrico, esclarece as concessionárias quanto ao cumprimento da prestação de serviço adequado aos seus consumidores. Entretanto, possui limitações quanto a sua abrangência, como está descrito nos artigos destacados a seguir:

“Art. 3º As disposições desta Resolução se aplicam, exclusivamente, para os casos de dano elétrico causado a equipamentos elétricos alimentados na mesma tensão de atendimento contratada no ponto de entrega ou de conexão de energia elétrica (...).

§ 1º Esta Resolução não se aplica ao ressarcimento de dano elétrico em equipamentos pertencentes a consumidores atendidos em tensão superior a 2,3 kV.

§ 2º A ANEEL e as agências conveniadas devem analisar as reclamações considerando, exclusivamente, o dano elétrico do equipamento, não lhes competindo acatar pedido de ressarcimento por danos morais, lucros cessantes ou outros danos emergentes”.

Sendo assim, apesar de ter havido grandes avanços na legislação por parte dos órgãos reguladores, ainda são necessárias grandes mudanças.

2.5 Conclusão

Neste capítulo, foi apresentada uma visão geral sobre os principais aspectos da qualidade da energia. Onde, inicialmente, foi descrito a necessidade de nos dias atuais ter-se energia de boa qualidade, descrevendo também, aspectos sobre a perda da qualidade, destacando principalmente, a necessidade das empresas investirem de forma a garantir a qualidade no fornecimento da energia para os clientes.

Foi descrito, ainda, a necessidade de atribuir responsabilidade, objetivando minimizar o prejuízo por danos que possivelmente a concessionária possa causar a seus clientes. E finalmente, foi apresentada uma breve descrição sobre os órgãos e a legislação vigente, enfatizando a necessidade de haver avanços na legislação.

No capítulo 3 serão apresentados alguns dos distúrbios causadores da má qualidade da energia, os quais são: afundamento e elevação de tensão. Estes são os distúrbios tratados nesta dissertação e por esta razão serão apresentados em maiores detalhes.

3 VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

3.1. Introdução

Diversos são os fenômenos que podem ocorrer no sistema elétrico, desqualificando a boa qualidade da energia gerada para uso dos consumidores. Esses fenômenos podem afetar o funcionamento dos utensílios eletro-eletrônicos de uso geral, prejudicar o desempenho desses equipamentos, causando mau funcionamento, ou até mesmo levá-los a destruição de parte ou de todo o equipamento.

Dentre esses fenômenos, os de maior interesse para análise de pedidos de indenização são os relacionados às VTCD's. Estas são causadas principalmente pela ocorrência de curto circuito no sistema elétrico supridor, muitas vezes considerada como normais no cotidiano operacional dos sistemas elétricos, passam a acarretar interrupções nos processos sensíveis das modernas plantas industriais, apresentando-se como o distúrbio mais representativo nas causas das paradas de produção desses processos.

Entretanto, observa-se na literatura que há uma grande deficiência no estudo das VTCD's, no que diz respeito ao aspecto de identificar a relação do real impacto de um evento sobre as cargas dos consumidores. O que se verifica são técnicas para caracterização dos distúrbios, além de métodos empíricos para caracterização da sensibilidade e limites de tolerância das cargas a tais distúrbios, mas dificilmente são encontrados estudos relacionando aos distúrbios de VTCD's caracterizando seus efeitos nos equipamentos, fator este determinante para identificar se uma VTCD causará ou não uma reação negativa a um determinado equipamento.

Este trabalho está focado no desenvolvimento de uma ferramenta que possa estabelecer como saída diretrizes quanto ao parecer técnico no pedido de indenização por dano em equipamento do consumidor devido a existência das VTCD's no sistema elétrico da concessionária, normalmente maiores responsáveis por provocar danos em equipamentos sensíveis.

Nos próximos itens serão discutidas as principais definições e características dos fenômenos de variação de tensão de curta duração, além de detalhar as principais causas dos distúrbios.

3.2. Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD's)

3.2.1. Definição das VTCD's

De acordo com a definição documentada nos procedimentos de rede do Operador Nacional do Sistema – ONS, módulo 2, obtida no Submódulo 2.8 (ONS, 2008), entende-se por VTCD um evento aleatório de tensão com desvio significativo da amplitude da tensão num curto intervalo de tempo, considerando a amplitude e a duração do evento suas características principais, tais como:

1. A amplitude da VTCD é definida pelo valor extremo do valor eficaz da tensão em relação à tensão de referência (nominal, pré-falta, operativa) do sistema no ponto considerado, enquanto perdura o evento.
2. A duração da VTCD é definida pelo intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o valor eficaz da tensão em relação à tensão nominal do sistema no ponto considerado ultrapassa determinado limite e o instante em que essa variável volta a cruzar esse limite (ONS, 2008).

Assim, as VTCD's são classificadas a partir da duração e amplitude como descrito na Tabela 3.1 (ONS, 2008).

Tabela 3.1 – Classificação das VTCD's.

CLASSIFICAÇÃO DAS VTCD'S		
Denominação	Duração da variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão nominal
Interrupção momentânea de tensão	Inferior ou igual a 3 (três) segundos	Inferior a 0,1 pu
Afundamento momentâneo de tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a 3 (três) segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu
Elevação momentânea de tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a 3 (três) segundos	Superior a 1,1 pu
Interrupção temporária de tensão	Superior a 3 (três) segundos e inferior ou igual a 1 (um) minuto	Inferior a 0,1 pu

Tabela 3.1 - Classificação das VTCD's. (continuação).

CLASSIFICAÇÃO DAS VTCD'S		
Afundamento temporário de tensão	Superior a 3 (três) segundos e inferior ou igual a 1 (um) minuto	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 pu
Elevação temporária de tensão	Superior a 3 (três) segundos e inferior ou igual a 1 (um) minuto	Superior a 1,1 pu

3.2.2. Características das VTCD's

Para caracterizar os distúrbios de VTCD's, as metodologias disponíveis limitam-se ao afundamento de tensão, pelo fato dos mesmos provocarem grande impacto sobre os consumidores, principalmente aqueles advindos de ocorrências de curtos circuitos no sistema elétrico (Silva, 2006).

Diante das várias metodologias, apenas o método dos dois parâmetros será descrito neste item, devido ter sido o método utilizado neste trabalho.

Esse método está dividido em duas categorias: medições monofásicas e medições trifásicas, sendo que apenas a amplitude e a duração são consideradas como parâmetros, conforme ilustrado na Figura 3.1. Estes parâmetros somados as frequências de ocorrências fornecem informações satisfatórias sobre o fenômeno. Entretanto, para eventos trifásicos outros parâmetros também podem ser incorporados, como a assimetria e o desequilíbrio.

Outra característica que pode ser agregada para caracterizar tanto o distúrbio monofásico quanto o trifásicos é o comportamento dinâmico associado à evolução da forma de onda de tensão. Além dessas características, normalmente, utiliza-se um procedimento chamado de agregação de fases e agregação temporal, estas também podem ajudar a caracterizar os distúrbios nas medições trifásicas (Carvalho, 2005).

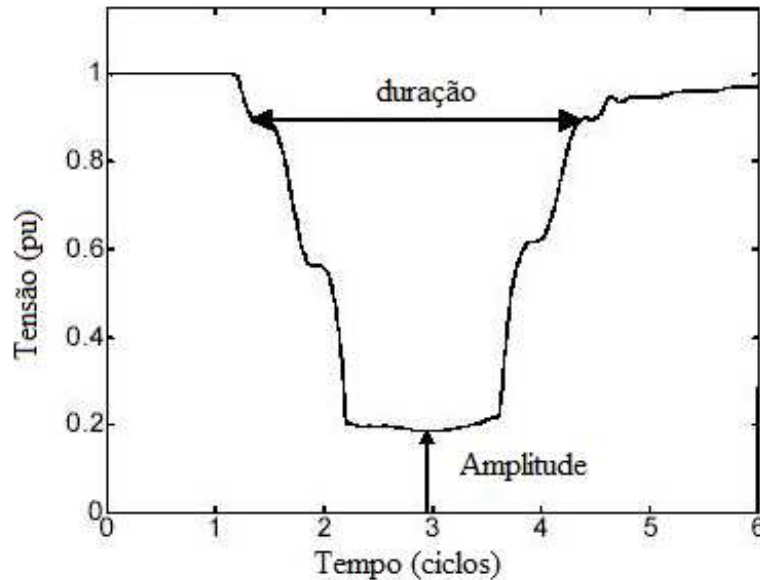


Figura 3.1 - Definição da magnitude e duração do afundamento de tensão.

3.4. Principais Causas das VTCD's

Dos distúrbios que prejudicam a qualidade da energia elétrica as VTCD's apresentam maior frequência de ocorrência e são logo percebidas por parte dos consumidores, pois de imediato geram prejuízos que podem chegar a valores incalculáveis.

Os consumidores que possuem processos sensíveis são os mais afetados, um exemplo são os consumidores industriais, onde se verifica prejuízos que vão desde simples paradas nos processos produtivos, que podem ser de alguns minutos, horas ou dias, até perda de lotes inteiros de produção e queima de equipamentos.

As concessionárias, diante das novas exigências, vêm-se obrigadas a melhorar a qualidade de fornecimento, seja por motivos contratuais, perda de grandes consumidores (industriais) e até mesmo por ações judiciais devido a prejuízos supostamente causados por ela ou por negligência no atendimento de normas regulamentadoras quando vigentes.

As principais causas das VTCD's estão relacionadas a curtos circuitos, manobras de rede, atuação indevida da proteção e instabilidade ambiental. Estas estão detalhadas a seguir:

1. Curto circuito: experiências revelam que os curtos circuitos, normalmente são responsáveis pelos afundamentos de tensão, podendo ter como consequência a

elevação de tensão, dependendo do tipo de curto circuito ocorrido. Os efeitos não se limitam unicamente ao ponto da falta, mas se propagam pela rede elétrica atingindo uma determinada região dependendo das características da rede elétrica, sendo que o centro crítico é o ponto do curto circuito;

2. Manobras: outra contingência que também é responsável pelos afundamentos de tensão, são as manobras de rede, sejam elas automáticas ou manuais. Quando a manobra é realizada de forma programada e correta ocorrem distúrbios momentâneos mesmo assim não estão livres de causarem problemas, porém uma manobra mal realizada pode causar interrupção ou um curto circuito.

É importante perceber que os distúrbios relativos às VTCD's são inerentes ao sistema, porém deve-se sempre procurar minimizar e melhorar as manobras necessárias, com finalidade de aumentar a qualidade e desempenho da rede elétrica, conseqüentemente minimizando os distúrbios de VTCD's. Exemplos de manobras são: comutação para transferência de linha, comutação para "bypass", manobras para realização de manutenção e manobras de carga;

3. Atuação indevida da proteção: a atuação da proteção é normalmente causadora de afundamentos e interrupções e, em alguns casos de elevações de tensão, dependendo do tipo de ocorrência na rede elétrica;
4. Condições climáticas: as condições climáticas, tais como: chuva, vento e descargas atmosféricas, são causadores de afundamentos, surtos (transitórios) e elevações de tensão. Os distúrbios relacionados a esse tipo de causa são de difícil controle, pois sua parametrização e variáveis relacionadas são muitas e de difícil identificação.

3.4. Conclusão

Tamanha importância se tem dado aos fenômenos das VTCD's, pois se tem visto estudos em diferentes direções, desde áreas técnicas até aspectos econômicos e legais, sendo este último ainda obscuro (ou seja, são meios de quantificar, identificar e apurar fatos e responsabilidades, de modo a estabelecer metodologias de apuração e caracterização de prejuízos). Essa falta de técnicas para identificação das fontes

causadoras de problemas impossibilita a existência de uma forma justa para apuração de problemas de VTCD e assim poder aplicar penalidades nos agentes envolvidos.

Dentro dessa perspectiva, este trabalho é mais uma das diretrizes das empresas do setor elétrico de tentar minimizar os prejuízos causados tanto a concessionária como aos consumidores frente às VTCD's. A perspectiva que se tem é que a ferramenta proposta irá ajudar a orientar o setor responsável no processo de pedido de indenização por prejuízos causados a equipamento dos consumidores, supostamente causados por problemas da rede elétrica.

4 SISTEMA DE ATRIBUIÇÃO DE RESPONSABILIDADE POR PERDA DE QUALIDADE

4.1. Introdução

O tema de ressarcimento tem sido uma preocupação cada vez maior por parte das empresas de energia elétrica, das agências reguladoras e dos consumidores. Essa preocupação tem levado as empresas prestadoras do serviço a se adequarem às exigências das agências reguladoras, que para isso, elaboram estratégias para melhorar a qualidade do serviço prestado ao consumidor.

Dentro deste contexto, as empresas do setor elétrico estabelecem critérios e orientações para o processo de ressarcimento de danos causados ao cliente em virtude de ocorrências no sistema elétrico da concessionária, fundamentadas sempre nas principais resoluções normativas e procedimentos do setor.

Entretanto, cada empresa possui a sua forma e procedimento para atuar em relação ao pedido de ressarcimento, que de uma forma geral se parecem entre si, pois as mesmas se baseiam nas exigências dos órgãos regulamentadores.

Neste tópico, será descrito como normalmente tramita o processo de pedido de ressarcimento utilizado nas concessionárias de distribuição, desde o instante em que o consumidor solicita ressarcimento por danos, até a efetivação ou não do reparo aos prejuízos causados ao consumidor, em conseqüências de anormalidade na prestação de serviços de energia elétrica da concessionária.

4.2. O Problema no Sistema Elétrico

O Sistema de Santarém-PA, composto pela Usina Hidrelétrica de Curuá-Una, Subestação Tapajós e Subestação Santarém, faz parte do Sistema de Transmissão do Oeste do Pará – Tramo Oeste fazendo parte do Sistema Interligado Nacional - SIN, representado na Figura 4.1. Normalmente, este sistema elétrico opera em sincronismo com o SIN. Entretanto, em situações de contingência, tais como a perda da interligação, dependendo do horário, ocorrem variações na tensão durante um determinado intervalo

de tempo, sendo estas variações refletidas para o sistema de distribuição provocando danos elétricos aos consumidores, e muitas vezes, perda da interligação.

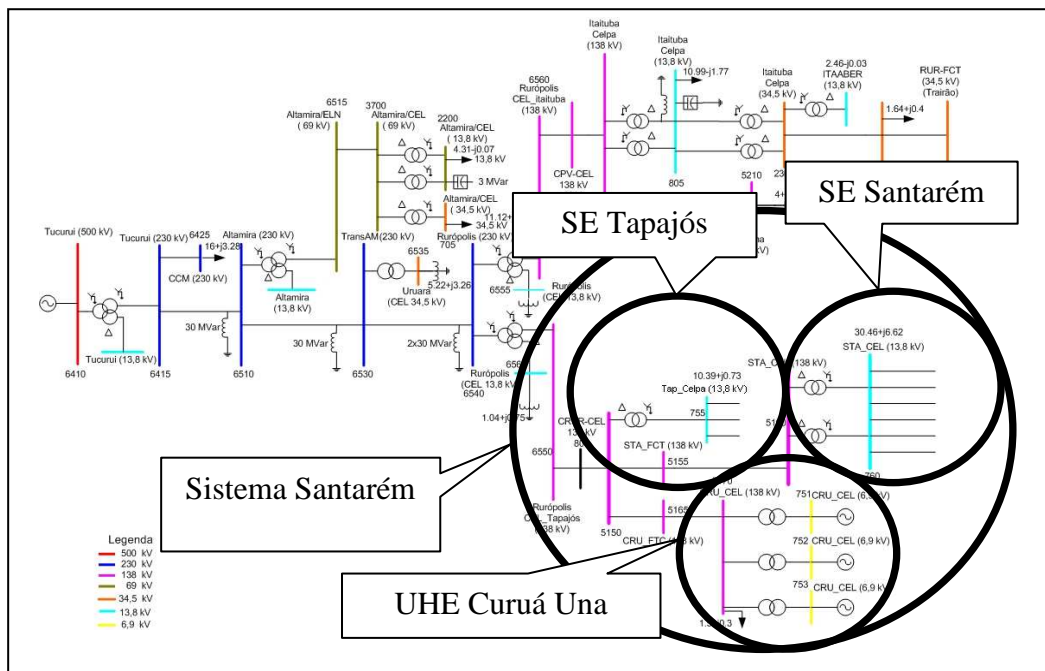


Figura 4.1 - Sistema Tramo Oeste, destacando o sistema Santarém.

Durante a ocorrência de perturbações no sistema, originadas pela perda da interligação, podem surgir sobre os subníveis transitórias danosas aos mais diversos tipos de cargas consumidoras e equipamentos do sistema, ocasionando problemas operacionais de origem transitória, que podem afetar a estabilidade e a qualidade da energia, e inclusive conduzir o sistema para uma condição de interrupção no fornecimento de energia elétrica a partir da atuação da proteção, ou a procedimentos de corte de carga. Existe assim, a necessidade do desenvolvimento de estudos que possam evidenciar de forma detalhada todas as consequências da propagação de tais perturbações nas barras de 138 kV e 15 kV do Sistema de Santarém (Fonseca *et al*, 2008).

Desta forma, foi desenvolvido um estudo, o qual derivou-se esta dissertação, dentro do projeto de P&D: *Sistema Inteligente de Apoio à Tomada de Decisões Baseado na Análise das Perturbações na Tensão e Frequência no Sistema Santarém, Provocadas por Contingências Locais e no Sistema TRAMO OESTE*.

Dentro deste contexto, desenvolveu-se um sistema de software com a finalidade de servir como apoio à tomada de decisão na identificação do nexos causal por perda da qualidade no fornecimento da energia no sistema elétrico de Santarém, devido as

VTCD's e os danos causados ao próprio sistema elétrico em 138 kV e 15 kV e às unidades consumidoras alimentadas em tensão igual ou inferior a 15 kV, devidos à ocorrência de perturbações no sistema Tramo Oeste. O sistema de softwares visa avaliar se as especificações da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL são atendidas e conseqüentemente oferecer subsídios para a melhoria da qualidade da energia fornecida aos consumidores (Fonseca *et al*, 2008).

Neste sentido, direcionou-se esforços para monitorar os fenômenos indesejáveis, objetivando armazenar uma grande base de dados para caracterizar, analisar e identificar as possíveis origens dos distúrbios, assim como desenvolver técnicas para orientar na mitigação dos problemas que afetem a qualidade da energia elétrica.

O sistema proposto nesta dissertação abordou apenas os problemas de perda de qualidade de energia elétrica devido as VTCD's, relacionados à atribuição de responsabilidade devido a possíveis danos elétricos a que os consumidores ou a própria rede de distribuição estejam submetidos, em conseqüência das ocorrências provocadas pela perda da interligação com o sistema Tramo Oeste, considerando a sensibilidade dos equipamentos envolvidos. Assim, o problema, no aspecto da qualidade, foi exposto de uma forma mais abrangente, sendo estudado através de simulações computacionais e monitoramento via aquisição de dados de equipamentos de medição instalados no sistema elétrico.

4.3. Prática Atual do Processo de Ressarcimento

Para entender o processo de atribuição de responsabilidade por perda de qualidade, foram detalhados os principais tópicos do procedimento normalmente executados pelas empresas distribuidoras de energia elétrica.

A Figura 4.2 destaca o fluxograma genérico do processo de ressarcimento por danos ao consumidor, com as ações que normalmente são tratadas em concessionárias de energia elétrica de distribuição para atender as especificações do setor elétrico, de acordo com a Resolução Normativa nº 61 de 29 de abril de 2004 da ANEEL, que estabelece as disposições relativas ao ressarcimento de danos em equipamentos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbação ocorrida no sistema elétrico.

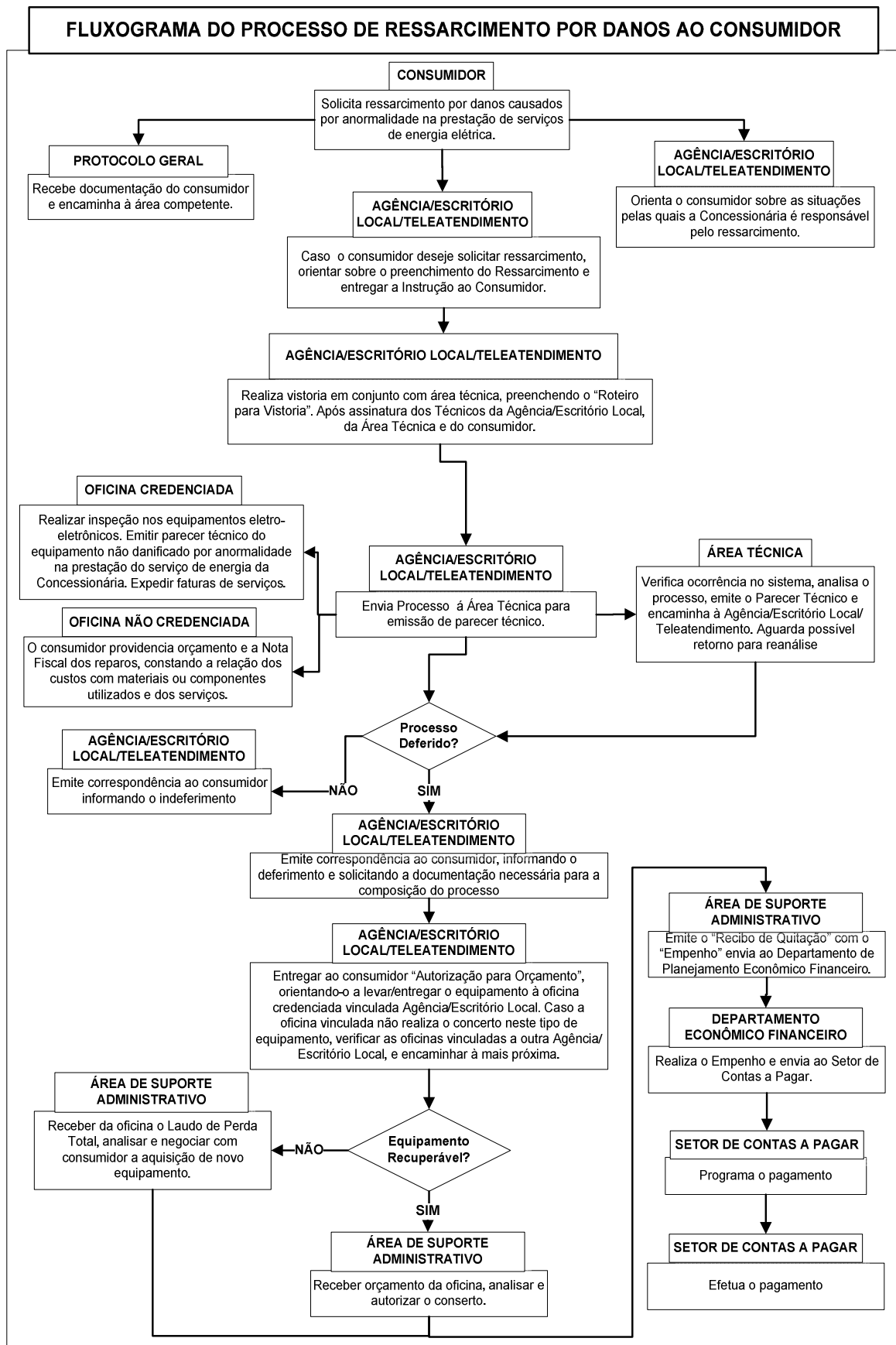


Figura 4.2 - Fluxograma genérico do Procedimento de Qualidade.

Os pontos principais deste fluxograma foram numerados e detalhados a seguir:

1. Solicitação do consumidor por pedido de ressarcimento por danos em aparelhos elétricos: a concessionária recebe e protocola a documentação do consumidor e encaminha à área competente. Neste momento o consumidor é orientado sobre as situações pelas quais a concessionária é responsável pelo ressarcimento de acordo com a norma vigente, ou seja, como está regulamentada tanto a abrangência (Resolução Normativa nº 61 de 29 de abril de 2004) como as condições para solicitação de ressarcimento (Resolução Normativa nº 61 de 29 de abril de 2004 da ANEEL, Artigo 4º, estabelecem que:

“O consumidor tem o prazo de 90 (noventa) dias corridos, a contar da data provável da ocorrência do dano elétrico no equipamento, para solicitar o ressarcimento à concessionária, devendo fornecer, no mínimo, os seguintes elementos:

I - data e horário provável da ocorrência do dano;

II - cópia da fatura de energia elétrica mais recente, demonstrando que o solicitante é o titular da unidade consumidora;

III - relato do problema apresentado pelo equipamento elétrico; e

IV - descrição e características gerais do equipamento danificado, tais como: marca, modelo, etc.

Parágrafo único. “Caso a fatura não esteja em nome do solicitante, o mesmo deve comprovar a forma de ocupação da unidade consumidora.”).

Após as devidas orientações, caso o consumidor tenha direito e ainda deseje solicitar o ressarcimento, será orientado sobre o preenchimento da solicitação de ressarcimento;

2. Vistoria técnica: a vistoria é realizada por um técnico responsável, obedecendo ao período legal (Resolução Normativa nº 61 de 29 de abril de 2004, Artigo 6º, estabelece que:

“O consumidor pode optar entre inspeção in loco do equipamento danificado ou disponibilizá-lo para inspeção mais detalhada pela concessionária ou empresa por ela autorizada, devendo a concessionária observar os seguintes procedimentos e prazos:

I - informar ao consumidor a data para a inspeção ou disponibilização do equipamento; e

II - inspecionar e vistoriar o equipamento no prazo de até 20 (vinte) dias úteis, contados a partir da data do pedido de ressarcimento.

Parágrafo único. Caso opte por inspeção in loco, o consumidor deve permitir o acesso ao equipamento e às instalações da unidade consumidora sempre que solicitado, sendo a negativa motivo para a concessionária indeferir o ressarcimento.”).

3. Vistoria do equipamento: Depois de realizada a vistoria do equipamento por oficina credenciada, a mesma deve emitir um parecer técnico do equipamento, detalhando se este foi mesmo danificado por anormalidade na prestação de serviço de energia elétrica ou “*por uso incorreto do equipamento ou por defeitos gerados a partir das instalações internas da unidade consumidora*” (Resolução Normativa nº 61 de 29 de abril de 2004, Artigo 10º, detalhado no Capítulo 2, sub item 2.3 – Atribuições e Responsabilidades).
4. Parecer Técnico: Após as vistoria e os pareceres técnicos, tanto da vistoria ao local quanto ao equipamento, estes são enviados a área técnica, que verifica nos arquivos de dados de ocorrências da concessionária se ocorreu algum distúrbio no sistema elétrico, que pudesse causar dano ao equipamento, no período indicado pelo reclamante (levando em conta um intervalo de um dia antes e outro dia depois do solicitado pelo cliente), analisa o processo, emite o parecer técnico (se deferido ou indeferido) e aguarda um possível retorno para re-análise.

Importante ressaltar que é de responsabilidade da concessionária comprovar a existência ou não do nexo de causalidade (Resolução Normativa nº 61 de 29 de abril de 2004, Artigo 5º).

5. Atribuição de responsabilidade: o parecer técnico deferido ou indeferido é enviado ao consumidor de acordo com a Resolução Normativa nº 61 de 29 de abril de 2004, Artigos 7º, 8º e 9º, estabelecem que:

“Art. 7º A concessionária deve informar ao consumidor, por escrito, no prazo máximo de 60 (sessenta) dias, contados a partir da data de protocolo da solicitação, sobre o deferimento, ou não, do pedido de ressarcimento”.

“Art. 8º No caso de deferimento, a concessionária pode efetuar o ressarcimento por meio de pagamento em moeda corrente ou, ainda, propor o conserto ou a substituição do equipamento danificado”.

“Parágrafo único. No caso do ressarcimento, na modalidade de pagamento em moeda corrente, este deve ser feito no prazo máximo de 90 (noventa) dias, a contar da data da solicitação, ficando ao consumidor a opção entre depósito em conta-corrente, cheque nominal ou crédito na próxima fatura”.

“Art. 9º No caso de indeferimento, a concessionária, obrigatoriamente, deve apresentar, por escrito, as razões detalhadas da negativa, informando ao consumidor sobre o direito de formular reclamação à Agência Estadual Conveniada com a ANEEL ou, na ausência desta, à própria Agência Nacional de Energia Elétrica”.

Além de se adequar as normas, as empresas do setor elétrico elaboram formas de melhorar ainda mais o processo de ressarcimento de danos causados ao consumidor, de acordo com suas particularidades, necessidades e dentro de suas possibilidades.

Indo nessa linha, este trabalho foi direcionado a dá suporte ao processo de ressarcimento nas empresas do setor elétrico, que diariamente sentem necessidade de criar maneiras de se adequar as normas, objetivando ficarem livres de multas, conseqüentemente minimizando suas despesas e melhorando a prestação de serviço de energia elétrica.

4.4. Metodologia Proposta do Novo Sistema de Atribuição de Responsabilidade

A metodologia proposta para a execução deste estudo envolveu mais especificamente a etapa “ÁREA TÉCNICA”, de acordo com o fluxograma da Figura 4.2, direcionado ao “parecer técnico”, onde este trabalho teve significativa influência. Dentro dessa perspectiva, foi detalhada a metodologia de desenvolvimento do sistema proposto, com os respectivos passos principais que vão desde a caracterização do problema, passando pelo desenvolvimento do software até a atribuição de responsabilidade pelo parecer técnico no processo de ressarcimento.

4.4.1. Dados para Caracterização do Problema

Inicialmente foram levantados os dados para caracterizar o problema, ou seja, as particularidades do sistema elétrico, os tipos de distúrbios e as reclamações de pedido de ressarcimento por danos que ocorrem no sistema. Nesta fase, foram avaliados os procedimentos operacionais tomados pela empresa de distribuição diante da ocorrência de perturbações na interligação com o sistema Tramo Oeste, visando identificar as origens, causas e conseqüências das perturbações.

Este levantamento forneceu subsídios para a montagem de um banco de dados com histórico de ocorrências de perturbações da tensão que afetam a qualidade da energia na rede elétrica, além de danos aos consumidores. Este banco de dados, em conjunto com os resultados de simulações computacionais; com dados provenientes de instrumentos monitoradores, instalados em pontos estratégicos do sistema elétrico; com dados de suportabilidade de equipamentos; além de outras informações de natureza operacional da rede elétrica, foram utilizados pelo sistema de software proposto.

4.4.2. Instalações dos Instrumentos Monitoradores

Foram instalados quatro instrumentos monitoradores de qualidade de energia elétrica para registrar as perturbações na forma de onda da tensão relacionadas às VTCD's, compondo um banco de dados de ocorrências de perturbações da rede elétrica do sistema elétrico da empresa distribuidora, principalmente do sistema Santarém. Esses instrumentos têm a capacidade de monitorar continuamente as ondas de tensão nas fases A-B-C, capturando os distúrbios de VTCD com as seguintes características: número de

evento, tipo (subtensão, sobretensão e interrupção), amplitude e duração. O instrumento também fornece as formas de onda instantânea e valores RMS (do inglês: *Root Mean Square*) da tensão para cada fase monitorada.

Esses instrumentos foram instalados em pontos estratégicos do sistema elétrico, definidos de acordo com a experiência dos engenheiros da empresa envolvidos no processo. Na Figura 4.3 está representado, com a letra M, no diagrama unifilar do sistema Tramo Oeste, a localização da instalação dos instrumentos monitoradores e nas Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 está descrito as instalações desses instrumentos.

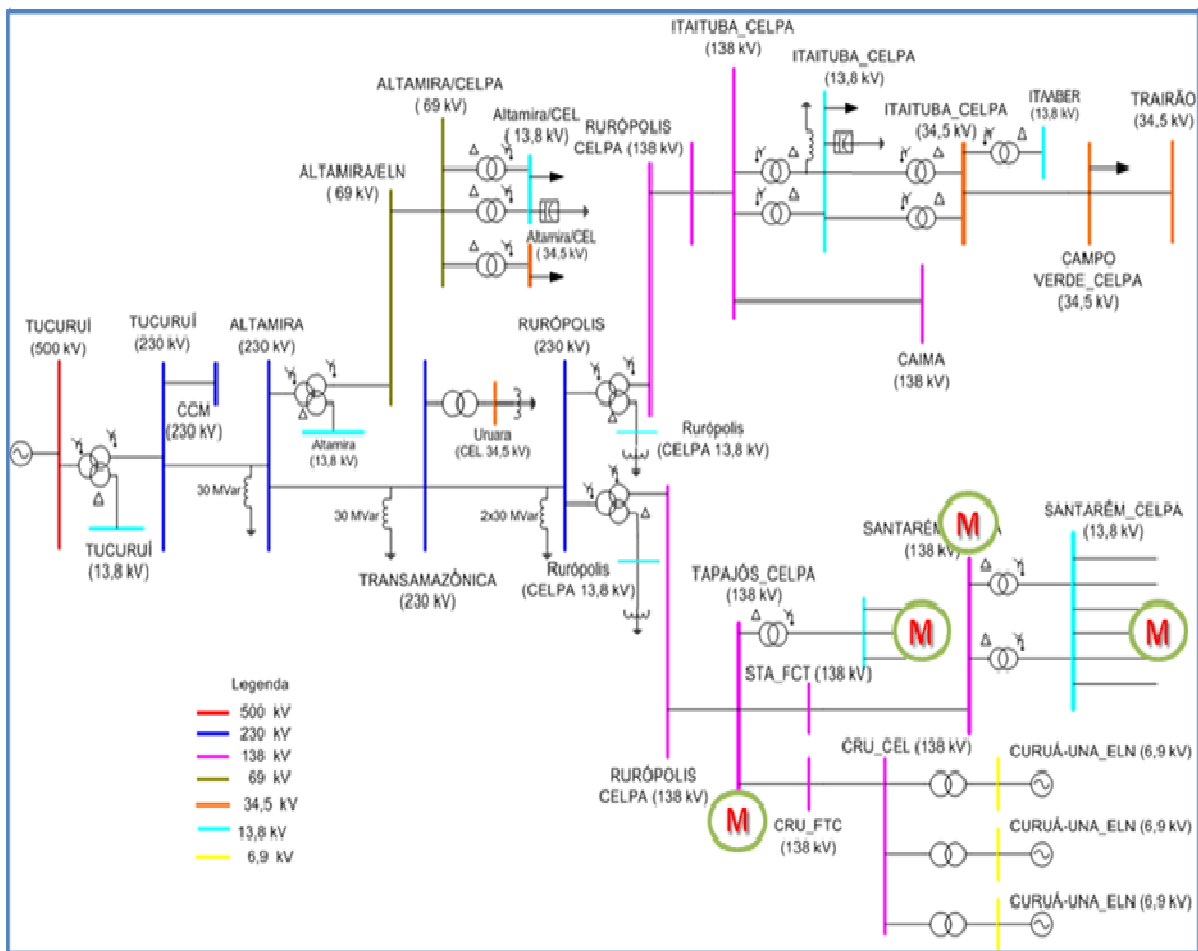


Figura 4.3 - Localização da instalação dos instrumentos monitoradores de QEE.

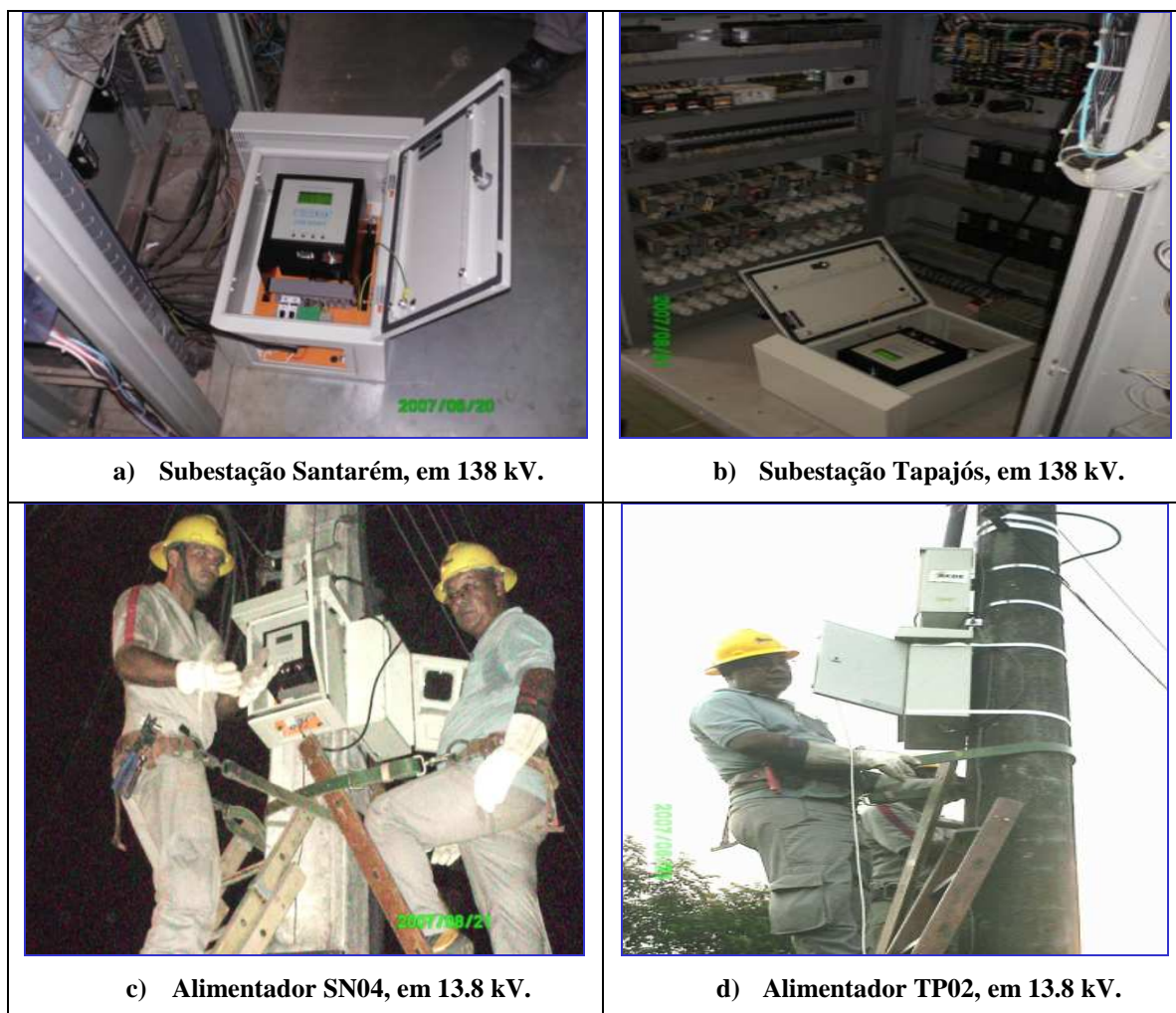


Figura 4.4 - Fotos da instalação dos instrumentos monitoradores de QEE.

4.4.3. Modelagem e Simulação

Foi realizada a modelagem matemática dos componentes do sistema elétrico, incluindo os alimentadores de distribuição, representando os transformadores como as barras elétricas. As simulações computacionais envolveram estudos com os seguintes softwares: Programa ATP - *Alternative Transients Program*; Programa de Fluxo de Potência – ANAREDE; Programa de Análises de Falhas Simultâneas – ANAFAS; e Análise de Afundamentos de Tensão – ANAQUALI, de modo a relacionar as conseqüências que as faltas na rede primária da concessionária de energia podem provocar nos consumidores, e no próprio sistema elétrico.

4.4.4. Validação dos Modelos Matemáticos

Os modelos desenvolvidos nos softwares citados anteriores foram validados a partir da comparação dos resultados provenientes dos mesmos em relação aos registros dos instrumentos monitoradores. Nesta fase, ocorreram ajustes nos modelos junto aos engenheiros da concessionária visando aperfeiçoar os mesmos, adequando-os inclusive com a realidade dos procedimentos operacionais adotados na rede elétrica (Fonseca *et al*, 2008).

4.4.5. Desenvolvimento do Software de Classificação

Foi desenvolvido um software que pudesse a partir da base de dados pudesse identificar se há ou não nexos de causalidade entre a falta ocorrida no sistema elétrico e o dano ocorrido no equipamento do consumidor, formando subsídios para o processo de atribuição de responsabilidade nos pedidos de indenização por danos em equipamentos do consumidor. No software a identificação do nexos causal, foi entendida como um problema de classificação, sendo que, foram testados e implementados em duas técnicas de mineração de dados para classificar o problema, de forma independente, são elas: o algoritmo kNN (k – vizinhos mais próximos, do inglês k – *Nearest Neighbors*) e uma Rede Neural Artificial – RNA.

4.4.6. Parecer Técnico

A ferramenta apresenta um relatório de saída que contém informações sobre o comportamento do equipamento que está sob análise, apresentando um laudo do comportamento do equipamento em dois estados, comportamento anormal ou normal. Esse laudo, diagnosticado pelo classificador através do software, será utilizado pelos técnicos responsáveis pela etapa “parecer técnico” do processo de ressarcimento. Essas informações, juntamente com outros relatórios, irão subsidiar o técnico na tomada de decisão, quanto ao parecer técnico.

Sendo que, para executar a ferramenta utilizou-se dados fornecidos tanto pelo consumidor, que reclamou de prejuízo por dano em seu equipamento (período em que possivelmente ocorreu o problema e as características do equipamento) quanto de medidas obtidas dos instrumentos monitoradores ou de simulações computacionais.

4.5. Conclusão

Neste capítulo foi apresentado o sistema computacional de atribuição de responsabilidade proposto neste trabalho, abordando um fluxograma com a prática atual do processo de ressarcimento de danos ao consumidor, detalhando alguns tópicos mais importantes. Também foi abordado o desenvolvimento da metodologia proposta, caracterizando o problema no sistema elétrico.

No capítulo 5, serão descritos com mais detalhes aspectos das simulações computacionais e o sistema de monitoramento implementado para alimentar o algoritmo de classificação.

5 BASE DE DADOS

5.1. Introdução

As metodologias para o desenvolvimento da base de dados foi direcionada a obter informações da rede elétrica, de modo a auxiliar no processo de atribuição de responsabilidades por danos em equipamentos dos consumidores devido às contingências no sistema de elétrico.

O monitoramento por meio da instalação de equipamentos de medição é a melhor forma de se obter dados sobre o sistema elétrico como um todo, por isso foi um dos métodos para aquisição de dados, utilizados neste trabalho. Entretanto, monitorar todo o sistema de distribuição, por exemplo, ainda é economicamente inviável, pois seria necessário instalar uma grande quantidade de monitores ao longo dos alimentadores. Desta forma, a simulação tem sido empregada como alternativa complementar para se obter dados sobre os distúrbios que afetam a qualidade da energia, evitando-se despender grandes recursos financeiros e longos períodos de medição.

Com a finalidade de fazer a relação denexo de causalidade entre as características dos distúrbios de VTCD's ocorridos no sistema elétrico com os danos causados em equipamentos elétricos dos consumidores foi também necessário coletar dados de suportabilidade de equipamentos.

Este capítulo tem por objetivo apresentar os resultados da modelagem e a simulação computacional desenvolvidos para a rede elétrica em estudo, descrevendo os medidores de qualidade de energia utilizados no monitoramento e os programas de simulação ATP, ANAREDE, ANAFAS e ANAQUALI (estes três últimos foram desenvolvidos pelo Centro de Desenvolvimento de Pesquisa de Energia Elétrica – CEPEL, Grupo Eletrobrás), assim como o desenvolvimento da estrutura do banco de dados para o armazenamento dos dados provenientes das simulações computacionais, dos equipamentos de monitoramento e de registros de suportabilidade de equipamentos.

5.2. Simulações Computacionais

As simulações computacionais foram divididas em duas etapas, que são: as simulações em regime permanente (fluxo de potência) e as simulações de transitórios eletromagnéticos, detalhados nos sub-tópicos a seguir.

5.2.1. Simulações de Fluxo de Potência

Para realizar, tanto as simulações em regime permanente, como as simulações transitórias, foi necessário modelar o sistema elétrico com o objetivo inicial de obter o fluxo de potência do sistema convergido, o qual representa um ponto inicial factível de operação para depois iniciar o processo de simulação. Nos itens a seguir será detalhado este estudo.

5.2.1.1. Descrição da Rede Elétrica

A rede elétrica utilizada nas simulações abrange o sistema de subtransmissão e distribuição das Centrais Elétricas do Pará – CELPA, interligado ao SIN, através do Sistema Tramo Oeste.

Este sistema elétrico é constituído basicamente por um tronco radial principal em 230 kV que parte da subestação de Tucuruí, chegando às subestações de Altamira, Transamazônica, Rurópolis, como ilustrado na Figura 4.1 do capítulo 4, representada pelo diagrama unifilar da rede básica, no qual foram representados os principais elementos a serem modelados nos programas de simulação. A área pertencente à CELPA é atendida por duas derivações em 138 kV, também radiais, que partem da SE Rurópolis, atendendo as subestações de Itaituba e Caima por um circuito e as subestações de Tapajós, Santarém e a usina de Curuá-Una pelo outro circuito.

O modelo do sistema elétrico se estendeu até os alimentadores de distribuição, sendo utilizado agrupamento de transformadores em barras, em todo o sistema de distribuição de Santarém, formado pelos alimentadores SN01, SN02, SN03, SN04, SN05 e SN06 que partem da SE Santarém, e os alimentadores TP02, TP03 e TP04 que partem da SE Tapajós, com uma distribuição mais uniforme das cargas na modelagem do sistema no formato do arquivo do ANAREDE. É possível visualizar este agrupamento, em barras, nas Figuras de 5.1 até 5.9.

SN-01

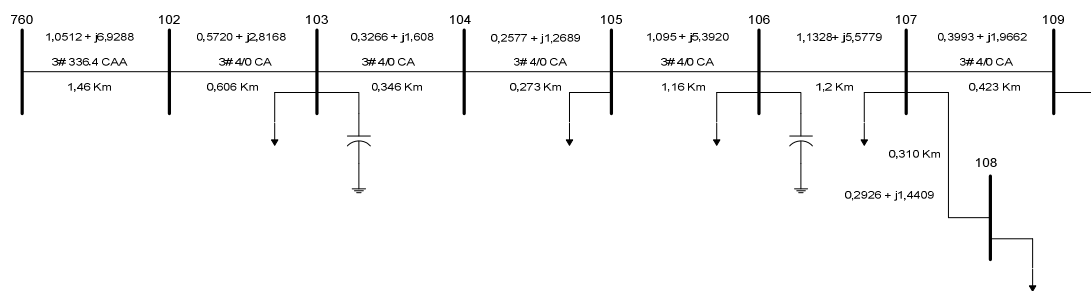


Figura 5.1 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN01.

SN-02

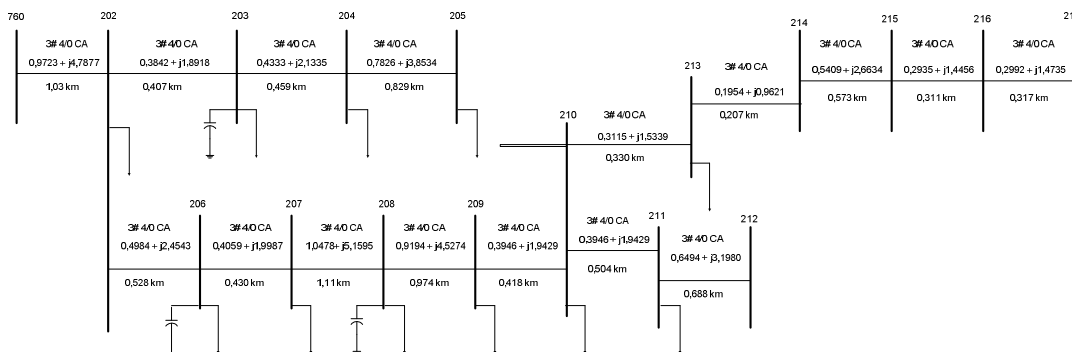


Figura 5.2 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN02.

SN-03

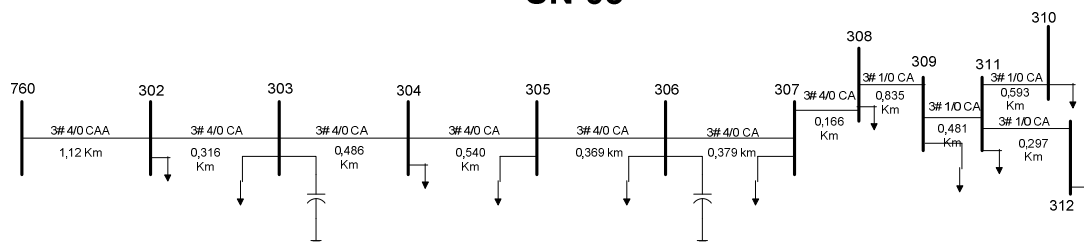


Figura 5.3 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN03.

SN-04

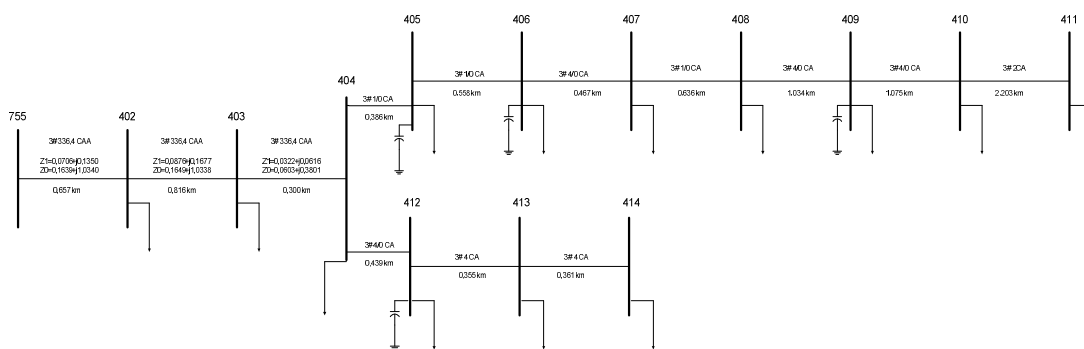


Figura 5.4 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN04.

SN-05

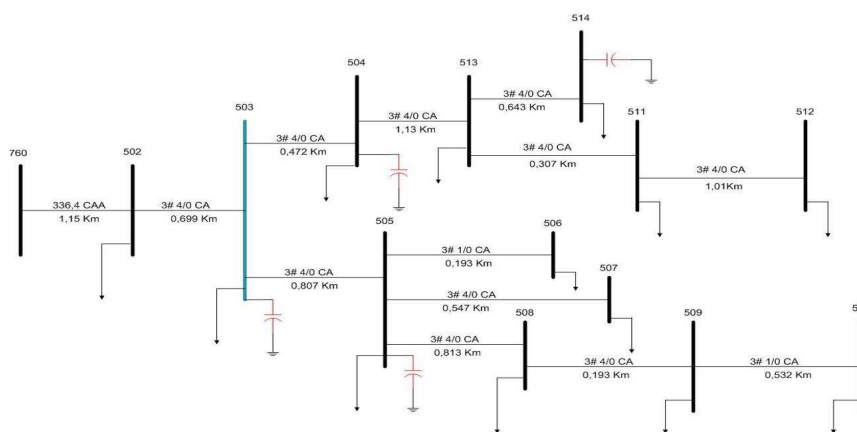


Figura 5.5 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN05.

SN-06

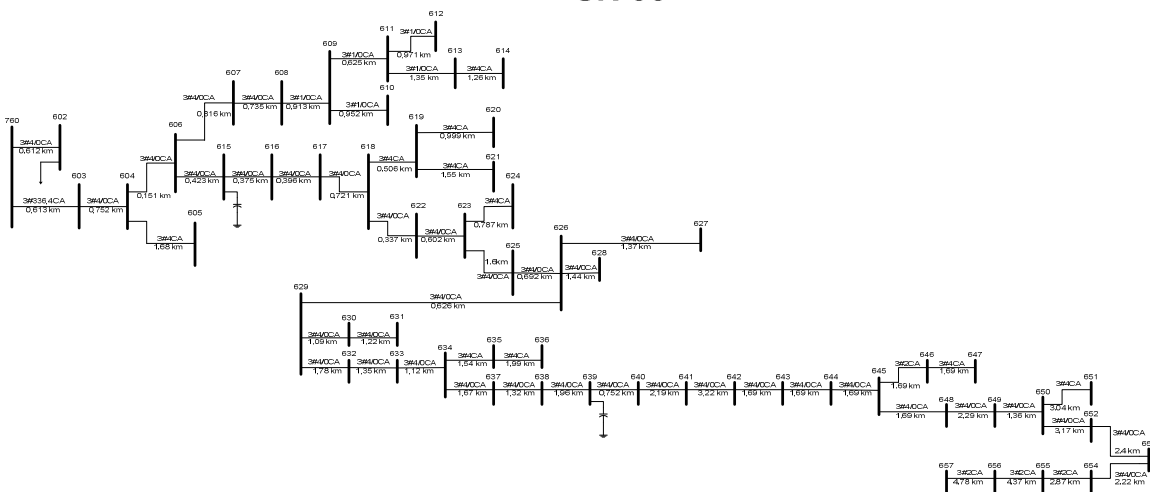
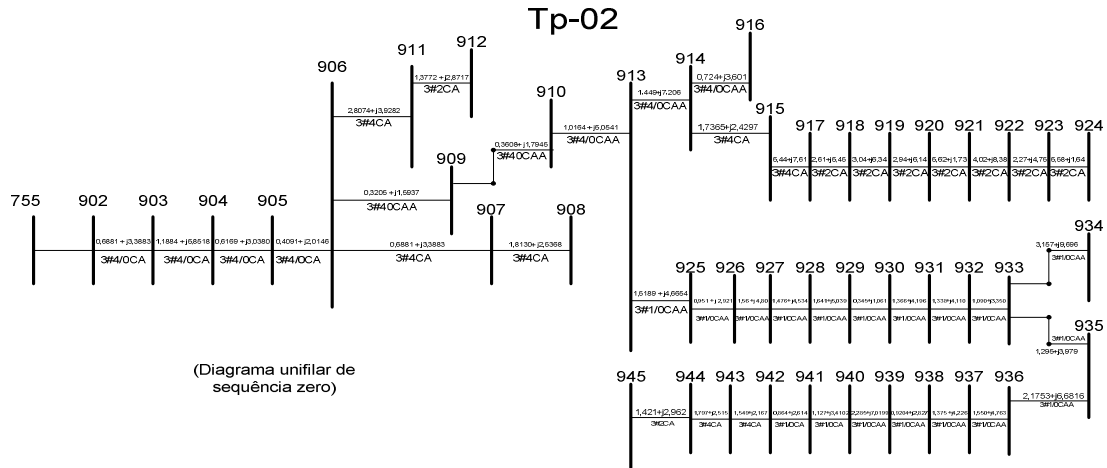
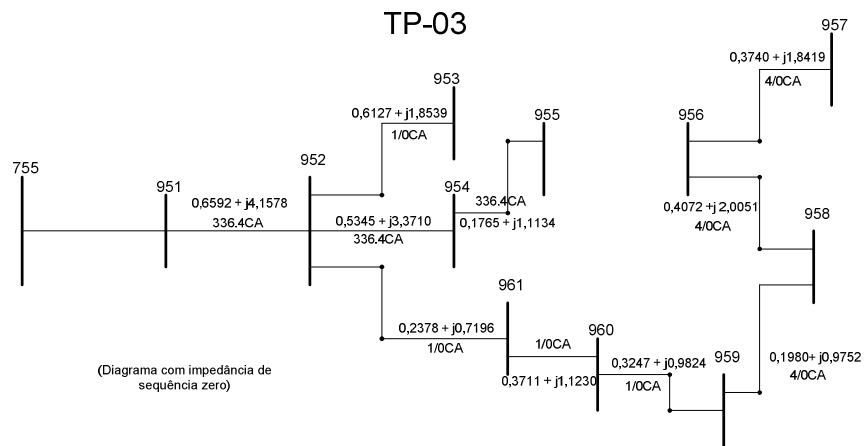


Figura 5.6 – Diagrama unifilar modificado do alimentador SN06.



(Diagrama unifilar de sequência zero)

Figura 5.7 – Diagrama unifilar modificado do alimentador TP02.



(Diagrama com impedância de sequência zero)

Figura 5.8 – Diagrama unifilar modificado do alimentador TP03.

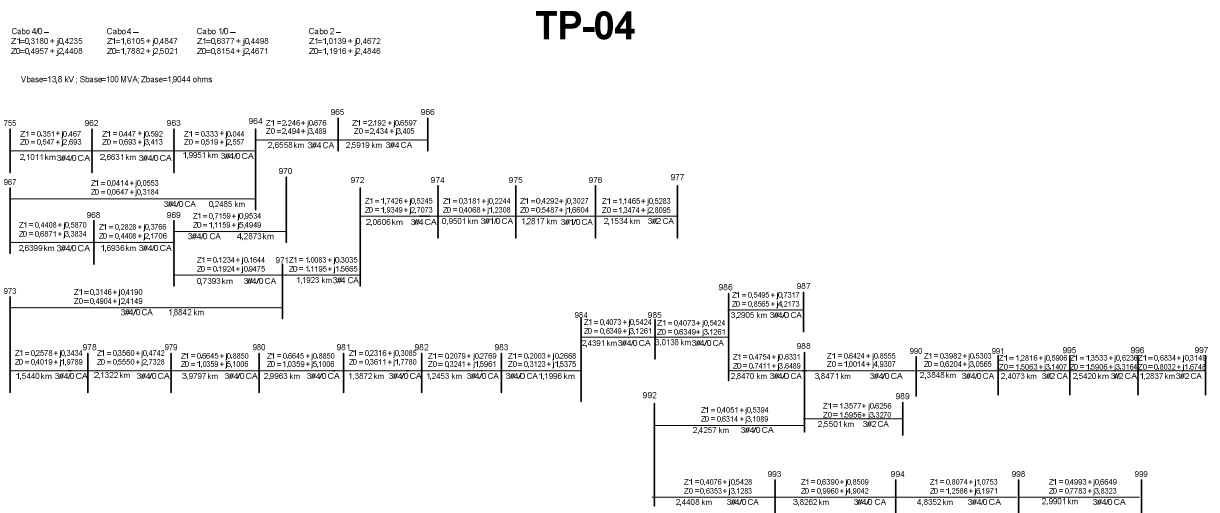


Figura 5.9 – Diagrama unifilar modificado do alimentador TP04.

5.2.1.2. Estudo de Fluxo de Potência

Os arquivos que compõem a base de dados para os estudos de fluxo de potência estão no formato do programa ANAREDE, desenvolvido pelo CEPTEL, cuja versão utilizada foi a V08 (Agosto/2004). Uma das finalidades do programa ANAREDE é realizar cálculos de fluxos de potência. Esse programa disponibiliza dois métodos para cálculo de fluxo de potência: *Newton-Raphson* e Desacoplado Rápido.

Para o estudo realizado neste trabalho, foi utilizado o método de *Newton-Raphson* objetivando o cálculo do estado operativo da rede elétrica, quando esta é submetida a uma determinada condição de carga, geração, topologia e restrições operacionais.

O processo de solução consiste, inicialmente, no cálculo do estado operativo do sistema CC (caso exista) para as condições iniciais fornecidas. Em seguida, são encontradas, soluções para os sistemas CA e CC, até que seja obtida a convergência do processo de solução.

O programa tem a opção de gerar os dados em forma de relatório, em tabelas ou representação gráfica, onde são monitoradas diversas variáveis com módulo e fase das tensões, cargas ativas e reativas, fluxos de potência nas linhas, transformadores e elementos shunts, perdas, etc., definidos pelo usuário. Os dados de saída do ANAREDE subsidiam a modelagem da rede elétrica nos programas ATP e ANAFAS, a fim de reproduzir a condição de regime permanente.

O arquivo de dados de entrada utilizado para as simulações estão ilustrados na Figura 5.10 foi obtida da seguinte forma:

1. Sistema elétrico Tramo Oeste: Estes dados foram obtidos diretamente do banco de dados do Operador Nacional de Sistemas - ONS, disponível, a cada mês, na página da *web* em www.ons.org.br, para as condições de carga leve, carga média e carga pesada;
 2. Sistema de Subtransmissão da CELPA: A concessionária forneceu o banco de dados utilizado em seus estudos, sempre atualizando seus dados no decorrer deste trabalho;
 3. Sistema de Distribuição da CELPA: Os diagramas unifilares dos alimentadores de distribuição em 13.8 kV são muito extensos e as cargas
-

estão distribuídas em diversos transformadores de distribuição, com objetivo de facilitar os estudos foi desenvolvida uma metodologia para modelar os alimentadores das Subestações de Tapajós e Santarém adotando os seguintes procedimentos:

- a) Obtenção de todos os diagramas unifilares dos alimentadores da subestação Tapajós (TP02, TP03 e TP04) e da subestação Santarém (SN01, SN02, SN03, SN04, SN05 e SN06);
- b) Redução do número de barras por meio do agrupamento de cargas, ou seja, vários transformadores foram agrupados em uma só barra, visando-se sempre manter as características elétricas do alimentador;
- c) Coleta de dados de cargas (potência ativa e reativa) de todos os transformadores, extraídos da base de dados corporativa da concessionária;
- d) Cálculo das resistências e reatâncias de seqüências positiva e zero, através dos dados da estrutura física dos materiais disponibilizados pela empresa de energia.

(No)	O	TB(nome)	G(V)	(À)	(Pg)	(Qg)	(Qn)	(Bc)	(Pl)	(Ql)	(Sh)	(A(Vf)
2200	EALT-CEL 34	SE1000	0						4.31	-0.07	0.00	21000
(Alimentador01 Santarem												
102	AALMSTM102	F1000										31000
103	AALMSTM103	F1000							.304	-	.386	.3
104	AALMSTM104	F1000							.793		.073	31000
105	AALMSTM105	F1000							.508		.099	31000
106	AALMSTM106	F1000							.416	-	.030	.6
107	AALMSTM107	F1000							.612		.147	31000
108	AALMSTM108	F1000							.659		.616	31000
109	AALMSTM109	F1000							.427	-	.034	31000
(Alimentador02 Santarem												
202	AALMSTM202	F1000							.23		.142	31000
203	AALMSTM203	F1000							.515		.319	31000
204	AALMSTM204	F1000							.333		.244	.15
205	AALMSTM205	F1000							.168		.144	31000
206	AALMSTM206	F1000							.468		.319	.30
207	AALMSTM207	F1000							.372		.231	31000
208	AALMSTM208	F1000							.325		.201	.30
209	AALMSTM209	F1000							.525		.397	31000
210	AALMSTM210	F1000							.533		.330	31000
211	AALMSTM211	F1000							.261		.152	31000
212	AALMSTM212	F1000							.203		.167	31000
213	AALMSTM213	F1000							.147		.114	.60
214	AALMSTM214	F1000							.245		.152	31000
215	AALMSTM215	F1000							.447		.277	31000
216	AALMSTM216	F1000							.459		.309	31000
217	AALMSTM217	F1000							.178		.178	31000
(Alimentador03 Santarem												
302	AALMSTM302	F1000							.360		.110	31000
303	AALMSTM303	F1000							.525		.344	.30
304	AALMSTM304	F1000							.142		.044	31000
305	AALMSTM305	F1000							.580		.305	31000
306	AALMSTM306	F1000							.983		.470	.30
307	AALMSTM307	F1000							.385		.169	31000
308	AALMSTM308	F1000							.970		.492	31000
309	AALMSTM309	F1000							.553		.161	31000
310	AALMSTM310	F1000							.260		.171	31000
311	AALMSTM311	F1000							.459		.141	31000
312	AALMSTM312	F1000							.308		.095	31000
(Alimentador04 Santarem												
402	AALMSTM402	F1000							.322		.328	31000
403	AALMSTM403	F1000							.561		.399	31000
404	AALMSTM404	F1000							.340		.216	31000
405	AALMSTM405	F1000							.103		.660	.30
406	AALMSTM406	F1000							.913		.631	.60
407	AALMSTM407	F1000							.395		.252	31000
408	AALMSTM408	F1000							.461		.293	31000
409	AALMSTM409	F1000							.499		.319	.30
410	AALMSTM410	F1000							.116		.740	31000
411	AALMSTM411	F1000							.290		.180	31000
412	AALMSTM412	F1000							.503		.382	.30

Figura 5.10 – Representação dos dados de entrada da modelagem do ANAREDE.

5.2.2. Simulações em Regime Permanente

O programa ANAFAS é o responsável por executar as simulações dos curtos-circuitos deslizantes necessários para o estudo, fornecendo para o ANAQUALI as tensões na barra de interesse para todas as faltas simuladas. Assim, através do ANAQUALI pode-se determinar a parte da rede elétrica onde a ocorrência de defeitos leva a afundamentos de tensão na barra de interesse.

Neste trabalho, o uso do programa ANAFAS foi utilizado em *background* através do programa ANAQUALI. Sendo assim, quando utiliza-se as simulações em regime permanente será o mesmo que dizer simulações utilizando os programas em conjunto ANAFAS e ANAQUALI (ANAFAS/ANAQUALI).

O programa ANAFAS é uma ferramenta interativa para a análise de faltas em sistemas elétricos de potência, permitindo a modelagem do sistema e a simulação de diversos tipos de defeito, que podem ser organizados de forma a definir as faltas simultâneas.

As simulações computacionais realizadas para esta dissertação foram do tipo curto circuito, com ligações sólidas ou através de impedância, entre fases ou entre fase(s) e terra. Os valores das impedâncias de curto circuito foram inicializadas como “ ∞ ” (infinito) e podem assumir qualquer valor, inclusive “0” (zero), ou seja, ligação sólida. Os curtos circuitos foram aplicados em barras e em pontos intermediários das linhas de transmissão (barras fictícias) e também em pontos fictícios (modelagem de transformadores).

No caso de aplicação em pontos intermediários, a localização da falta é definida como um percentual (%) do circuito, a partir da barra definida como barra de origem (barra "de") na especificação da falta. A barra fictícia criada para a aplicação da falta é designada como "barra interna".

O ANAFAS/ANAQUALI permite o cálculo de faltas em pontos intermediários de uma linha de transmissão, subtransmissão ou distribuição. Para que seja feita a previsão da amplitude de um afundamento de tensão é necessário informar qual a posição da falta ao longo da linha. A partir desta característica o ANAFAS/ANAQUALI pode-se estudar a variação da amplitude de um afundamento de tensão em função do deslocamento da falta ao longo da linha.

O ANAFAS/ANAQUALI permite que uma linha seja dividida em intervalos de até 1%, o que significaria 99 pontos intermediários (de 1% a 100%), onde cada intervalo

representa uma barra fictícia. O sistema também dispõe de 4 tipos de curto circuito, os quais são: FT (fase terra), FF (fase fase), FFT (fase fase terra) e FFF (trifásico). De acordo com essa configuração é possível aplicar no sistema, para cada barra de interesse, um número total de faltas igual a 4 vezes o número de tipos de curto circuito em cada barra (ou barra fictícia) existente.

Para o caso em questão, foi considerado nas simulações intervalos de 10% da linha, formando um total de 9 intervalos (barras fictícias) entre cada linha do sistema, além de considerar todos os 4 tipos de defeitos (curtos circuitos), para cada barra de interesse (o sistema alvo é composto por 248 barras sendo todas consideradas como de interesse), além de considerar os três tipos de condição de carregamento (leve, médio e pesado). Sendo, portanto o número total de simulações de faltas composta por 36 (9×4) curtos circuitos para cada linha (barras fictícias), mais 992 (248×4) curtos circuitos para cada barra, multiplicado para cada barra de interesse $[(992 + 36) \times 248] = 254.944$, e ainda multiplicado para cada condição de carregamento (são três tipos de carregamento: leve, médio e pesado), compondo 764.832 (254.944×3) curtos circuitos.

Estas simulações compõem o banco de dados de simulação em regime permanente, apresentando o valor dos afundamentos de tensão em cada fase, para todos os pontos e tipos de falta simuladas, referentes a cada barra de interesse do sistema elétrico. Ou seja, é possível realizar estudos no banco de dados de simulação em regime permanente, através do software proposto, nos afundamentos de tensão do tipo V_a (tensão na fase a), V_b (tensão na fase b) e V_c (tensão na fase c) em todas as barras do sistema elétrico e ao longo das linhas (em barras fictícias), para todas as faltas simuladas (FT, FF, FFT e FFF) e para todos os três tipos de carregamento (leve, médio e pesado) para os quais se necessita saber a tensão pós falta.

O arquivo texto gerado pelo ANAFAS/ANAQUALI contém as seguintes informações especificadas na Tabela 5.1, que estão representados na Figura 5.11. Além das tensões de fase, geradas na saída do ANAFAS/ANAQUALI, também foi calculado as tensões entre as fases e a pior condição da tensão entre todas as fases, condição que normalmente se utiliza na literatura.

Tabela 5.1 - Descrição do arquivo gerado pelo ANAFAS/ANAQUALI.

CAMPO	DESCRIÇÃO
Tipo	Tipo de falta (curto circuito) que podem ser: FT, FF, FFT e FFF.
Localização	Localização da falta, que pode ocorrer na barra ou na linha.
Área	Área em que a linha ou barra pertencem ao sistema elétrico.
No1	Número da barra de origem da linha.
Nome1	Nome da barra de origem da linha.
Tensao1	Tensão da barra de origem da linha.
No2	Número da barra terminal da linha.
Nome2	Nome da barra terminal da linha.
Tensao2	Tensão da barra terminal da linha.
Circuito	Número que identifica a quantidade de linha entre duas barras. Por exemplo, se existir duas linhas entre duas barras, estas serão identificadas como circuito 1 e circuito 2.
Segmento	Distância percentual onde o curto circuito é aplicado ao longo da linha, que vai desde a barra de origem ate a barra terminal.
FaseA(mod)	Módulo do afundamento de tensão na fase A em p.u. em relação ao terra.
FaseA(ang)	Ângulo da fase A em graus.
FaseB(mod)	Módulo do afundamento de tensão na fase B em p.u. em relação ao terra.
FaseB(ang)	Ângulo da fase B em graus.
FaseC(mod)	Módulo do afundamento de tensão na fase C em p.u. em relação ao terra.
FaseC(ang)	Ângulo da fase C em graus.
Km	Comprimento da linha em quilômetro.
FaseAB(mod)	Módulo do afundamento da tensão de linha entre as fases AB em p.u..
FaseAC(mod)	Módulo do afundamento da tensão de linha entre as fases AC em p.u..
FaseBC(mod)	Módulo do afundamento da tensão de linha entre as fases BC em p.u..
Mínimo	Menor valor do afundamento da tensão de linha entre as fases AB, AC e BC em p.u..
MinimoFn	Menor valor do afundamento da tensão de fase entre as fases A, B e C em p.u. em relação ao terra.
MinimoFfFn	Menor valor do afundamento da tensão entre as tensões de fase e de linha, em p.u.

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Eletrica
ANAFAS - Programa de Analise de Falhas Simultaneas Pag. 1

*** Sistema Trancoeste + Celpa (Santarém, Itaituba e Altamira) Carga Máxima **

ESTUDO DE AFUNDAMENTO DE TENSÃO

TIPO	LOCALIZACAO	AREA	NO. 1	NOME	TENSÃO	NO. 2	NOME	TENSÃO	CIRCUITO	SEGMENTO	FASE A(mod)	FASE A(ang)	FASE B(mod)	
FT	BARRA	2	700	ALT-ELN	69	69.0			1		0.733	-0.65	0.937	
FF	BARRA	2	700	ALT-ELN	69	69.0			1		1.000	0.00	0.790	
FFT	BARRA	2	700	ALT-ELN	69	69.0			1		0.804	-0.29	0.728	
FFF	BARRA	2	700	ALT-ELN	69	69.0			1		0.698	-0.83	0.698	
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.744	-0.75	0.939
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.793
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.823	-0.48	0.735
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.702	-0.84	0.702
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.755	-0.84	0.941
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.796
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.839	-0.60	0.742
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.706	-0.86	0.706
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.765	-0.90	0.942
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.799
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.852	-0.67	0.748
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.710	-0.87	0.710
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.774	-0.95	0.944
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.801
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.863	-0.71	0.754
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.714	-0.88	0.714
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.782	-0.99	0.945
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.804
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.872	-0.73	0.759
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.718	-0.89	0.718
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.790	-1.02	0.946
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.806
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.881	-0.74	0.764
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.721	-0.90	0.721
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.797	-1.04	0.948
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.809
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.898	-0.74	0.769
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.725	-0.91	0.725
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.804	-1.05	0.949
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.811
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.895	-0.73	0.774
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.728	-0.92	0.728
FT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.810	-1.06	0.950
FF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	1.000	0.00	0.814
FFT	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.901	-0.72	0.778
FFF	LINHA	2	700	ALT-ELN	69	69.0	3700	ALT-CEL	69	69.0	1	0.732	-0.93	0.732
FT	BARRA	2	3700	ALT-CEL	69	69.0			1		0.816	-1.07	0.951	
FF	BARRA	2	3700	ALT-CEL	69	69.0			1		1.000	0.00	0.816	

Figura 5.11 – Representação dos dados de saída do ANAFAS/ANAQUALI.

5.2.3. Simulações de Transitórios Eletromagnéticos com o ATP

5.2.3.1. Parâmetros do Sistema Elétrico

O programa ATP possui a flexibilidade de simular transitórios eletromagnéticos em redes polifásicas, com configurações arbitrárias, por um método que utiliza a matriz de admitância de barras. A formulação matemática é baseada no método das características (método de *Bergeron*) para elementos com parâmetros distribuídos e na regra de integração trapezoidal para parâmetros concentrados (Dommel, 1969; Costa, 1995). O programa permite a representação de não-linearidades, elementos com parâmetros concentrados, elementos com parâmetros distribuídos, chaves, transformadores, reatores, etc. De uma forma geral, são considerados parâmetros em componentes de fase e em seqüência (zero e positiva), dependendo do modelo.

5.2.3.2. Simulações no Sistema Elétrico de Santarém

As simulações dos transitórios eletromagnéticos foram desenvolvidas por meio da interface ATPDraw, cuja modelagem da rede elétrica está representada na Figura 5.12. Esta modelagem segue fielmente o diagrama unifilar do sistema de transmissão do Oeste do Pará, em 230 e 138 kV, inclusive com as modelagens dos alimentadores de distribuição das Subestações de Santarém e Tapajós em 13.8 kV.

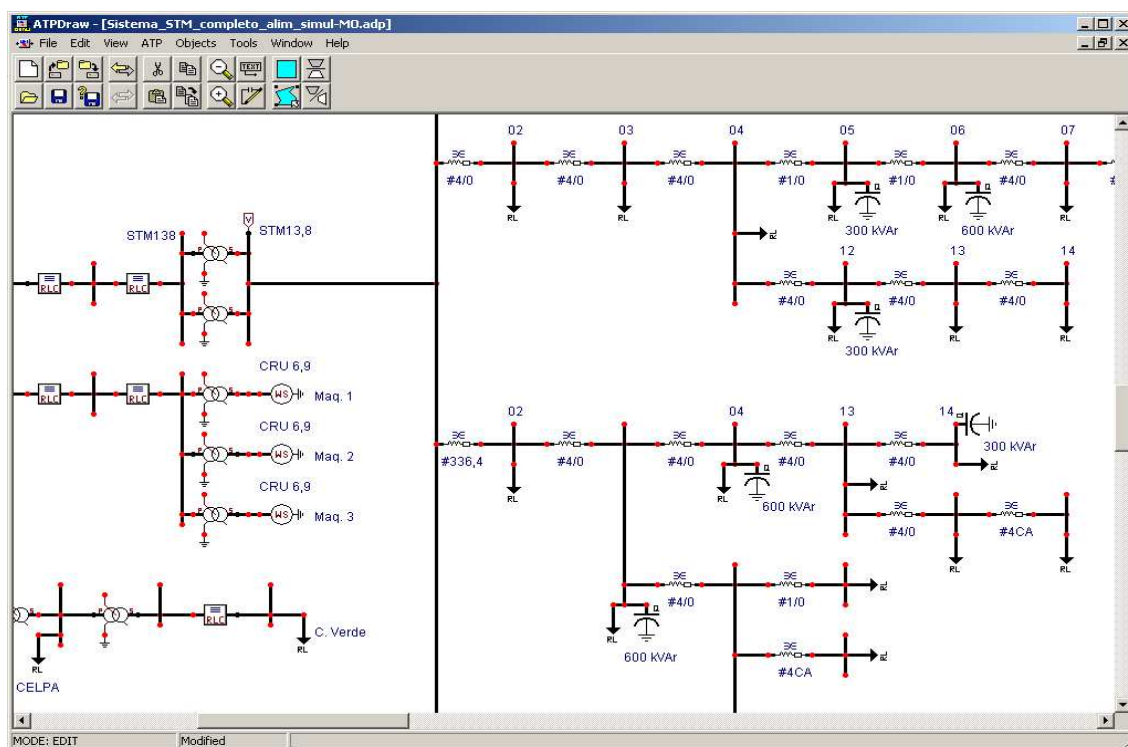


Figura 5.12 – Representação no ATPDraw da Barra 100 e as barras conectadas a esta.

Tal modelagem foi baseada nos parâmetros e características elétricas fornecidas pela concessionária de energia elétrica local. Esta representação consiste de modelos detalhados para geradores, transformadores, linhas de transmissão (modeladas a parâmetros distribuídos), cargas, reatores, bancos de capacitores, chaves, etc.

O arquivo de entrada para o programa principal ATP é obtido após o pré-processamento do arquivo construído com os modelos pré-definidos no ATPDraw. Este formato segue as regras exigidas para a modelagem de cada elemento da rede elétrica, além das configurações para: o passo de integração, tempo total de simulação, barras a serem monitoradas (tensão e corrente), etc. O início do arquivo de entrada do modelo utilizado nas simulações está ilustrado na Figura 5.13.

```

BEGIN NEW DATA CASE
C
C -----
C Generated by ATPDRAW junho, quarta-feira 6, 2007
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Heidalen at SEFAS - NORWAY 1994-2005
C -----
$DUMMY, XYZ000
C dt << Tmax << Xopt << Copt
2.5E-5 .25 60 60
500 1 1 1 1 0 0 1 0
C LT URUARA/RUROPOLIS C1 - 230 KV
-1UR230ARU230A (seq. zero) 42111.53292.4889 75.75 0 0
-2UR230BRU230B (seq. positiva) 0398 .28825.1751 75.75 0 0
-3UR230CRU230C
TP138AX0067A 1.55 3.76
TP138BX0067B 1.55 3.76
TP138CX0067C 1.55 3.76
C TRANSFORMADOR DE SANTAREM 138/13.80 KV - 14.375 MVA TF1
TRANSFORMER X0014A 2.9E5
9999
1ST138A 80.937 75.69
2SM_13ASM_13B TRANSFORMER X0014A X0014B
1ST138B
2SM_13BSM_13C TRANSFORMER X0014A X0014C
1ST138C
2SM_13CSM_13A
.
.
.
    
```

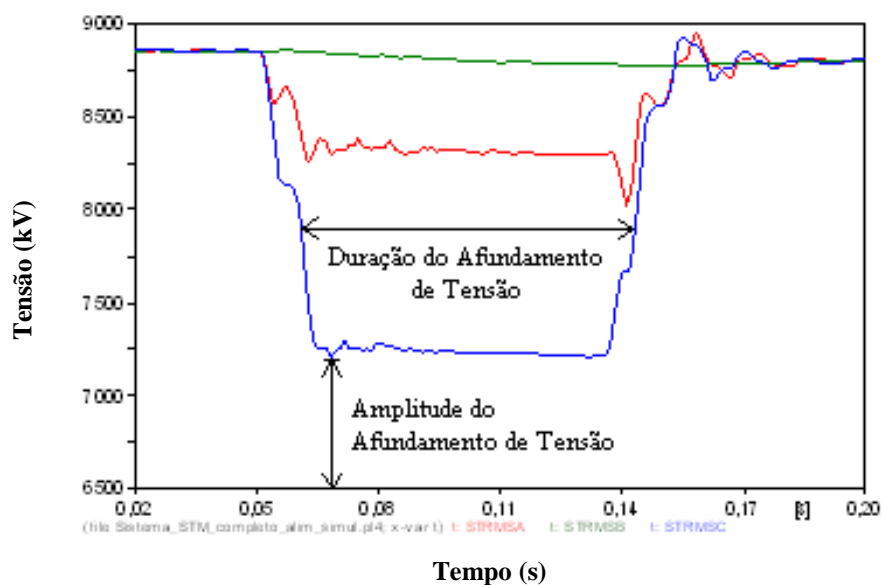
Figura 5.13 – Representação dos dados de entrada do modelo no ATP de Santarém.

5.2.3.3. Simulações de Curto Circuito

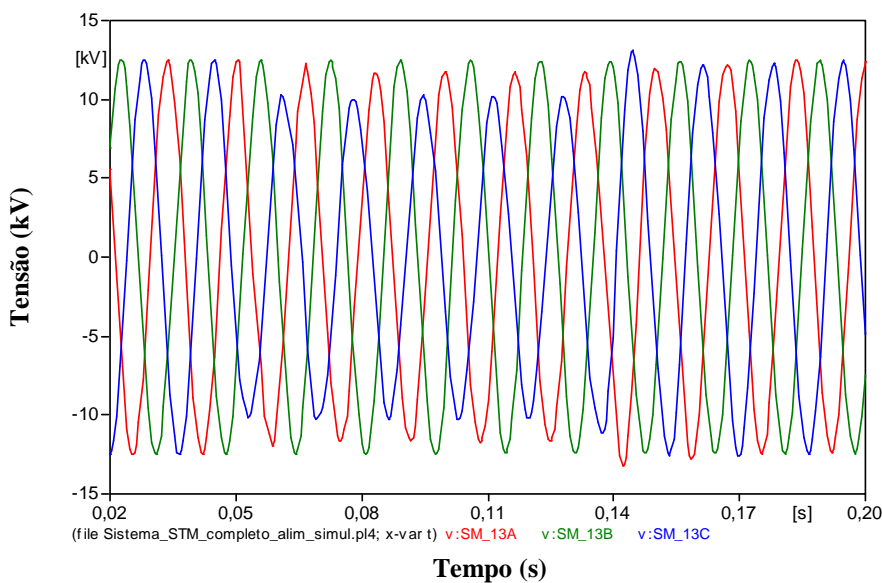
Com o objetivo de gerar um banco de dados de contingências foram simuladas diversas situações de curto circuito ao longo do sistema TRAMOESTE, variando-se a localização da falta em trechos de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% e 100% da linha de transmissão e o tipo de falta (FT, FF, FFT, FFF e FFFT). Também foi simulada a perda da interligação do sistema elétrico da CELPA com o da Centrais Elétricas do Norte do Brasil - ELETRONORTE na SE Rurópolis. Dentre estas simulações realizadas no ATP, são apresentadas a seguir alguns casos em que o barramento em 13.8 kV da SE Santarém é adotado como barra de interesse.

1. Curto-Circuito Fase-Terra (FT): As Figuras 5.14a. e 5.14b. ilustram o comportamento da tensão no terminal da SE Santarém devido a simulação de um curto circuito monofásico aplicado à fase C, localizado no trecho a 70% da linha de transmissão entre as Subestações de Altamira e Transamazônica, em 230 kV. As formas de onda da tensão estão representadas em valores instantâneos e RMS. A representação em valores RMS favorece o cálculo da tensão remanescente e a duração do afundamento de tensão, por outro lado,

os valores instantâneos permitem calcular o valor máximo da variação da tensão atingido durante a ocorrência da falta.



a)

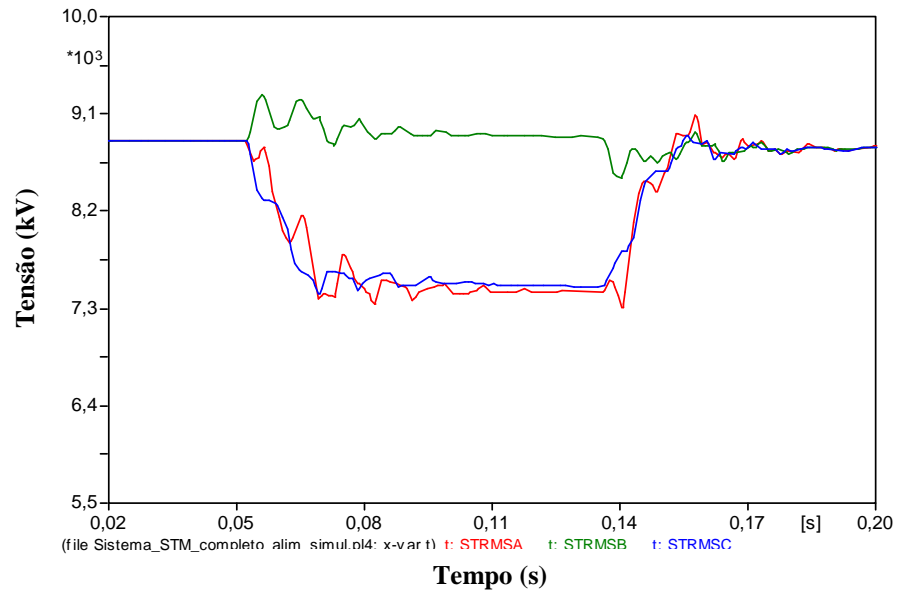


b)

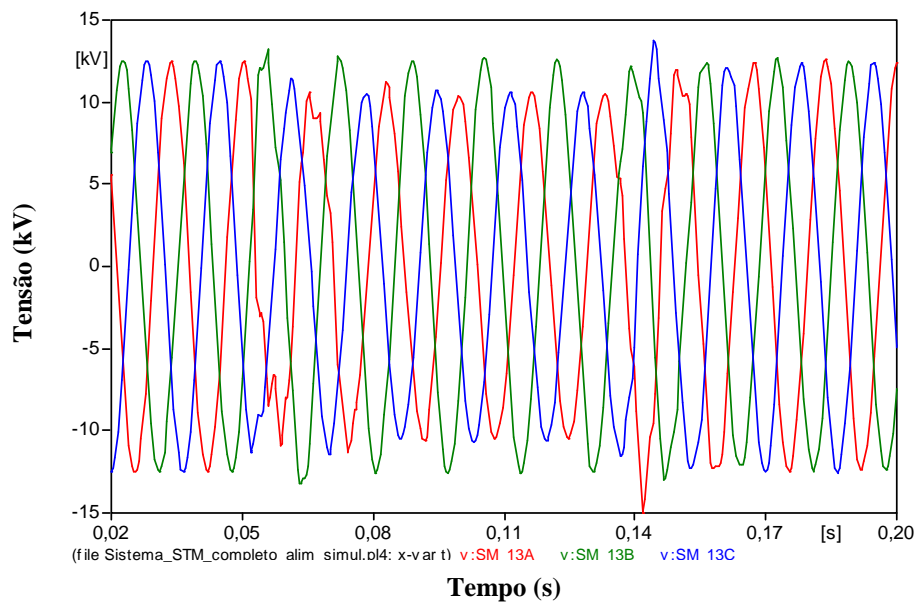
Figura 5.14 – Perfil do afundamento de tensão originado por curto circuito FT.

Analisando-se o perfil do afundamento de tensão, ilustrado na Figura 5.14, pode-se observar a ocorrência do afundamento de tensão nas fases A, B e C, mas como em sistemas trifásicos a tensão remanescente a ser considerada é a de menor amplitude, ou seja, apenas a amplitude da fase C deverá ser considerada.

2. Curto-Circuito Fase-Fase-Terra (FFT): Os perfis das formas de onda de tensão, mostradas pelas Figuras 5.15a. e 5.15b, representam o comportamento da tensão no terminal da SE Santarém devido a simulação de um curto circuito bifásico franco envolvendo as fases A e C, localizado no trecho a 20% da linha de transmissão entre as Subestações de Tucuruí e Altamira, em 230 kV.



a)



b)

Figura 5.15 – Perfil do afundamento de tensão originado por curto circuito FFT.

Este tipo de falta apresenta elevação de tensão da fase B (fase sã) e afundamento nas fases A e C (fases com defeito). Como foi comentado anteriormente, a tensão remanescente a ser considerada é a da fase A.

3. Curto-Circuito Fase-Fase-Fase-Terra (FFFT): As Figuras 5.16a. e 5.16b. mostram o comportamento da tensão no terminal da SE Santarém devido a simulação de um curto-circuito trifásico franco, localizado no trecho a 50% da linha de transmissão entre as Subestações de Transamazônica e Rurópolis, em 230 kV.

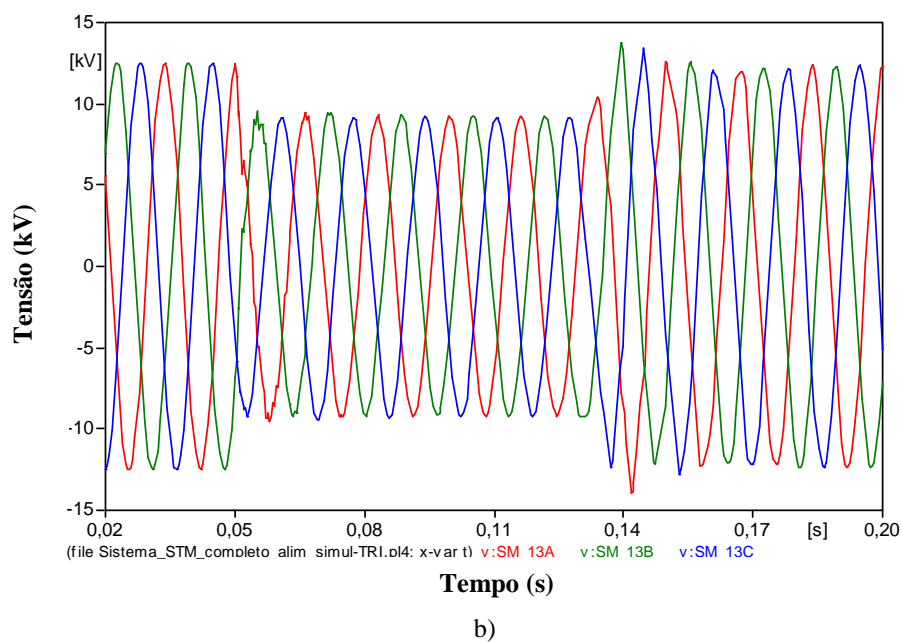
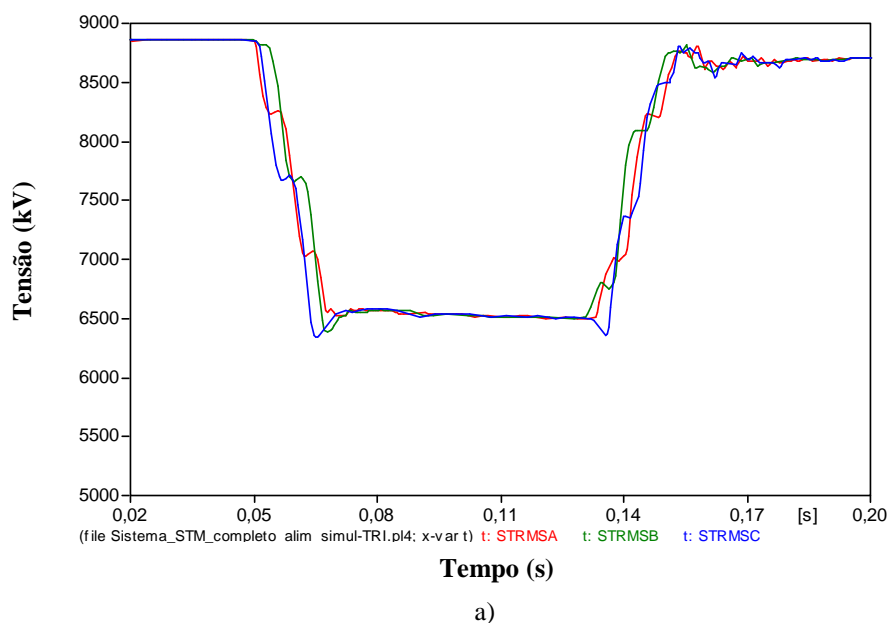
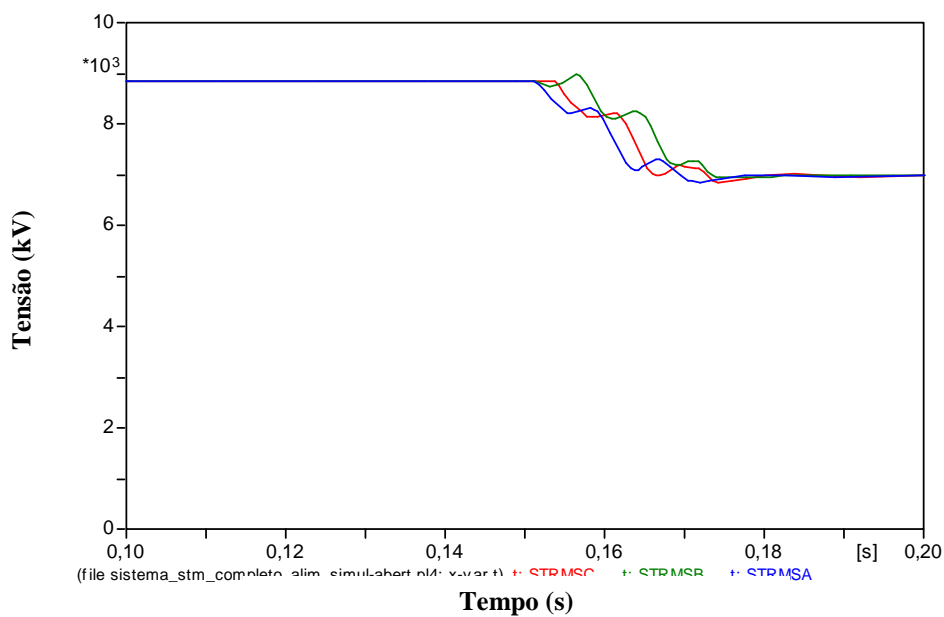
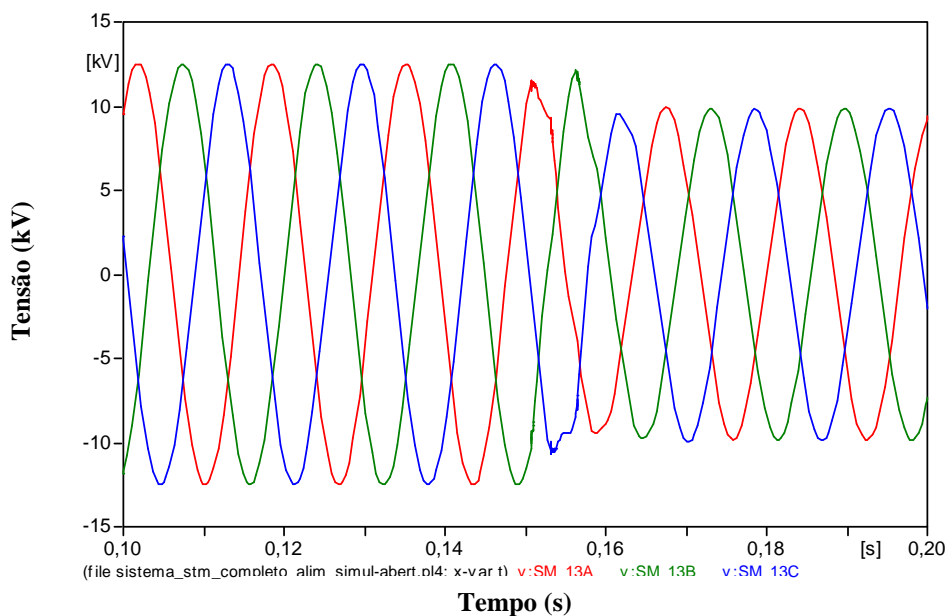


Figura 5.16 – Perfil do afundamento de tensão originado por curto circuito FFFT.

Normalmente este tipo de falta é mais severa, apresentando os valores mais críticos de afundamento de tensão. Como este tipo de falta é equilibrada, a mesma apresenta afundamento de tensão nas três fases, verificando-se neste caso que a tensão remanescente a ser considerada (que mais afundou em relação as demais) é a representada pela fase C (em azul).



a)



b)

Figura 5.17 – Perfil do afundamento de tensão devido a perda da interligação com a UHE de Tucuruí.

4. As Figuras 5.17a. e 5.17b. ilustram o momento em que o sistema de Tapajós-Santarém fica isolado todas as fases apresentam afundamento de tensão em relação a tensão nominal, devido a capacidade de geração da UHE Curuá-Una não ser suficiente para atender todas as cargas, sendo necessário adotar esquemas de corte de cargas com o intuito de se restaurar a qualidade da tensão, dentro dos limites admissíveis estabelecidos pela legislação do setor elétrico brasileiro.

5.2.4. MER do Banco de Dados de Simulação

A Figura 5.18 ilustra o Modelo Entidade Relacional (MER) do banco de dados de simulação, disposto com as seguintes entidades:

1. SIMULACAO: tabela mestra que agrupa todos os registros do banco de dados das simulações. Esta entidade é preenchida pelo usuário do software no momento em que é inserido uma simulação de faltas de curtos circuitos em todo o sistema elétrico;
 2. TXTANAFAS: é onde estão as características dos registros de curtos circuitos simulados no sistema elétrico pelos software ANAFAS/ANAQUALI e também as características do comportamento do sistema na presença desses curtos circuitos;
 3. ANAQUALI: tabela que armazena as taxas de falhas referente as faltas simuladas nos programas ANAFAS/ANAQUALI e também armazena o registro que identifica a barra que está sendo observada na simulação (barra de interesse) para cada simulação de faltas no sistema elétrico;
 4. ATP: entidade que recebe os dados referentes as simulações no programa ATP.
-

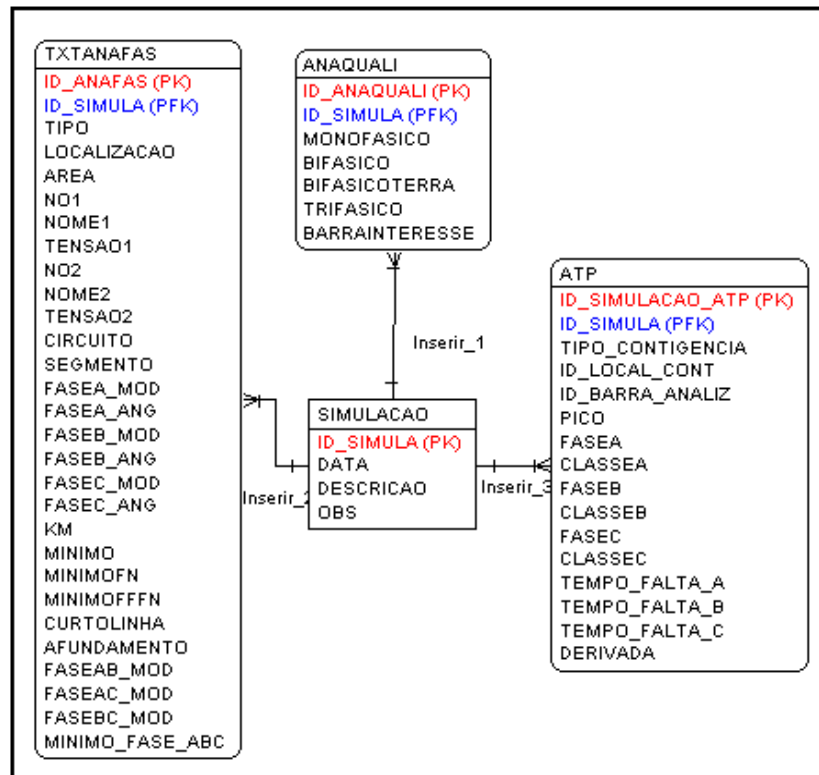


Figura 5.18 – MER do banco de dados das simulações computacionais.

5.3. Monitoramento

O sistema de monitoramento desenvolvido neste estudo foi destinado a identificar a presença de distúrbios no sistema de distribuição da Concessionária e no sistema Tramo Oeste nas barras onde estão instalados os instrumentos de medição.

Esses instrumentos são monitoradores de tensão trifásicos compostos por três entradas de tensão, neutro e terra, podem registrar em memória não volátil, eventos como as VTCD's, a partir de ½ ciclo de duração, ocorrências de variações de tensão entre neutro e terra, harmônicos até a 49º ordem, interrupções de energia (de acordo com a Resolução 024 – ANEEL) e transitórios eletromagnéticos. Entretanto, para o estudo proposto, só foi utilizado os registros de VTCD's.

Os mesmos foram adquiridos no mercado nacional, modelo CCK 4100P (2000) fabricados pela CCK – Automação (Manual do CCK). Os dados monitorados foram armazenados no banco de dados de monitoramento para posterior verificação na análise nexa causal em processos de pedido de ressarcimento. Esses dados monitorados também foram úteis para a validação dos modelos matemáticos utilizados nas simulações, na medida em que foi possível comparar eventos simulados no ATP e ANAFAS/ANAQUALI com distúrbios monitorados pelos instrumentos de medição.

Os instrumentos foram instalados em locais estratégicos selecionados de acordo com a experiência dos técnicos e engenheiros responsáveis pelos procedimentos de diagnósticos, como em subestações e em alimentadores, estruturados para a aquisição de informações.

Estes instrumentos, previamente programados, passaram a monitorar o sistema elétrico com o intuito de detectar certos fenômenos que pudesse afetar de forma significativa a forma de onda da tensão, gerando arquivos de dados a partir de medições e com o auxílio do software do instrumento, contendo as seguintes informações: parâmetros de configuração do instrumento, registros de VTCD's, forma de onda instantânea da tensão, valores RMS da tensão, entre outros.

Para o monitoramento das variações de tensão, o instrumento realiza a captura pela detecção por nível de *trigger*, através da comparação entre o nível de tensão atual e um valor limite pré-programado, e tendo como referência a tensão nominal do local monitorado. As características do evento são obtidas a partir do cálculo do valor eficaz, utilizando uma janela de medição de meio ciclo, atualizada discretamente a cada ciclo.

O instrumento possui uma taxa de amostragem de 128 amostras por ciclo, podendo registrar as forma de onda dos sinais de tensão com número de ciclos programáveis pelo usuário, e as variações do valor eficaz com 180 ciclos de duração, 10 anteriores e 170 posteriores a variação.

Para a aquisição e manipulação dos dados registrados é necessário conectar o instrumento a um microcomputador através de comunicação serial RS 485, onde deve estar instalado o programa SW – CCK 4100, que disponibiliza ao usuário funções básicas do tipo: programar o equipamento; realizar a leitura dos dados registrados nas memórias do equipamento e gravar em disco em um arquivo com extensão “.E41”, cujo nome deverá ser fornecido pelo usuário; e analisar, através de gráficos e tabelas, os dados gravados no arquivo selecionado pelo usuário (Manual de Instalação e Operação do Programa).

A sub-função PROGRAMAR, disponibilizada no SW – CCK 4100P, permite configurar a forma de operação do equipamento (tensão de referência, limiares para captura, entre outros).

A sub-função ARQUIVO permite a abertura do arquivo de dados desejado na forma gráfica e tabular, todos com opção de impressão, sejam os dados de eventos, curvas e variações dos valores eficazes ciclo a ciclo.

De posse da estrutura do arquivo fornecido pelo fabricante do equipamento, juntamente com algumas rotinas de programação, foi possível ter acesso aos dados gerados pelo instrumento. Desta forma, através de poucas ações, os arquivos gerados pelo instrumento são inseridos no banco de dados de monitoramento, inicialmente de acordo com a norma do IEEE (IEEE Std 1159 - 1995) e em seguida se adequando ao Procedimento de Rede (ONS, 2008).

5.3.1. Estrutura do Banco de Dados de Monitoramento

5.3.1.1. Parâmetro de Configuração do Instrumento

São parâmetros necessários para o entendimento dos resultados referentes à captura dos dados de monitoramento. Estes parâmetros foram configurados pelo usuário do instrumento na fase inicial do processo, de acordo com os limiares adequados para a captura pré-programada de cada um dos distúrbios referentes à norma utilizada como referência pelo fabricante do instrumento.

Na Tabela 5.2 há alguns parâmetros necessários na configuração do instrumento. Esses registros foram inseridos da tabela do banco de dados “PARAMETRO”.

Tabela 5.2 – Descrição da entidade “PARÂMETRO”.

CAMPO	DESCRIÇÃO
ID_PARAMETRO	Nome destinado ao local onde ocorreu a monitoração. Ex: UFPA.
ID_LOCAL	Local específico onde ocorreu a monitoração. Ex: Laboratório de Engenharia Elétrica.
TIPO_CAPTURA	Forma de armazenamento dos dados capturados na memória do instrumento de monitoração.
MODO_LIGACAO	Forma de conectar o instrumento da rede elétrica.
INICIO_CAPTURA	Data de início do monitoramento.
FASE_R	Referência no secundário do transformador na fase R (A) em volts.
FASE_S	Referência no secundário do transformador na fase R (B) em volts.
FASE_T	Referência no secundário do transformador na fase T (C) em volts.
TP_PRIMARIO	Tensão no primário do transformador.
TP_SECUNDARIO	Tensão no secundário do transformador.

Tabela 5.2 - Descrição da entidade “PARÂMETRO”. (continuação).

CAMPO	DESCRIÇÃO
INTERVALO_MM	Intervalo de memória de massa (intervalo de captura para o armazenamento dos dados monitorados).
EVENTO_SAG	Valor limiar percentual da tensão de referência que será registrada na memória de eventos.
EVENTO_SWELL	Valor limiar percentual da tensão de referência para a qual, em caso de ocorrência de sobretensões com esta percentagem da tensão programada, será registrado na memória de eventos.
EVENTO_TRANS_FN	Valor de referência percentual em volts que uma vez ultrapassada do valor de referência programada, tanto para um valor superior como inferior (envoltória da senóide), será registrado na memória de eventos.
EVENTO_TRANS_Nt	Valor de referência percentual em volts que caso um evento venha a ocorrer entre TERRA e NEUTRO, será registrado na memória de eventos.
EVENTO_SWELL_NEUTRO	Valor de referência percentual em volts que, no caso de ocorrer uma tensão entre TERRA e NEUTRO, será registrado na memória de eventos.
EVENTO_THD	Valor de referência percentual multiplicado por 100 para o registro de distorção harmônica, que uma vez ocorrido, será registrado na memória de eventos.
EVENTO_FREQ	Valor em referência de frequência monitorada multiplicada por 100.
CURVA_SAG	Valor limiar percentual da tensão de referência para a qual, em caso de ocorrência de subtensões com esta porcentagem da tensão programada, serão registradas na memória de CURVAS.
CURVA_SWELL	Valor limiar percentual da tensão de referência para a qual, em caso de ocorrência de sobretensões com esta porcentagem da tensão programada, serão registradas na memória de CURVAS.
CURVA_TRANS_FN	Valor em volts que uma vez ultrapassado do valor de referência programada, tanto para um valor superior como inferior (envoltória da senóide), será registrado na memória de curvas.
NUMERO_CICLO	Número de ciclos das fases monitoradas para memória de curvas, 1 anterior a ocorrência e restante conforme programação.
RMS_SAG	Valor limiar percentual da tensão de referência para a qual, em caso de ocorrência de subtensões com esta porcentagem da tensão programada, serão registradas na memória de REGISTROS RMS, com 180 ciclos das fases monitoradas, 30 anteriores a ocorrência da tensão e 150 posteriores.

Tabela 5.2 - Descrição da entidade “PARÂMETRO”. (continuação).

CAMPO	DESCRIÇÃO
RMS_SWELL	Valor limiar percentual da tensão de referência para a qual, em caso de ocorrência de sobretensões com esta percentagem da tensão programada, serão registradas na memória de REGISTROS RMS, com 180 ciclos das fases monitoradas, 30 anteriores a ocorrência da tensão e 150 posteriores.
FALHA_ENERGIA	Limiar percentual de tensão para se considerar uma interrupção.
TEMPO_MIN_FALHA	Tempo máximo onde pode se considerar uma falha de energia.
DESCRICA0	Qualquer observação necessária ao estudo será acrescentada neste campo pelo usuário do banco.

5.3.1.2. Registro de Eventos

Os registros de eventos foram inseridos no banco de dados na tabela “EVENTO”, onde estão descritos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Descrição da entidade “EVENTO”.

CAMPO	DESCRIÇÃO
ID_EVENTO	Chave primária da tabela.
ID_LOCAL	Chave estrangeira referente a tabela “Local_Monitoracao”
TIPO_EVENTO	Tipo de evento capturado pelo instrumento.
FIM_DURACAO_ANGULO	Descrição característica do tipo de evento. Por exemplo: se o evento for de curta duração a característica será a duração, ou se o evento for de longa duração a característica será o tempo final do evento, ou então se o evento for de curtíssima duração como um transitório a característica será o ângulo.
DATA_INICIO	Data quando iniciou a captura do registro de evento, com precisão de milissegundos.
VMINPU	Menor tensão RMS em p.u. comparado com cada fase (VR, VS e VT).
VMAXPU	Maior tensão RMS em p.u. comparado com cada fase (VR, VS e VT).
VR	Tensão remanescente na fase R (A).
VS	Tensão remanescente na fase S (B).
VT	Tensão remanescente na fase T (C).
VN	Tensão remanescente RMS no neutro.

5.3.1.3. Forma de Onda Instantânea da Tensão

A forma de onda instantânea da tensão, capturada pelo instrumento durante a ocorrência de um distúrbio foram disponibilizadas no banco de dados na tabela descrita como “Curvas”. Essas são formas de ondas compostas por amostras do sinal da tensão medidas pelo instrumento.

O equipamento monitora a ocorrência de uma variação de tensão na rede elétrica a cada 130 microssegundos, sendo que na ocorrência desse comportamento será considerado um afundamento de tensão ou uma elevação de tensão, se o evento possuir duração de pelo menos 1/2 ciclo e no máximo um minuto, e se o valor de amplitude RMS se mantiver dentro dos limites que definem respectivamente, afundamento e elevação de tensão. O equipamento possui capacidade de memorizar, para todas as fases monitoradas, até 60 formas de ondas com 8 ciclos de duração, sendo 1 antes da ocorrência da variação de tensão fora do tempo programado e 7 depois, sempre com data e hora de ocorrência.

A descrição dos campos, no banco de dados, da tabela “CURVA” pode ser visualizada na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Descrição da entidade “CURVA”.

CAMPO	DESCRIÇÃO
ID_CURVA	Chave primária da tabela.
ID_LOCAL	Chave estrangeira referente a tabela “Local_Monitoracao”
DATA	Data inicial quando iniciou a captura do registro da forma de onda instantânea da tensão, com precisão de milissegundos.
TIPO_CURVA	Identificação de qual evento a forma de onda instantânea está representando.
CURVA_R	Registro da forma de onda instantânea da tensão na fase R (A).
CURVA_S	Registro da forma de onda instantânea da tensão na fase S (B).
CURVA_T	Registro da forma de onda instantânea da tensão na fase T (C).

5.3.1.4. Forma de Onda RMS da Tensão

O equipamento pode armazenar, com data e hora de ocorrência, para cada fase monitorada, até 50 variações ocorridas fora da tensão pré-programada de RMS a partir de 16 milissegundos de duração (1 ciclo), sendo que, para cada variação, são registrados para as 3 fases, 180 ciclos, 10 anteriores e 170 posteriores a variação.

A descrição dos campos, no banco de dados, da tabela “RMS” pode se verificar na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Descrição da entidade “RMS”.

CAMPO	DESCRIÇÃO
ID_RMS	Chave primária da tabela.
ID_LOCAL	Chave estrangeira referente a tabela “Local_Monitoracao”
DATA	Data inicial quando iniciou a captura do registro da forma de onda RMS, com precisão de milissegundos.
RMS_R	Registro da forma de onda dos valores RMS na fase R (A).
RMS_S	Registro da forma de onda dos valores RMS na fase S (B).
RMS_T	Registro da forma de onda dos valores RMS na fase T (C).

5.3.1.5. Local de Monitoramento

O registros presentes no banco de dados na tabela descrita como “Local_Monitoracao” são dados inseridos pelo usuário do programa, portanto não estão presentes no instrumento. Entretanto, são importantes por fazerem referência ao local monitorado, descrevendo também algumas características do sistema elétrico a ser monitorado.

Esses dados estão representados na tabela do banco de dados “LOCAL_MONITORACAO” e representados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Descrição de entidade “LOCAL_MONITORACAO”.

CAMPO	DESCRIÇÃO
ID_LOCAL	Chave primária da tabela.
LOCAL	Nome destinado ao local onde ocorrerá o monitoramento. Ex: UFPA.
DESCRICAOCAL	Local específico onde ocorreu a monitoração. Ex: Laboratório de Engenharia Elétrica.
DATA_INICIO	Data quando se inicia o estudo.
DATA_FIM	Data quando se termina o estudo.
OBS	Qualquer observação em relação à instalação do instrumento.

5.3.2. MER do Banco de Dados de Monitoramento

A Figura 5.19 ilustra o Modelo Entidade Relacional (MER) do banco de dados de monitoramento.

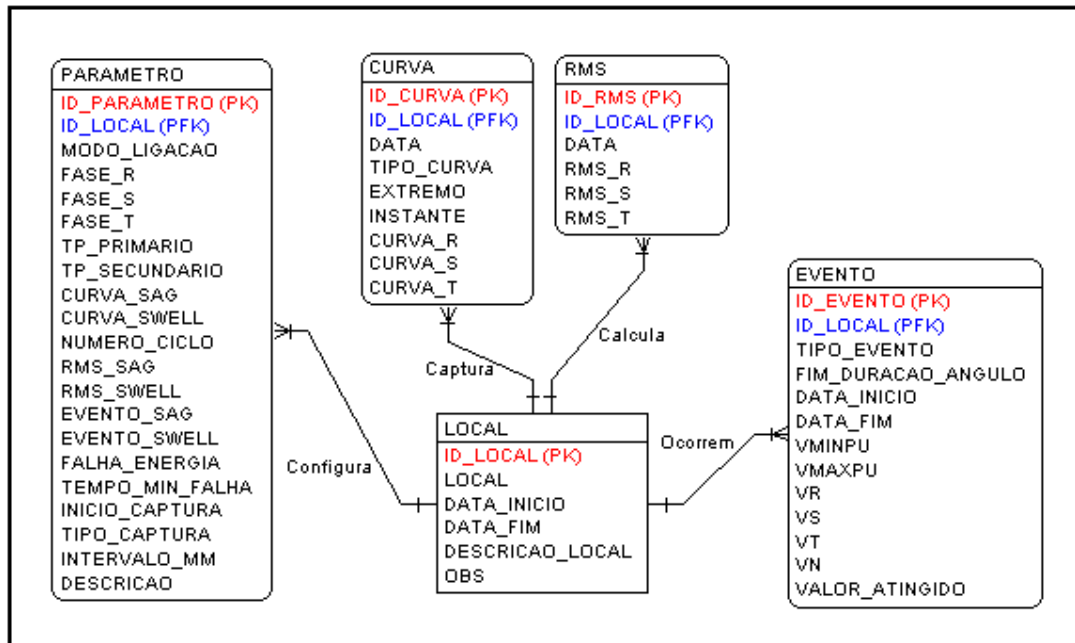


Figura 5.19 - Referente ao MER do banco de dados de monitoração.

Onde:

1. LOCAL MONITORACAO: tabela mestra que agrupa todos os registros do banco de dados;
2. EVENTO: é onde estão os registros das características dos distúrbios;
3. CURVA: tabela onde estão armazenadas os registros das formas de onda instantâneas das tensões relativas aos eventos adquiridos pelo instrumento;
4. RMS: local de armazenamento dos registros referentes as formas de onda dos valores RMS de tensão;
5. PARAMETROS: são os parâmetros de configuração do instrumento;

5.4. Suportabilidade de Equipamentos

A suportabilidade (ou susceptibilidade) de equipamento eletro-eletrônico varia de acordo com a marca, tipo, categoria, sendo que, mesmo dentro de uma mesma linha de produção, podem ser encontrados diferentes desempenhos, dependendo do modelo e do fabricante. Devido a isso, torna-se difícil normalizar um padrão único para se definir a suportabilidade dos diversos equipamentos.

Na literatura é definido que a suportabilidade de equipamento pode ser caracterizada por curvas de variações de nível de tensão e duração (Teixeira *et al*, 2004). Na Figura 5.20 está ilustrada a curva de suportabilidade do IEEE (IEEE Std 446 - 1987- *Computer & Business Equipment Manufactures Assotiation* – CBEMA), que foi desenvolvida para descrever a tolerância típica de diferentes computadores a variações de tensão, tanto em magnitude quanto em duração do evento. Esta curva já sofreu modificações ao longo do tempo, atualmente há uma tendência em substituí-la pela curva ITIC (“*Information Technology Industry Council*”), conforme ilustra a Figura 5.21, que engloba os equipamentos de tecnologia de Informação (ITE – “*Information Technology Equipment*”). Cabe ressaltar que a curva ITIC não é uma especificação para projeto de equipamentos, mas apenas uma curva-guia que descreve o comportamento típico, da maioria dos equipamentos do tipo ITE, face à tensão de entrada.

Também há a curva de susceptibilidade da SEMI (*Semiconductor Equipment and Materials International*). Essa curva é utilizada apenas para afundamento de tensão, pode ser visualizada na Figura 5.22.

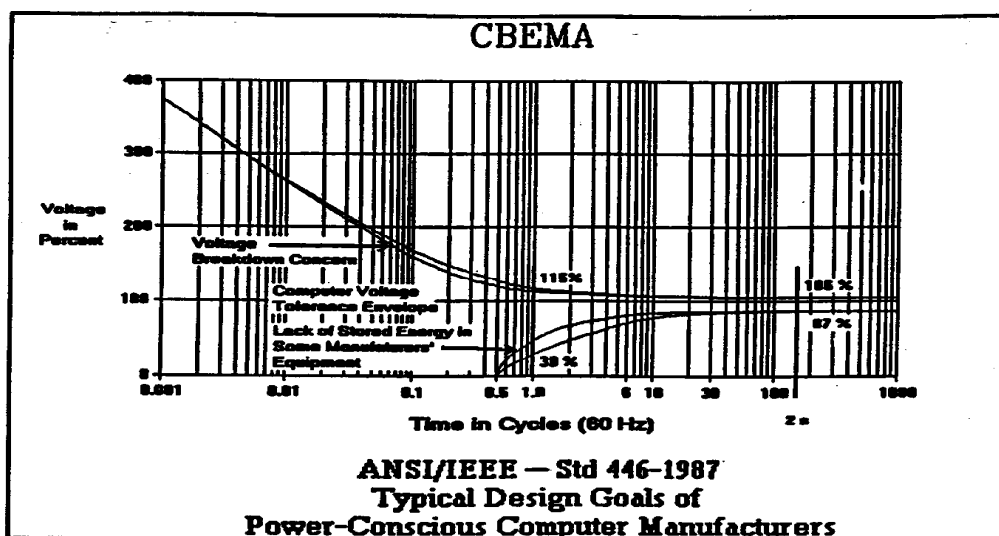


Figura 5.20 - Curva de sensibilidade de equipamentos de informática – CBEMA (IEEE STD 446-1995).

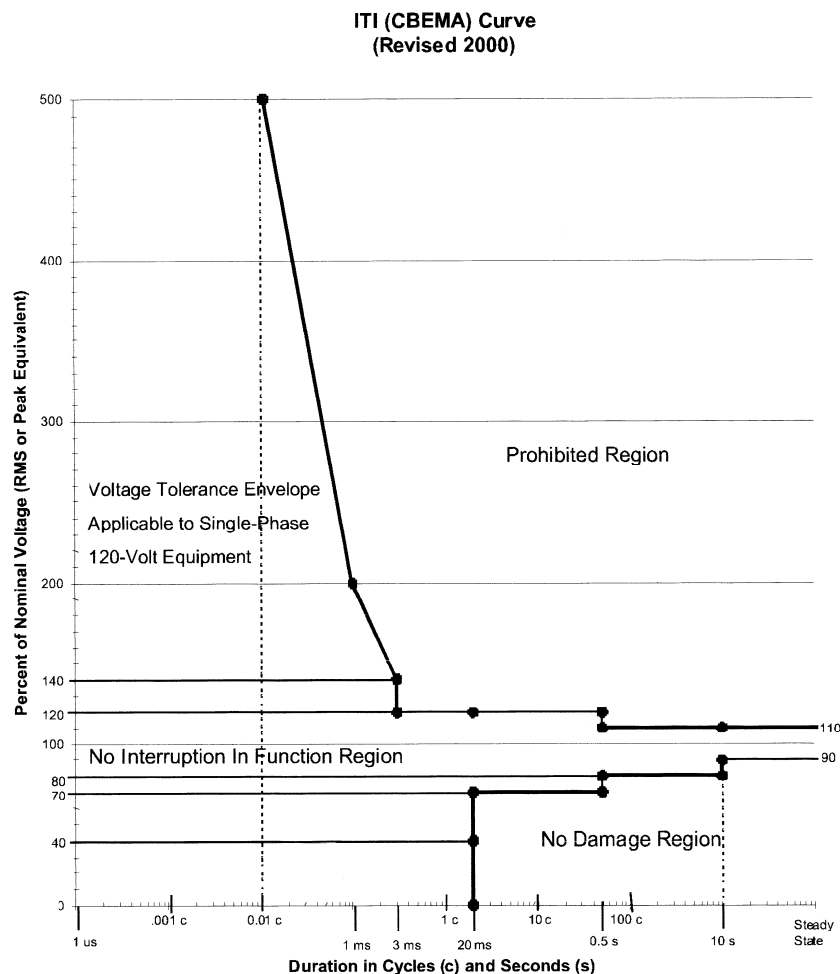


Figura 5.21 - Curva ITIC (Curvas ITIC/CBEMA).

Devido à grande variedade de equipamentos eletro-eletrônicos, mesmo aqueles que estão na mesma categoria, possuem marca que divergem na sua tecnologia. Sendo assim, não se pode qualificar a suportabilidade de vários tipos de equipamentos em apenas um padrão de curva. Por isso, há a necessidade de se fazer ensaios com cada equipamento para realmente construir a curva de suportabilidade individual, ou pelo menos uma curva para cada modelo e/ou marca. O ideal seria o próprio fabricante do equipamento já fornecer, acoplar no manual, a curva de suportabilidade para seu equipamento, o que poderia contribuir para diminuir as reclamações por danos em equipamentos, já que as concessionárias de energia poderiam melhorar a qualidade do sistema tentando ajustar suas tensões para as faixas adequadas, ou pelo menos tentando contemplar a maior parte dos equipamentos sensíveis.

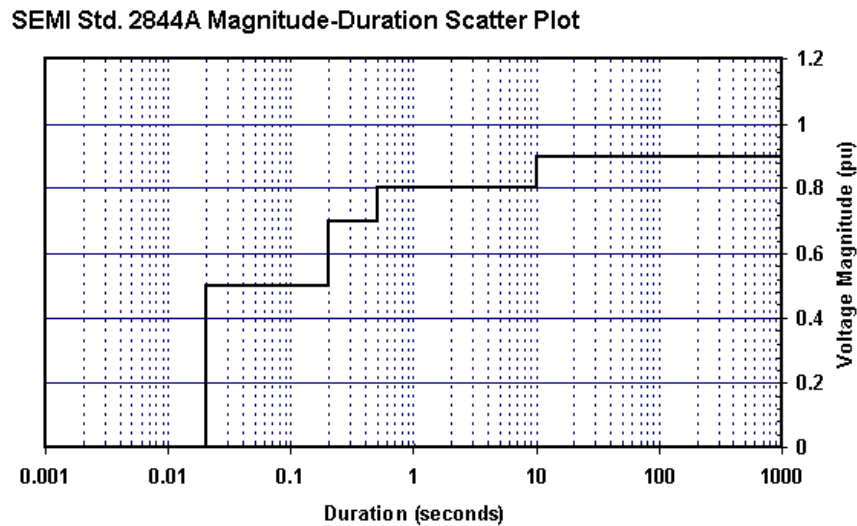


Figura 5.22 - Curva SEMI (IEEE Std 446-1995).

Nas Figuras 5.20 e 5.21 há uma região de imunidade, caracterizada por suas curvas envoltórias, e a região complementar de susceptibilidade. A curva superior estabelece a fronteira entre a região de imunidade e a de susceptibilidade frente a elevações de tensão, enquanto a inferior delimita a susceptibilidade frente aos afundamentos.

Nas Figuras 5.23 (elevação) e 5.24 (afundamento) podem-se visualizar dois exemplos de curvas de susceptibilidade inseridas no banco de dados, retiradas de relatórios e trabalhos técnicos de pesquisa e desenvolvimento (Kagan *et al.*, 2001; Teixeira *et al.*, 2004; Karady *et al.*, 2005; Matsuo *et al.*, 2006). Sendo que, para o distúrbio de afundamento de tensão a região que fica acima da curva traçada é a região de imunidade e a região que fica abaixo da curva é a região de susceptibilidade. Já para a elevação de tensão a região de imunidade é a região que fica abaixo da curva, enquanto a de susceptibilidade fica a cima.

Essas curvas foram comparadas com a CBEMA, e ITIC, concluindo-se que as mesmas são semelhantes entre si, porém mais conservadoras. Elas também estão delimitadas por regiões de imunidade e susceptibilidade obtidas para cada equipamento. Sendo que, região de susceptibilidade, são regiões onde pode(m) ser verificado(s) ponto(s) indicando que ocorreu queima do equipamento ou parte deste, ou ainda, a atuação de algum dispositivo de proteção existente no equipamento, ou seja, onde pode ocorrer a falha no funcionamento (mau funcionamento) do equipamento e regiões de imunidade são aquelas onde os equipamentos estão livres de falhas na presença de distúrbios (Matsuo *et al.*, 2006).

Essas curvas foram inseridas no banco dados de suportabilidade de equipamentos, juntamente com as conseqüências da severidade em que os equipamentos são submetidos, de forma que se possam relacionar essas conseqüências com as características de amplitude e duração dos distúrbio de VTCD ocorridos na rede elétrica, utilizando para isso uma técnica inteligente de classificação.

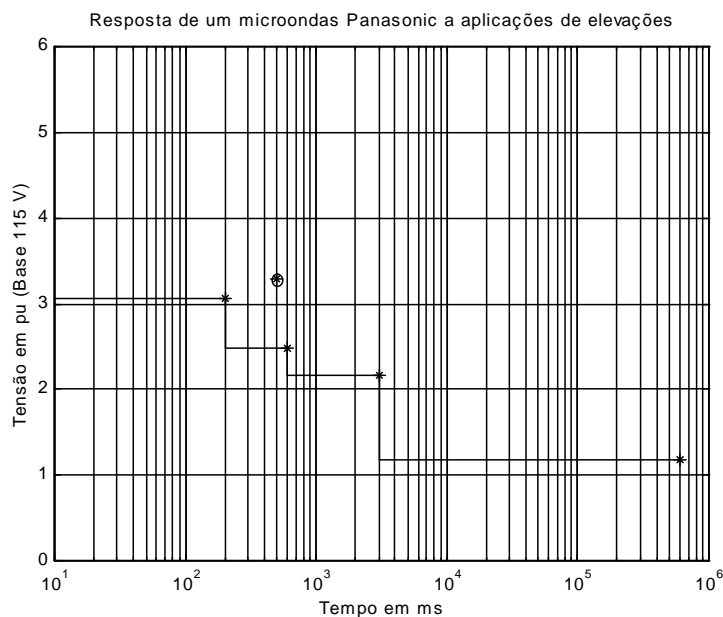


Figura 5.23 - Curva de sensibilidade a elevações de tensão a um aparelho de microondas. Fonte: (Matsuo et al., 2006).

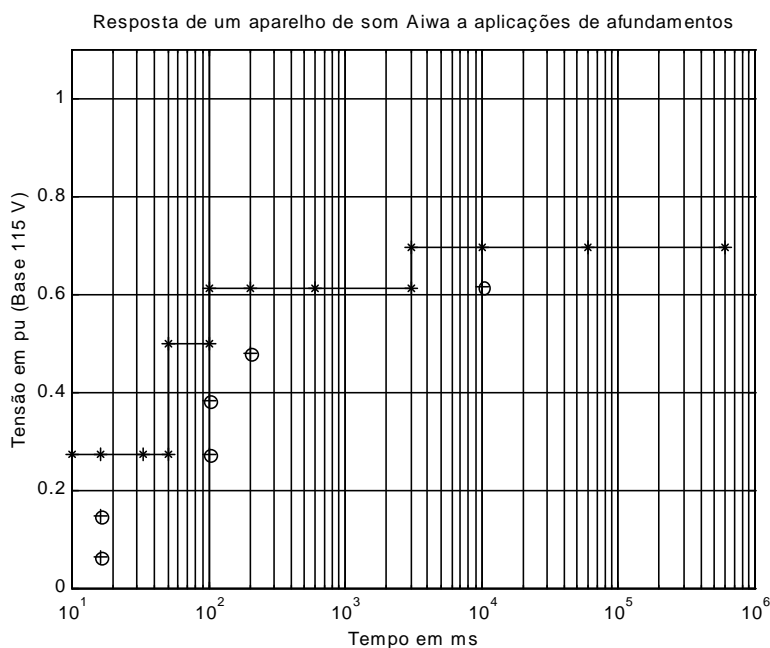


Figura 5.24 - Curva de sensibilidade a afundamento de tensão a um aparelho de som. Fonte: (Matsuo et al., 2006).

5.4.1. Procedimento para Aquisição das Curvas de Suportabilidade

De acordo os relatórios dos projetos (Kagan *et al*, 2001, Teixeira *et al.*, 2004; Karady, 2005 e Matsuo *et al*, 2006) de onde foram retiradas as curvas de suportabilidade de equipamento, o procedimento para a aquisição das curvas foram semelhantes, ou seja, foram realizadas uma seqüência de ensaios, de maneira que fosse aumentando gradualmente a severidade imposta aos equipamentos, no limite de suportabilidade, até serem observadas as condições de desempenho insatisfatório de cada equipamento.

Desta forma, para cada ensaio o procedimento é iniciado com a duração de 1 ciclo ou para uma interrupção ou para uma elevação na tensão. Sendo que a duração sofre variações em passos sucessivos até que ocorra uma falha no funcionamento do equipamento. Quando ocorre a falha varia-se novamente a tensão (aumenta – para afundamento ou diminui – para elevação) até o valor em que o equipamento não falhe. Quando este ponto é atingido procede-se novamente a variação da duração em passos, até que o equipamento volte a falhar e repete-se o procedimento até que a duração atinja o valor de 1 minuto.

Assim sendo, é possível verificar a resposta de cada equipamento a diversos níveis de severidade através do traçado de curvas discretizadas ponto a ponto, relacionando amplitude e duração do evento, as quais possibilitam a identificação das interfaces entre as regiões onde o desempenho dos equipamentos pode ser considerado como satisfatório e as regiões onde este mesmo desempenho não se verifica, região de mau funcionamento ou região de suportabilidade (queima).

Assim, para cada equipamento foram geradas duas curvas, uma correspondendo ao afundamento de tensão e outra à elevação de tensão. Esses registros de curvas de suportabilidade de ensaios alimentaram o banco de dados de suportabilidade de equipamento.

5.4.2. Equipamentos com Curva de Suportabilidade no Banco de Dados

A tabela 5.7 representa a descrição dos aparelhos ensaiados que possuem curva de suportabilidade inseridas no banco de dados de Suportabilidade de Equipamentos.

Tabela 5.7 – Descrição dos equipamentos registrados no banco de dados de Suportabilidade de Equipamentos.

ÍTEM	APARELHO	TENSÃO NOMINAL DE ALIMENTAÇÃO (V)
1	Telefone sem fio	120
2	Ar condicionado	220 a 230
3	Microondas	120
4	Aparelho de som	120/220 (com seletor)
5	Vídeo cassete	110 a 240
6	Televisor	100 a 240
7	Rádio relógio	127/220 (com seletor)
8	Microcomputador	100 a 120 e 200 a 240 (com seletor)
9	Fax c	120
10	Geladeira	103 135

5.4.3. O MER do Banco de Dados de Suportabilidade de Equipamentos

O Modelo de Entidade Relacional (MER) deste banco de dados é apresentado na Figura 5.24, onde a entidade EQUIPAMENTO recebeu os registros das características dos equipamentos e a entidade EVENTO recebeu o tipo de evento. Já na entidade REGISTRO foram inseridas as características de suportabilidade e outras características necessárias para fazer o relacionamento com o equipamento e o evento. Observa-se nesta figura que as entidades EQUIPAMENTO e EVENTO se relacionam com a entidade REGISTROS da seguinte maneira: “um equipamento ou um evento pode estar contido em vários registros”.

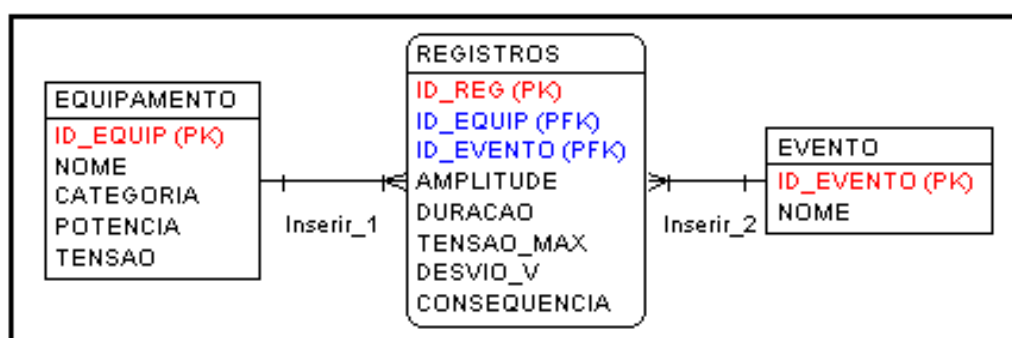


Figura 5.25 - MER do BD de suportabilidade de equipamentos.

A entidade “EQUIPAMENTO” consiste basicamente em uma tabela que contém informações básicas sobre os equipamentos exploradas pelo aplicativo. Sendo que os atributos desta são descritos na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Descrição dos atributos da entidade “EQUIPAMENTO” do banco de dados de Suportabilidade de Equipamentos.

CAMPO	DESCRIÇÃO
ID_Equip	Corresponde a chave – primária(primary key) desta tabela, e a atribuição de valores para este atributo é realizada internamente pelo software.
Nome	Neste atributo é armazenado o nome do equipamento, como apresentado no exemplo a seguir. A atribuição de valores para esse campo é feita através de uma interface gráfica, que será detalha mais a frente. Ex: Condicionador de Ar, Microondas, etc.
Categoria	A categoria do equipamento é definida neste atributo, sendo a atribuição deste, também realizada através da interface. Ex: Iluminação, Motores etc.
Potência	Neste atributo é definida a potência do equipamento, e assim como os outros já citados, este também é definido através da interface. Ex: 100 W, 32W etc.
Tensão	A tensão do equipamento é definida neste atributo, sendo também atribuída através da interface gráfica. Ex: 220V, 110V etc.

A entidade “REGISTRO” consiste na principal entidade do banco de dados, nela devem ser armazenados os registros das conseqüências de um evento em um determinado equipamento. Os campos que essa entidade contém estão dispostos na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Descrição dos atributos da entidade “REGISTRO” do banco de dados de Suportabilidade de Equipamentos.

CAMPO	DESCRIÇÃO
ID_Reg	Este campo é a chave – primária da tabela, e a atribuição de valores para este atributo é realizada internamente pelo software.
Amplitude	Corresponde a amplitude em p.u. do evento, do qual o registro se refere, e sua atribuição é feita através da interface gráfica. Ex: 0,8 p.u, 1,1 p.u..
Duração	Este campo deve conter a duração do evento em ciclos, e assim como outros, sua atribuição é realizada através da interface gráfica pelo o usuário. Ex: 30 ciclos, 20 ciclos.
Tensão_max	Corresponde ao maior valor de tensão gerado por um determinado evento. Diferentemente dos outros campos citados até agora para esta entidade, a atribuição de valores para este campo não é obrigatória. Sua atribuição também é realizada pela interface gráfica. Ex: 178 V, 290 V etc.
Desvio_V	Não é obrigatório seu preenchimento deste campo, nele é definido o desvio de tensão.
ID_Equip	Chave estrangeira da tabela equipamento, necessária devido ao relacionamento entre as entidade equipamento e registros.
ID_Evento	Chave estrangeira da tabela evento, a qual é necessária devido ao relacionamento entre as entidades evento e registros.
Conseqüência	Este é o principal atributo desta tabela. Neste, foram armazenadas as conseqüências de um determinado evento em um equipamento. Exemplo: Equipamento parou de funcionar, Motor apresenta ruído excessivo etc.

5.5. Conclusão

Neste capítulo foi descrito a criação dos bancos de dados de simulação, de monitoramento e de suportabilidade de equipamentos.

Essa descrição foi detalhada desde a modelagem e simulação dos programas de fluxo de potência, simulação em regime permanente e transitória utilizados para formar o banco de dados de simulação, descrevendo a característica dos registros e de como estão dispostos no banco de dados.

Também foi descrito o monitoramento, o instrumento de medição, detalhando suas características principais e os tipos de dados que formam o banco de dados de monitoração necessário para utilização da ferramenta proposta.

Por fim, foi representado o banco de dados de suportabilidade de equipamentos e suas entidades e atributos. Detalhou-se, também, a forma de aquisição das curvas de suportabilidade e os tipos de equipamentos eletro-eletrônicos ensaiados.

No próximo capítulo 6 serão expostos os aspectos computacionais da ferramenta proposta, descrevendo-se sua utilização e a técnica inteligente utilizada.

6 ASPECTOS COMPUTACIONAIS DO SISTEMA PROPOSTO

6.2. Introdução

Neste capítulo foram descritos os requisitos computacionais para a análise dos pedidos de indenização por danos em equipamentos elétricos do consumidor, incorporados no programa computacional desenvolvido com essa finalidade. Sendo assim foram discutidos os seguintes procedimentos, a saber: a metodologia proposto para o desenvolvimento da ferramenta, as técnicas de KDD utilizadas e o pacote Weka (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) utilizado no software desenvolvido.

6.3. Metodologia Usada no Desenvolvimento do Aplicativo

A metodologia adotada no desenvolvimento da ferramenta consistiu-se em desenvolver um sistema de software baseado em técnicas de classificação. Sendo implementadas duas técnicas de classificação que podem ser utilizada uma ou outra dependendo da necessidade, apresentando maior mobilidade a ferramenta. O sistema de classificação desenvolvido é alimentado por um banco de dados de eventos da rede elétrica, tendo como entrada os resultados provenientes tanto de monitoramento on-line dos instrumentos instalados no sistema elétrico, como por resultados das simulações computacionais desenvolvidas através dos softwares de simulações das contingências, sendo relacionados com as informações de suportabilidade dos equipamentos. Esse aplicativo irá subsidiar o parecer técnico quanto onexo causal no pedido de indenização por dano por parte do consumidor.

6.2.1. Estrutura do Aplicativo

A Figura 6.1 ilustra a estrutura do aplicativo sendo destacado as duas partes principais que são: o módulo da base de dados (composta por banco de dados de monitoramento, banco de dados de simulação (ATP e ANAFAS/ANAQUALI) e banco de dados de suportabilidade de equipamentos) e o módulo de análise nexocausal. Na

saída do aplicativo destaca-se o comportamento (estado) do equipamento após ter sofrido um distúrbio na sua tensão de alimentação, sendo que este resultado poderão fazer parte da documentação para ser analisada pela equipe técnica responsável pelo processo de ressarcimento.

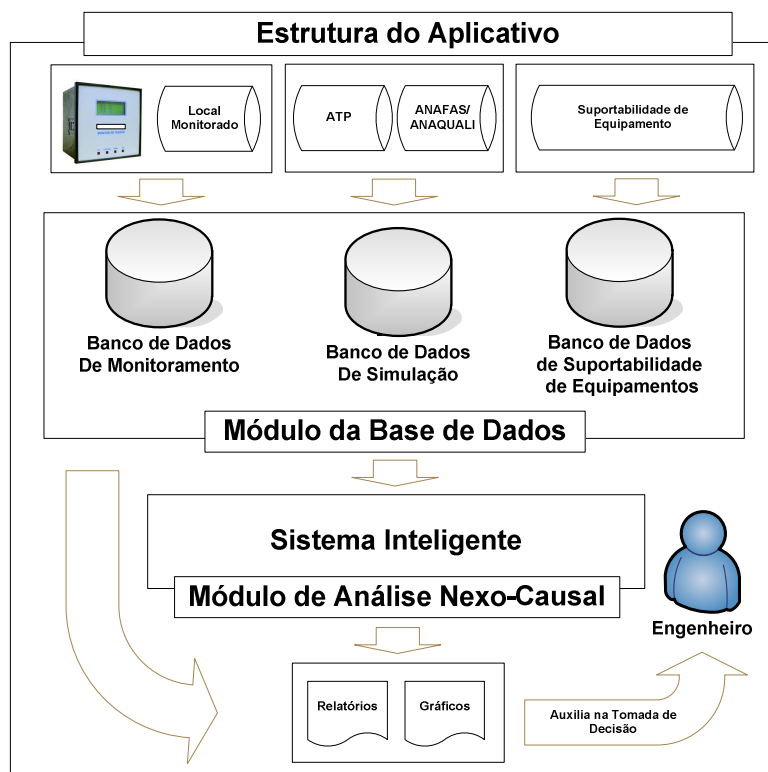


Figura 6.1 – Estrutura do aplicativo.

6.2.2. Módulo da Base de Dados

A base de dados foi o ponto de entrada do software, onde todo o processo se inicia, e por isso deve estar em conformidade com a representação fiel do sistema elétrico. Desta forma, para execução do aplicativo foi necessário uma cuidadosa manipulação nos bancos de dados, para o melhor funcionamento do processo, já que dados corretos fizeram com que os resultados estivessem em conformidade com a estrutura do sistema elétrico, o mais próximo do real, possibilitando maior confiabilidade nos resultados.

Os bancos de dados do sistema, detalhados no capítulo 5, serão apenas citados resumidamente neste item.

6.3.2.1. Banco de Dados de Monitoramento

Este banco contém dados de medições foram aquiritados através de instrumentos de medição de qualidade de energia, instalados na rede elétrica. Sendo que, para este trabalho, foram instalados dois medidores em subestações de 138 kV e dois, outros, instalados direto nos alimentadores de distribuição em 13.8 kV conforme descrito no capítulo 5.

6.3.2.2. Banco de Dados de Simulação

Os registros de dados de simulações foram provenientes de simulações computacionais realizadas com os softwares ATP e ANAFAS/ANAQUALI, utilizando inicialmente a modelagem do sistema elétrico com o software ANAREDE. Essa modelagem se estendeu desde o sistema de transmissão até os alimentadores da distribuição em média tensão (13.8 kV).

6.3.2.3. Banco de Dados de Suportabilidade de Equipamento

Neste banco foram armazenadas as características de susceptibilidade de equipamentos, as conseqüências que estes vêm a sofrer quando exposto a variações de tensão de curta duração, dispostos em faixas de amplitude em p.u, e duração em ciclos, além de outros atributos necessários para fazer a análise causa-efeito. Este banco de dados possui um papel essencial no laudo e na divulgação dos resultados gerados pelo aplicativo, pois foi através dos registros deste banco que se pôde diagnosticar se o equipamento sofreria ou não dano devido a problemas no sistema elétrico.

6.2.3. Módulo de Análise Nexo-Causal

O Módulo de Análise Nexo-Causal teve como principal objetivo gerenciar as informações sobre equipamentos e os efeitos causados nestes quando foram submetidos a distúrbios de VTCD's no sistema elétrico. É um dos módulos mais importantes do sistema computacional desenvolvido, visto que, é neste módulo que se tem a saída do laudo técnico após a aplicação das técnicas de KDD, sendo por isso considerado essencial na divulgação dos resultados gerados pelo aplicativo.

6.2.4. Fluxograma do Sistema Inteligente

A Figura 6.2 ilustra o processo de pedido de indenização utilizando o sistema inteligente proposto, sendo detalhando a lógica do software, descrevendo a interação desde o pedido de reclamação realizada pelo consumidor insatisfeito após danos em seu equipamento, passando pelos bancos de dados (monitoramento, simulação e de suportabilidade de equipamentos elétricos), chegando até a exibição do comportamento (estado) do equipamento.

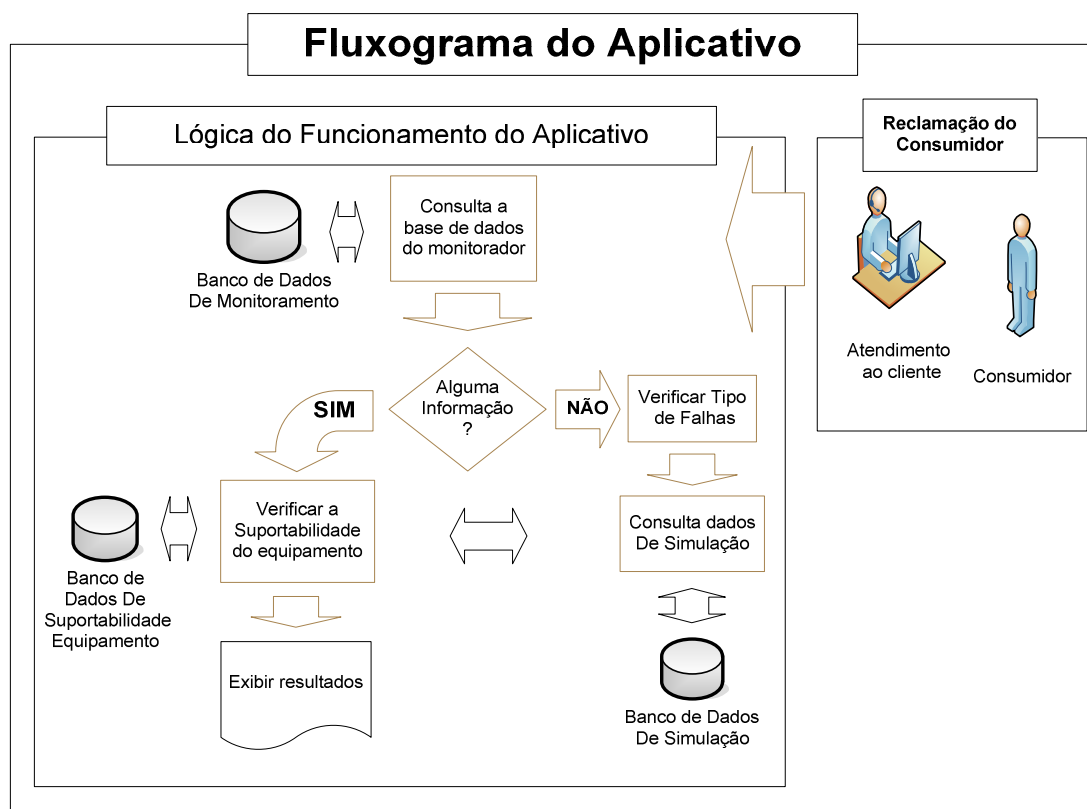


Figura 6.2 – Fluxograma do sistema inteligente.

6.4. Descoberta de Conhecimento em Base de Dados

Os dados produzidos e armazenados em sistemas elétricos de potência são normalmente inviáveis de serem lidos ou analisados por especialistas através de métodos manuais tradicionais. As empresas de energia elétrica são comumente inundadas com essa grande quantidade de dados, devendo interpretá-los para um planejamento eficaz ou contornar problemas relacionados à operação, o que impulsiona enormemente a área de mineração de dados, ou de conhecimento.

Uma alternativa para as empresas de energia é aplicar o processo de descoberta de conhecimento em bases de dados (KDD). Este processo busca informações desconhecidas que podem ser de extrema relevância para as empresas, principalmente no que diz respeito à tomada de decisão.

Para o estudo de qualidade de energia incluir as tarefas e técnicas de KDD é uma tendência, principalmente porque, atualmente, o KDD consiste, sobretudo, na análise dos dados após a extração, buscando, por exemplo, levantar as necessidades reais e hipotéticas de cada problema levantado.

Assim, o banco de dados de sistemas elétricos de potência deixou de ser estudado somente com técnicas clássicas de análise. Agora, são tratados como uma mina de ouro de informações, pois são utilizados para avaliação e aprimoramento do desempenho do sistema elétrico. Através das técnicas de mineração de dados é possível observar os reais níveis da qualidade da energia, a partir das características encontradas, identificando eventuais áreas de problemas, assegurando padrões adequados de desempenho, além de ser possível fazer estudos com intuito de identificar, por exemplo, a causa da incompatibilidade entre equipamentos dos consumidores com o sistema elétrico. Sendo assim, o processo de KDD vem se tornando necessário para uma boa gestão do sistema elétrico de potência.

A principal fase deste processo é a “mineração de dados” ou também conhecida como “*data mining*”, que busca identificar padrões novos, interessantes, válidos e úteis que tragam algum benefício estratégico, podendo melhorar o desempenho da rede elétrica.

Para que este objetivo seja alcançado, define-se o processo que vai desde a identificação e definição do problema o qual se deseja solucionar, passando pela escolha da tarefa e técnica de mineração, até a aplicação e análise dos resultados obtidos (Navega, 2002).

Este tópico tem como objetivo, fornecer um apanhado geral sobre as etapas do processo de KDD, descrevendo sua utilização no sistema de software, além de esclarecer a definição das técnicas de mineração de dados utilizadas na ferramenta.

6.3.1. As Etapas do Processo de KDD

O processo de KDD contém uma série de passos, a saber: seleção, pré-processamento e limpeza, transformação, mineração de dados (*data mining*) e

interpretação/avaliação. Como se pode ver, o processo compreende a todas as etapas que o dado percorre até se transformar em conhecimento (ver Figura 6.3). A seguir, será representada uma visão geral de cada uma dessas fases.

6.4.1.1. Seleção dos dados

Todo o processo se inicia pela fase de seleção dos dados. Nesta fase é escolhido o conjunto de dados, pertencente a uma base de dados maior, contendo todas as características e observações que fazem parte da análise. Esta etapa, normalmente é executada por um especialista.

O processo de seleção é bastante complexo, uma vez que os dados podem vir de uma série de fontes diferentes (data warehouses, planilhas, sistemas legados) e podem possuir os mais diversos formatos. A fidelidade dos dados e da experiência do especialista na seleção do que realmente é importante faz com que este passo tenha impacto significativo sobre a qualidade do resultado do processo.

A seguir serão descritos algumas das características dos dados selecionados para a utilização na etapa de “seleção” do KDD na ferramenta desenvolvida. Sendo que, a escolha dos dados foi realizada junto com a equipe de especialistas (professores e/ou pesquisadores), assim como a preciosa contribuição dos especialistas da empresa de distribuição onde a ferramenta proposta foi implantada:

1. Dados do sistema elétrico para preparar a modelagem: de posse destes dados foi possível montar o arquivo para realizar as simulações;
2. Registros de maior ocorrência de faltas no sistema elétrico para identificar o tipo e a localização dos defeitos: foi importante para a instalação dos equipamentos monitoradores, desta forma foi possível fazer alguns estudos de caso validando o modelo para a simulação contribuindo para a eficácia da ferramenta;

6.4.1.2. Pré-processamento e limpeza dos dados

Esta é uma parte importante no processo, pois a qualidade dos dados determina a eficiência dos algoritmos de mineração. Nesta etapa realiza-se tarefas que eliminem

dados redundantes e inconsistentes, recuperem dados incompletos e avalie possíveis dados discrepantes ao conjunto de dados selecionados. Nesta etapa também se faz necessário o auxílio do especialista, visando com isto, melhorar o desempenho do algoritmo de análise.

Esta etapa foi utilizada em alguns pontos na base de dados, como por exemplo:

1. Padronização dos dados: os registros de eventos foram reorganizados de acordo com os Procedimentos de Rede (ONS, 2008), pois os mesmos não estavam seguindo nenhum padrão oficial;
 2. Normalização dos dados: as características de amplitude da tensão das VTCD's que foram utilizadas no processo de KDD foram transformadas em p.u., pois as mesmas foram monitoradas em volts (kV ou V);
 3. Eliminação de dados inconsistentes: foram eliminados do processo de KDD os registros inconsistentes, como por exemplo: registros de eventos de VTCD cujas características não estavam de acordo com as faixas adequadas de amplitude e/ou duração padronizadas pelos órgãos reguladores (erro na aquisição);
 4. Eliminação de dados redundantes: também foram desconsiderados do processo, vários atributos das simulações que estavam redundantes para análise, como por exemplo, os dados de barra, onde estes estavam dispostos no banco de dados com as seguintes características (atributos): “NOME”, “NUMERO” E “TENSAO”. (ex: barra ALMST10213.8 – significa que esta barra é um alimentador, conectado a subestação de Santarém, pertencente a área 102 que representa o número da barra, cuja tensão é de 13.8 kV. Sendo assim, é possível verificar o nome, o número e a tensão da barra, considerando apenas o atributo “NOME” do banco de dados de simulação, descartando a necessidade de utilizar os atributos “NUMERO” e “TENSAO”.);
 5. Inclusão de dados importantes: Incluir nos dados de simulações (dados do ANAFAS/ANAQUALI) a característica de duração do afundamento de tensão, sendo que esta característica foi incluída apenas no código para a execução do algoritmo de classificação e não na base de dados;
-

6.4.1.3. Transformação dos dados

Após os dados serem selecionados, limpos e pré-processados necessitaram ser armazenados e formatados adequadamente para que os algoritmos de aprendizagem pudessem ser aplicados. Desta forma, os dados dos bancos de dados que participaram do processo de classificação foram formatados de acordo com o modelo de arquivo do algoritmo de classificação utilizado no programa WEKA, arquivo do tipo (.arff).

6.4.1.4. Mineração de dados (*data mining*)

Todas as etapas do processo de KDD possuem grau elevado de importância para o sucesso do mesmo. Entretanto, é a etapa de mineração de dados que recebe o maior destaque na literatura, pois ela é essencial no processo, é onde se aplica as técnicas baseadas em Inteligência Artificial (IA), objetivando extrair os padrões de interesse. De uma maneira geral, essas técnicas podem ser agrupadas em classes, como: simbólico, estatístico, conexionista, genético, baseado em instância, entre outras, sucintamente descritas a seguir:

1. Simbólico: aprendem construindo representações simbólicas de um conceito através da análise de exemplos e contra-exemplos desse conceito. As representações simbólicas estão na forma de algumas expressões lógicas, Como exemplos destacam-se as regras de produção do tipo “se-então” e Árvores de Decisão.
 2. Estatístico: São utilizados para encontrar uma boa aproximação do conceito induzido. Vários métodos estatísticos de classificação são paramétricos, assumindo algum modelo, e então encontrando valores apropriados para os parâmetros do modelo a partir dos dados. Por exemplo, um classificador linear assume que as classes podem ser expressas como combinação linear dos valores dos atributos, e então encontra uma combinação linear particular que fornece a melhor aproximação sobre o conjunto de dados (Rezende 2003). Alguns autores consideram Redes Neurais como métodos estatísticos paramétricos, uma vez que treinar uma Rede Neural geralmente significa encontrar valores apropriados para pesos e funções de ativação (bias) predeterminados.
-

3. Conexionista: formado pelas Redes Neurais, que são construções matemáticas inspiradas no modelo biológico, que utilizam o mecanismo de paralelismo, no qual são conectadas pequenas unidades de processamento (neurônios) ligadas em rede. A representação de uma Rede Neural envolve unidades altamente interconectadas e, por isso, o termo conexionismo é utilizado para descrever a área de estudo.
4. Genético ou Evolutivo: um classificador evolutivo consiste de uma população de elementos de classificação que competem para fazer a predição. Elementos “fracos” são descartados, enquanto os elementos mais “fortes” proliferam, produzindo variações de si mesmos. Esse paradigma possui uma analogia direta com a teoria da evolução de *Darwin*, na qual sobrevivem os mais bem adaptados ao ambiente, daí o nome “Computação Evolutiva”.
5. Baseado em Instâncias: Classificam exemplos nunca vistos por meio de exemplos similares conhecidos, ou seja, a idéia é assumir que o novo exemplo terá a mesma classe do exemplo similar. Esse tipo de aprendizado é denominado *lazy* (preguiçoso), pois precisa manter os exemplos na memória para classificar novos exemplos, saber quais exemplos (casos) de treinamento devem ser memorizados é muito importante. Ao contrário dos sistemas *lazy*, temos os sistemas *eager* (gulosos), que utilizam os exemplos para induzir um modelo, descartando os exemplos logo em seguida. Técnicas mais conhecidas: *Nearest Neighbours* e Raciocínio Baseado em Casos (RBC).

Nesta dissertação foram utilizados os paradigmas: baseado em instâncias e connexionista, representados pelas técnicas *k-Nearest Neighbors* – kNN (k-vizinhos mais próximos) (WITTEN AND FRANK, 2005; DUDA *et al.*, 2001) e de Redes Neurais Artificiais – RNA (AMO, 2006; HAYKIN, 1999; QUINLAN, 1996), respectivamente, devido as características dos dados abordados e da finalidade do que se queria descobrir. Sendo assim, essas técnicas foram as que mais se adequaram ao objetivo previsto e foram descritas a seguir nos itens: “O Classificador com o kNN” e “O Classificador com a RNA”.

6.4.1.5. Interpretação e avaliação

Esta é mais uma fase que deve ser feita em conjunto com um ou mais especialistas no assunto. O conhecimento adquirido através da técnica de *data mining* deve ser interpretado e avaliado para que o objetivo final seja alcançado. Caso o resultado não seja satisfatório, o que não é raro, o processo pode retornar a qualquer um dos estágios anteriores ou até mesmo ser recommçado, conforme pode ser observado na Figura 6.3. Duas das ações mais comuns caso o resultado não seja satisfatório são: modificar o conjunto de dados iniciais e/ou substituir o algoritmo de *data mining* (ou ao menos alterar suas configurações de entrada).

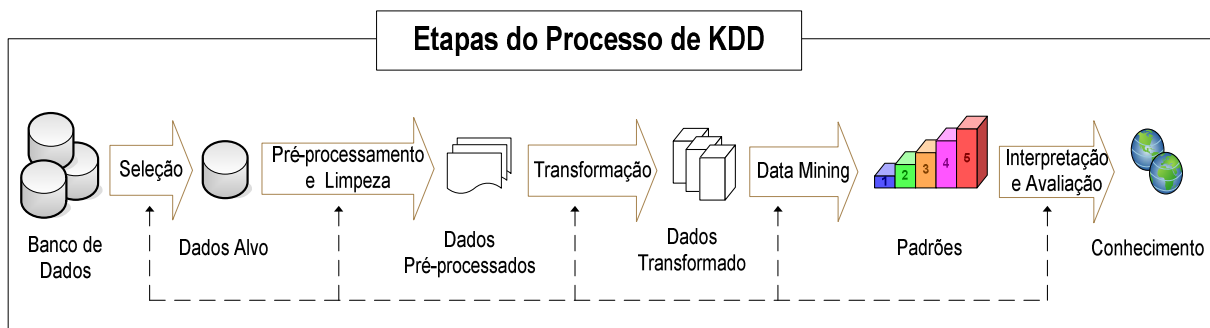


Figura 6.3 – As etapas do processo de KDD.

6.4.2. O Processo de Classificação

A classificação é o processo de encontrar um conjunto de modelos (funções) que descrevem e distinguem classes ou conceitos, com o propósito de utilizar o modelo para prever a classe de objetos que ainda não foram classificados. O modelo construído baseia-se na análise prévia de um conjunto de dados de amostragem ou dados de treinamento, contendo objetos corretamente classificados (Amo, 2006).

A classificação é um processo realizado em duas etapas, que são:

1. Etapa da criação do modelo de classificação: este modelo é constituído de regras que permitem classificar as tuplas (armazena valores (dados) sobre entidades) do banco de dados dentro de um número de classes pré-determinado. Este modelo é criado a partir de um banco de dados de treinamento cujos elementos são chamados de amostras ou exemplos.

2. Etapa da verificação do modelo ou etapa de classificação: as regras são testadas sobre outro banco de dados, completamente independente do banco de dados de treinamento, chamado de banco de dados de teste. A qualidade do modelo é medida em termos da porcentagem de tuplas do banco de dados de teste, que as regras do modelo conseguem classificar de forma satisfatória.

Para o software desenvolvido, utilizou-se para o treinamento os dados presentes no banco de dados de suportabilidade de equipamentos e para os dados de teste um arquivo com dados reais de VTCD's, capturados pelos equipamentos de monitoração instalados na rede elétrica. A intenção em preparar o modelo com os dados de treino diferente dos dados de teste foi para se ter certeza da veracidade do modelo, estabelecendo um menor erro possível para o modelo do classificador aplicado a base de teste.

6.4.3. Definição da Técnica de Mineração de Dados

Existem inúmeras técnicas de mineração de dados passíveis de serem aplicadas a diversos problemas em sistemas elétricos de potência, diante das várias possibilidades, foi necessário fazer um estudo para identificar qual a técnica que mais se adequava ao problema em análise.

Após inúmeros estudos, constatou-se que no banco de dados de suportabilidade de equipamentos existiam as conseqüências identificadas nos equipamentos quando submetidos a variações de tensão de curta duração, sendo que essas conseqüências foram agrupadas em duas classes, a saber:

1. O equipamento apresentar um comportamento irregular – UB (do inglês *Unsure Behavior*);
2. Não há dano no equipamento - NH (do inglês *Nothing Happen*).

De posse dessas observações principais, verificou-se que seria necessário identificar a relação existente entre as características de amplitude e duração dos distúrbios de VTCD's ocorridos no sistema elétrico com a curva de suportabilidade do equipamento, e assim corroborando a existência ou não de nexo-casualidade.

De posse da identificação da existência denexo de causalidade, de acordo com os dados coletados e armazenados nos bancos de dados, tanto em nível de simulação, quanto de monitoramento, a ferramenta gera um relatório de saída com o laudo do comportamento do equipamento em um dos dois estados possíveis: UB ou NH.

Após estudos e testes de tarefas e técnicas de mineração de dados aplicados na base de dados, observou-se que devido aos dados coletados e ao que se desejava obter como resultado satisfatório, as tarefas de classificação resolveriam o problema chegando aos resultados desejados.

Sendo assim, chegou-se ao denominador comum de que o módulo de análise nexo-causal corresponderia a um problema de classificação. Sendo que para este caso a tarefa de classificar consistia na busca de uma função (mapeamento) que permitisse associar cada padrão (isto é, o registro para o qual se desejava analisar a existência ou não de nexo-causal) a um rótulo categórico denominado de classe, que neste trabalho foi representado aos dois estados possíveis que a base de dados poderia assumir (UB ou NH).

Uma vez determinada em uma fase de treino, a função poderia ser aplicada, em uma fase de teste, a novos registros, de forma a prever as classes nas quais os novos padrões melhor se enquadrariam. Essa função poderia ser representada por um classificador como, por exemplo, *k-Nearest Neighbors*, as Redes Neurais Artificiais, Árvores de Decisão e outros. Neste trabalho, foi utilizado tanto o kNN como a RNA, um para cada necessidade particular.

O kNN utiliza os próprios dados de treinamento como modelo de classificação, isto é, para cada novo padrão que se quer classificar utilizam-se os dados do treinamento para verificar quais são os exemplos nessa base de dados que são “mais próximos” do padrão em análise. Isto justificou o uso do kNN como uma das técnicas de classificação, visto que havendo a necessidade de inserir novos registros na base de dados de suportabilidade de equipamentos não seria necessário estabelecer um novo treinamento para o classificador.

Já a RNA utiliza os dados de treinamento para construir, através de sucessivas iterações, um modelo de classificação o qual uma vez encontrado e testado estará pronto para testar qualquer padrão novo. Sendo que, caso haja necessidade de modificar a base de suportabilidade de equipamentos, utilizado para formar o modelo da rede, será necessário refazer o treinamento para o classificador, podendo também refazer a topologia da rede e conseqüentemente o seu modelo de treinamento.

Apesar das diferenças encontradas nos dois classificadores, ambos podem ser utilizados no software, dependendo apenas da particularidade da base de dados. Entretanto, a RNA apresentou-se como uma técnica mais robusta que o kNN, apresentando um erro de apenas 1.8% no teste do modelo de classificação, enquanto que para a mesma base de dados, o kNN obteve um erro de 6%. Estes resultados estão descritos nas Tabelas 6.1 e 6.2.

Tabela 6.1 – Resultado dos modelos de treinamento dos classificadores.

Resultado dos modelos de treinos para os classificadores		
Modelo	Taxa de Acertos (%)	Taxa de Erros (%)
kNN	100.000	0.000
RNA	96.403	3.596

Tabela 6.2 - Resultado dos testes dos classificadores.

Resultado dos testes dos classificadores		
Modelo	Taxa de Acertos (%)	Taxa de Erros (%)
kNN	93.939	6.060
RNA	98.181	1.818

Na seção 6.5 foi realizada uma breve descrição do pacote WEKA juntamente com os dois classificadores: *k-Nearest Neighbors* e as Redes Neurais Artificiais, sendo que essa apresentação foi direcionada a descrever o modo de utilização dos classificadores no aplicativo WEKA e conseqüentemente na ferramenta proposta.

6.5. O Pacote WEKA

Existem vários métodos e ferramentas para utilizar o processo de descoberta de conhecimento em bases de dados que tratam de extensas bases de dados. Como um sistema elétrico de potência é de um modo geral um sistema complexo, composto por um número muito grande de variáveis a serem estudadas, demandando grandes bases de dados fazem com que as ferramentas e métodos específicos de descoberta de conhecimento em bases de dados sejam necessárias.

Sendo que das ferramentas com várias implementações dos algoritmos clássicos de mineração de dados, disponíveis no mercado, são pagas ou não possuem código-fonte aberto. Uma ferramenta de código-fonte aberto bastante utilizada é o pacote WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*). Esta ferramenta, desenvolvida

na Universidade de Waikato de Hamilton, Nova Zelândia, programa mais de vinte algoritmos diferentes de mineração de dados convencionais (Witten e Frank, 2005).

O WEKA está implementado na linguagem Java, que tem como principal característica ser portátil, desta forma pode rodar nas mais variadas plataformas e aproveitando os benefícios de uma linguagem orientada a objetos como modularidade, polimorfismo, encapsulamento, reutilização de código, dentre outros. Além disso, é um software de domínio público, encontra-se licenciado ao abrigo da General Public License – GPL, possuindo, portanto, liberdade de ser executado para qualquer propósito, podendo ser estudada suas funcionalidades, possibilitando adaptá-la as necessidades desejadas. Está disponível em <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>, e sua tela inicial pode ser visualizado na Figura 6.4.



Figura 6.4 – Tela de entrada do Weka.

Esta ferramenta é organizada em três módulos de operação, os quais estão descritos de forma sucinta a seguir:

1. Módulo *Simple Command Line Interface* – CLI: neste módulo a interação do usuário ocorre através de linha de comando;
2. Módulo “*Experimenter*”: neste módulo o usuário, por meio de interface gráfica, executa testes estatísticos em diferentes algoritmos simultaneamente a fim de avaliar os resultados obtidos;
3. Módulo “*Knowledge Flow*”: módulo que permite o desenvolvimento de projetos num ambiente gráfico (com layout intuitivo), além de permitir o

processamento de dados em batch ou incrementalmente, o que lhe confere a possibilidade de aplicação a conjuntos de dados de elevada dimensão. Permite, também, o processamento paralelo, em que cada fluxo de dados distinto é processado no seu thread.

4. Módulo “Explorer”: é neste módulo que executa a interface gráfica para execução das principais tarefas da mineração de dados suportadas pelo WEKA.

No módulo Explorer, se tem uma visão gráfica dos dados de entrada, é onde se podem executar facilmente diferentes filtros e algoritmos e realizar avaliações dos modelos. Devido a essas características, esse módulo foi utilizado para treinar e testar os dois modelos dos classificadores, além de realizar as comparações entre as duas técnicas. Porém, ao lidar com quantidades muito grandes de dados (o que geralmente é o caso na utilização de bancos de dados de sistemas de potência) e também para automatizar o processo, é melhor utilizar o WEKA diretamente no código fonte do programa desenvolvido. Desta forma, na implementação da ferramenta proposta foi utilizado o módulo de linha de comando *SimpleCLI*, tendo como função principal uma espécie de biblioteca de algoritmos de aprendizado de máquina do software desenvolvido.

6.4.1. Usando o Aplicativo WEKA

Para executar a ferramenta foi necessário, inicialmente, converter os dados para um formato padrão denominado de *Attribute-Relation File Format - ARFF*, que é o formado por um arquivo de texto puro esperado pelos componentes do software WEKA. Sendo que um arquivo no formato “.ARFF” é um arquivo de texto puro, formado por três partes, a saber:

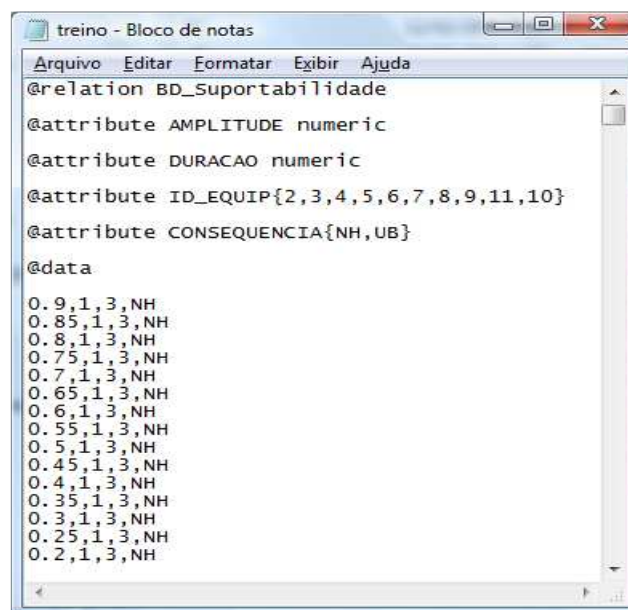
1. Relação: indicada pelo marcador *@relation*, que fica na primeira linha do arquivo identificando o nome da relação ou tipo da tarefa sendo estudada;
 2. Atributos: contém uma lista de todos os atributos, onde cada linha inicia com o marcador *@attribute* seguida do nome do atributo e tipo, que pode ser nominal (neste caso as alternativas devem aparecer como uma lista separada por vírgulas e cercada por chaves) ou numérico (neste caso o nome deve ser
-

seguido da palavra-chave real). Geralmente, em uma tarefa de classificação supervisionada (onde conhecemos as classes das instâncias usadas para treinamento) o último atributo é a classe para as instâncias.

3. Dados: localizado logo após a linha contendo o marcador *@data*, contendo as instâncias, ou seja, os dados a serem minerados com os registros para cada instância. Sendo que cada linha deve corresponder a uma instância e devem conter valores separados por vírgula correspondentes (e na mesma ordem) aos atributos da seção “*Atributos*”. Na ausência de um item em um registro, nessa posição deve ser atribuído pelo símbolo “?”

Também é possível inserir no arquivo, linhas de comentários, identificadas pelo sinal de porcentagem (%) no início da linha, sendo que estas não serão processadas.

A Figura 6.5 ilustra um trecho do arquivo no formato “*ARFF*” com os dados de suportabilidade de equipamentos.



```
treino - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
@relation BD_Suportabilidade
@attribute AMPLITUDE numeric
@attribute DURACAO numeric
@attribute ID_EQUIP{2,3,4,5,6,7,8,9,11,10}
@attribute CONSEQUENCIA{NH,UB}
@data
0.9,1,3,NH
0.85,1,3,NH
0.8,1,3,NH
0.75,1,3,NH
0.7,1,3,NH
0.65,1,3,NH
0.6,1,3,NH
0.55,1,3,NH
0.5,1,3,NH
0.45,1,3,NH
0.4,1,3,NH
0.35,1,3,NH
0.3,1,3,NH
0.25,1,3,NH
0.2,1,3,NH
```

Figura 6.5 – Trecho de um Arquivo ARFF com a BD de Suportabilidade.

Neste arquivo, os atributos numéricos são as características de amplitude e duração do evento, enquanto que os atributos “ID_EQUIP” e “ID_EVENTO” são atributos nominais. O atributo “CONSEQUENCIA” representa a classe que o algoritmo de aprendizagem de máquina deve prever. A partir de “@data” estão descritos os dados

de suportabilidade de equipamentos, que foram utilizados nas técnicas de mineração de dados como dados de treino dos classificadores.

6.4.2. O Classificador com o KNN

O kNN (*k - Nearest Neighbor*) (Fix e Hodges, 1951; Cover e Hart, 1967; Aha e Kibler, 1991) é o método mais básico dentre os algoritmos baseados em instâncias. Ele assume que todas as instâncias correspondem a pontos em um espaço n-dimensional. Na versão mais comum de kNN, para classificar uma nova instância x , o algoritmo atribui a x a classe mais freqüente entre as k instâncias de treinamento mais próximas, ou seja, que tenham menor distância a x . A vizinhança de uma instância é definida em termos de uma função de distância ou de uma função de similaridade.

Sendo essa distância, entre dois padrões, calculada utilizando-se uma medida de similaridade tais como *Manhatan* (1), *Minkowski* (2) ou Euclidiana (3), sendo esta última é mais adotada pela comunidade científica, sendo, portanto, utilizada neste trabalho. Tais medidas são definidas respectivamente como:

$$d(Z, X) = \sum_{i=1}^k |z_i - x_i| \quad (1)$$

$$d(Z, X) = \left(\sum_{i=1}^k |z_i - x_i|^q \right)^{1/q}, \text{ onde } q \in N \quad (2)$$

$$d(Z, X) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (z_i - x_i)^2} \quad (3)$$

Para ilustrar, tem-se um exemplo simples de como funciona a classificação feita pelo algoritmo kNN (ver Figura 6.6). Neste exemplo um novo padrão “★” é apresentado ao kNN e este deve rotular o padrão de acordo com uma das três possíveis classes: “1”, “2” ou “3”. Dependendo do número de k-vizinhos, o novo padrão “★” será classificado.

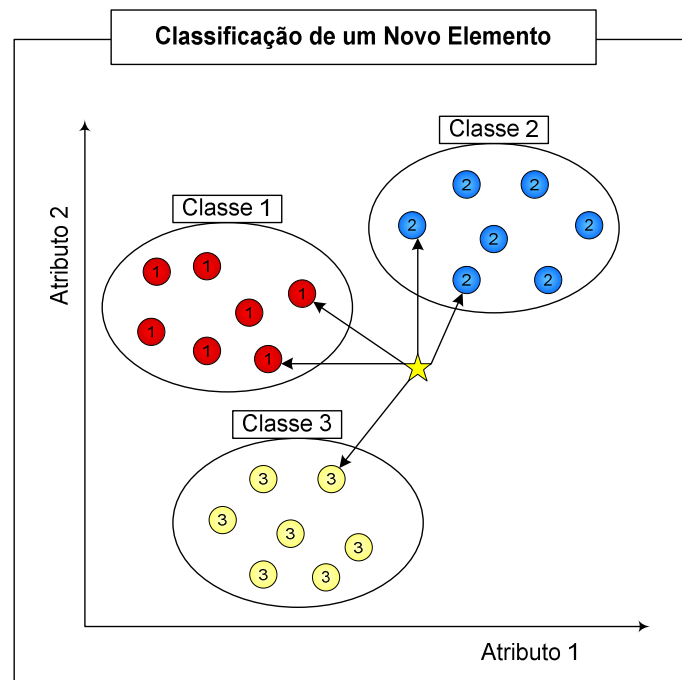


Figura 6.6 – Esquema de como é feita a classificação pelo algoritmo KNN.

O kNN no WEKA é implementado pela classe IBk sendo executado com o seguinte comando:

```
java -cp weka.jar weka.classifiers.lazy.IBk
```

Seus principais parâmetros são listados na Tabela 6.3:

Tabela 6.3.- Descrição dos principais parâmetros do KNN implementado no WEKA.

Parâmetro	Descrição
-K	Número de vizinhos mais próximos usado na classificação. O valor padrão é 1.
-t	Seta o arquivo de treino no processo de treinamento.
-T	Define o arquivo de teste no processo de avaliação de um novo padrão de entrada.
-c	Define o índice do atributo classe assumindo por padrão sempre o último atributo declarado no arquivo ARFF.
-d	Determina o arquivo onde ficará salvo o modelo do classificador. Este é usado quando se está treinando o classificador.
-l	Carrega o modelo do classificador para avaliar um novo padrão de entrada.
-P	Mostra os respectivos rótulos dos novos padrões apresentado ao classificador.

6.5.2.1. Executando o classificador com o KNN

Objetivando treinar e testar os classificadores foram selecionados quatro atributos na construção do arquivo “.ARFF”, são eles: “amplitude”, “duração”, “equipamentos” e “conseqüências”. Sendo que na fase do treino utilizou-se toda a base de dados de suportabilidade de equipamentos, que consistia de 10.400 exemplos. Já para o teste foi rotulado um arquivo de monitoramento de acordo com as curvas de suportabilidade do equipamento ar condicionado, contendo 330 instância.

Na construção do modelo com o kNN, para “k = 1” (normalmente utilizado quando a base de dados não é considerada tão grande), sempre se obtém 100% de acertos (ver Figura 6.7) já que são agrupamentos de classes para chegar a um modelo de treino. Já no teste do modelo obteve-se o menor erro igual a 6% (ver Figura 6.8). Sendo este o modelo utilizado na implementação do software desenvolvido.

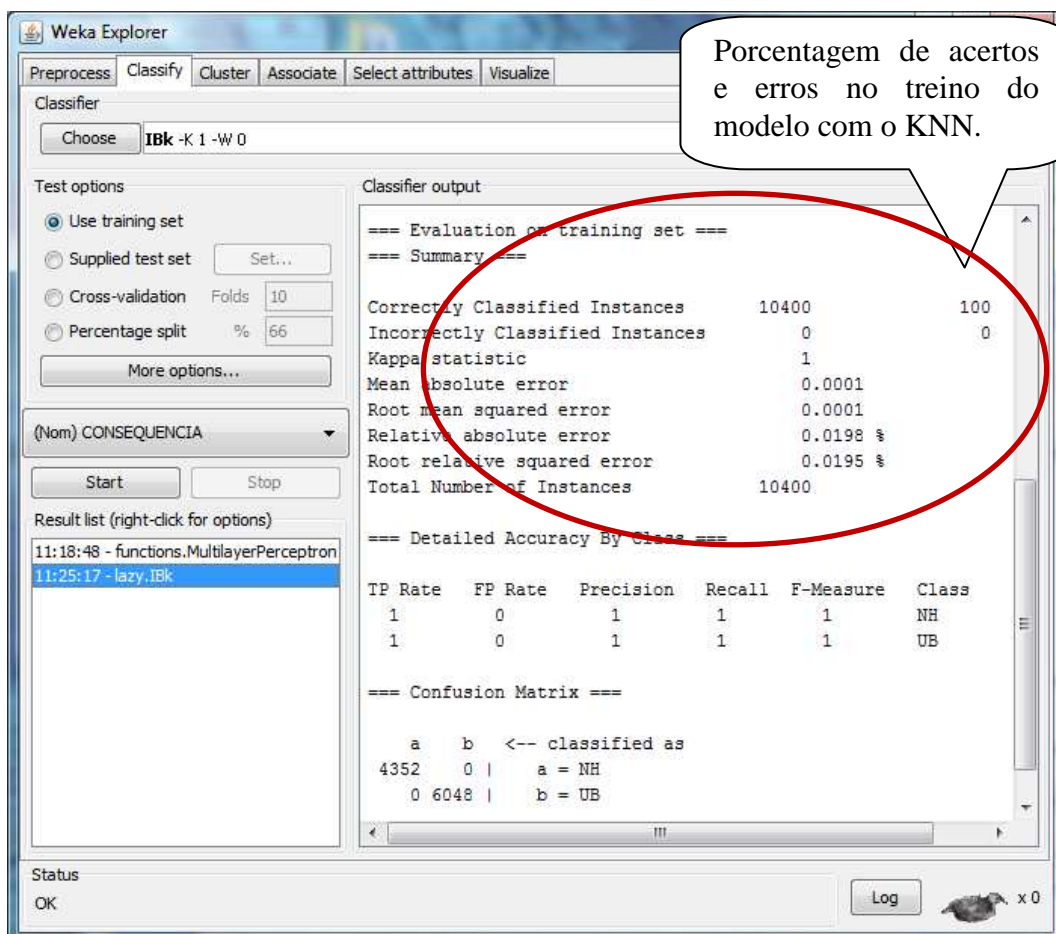


Figura 6.7 – Resultado do treino do modelo do classificador utilizando o KNN.

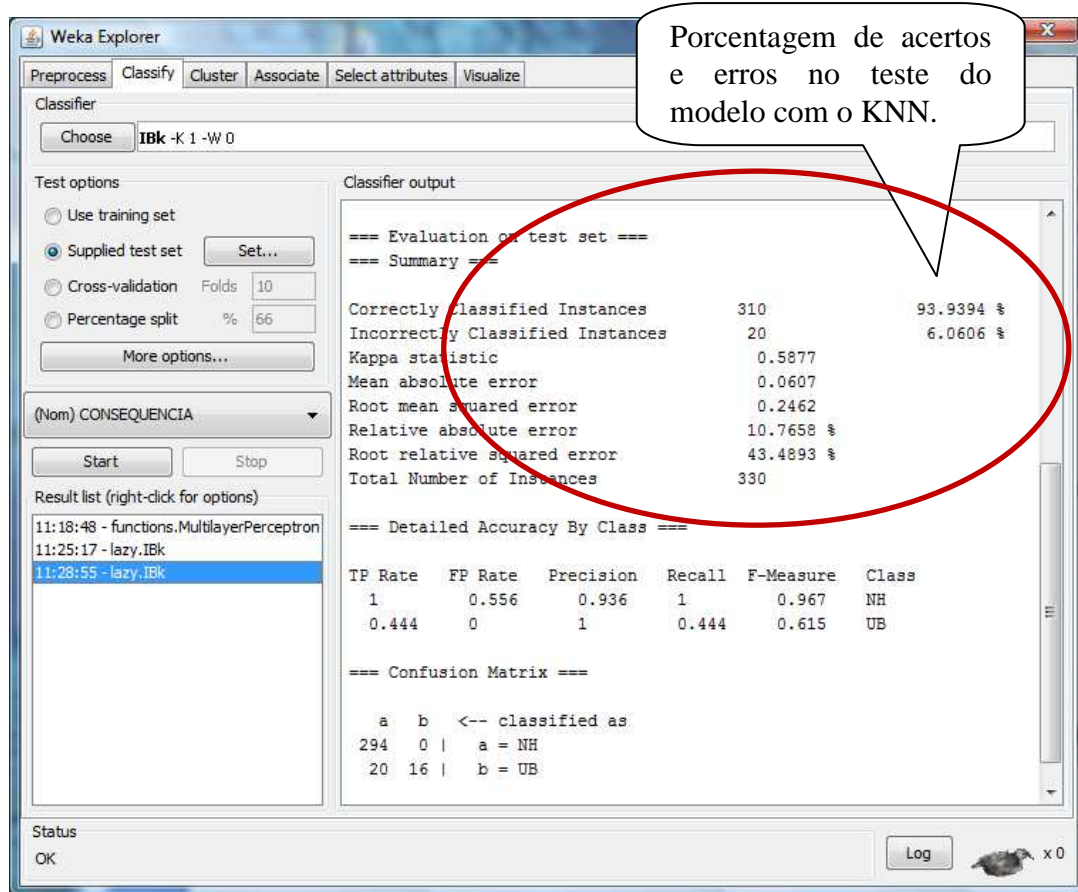


Figura 6.8 – Resultado do teste do modelo do classificador KNN.

A execução do WEKA, incorporado no programa desenvolvido, foi realizada através dos comandos descritos a seguir, dispostos na Figura 6.9 para o treino e Figura 6.10 para o teste. Sendo que há uma diferença entre os comandos de treino e os de testes apenas na linha três das duas figuras.

1. A linha indicada pelo número “1” descreve o caminho onde está localizado o pacote do WEKA;
2. Na linha “2” está descrito o nome da classe que implementa o classificador (weka.classifiers.lazy.IBk). Este nome inclui o nome dos pacotes e subpacotes onde as classes estão organizadas;
3. A opção “-t” (linha 3) indica o nome do arquivo utilizado como entrada (arquivo de treinamento) e “-d “ determina o arquivo onde ficará salvo o modelo do classificador (ver Figura 6.9);

4. O argumento “-T” indica o arquivo de teste na avaliação do modelo, “-I” carrega o modelo do classificador e “-p” serve para mostrar o resultado no formato de coluna (ver Figura 6.10).

```
1 cd C:\UFPA\DataMining java -cp weka.jar
2 weka.classifiers.lazy.IBk
3 -t treino.arff -d IB1.model
```

Figura 6.9 – Comandos para executar o treino do classificador com o KNN.

```
1 cd C:\UFPA\DataMining java -cp weka.jar
2 weka.classifiers.lazy.IB1
3 -T teste.arff -I IB1.model -p 0 > result.out
```

Figura 6.10 – Comandos para executar o teste do classificador com o KNN.

6.4.3. O Classificador com a RNA

As Redes Neurais Artificiais (RNA) são modelos matemáticos inspirados no cérebro humano, compostos por várias unidades de processamento (neurônios) e interligados por um grande número de conexões (sinapses). Estes modelos possuem várias propriedades particulares, destacando-se (Haykin, 1998):

1. Capacidade de se adaptar ou aprender;
2. Provê mecanismos de generalizar;
3. Capacidade de agrupar ou organizar dados.

Para simular em computador o modelo dos neurônios humanos é necessário criar um neurônio artificial definido como uma estrutura lógico-matemática que procura simular a forma, o comportamento e as funções de um neurônio biológico. Assim sendo, os dendritos foram substituídos por entradas, cujas ligações com o corpo celular artificial são realizadas através de elementos chamados de pesos, para assim poder simular as sinapses. Os estímulos captados pelas entradas são processados pela função de soma, e o limiar de disparo do neurônio biológico foi substituído pela função de ativação. Pode-se observar na Figura 6.11 uma representação simplificada do neurônio

biológico e na Figura 6.12 o modelo matemático do neurônio artificial, este modelo, chamado de *McCullochPitts*, foi criado em de 1943, pelo neurofisiologista *Warren McCulloch*, do MIT, e pelo matemático *Walter Pitts*, da Universidade de Illinois.

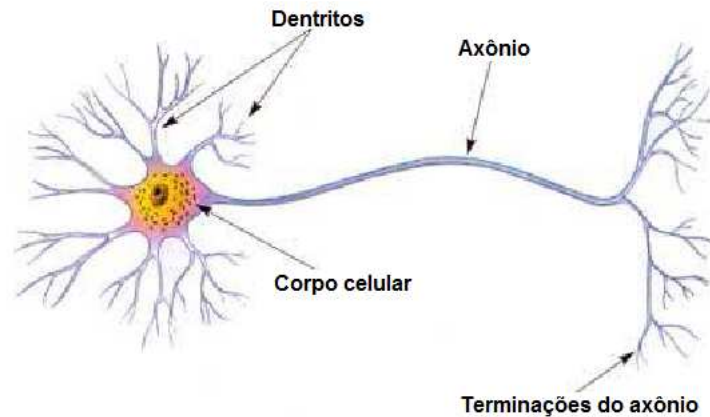


Figura 6.11 - O neurônio biológico. Fonte com modificações: (Neves, 2008).

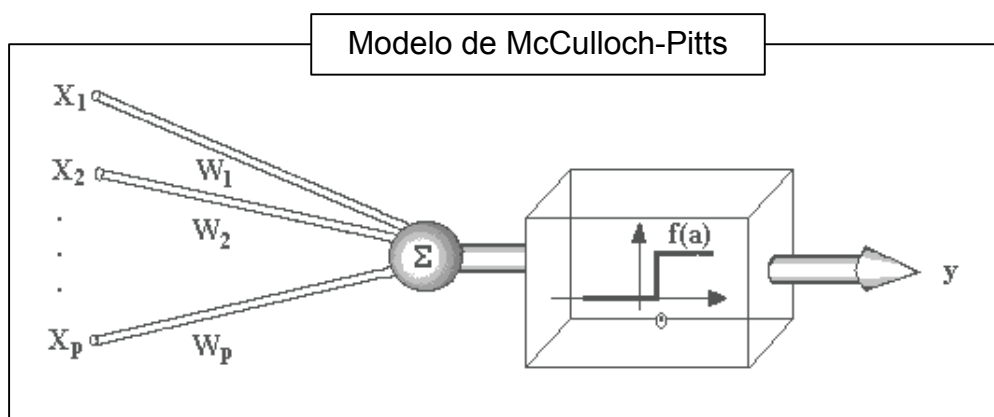


Figura 6.12 - Modelo de McCulloch-Pitts. Fonte: (Fonseca *et al.*, 2008).

Existem vários tipos de arquitetura de RNAs, sendo a mais utilizada à rede Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP – *MultiLayer Perceptron*). Este tipo de RNA tem sido aplicado com sucesso para resolver várias classes de problemas, por intermédio de seu treinamento (aprendizado) de modo supervisionado.

As redes MLPs são redes constituídas tipicamente de uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias e uma camada de saída, conforme é ilustrado na Figura 6.13.

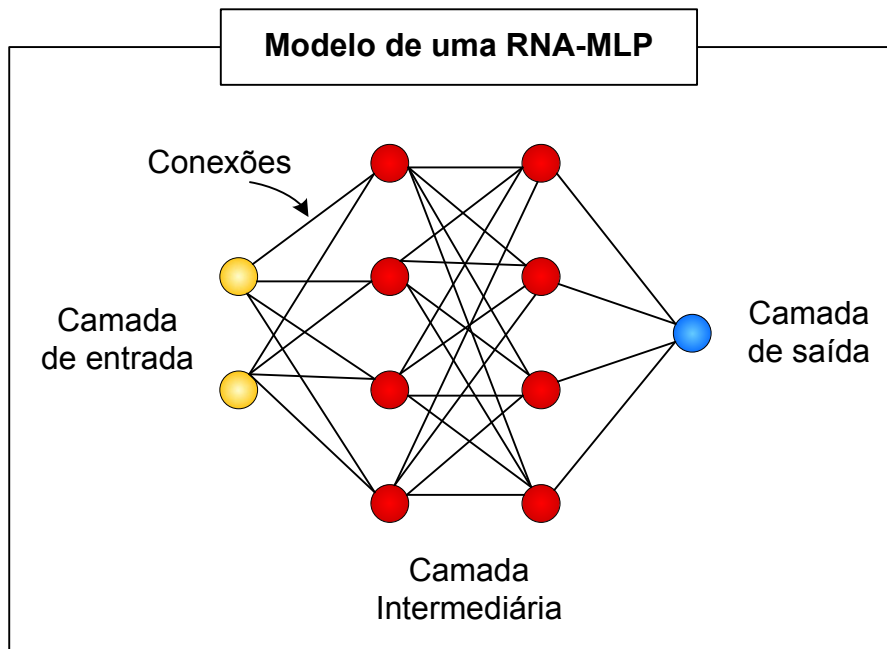


Figura 6.13 - Modelo gráfico de uma rede MLP.

As redes MLP geralmente utilizam a função de ativação sigmóide, representada pela equação (4).

$$\epsilon_{y_j} = \frac{1}{1 + \exp(-v_j)} \quad (4)$$

Na qual v_j representa a soma ponderada de todas as entradas sinápticas do neurônio j e y_j é a saída do neurônio. Estas redes possuem uma grande variedade de algoritmos de aprendizado, geralmente supervisionados, com destaque para o algoritmo de retropropagação de erro (*error back-propagation*).

O aprendizado por retropropagação do erro procura treinar as redes MLP produzindo representações internas necessárias para os nós intermediários. Estas representações podem ser mostradas em um gráfico (Figura 6.14), no qual cada combinação de pesos representa um ponto nessa superfície de solução (gráfico). Os pontos mais baixos (menores erros) da superfície representam a solução.

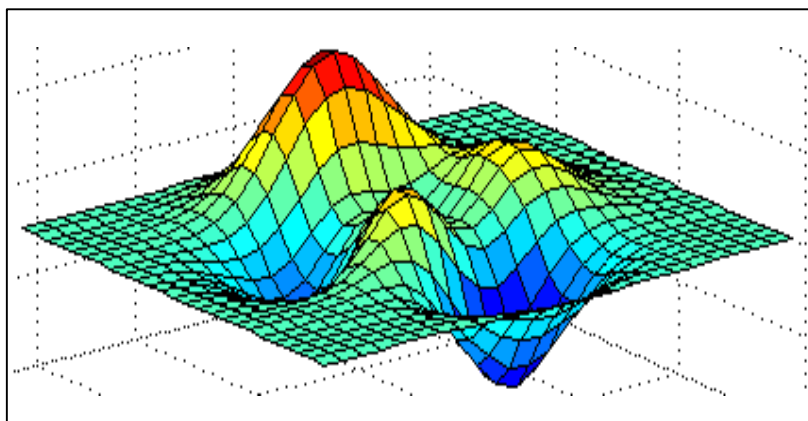


Figura 6.14 - Gráfico da combinação de pesos e respectiva taxa de erro.

Para se obter esses pontos mais baixos é utilizado geralmente um algoritmo conhecido como Gradiente Descendente, que se baseia no erro existente entre o resultado ideal e o resultado obtido. A relação entre o erro existente e os pesos é realizada de forma que o algoritmo calcula a direção do menor erro no espaço de pesos. Estas diferenças são repassadas para trás (*backpropagation*) na rede neural, atualizando para cada par entrada-saída desejada apresentado. Efetuando-se esse processo para o conjunto de dados várias vezes (ciclos), a expectativa é que esse erro diminua gradativamente.

Quanto ao modelo de rede neural utilizado nesta dissertação foi a MLP Perceptron Multi-Camadas, com algoritmo de treinamento *backpropagation*, disponível no WEKA.

Para a classificação dos modelos, foram simuladas diversas arquiteturas com diversos números de neurônios com uma, duas ou três camadas escondidas, variando sempre o número de épocas, sendo que já se sabia que a rede teria doze entradas, referentes aos dados de suportabilidade de equipamentos (ou seja: amplitude, duração e dez tipos de equipamentos) e duas saídas, referentes aos dois estados que os equipamentos poderiam apresentar. Desta forma, foram realizadas várias simulações objetivando encontrar uma arquitetura que maximizasse o percentual de acerto no conjunto de teste, variando apenas a camada escondida. A melhor configuração foi uma rede com duas camadas escondidas, cada uma com cinco neurônios e função de ativação sigmóide.

O treinamento é feito pelo ajuste dos pesos ao final de cada época, e o algoritmo de treinamento é o de retropropagação do erro. A Figura 6.15 representa a arquitetura da rede neural utilizada neste trabalho.

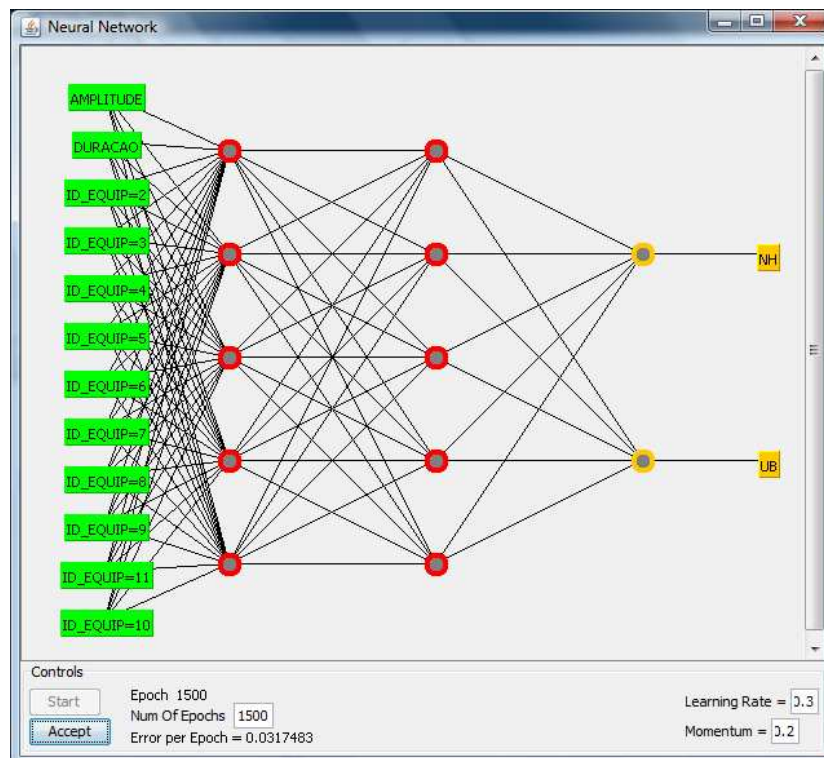


Figura 6.15 – Arquitetura da RNA utilizado no modelo do classificador no WEKA.

6.4.3.1. Executado o classificador com a RNA

Para utilizar a RNA para treinar o modelo do classificador foram utilizados os arquivos “.ARFF” (com as mesmas bases de dados) construído para criar e testar o modelo do kNN. A RNA apresentou erro de 3.6% (ver Figura 6.16) no treinamento do modelo da rede e apenas 1.8% (ver Figura 6.17) no teste deste modelo.

Os comandos necessários para executar, através de linha de comando, o classificador utilizando a RNA estão dispostos na Figura 6.18 para o treinamento e Figura 6.18 para o teste.

1. A primeira linha (linha 1) indica o caminho do pacote WEKA;
2. A segunda linha (linha 2) descreve o nome (nome dos pacotes e subpacotes onde as classes estão organizadas) da classe que implementa o classificador (weka.classifiers.functions.MultiLayerPerceptron);
3. A terceira linha indica além dos argumentos já descritos para o KNN, os parâmetros da RNA (ver Figura 6.18).

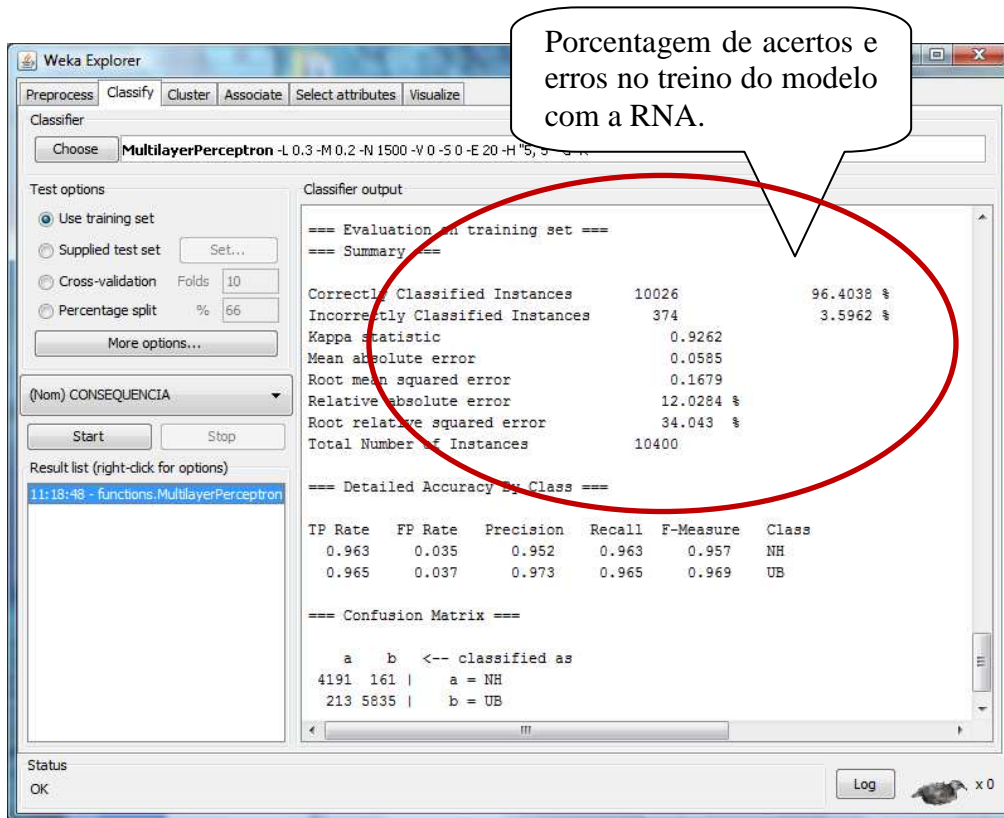


Figura 6.16 – Resultado do treino do modelo do classificador utilizando a RNA.

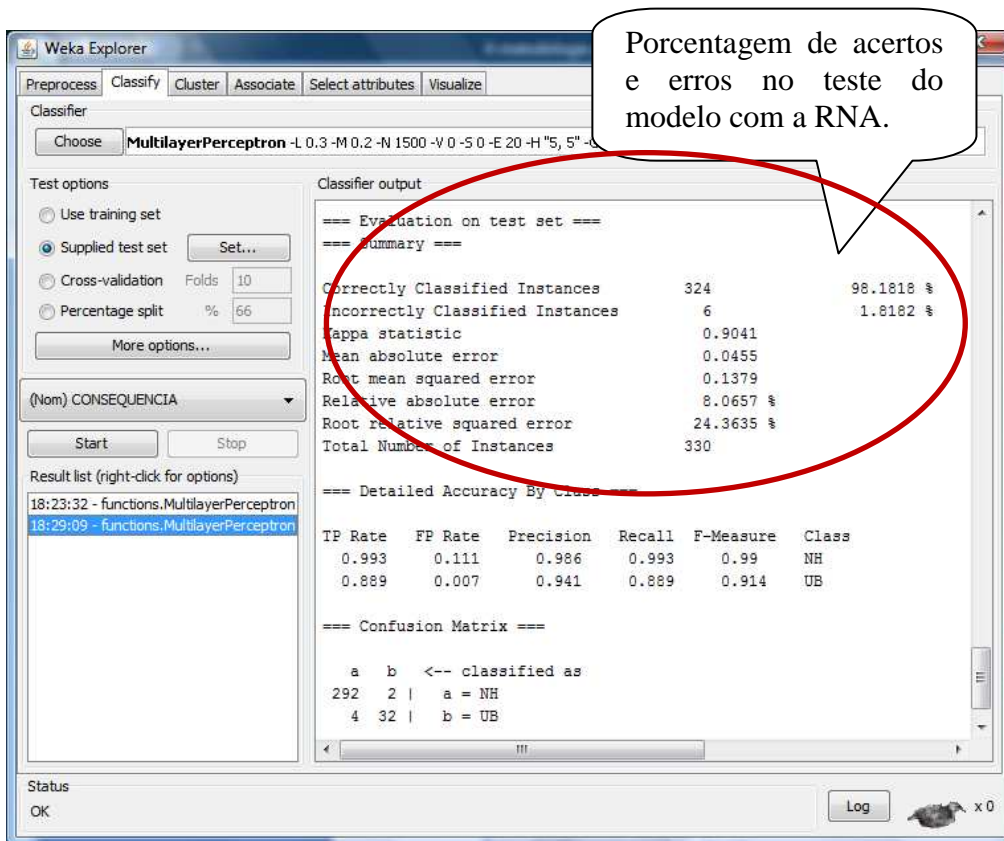


Figura 6.17 – Resultado do teste do modelo do classificador RNA.

```
1 cd C:\UFPA\DataMining java -cp weka.jar
2 weka.classifiers.functions.MultiLayerPerceptron
3 -t treino.arff -L0.3 -M0.2 -N1500 -V0 -S0 -E20 -H"5,5" -G -R -d RNA.model
```

Figura 6.18 – Comandos para executar o treino do classificador com a RNA.

```
1 cd C:\UFPA\DataMining java -cp weka.jar
2 weka.classifiers.functions.MultiLayerPerceptron
3 -T test.arff -I RNA.model -p 0 > result.out
```

Figura 6.19 – Comandos para executar o teste do classificador com a RNA.

6.5. Conclusão

Neste capítulo, foram descritos os aspectos computacionais para o desenvolvimento do software, descrevendo a metodologia proposta, a ferramenta WEKA executada através do aplicativo, e as técnicas de mineração de dados utilizadas no módulo nexó-causal.

Sendo que, entre os dois classificadores do pacote WEKA implementado no programa desenvolvido, a RNA apresentou um menor erro no modelo quando esta foi testada por uma base de dados reais de monitoramento da rede elétrica. Apesar disso, o kNN não deixa de ser considerado como uma técnica muito atraente para a aplicação, pois apresentou resultados bastante satisfatórios no teste do modelo, alcançando o objetivo desejado.

No próximo capítulo, será apresentada a utilização das técnicas de mineração de dados através de estudos de caso.

7 ESTUDO DE CASO DO SISTEMA PROPOSTO

7.1. Introdução

O estudo de caso tem o objetivo de aplicar a ferramenta proposta, verificar suas principais possibilidades de utilização, validando seus resultados através de simulações computacionais de situações de contingências que poderiam acontecer no sistema elétrico, visando demonstrar a eficiência dos dois classificadores quanto a sua aplicação, fazendo comparações entre os mesmos.

O sistema elétrico do Tramo Oeste foi o sistema utilizado para este estudo de caso, onde foram observados os distúrbios que pudessem afetar no mau funcionamento no equipamento do consumidor. Para isso utilizou-se os dados de monitoramento, na falta destes, utilizou-se os registros do banco de dados de simulações realizadas nos programas ATP e ANAFAS/ANAQUALI.

7.2. Análise de Nexo-Causal Utilizando os Classificadores

O sistema proposto, através das técnicas de classificação estabelece no relatório de saída as prováveis conseqüências que um determinado equipamento possa “sofrer” quando este é submetido a variações na tensão de curta duração. Para isso, o usuário do software, primeiramente, fornece um conjunto de dados de entrada (dados monitorados ou simulados) para realizar a análise de nexo-causal. Essa análise foi descrita nos tópicos a seguir com a utilização dos dois classificadores utilizados como técnica de KDD (kNN e RNA).

7.2.1. Dados de Entrada Utilizando Banco de Monitoramento

Para iniciar uma análise de nexo-causal com dados de monitoramento, o usuário do software, após abrir o programa e a interface de Análise de Nexo-Causal, deve selecionar os campos “Entrada de dados” presente na interface apresentada na Figura 7.1. Após esta seleção, com a ação de clicar no botão “consultar” será chamado o programa WEKA, em *background*, para executar o modelo do classificador selecionado (kNN ou RNA), juntamente com os dados do banco de dados selecionados inicialmente,

tendo como saída um relatório com o resultado da classificação. Também, nessa mesma tela, se verifica os distúrbios existentes no banco de dados no período indicado além de suas características de amplitude e duração, podendo serem exportados para um arquivo com extensão “.txt”.

Na análise com dados de monitoramento, inicialmente é necessário indicar o “período” em que provavelmente ocorreu um distúrbio danificando o equipamento do consumidor, depois o tipo de equipamento, para só depois.

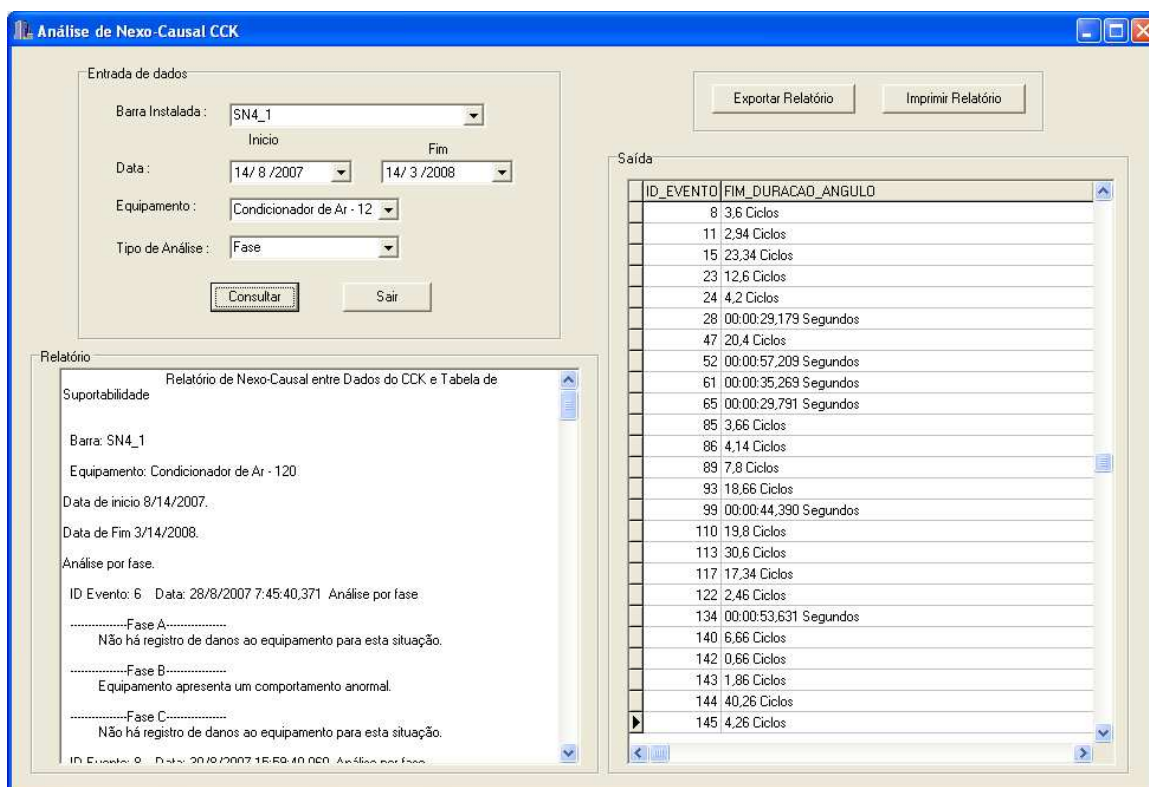


Figura 7.1 - Interface de análise de nexo-causal com dados monitorados.

Tabela 7.1 - Dados de entrada monitorados para análise de nexo-causal.

Campo	Descrição
Barra instalada	Local onde foi instalado o equipamento de monitoração. Ex. SN04.
Data	Período (início e fim) em que eventual possa ter ocorrido alguma falha na rede elétrica.
Equipamento	O tipo (marca/modelo) de equipamento para o qual o consumidor fez a reclamação.

Tabela 7.1 - Dados de entrada monitorados para análise denexo-causal. (continuação).

Campo	Descrição
Tipo de análise	<p>1) - Por fase: Mostra o relatório de nexo-causal para cada registro e para cada uma das três fases;</p> <p>2) - Por pior caso: Mostra o relatório com o pior caso por fase registrado pela análise para cada registro ou ainda entre todos os registros;</p> <p>3) -Por estatística: Mostra o relatório com as probabilidades de cada uma das possíveis conseqüências, descritas anteriormente, que o equipamento pode sofrer com um eventual evento.</p>

7.2.2. Dados de Entrada Utilizando Banco de Simulação

A análise nexo-causal com os dados de simulações computacionais, tanto para o ATP quanto para o ANAFAS/ANAQUALI, os campos de entrada (Tabela 7.2) possuem uma pequena diferença com relação aos campos “local de contingência” e “tipo de contingência”, que são:

1. ATP: com os registros de simulações originárias do programa ATP (Figura 7.3), o campo “tipo de contingência” inclui todos curtos circuitos (monofásico-terra, bifásico, bifásico-terra, trifásico e trifásico-terra) considerando em que fase ou entre que fases ocorreu o curto, ou seja, para os seguintes pontos (AT, BT, CT, AB, BC, CA, ABT, BCT, CAT ABC.e ABCT) nos casos de cargas leve, média e pesada. Enquanto que para a análise com ANAFAS apenas se considera o curto-circuito (monofásico-terra (FT), bifásico (FF), bifásico-terra (FFT) e trifásico (FFF)) sem especificar em que fases ou entre que fases ocorreu o curto
2. ANAFAS/ANAQUALI: no caso de utilizar os registros de simulações originária dos programas ANAFAS/ANAQUALI (ver Figura 7.2), o campo “local de contingência” deve ser especificado de forma a indicar os nós da linha, isto é, os pontos “De” para barra de origem e “Para” a barra de destino, caso a falta ocorra na própria barra o campo “Para” deve ser deixado em branco.

Tabela 7.2 - Dados de entrada de simulações computacionais (ANAFAS/ANAQUALI) para análise denexo-causal.

Campo	Descrição
Local da contingência	Local onde ocorreu a falta.
Barra de interesse	Barra em que está sendo observada (onde será realizada a análise).
Equipamento	O tipo de equipamento para o qual o consumidor fez a reclamação.
Tipo de contingência	O tipo do evento que eventualmente pode ter provocado dano ao equipamento do consumidor.
Tipo de Análise	<ol style="list-style-type: none"> - Por fase: Mostra o relatório denexo-causal para cada registro e para cada uma das três fases; - Por pior caso: Mostra o relatório com o pior caso por fase registrado pela análise para cada registro ou ainda entre todos os registros; - Por estatística: Mostra o relatório com as probabilidades de cada uma das possíveis conseqüências, descritas anteriormente, que o equipamento pode sofrer com um eventual evento.

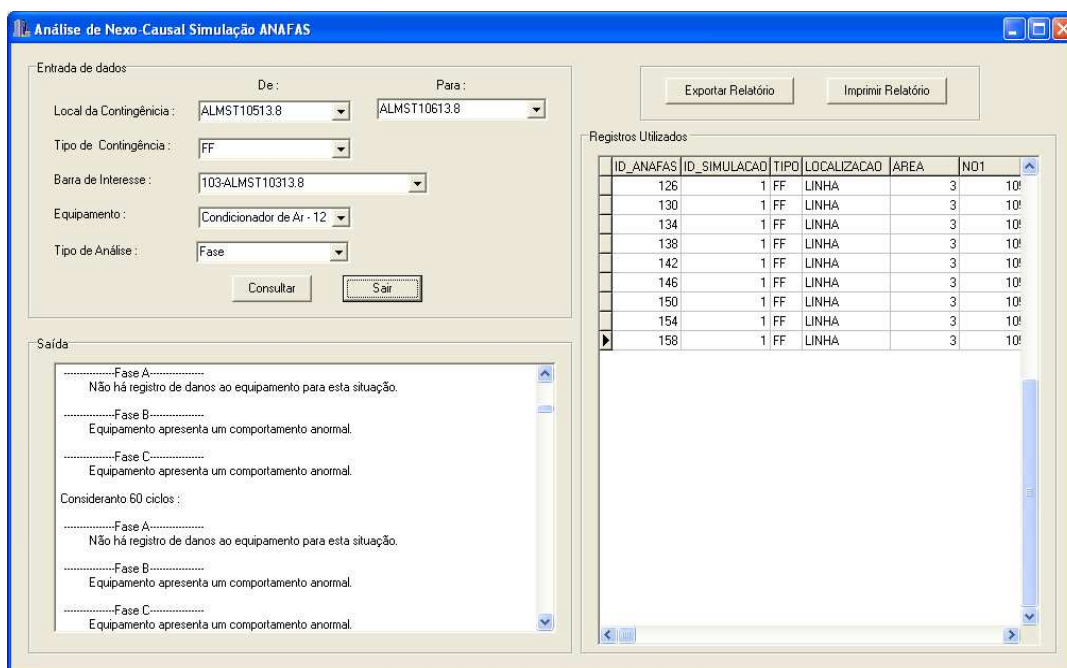


Figura 7.2 - Interface de análise de nexo-causal com dados de simulações computacionais com o ANAFAS/ANAQUALI.

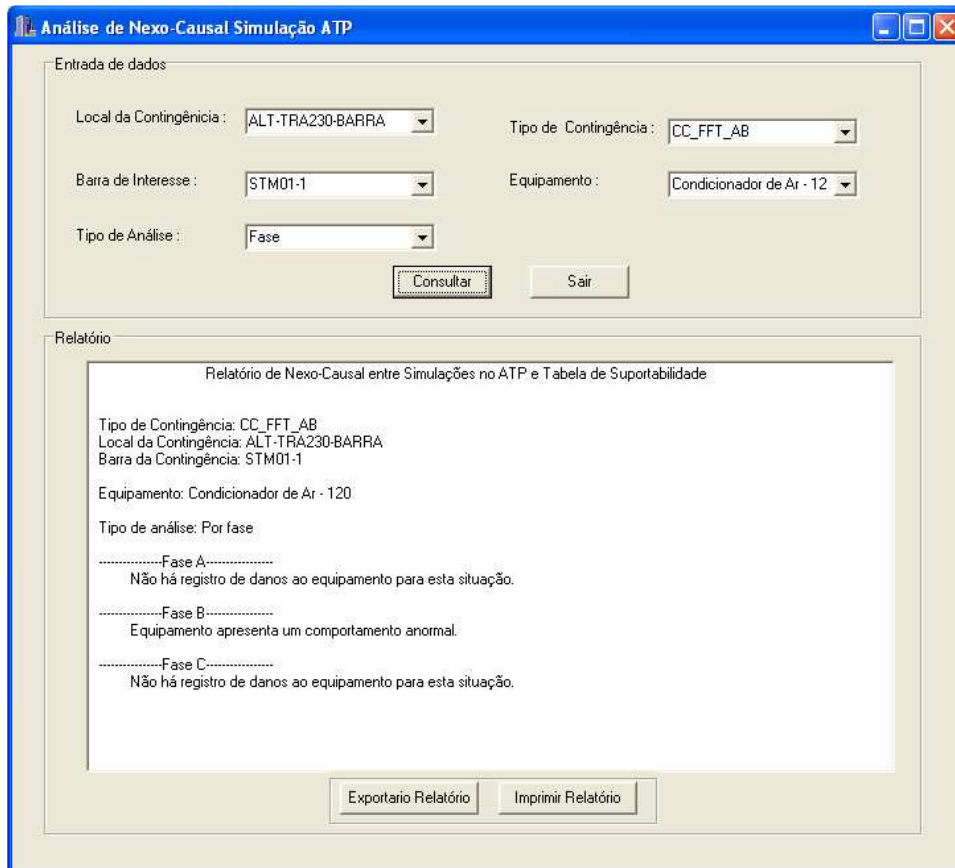
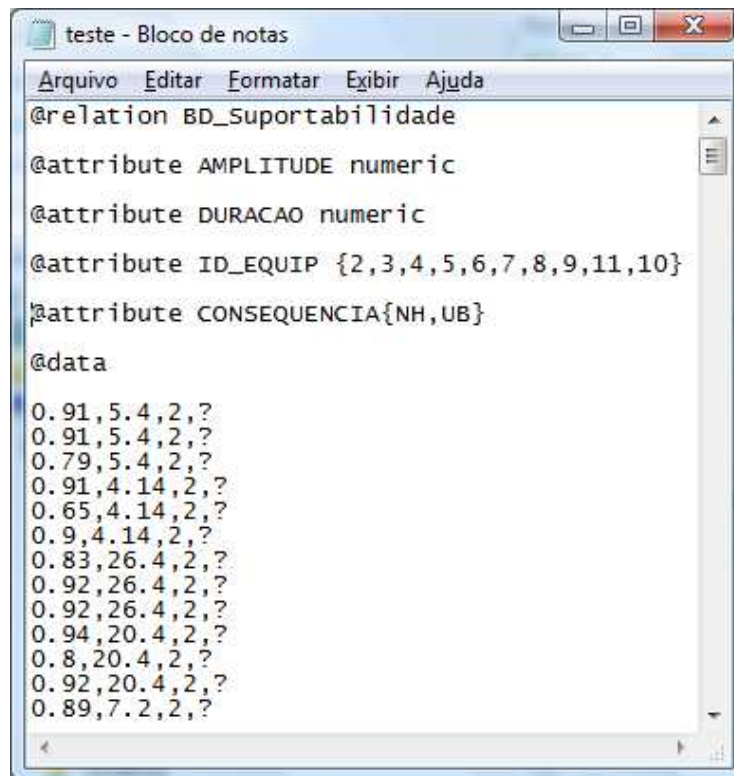


Figura 7.3 - Interface de análise de nexo-causal com dados de simulações computacionais com o ATP.

7.2.3. Detalhes da Execução dos Classificadores

Com os dados de entrada especificados, o sistema executa uma busca SQL nos bancos de dados, retornando ao operador todos os registros cadastrados para a situação especificada. Porém, somente os campos amplitude da tensão (em p.u.) das três fases e duração do evento são repassados ao classificador (kNN ou RNA) pelo sistema.

Com a seleção do tipo de equipamento e dos registros retornados pela consulta, o sistema gera um arquivo no formato “.ARFF”, com estes dados denominado de “teste.arff”. Um trecho deste arquivo é apresentado na Figura 7.4. Observando esse registro verifica-se que a partir do campo @data todas as linhas terminam com uma “tag” de marcação “?”. Isto significa que para essas linhas não se tem a informação sobre a qual classe ela pertence.



```
teste - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
@relation BD_Suportabilidade
@attribute AMPLITUDE numeric
@attribute DURACAO numeric
@attribute ID_EQUIP {2,3,4,5,6,7,8,9,11,10}
@attribute CONSEQUENCIA{NH,UB}

@data
0.91,5.4,2,?
0.91,5.4,2,?
0.79,5.4,2,?
0.91,4.14,2,?
0.65,4.14,2,?
0.9,4.14,2,?
0.83,26.4,2,?
0.92,26.4,2,?
0.92,26.4,2,?
0.94,20.4,2,?
0.8,20.4,2,?
0.92,20.4,2,?
0.89,7.2,2,?
```

Figura 7.4 - Trecho do arquivo de “teste.arff” para análise denexo-causal.

Com o arquivo “teste.arff” gerado, o sistema invoca através de linha de comando (Figura 7.5 para o kNN e Figura 7.6 para a RNA) o classificador do WEKA, passando como parâmetro este arquivo e o modelo do classificador escolhido, previamente gerado pelo software através do WEKA.



```
Selecionar Prompt de Comando
C:\UFPa\DataMining>java -cp weka.jar weka.classifiers.lazy.IBk -T teste.arff -l
IB1.model -p 0 1>result.out
```

Figura 7.5 - Linha de comando para classificar um novo registro utilizando o kNN.



```
Selecionar Prompt de Comando
C:\UFPa\DataMining>java -cp weka.jar weka.classifiers.functions.MultilayerPercep
tron -T teste.arff -l RNA.model -p 0 1>result.out
```

Figura 7.6 - Linha de comando para classificar um novo registro utilizando a RNA.

Com a inserção de novos registros de suportabilidade no banco de dados o software estará preparado para gerar automaticamente um novo modelo do classificador kNN, apenas executando a linha de comando apresentada na Figura 7.7. Já para refazer

o modelo da RNA será necessário fazer os ajustes em seus parâmetros através do comando da Figura 7.8.



```
C:\UFGA\DataMining>java -cp weka.jar weka.classifiers.lazy.IBk -t treino.arff -K 1 -d IBk.model
```

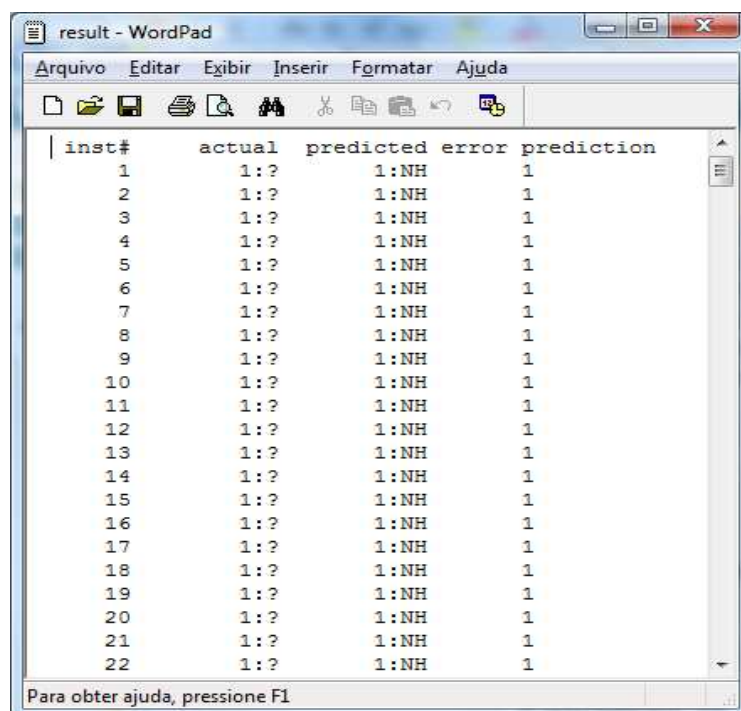
Figura 7.7 - Linha de comando para gerar um novo modelo do classificador kNN.



```
C:\UFGA\DataMining>java -cp weka.jar weka.classifiers.functions.MultilayerPerceptron -t treino.arff -L 0.3 -M 0.2 -N 1500 -U 0 -S 0 -E 20 -H '5,5' -R -d RNA.model
```

Figura 7.8 - Linha de comando para gerar um novo modelo do classificador RNA.

O modelo do classificador carregado, classifica (rotula) cada uma das instancias (linhas) presente no arquivo “teste.arff” e em seguida salva os resultados no arquivo “result.out”. Um trecho deste arquivo pode ser visualizado na Figura 7.9, onde as colunas “inst”, “predicted” e “prediction” indicam, respectivamente, o número da instancia (linha), classe encontrada (predita) e a probabilidade da instancia pertencer a classe apresentada na coluna “predicted”.



inst#	actual	predicted	error	prediction
1	1:?	1:NH	1	1
2	1:?	1:NH	1	1
3	1:?	1:NH	1	1
4	1:?	1:NH	1	1
5	1:?	1:NH	1	1
6	1:?	1:NH	1	1
7	1:?	1:NH	1	1
8	1:?	1:NH	1	1
9	1:?	1:NH	1	1
10	1:?	1:NH	1	1
11	1:?	1:NH	1	1
12	1:?	1:NH	1	1
13	1:?	1:NH	1	1
14	1:?	1:NH	1	1
15	1:?	1:NH	1	1
16	1:?	1:NH	1	1
17	1:?	1:NH	1	1
18	1:?	1:NH	1	1
19	1:?	1:NH	1	1
20	1:?	1:NH	1	1
21	1:?	1:NH	1	1
22	1:?	1:NH	1	1

Figura 7.9 - Trecho do arquivo de saída gerado pelo classificador (kNN ou RNA).

Como última etapa no processo de análise de nexo-causal utilizando os classificadores, o sistema interpreta o arquivo “*result.out*” retornando os resultados em forma de relatório (representados nas Figuras 7.1, 7.2 e 7.3) ao usuário do software. A Figura 7.10 apresenta um esquema completo do fluxo de informações no processo de análise de nexo-causal.

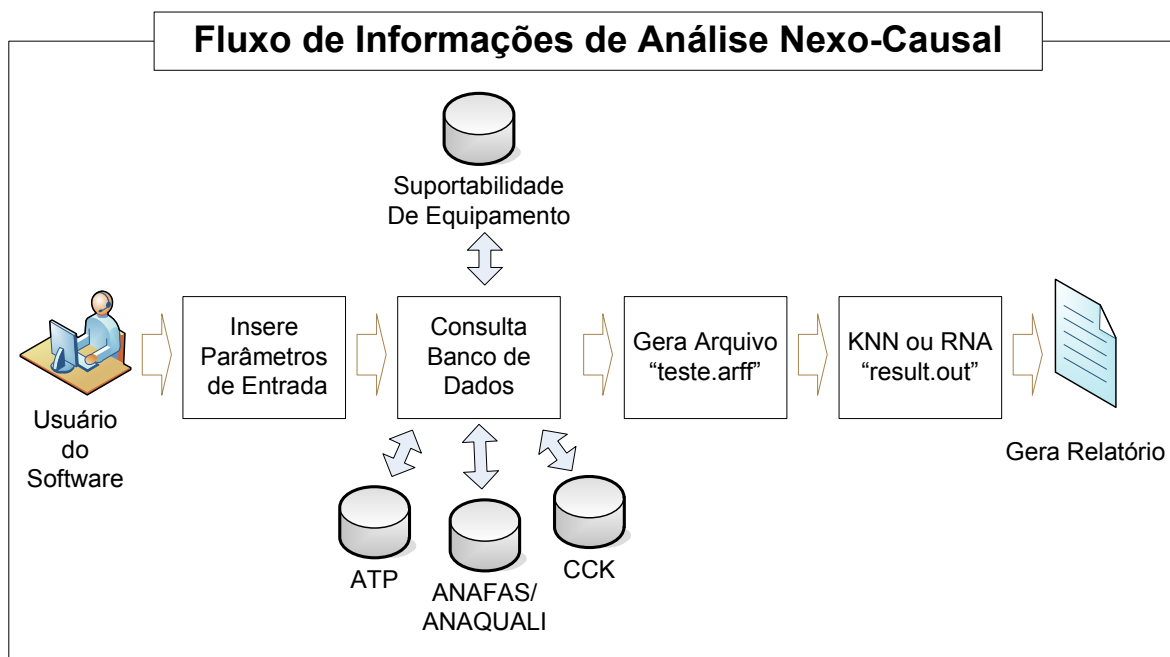


Figura 7.10 - Fluxo de informações no processo de análise de nexo-causal.

7.3. Estudo de Caso

Para teste e validação da ferramenta, foram realizadas várias simulações no programa, de situações de supostos pedidos de indenizações por danos em equipamento, envolvendo tanto os dados monitorados, como simulados, utilizando em ambas as características de suportabilidade dos equipamentos cadastrados no banco de dados.

Neste item, foram abordados esses testes, como estudo de caso, fazendo comparações entre os resultados de saída, aplicando as duas técnicas de classificação (kNN e RNA). Esses resultados foram expostos em tabelas, contendo a descrição da simulação, os distúrbios capturados pelo instrumento monitorador (ou em simulações computacionais) no período selecionado e o resultado da classificação de cada técnica após a análise nexo-causal.

Sendo que, para iniciar uma análise com dados de simulações computacionais, é necessário, inicialmente, identificar nos registros de ocorrências da empresa se há alguma contingência no sistema elétrico no período indicado, caso exista, identificar a localização da falta (curto circuito) no sistema elétrico, para só depois realizar o estudo através dos classificadores, considerando as mesmas condições de monitoramento do sistema.

A rede elétrica utilizada neste estudo de caso é o sistema elétrico do Tramo Oeste, abrangendo desde a distribuição até a subtransmissão.

7.3.1. Estudo de Caso com Dados de Monitoramento

O estudo de caso foi realizado com dados gerados pelos equipamentos instalados nos seguintes pontos: um no alimentador de Santarém – SN04 em 13.8 kV e outro na subestação de Tapajós em 138 kV. Esses dados pertencem ao monitoramento da rede elétrica no período que vai de 25/08/2007 a 17/10/2007, portanto dentro faixa de tempo necessária para realizar o estudo.

Na Figura 7.11 se verifica a frequência de ocorrência dos distúrbios para o período do estudo, além da aleatoriedade dos eventos. Também se verifica que no período próximo do dia 8 de outubro de 2007 ocorreu um número maior de distúrbios, o que justifica uma possibilidade de maior quantidade de reclamações para esses dias.

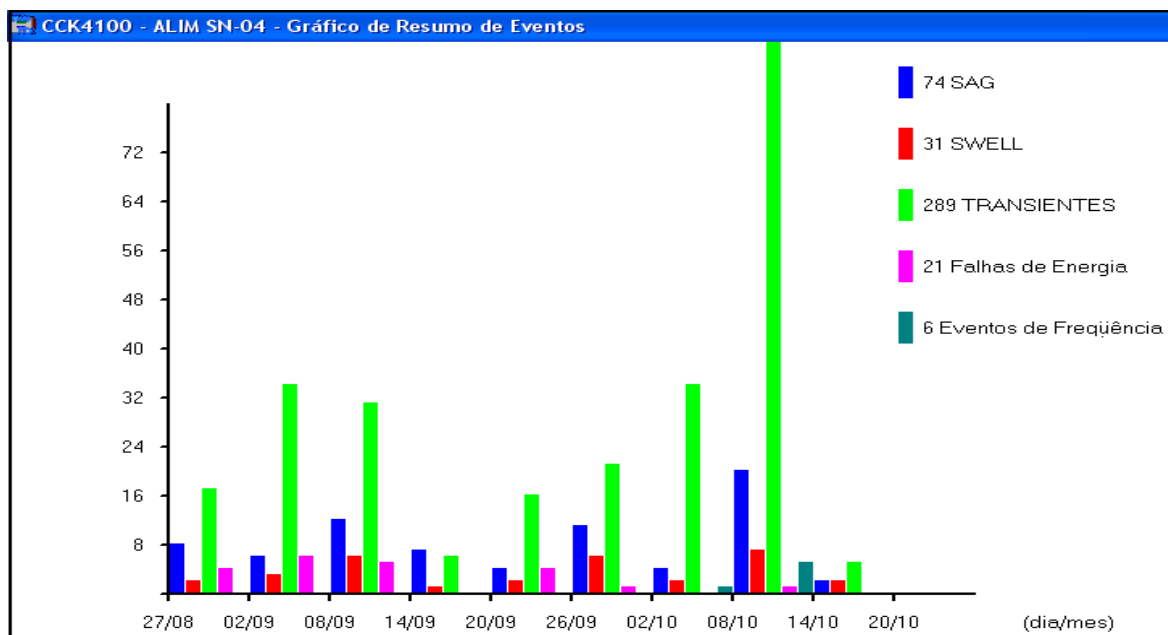


Figura 7.11 - Frequência de ocorrência dos distúrbios monitorados.

Objetivando ilustrar um dos distúrbios identificado no banco de dados, no período desejado, as Figuras 7.12 e 7.13 representam as formas de onda instantânea e RMS da tensão respectivamente, dispostas nas três fases monitoradas, para um afundamento de tensão ocorrido no dia 12/10/2007. Além da forma de onda, também estão armazenados no banco de dados outras características dos distúrbios, como: os valores remanescentes das variações de tensão, tanto para sub como para sobretensão; duração do evento, entre outros registros.

Observa-se nessas figuras (ver Figuras 7.12 e 7.13) que as fases B e C, respectivamente, foram as mais atingidas pelo distúrbio, ocorrido no dia 12/10/2007 às 12:24:39,821, sendo que as fases A, B e C afundaram até 7,41 kV (0,94 p.u), 5,68kV (0,71 p.u) e 5,45kV (0,68 p.u), respectivamente, com duração de 9,6 ciclos. Estes afundamentos, nas duas fases B e C, dependendo da frequência de ocorrência, poderiam ocasionar alguns tipos de danos em equipamentos do consumidor. Esses possíveis diagnósticos são identificados no software, como foi demonstrado nos tópicos a seguir.

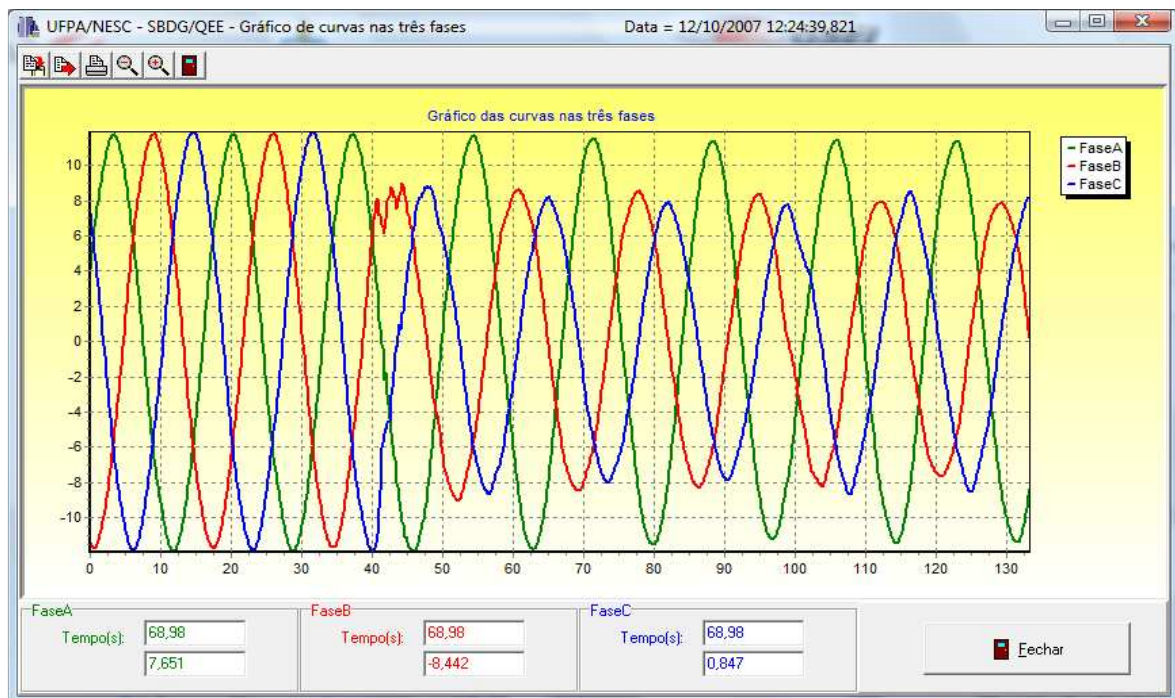


Figura 7.12 - Forma de onda instantânea em 13.8 kV.



Figura 7.13 - Forma de onda RMS em 13.8 kV.

Como estudo de caso foi realizado simulações no software de três períodos diferentes de supostas reclamações, ou seja, simulações representativas do que poderia acontecer com alguns equipamentos após serem afetados por variações de curta duração na sua tensão de alimentação, sendo cada simulação descrita nos itens 7.3.1.1 e 7.3.1.2.

7.3.1.1. Análise Nexo-Causal no período entre os dias 11/10/2007 a 13/10/2007

Parâmetros da primeira simulação de análise nexo-causal:

1. Local onde supostamente estariam instalados os equipamentos danificados: alimentador SN04 ligado a subestação de Santarém;
2. Equipamentos danificados: telefone sem fio e microondas;
3. Dia em que ocorreu o dano: 12/10/2007.

Os resultados das simulações foram representados nas Tabelas 7.3 e 7.4, onde observou-se os distúrbios que ocorreram no período indicado, com suas características de amplitude e duração e o que poderia acontecer com o equipamento (UB ou NH) através de cada um dos dois classificadores (kNN e RNA).

Observou-se na Tabela 7.3 que os dois classificadores corroboraram ao diagnosticar as conseqüências do que poderia ocorrer com o “telefone sem fio” quando

submetidos às variações na tensão selecionadas no banco de dados referentes ao período determinado pelo cliente. Desta forma entendeu-se que havia possibilidade do equipamento vir a apresentar comportamento anormal – UB, devido aos distúrbios: 627, 632, 637 e 641 caso estivesse instalado na fase B ou devido ao distúrbio 651 se estivesse instalado em qualquer das três fases (A, B e C).

Tabela 7.3 – Avaliação nexo-causal para o equipamento “telefone sem fio”.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados de Monitoramento											
Equipamento: Telefone sem fio			Período: 11/10/2007 a 13/10/2007			Barra Instalada: SN_04					
Código	Evento	Duração (ms)	Amplitude (p.u.)			KNN (NH ou UB)			RNA (NH ou UB)		
			Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
625	subtensão	69,01	0,79	1	0,82	NH	NH	NH	NH	NH	NH
628	sobretensão	390,08	1,39	0,93	1,07	NH	NH	NH	NH	NH	NH
627	subtensão	361,07	1,29	0,54	1,02	NH	UB	NH	NH	UB	NH
631	sobretensão	370,07	1,31	0,8	1,04	NH	NH	NH	NH	NH	NH
632	subtensão	381,08	1,24	0,52	0,98	NH	UB	NH	NH	UB	NH
635	sobretensão	371,07	1,33	0,79	1,02	NH	NH	NH	NH	NH	NH
637	subtensão	489,10	1,24	0,53	0,98	NH	UB	NH	NH	UB	NH
641	subtensão	380,08	1,23	0,54	1,01	NH	UB	NH	NH	UB	NH
639	sobretensão	369,07	1,37	0,79	1,05	NH	NH	NH	NH	NH	NH
645	subtensão	4310,00	0,79	0,78	0,79	NH	NH	NH	NH	NH	NH
646	subtensão	319,06	0,73	0,77	0,86	NH	NH	NH	NH	NH	NH
647	subtensão	6800,00	0,91	0,9	0,91	NH	NH	NH	NH	NH	NH
651	subtensão	0,02	0,55	0,54	0,55	UB	UB	UB	UB	UB	UB
652	subtensão	219,04	0,72	0,72	0,72	NH	NH	NH	NH	NH	NH
654	subtensão	71,01	1,04	0,84	0,95	NH	NH	NH	NH	NH	NH
657	subtensão	49,01	0,93	0,93	0,87	NH	NH	NH	NH	NH	NH
658	subtensão	50,01	0,89	0,88	0,88	NH	NH	NH	NH	NH	NH
660	sobretensão	151,03	1,28	0,91	1,03	NH	NH	NH	NH	NH	NH
661	subtensão	280,06	1,15	0,72	0,99	NH	NH	NH	NH	NH	NH
662	sobretensão	377,74	0,91	1,06	1,11	NH	NH	NH	NH	NH	NH
665	subtensão	160,03	0,92	0,68	0,68	NH	NH	NH	NH	NH	NH

Na Tabela 7.4 foi inserido o resultado considerando ainda a mesma análise nexo-causal, considerando agora o aparelho de “microondas”. Sendo que para este caso, os dois classificadores divergiram em classificar um distúrbio (652), ou seja, para este caso, o kNN classifica o equipamento apresentando comportamento anormal enquanto que a RNA classifica-o como normal. Entretanto, na maioria dos distúrbios os classificadores apresentaram resultados idênticos.

Também se observou na Tabela 7.4 que o aparelho de microondas é mais sensível aos distúrbios de VTCD's que o telefone sem fio, pois para a mesma situação de análise, os classificadores apresentaram mais três distúrbios afetando o equipamento

microondas além dos cinco já diagnosticados para o telefone sem fio (627, 632, 637 e 641), ou seja, há mais três possibilidades de o microondas apresentar comportamento anormal além das apresentadas para o telefone sem fio, são elas 652, 661 e 665, sendo que o distúrbio 652 foi classificado como UB apenas pelo KNN considerando todas as três fases.

Tabela 7.4 – Avaliação nexo-causal para o equipamento “microondas”.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados de Monitoramento											
Equipamento: Microondas			Período: 11/10/2007 a 13/10/2007			Barra Instalada: SN_04					
Código	Evento	Duração (ms)	Amplitude (p.u.)			KNN (NH ou UB)			RNA (NH ou UB)		
			Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
625	subtensão	69,01	0,79	1	0,82	NH	NH	NH	NH	NH	NH
628	sobretensão	390,08	1,39	0,93	1,07	NH	NH	NH	NH	NH	NH
627	subtensão	361,07	1,29	0,54	1,02	NH	UB	NH	NH	UB	NH
631	sobretensão	370,07	1,31	0,8	1,04	NH	NH	NH	NH	NH	NH
632	subtensão	381,08	1,24	0,52	0,98	NH	UB	NH	NH	UB	NH
635	sobretensão	371,07	1,33	0,79	1,02	NH	NH	NH	NH	NH	NH
637	subtensão	489,10	1,24	0,53	0,98	NH	UB	NH	NH	UB	NH
641	subtensão	380,08	1,23	0,54	1,01	NH	UB	NH	NH	UB	NH
639	sobretensão	369,07	1,37	0,79	1,05	NH	NH	NH	NH	NH	NH
645	subtensão	4310,00	0,79	0,78	0,79	NH	NH	NH	NH	NH	NH
646	subtensão	319,06	0,73	0,77	0,86	NH	NH	NH	NH	NH	NH
647	subtensão	6800,00	0,91	0,9	0,91	NH	NH	NH	NH	NH	NH
651	subtensão	0,02	0,55	0,54	0,55	UB	UB	UB	UB	UB	UB
652	subtensão	219,04	0,72	0,72	0,72	UB	UB	UB	NH	NH	NH
654	subtensão	71,01	1,04	0,84	0,95	NH	NH	NH	NH	NH	NH
657	subtensão	49,01	0,93	0,93	0,87	NH	NH	NH	NH	NH	NH
658	subtensão	50,01	0,89	0,88	0,88	NH	NH	NH	NH	NH	NH
660	sobretensão	151,03	1,28	0,91	1,03	NH	NH	NH	NH	NH	NH
661	subtensão	280,06	1,15	0,72	0,99	NH	UB	NH	NH	UB	NH
662	sobretensão	377,74	0,91	1,06	1,11	NH	NH	NH	NH	NH	NH
665	subtensão	160,03	0,92	0,68	0,68	NH	UB	UB	NH	UB	UB

7.3.1.2. Análise Nexo-Causal no período entre os dias: 07/10/2007 a 09/10/2007

Parâmetros da segunda simulação de análise nexo-causal:

1. Local onde supostamente estaria instalado o equipamento danificado:
alimentador SN04 ligado a subestação de Santarém;
2. Equipamento danificado: televisor;
3. Dia em que ocorreu o dano: 08/10/2007.

Para este caso (ver Tabela 7.5) foi encontrado no banco de dados apenas dois distúrbios no período selecionado, sendo que para esses dois distúrbios, os classificadores apresentaram os mesmos diagnósticos para o equipamento “televisor”, são eles: o televisor permanece sem defeito na presença do evento 539, mas apresenta alguma anormalidade para o evento 543.

Tabela 7.5 – Avaliação nexo-causal para o equipamento “televisor”.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados de Monitoramento											
Equipamento: Televisor			Período: 07/10/2007 a 09/10/2007			Barra Instalada: SN_04					
Código	Evento	Duração	Amplitude (p.u.)			KNN (NH ou UB)			RNA (NH ou UB)		
			Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
539	subtensão	18,6	1,02	0,88	0,78	NH	NH	NH	NH	NH	NH
543	subtensão	8,4	0,94	0,75	0,67	NH	NH	UB	NH	NH	UB

7.3.1.3. Análise Nexo-Causal no período entre os dias: 16/10/2007 a 18/10/2007

Parâmetros da terceira simulação de análise nexo-causal:

1. Local onde supostamente estaria instalado o equipamento danificado: subestação de Tapajós;
2. Equipamento danificado: microondas;
3. Dia em que ocorreu o dano: 17/10/2007.

Para esta situação (ver Tabela 7.6) os dois classificadores apresentaram o mesmo diagnóstico, ou seja, o equipamento “microondas” apresentou anormalidade devido, apenas, ao distúrbio (91), onde as três fases afundaram para um nível que afetou a curva de suportabilidade do equipamento.

Tabela 7.6 – Avaliação nexo-causal para o equipamento “microondas”.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados de Monitoramento											
Equipamento: Microondas			Período: 16/09/2007 a 18/09/2007			Barra Instalada: Tapajós					
Código	Evento		Amplitude (p.u.)			KNN (NH ou UB)			RNA (NH ou UB)		
			Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C	Fase A	Fase B	Fase C
91	subtensão	7,8 ciclos	0,69	0,71	0,7	UB	UB	UB	UB	UB	UB
92	subtensão	3 ciclos	0,89	0,89	0,96	NH	NH	NH	NH	NH	NH
93	subtensão	2,46 ciclos	0,94	0,89	0,89	NH	NH	NH	NH	NH	NH
94	subtensão	4,2 ciclos	0,93	0,89	0,89	NH	NH	NH	NH	NH	NH
95	subtensão	2,4 ciclos	0,95	0,92	0,89	NH	NH	NH	NH	NH	NH
97	subtensão	39,54 ciclos	0,74	0,89	0,91	NH	NH	NH	NH	NH	NH

7.3.2. Estudo de Caso com Dados de Simulação no ATP

Utilizando os dados gerados pelo programa ATP é necessário identificar onde ocorreu um curto circuito e verificar o comportamento do sistema elétrico em relação às tensões nas três fases, no local onde o equipamento do consumidor possivelmente estaria estalado (ou seja, em qual alimentador estaria fornecendo energia para determinado cliente) a fim de observar se os curtos circuitos ocorridos no sistema elétrico causariam algum prejuízo em algum equipamento.

Desta forma, foi simulado dois curtos circuitos no sistema elétrico do Tramo Oeste, que são: um curto-circuito na linha entre Tucuruí e Altamira, a 25% de distância da barra de Tucuruí (TUC-ALT (25)) e outro curto-circuito na linha entre Rurópolis e Tapajós, a 50% das distâncias das duas barras (RUR-TAP (50)). Sendo que, foi observado o comportamento do sistema elétrico, nos seguintes locais: o primeiro curto circuito em Tapajós, alimentador TP04, barra 12; e o segundo curto circuito em Santarém, alimentador SN06, barra 17. Como está representado na Figura 7.14 e nas Tabelas 7.7 e 7.8.

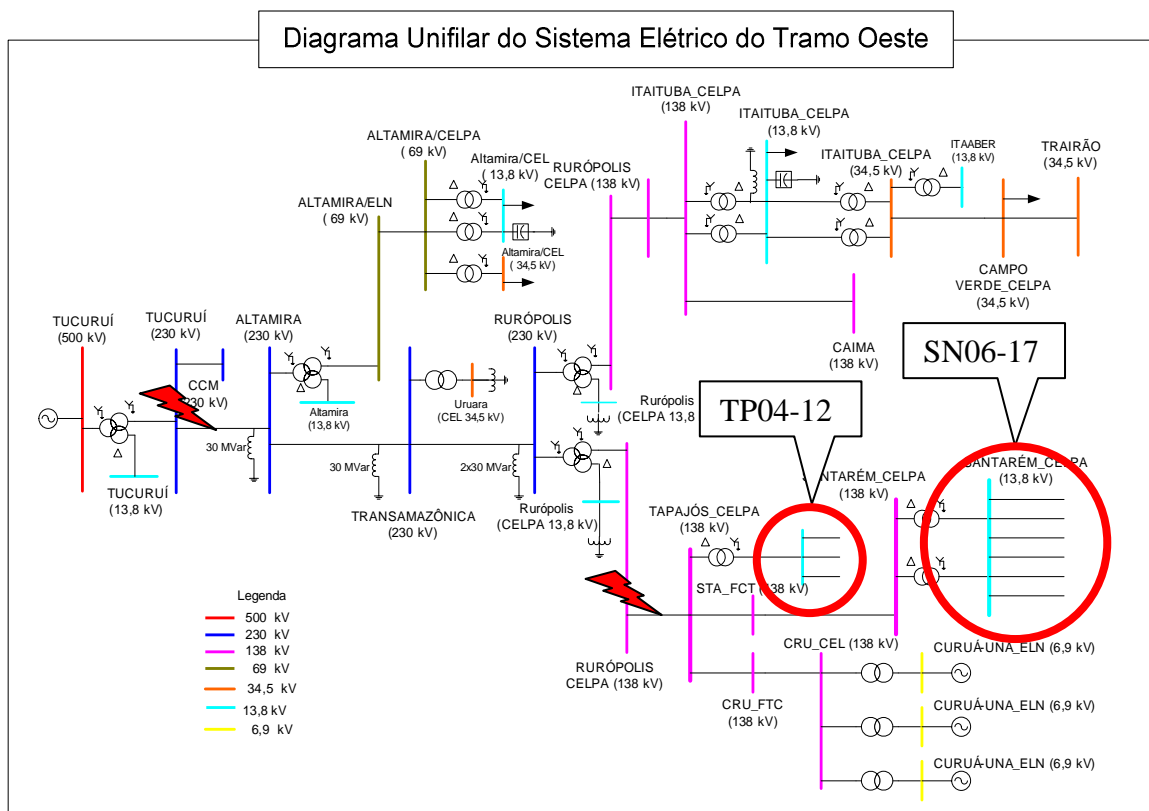


Figura 7.14 – Representação do local das faltas no sistema Tramo Oeste para a base de dados do programa ATP.

Nas Tabelas 7.7 e 7.8 foi inserido os diagnósticos dos classificadores, ou seja, o que poderia acontecer com alguns equipamentos, caso estes fossem submetidos a essa mesma situação de contingência.

7.3.2.1. Avaliando vários equipamentos danificados instalado em Santarém

Parâmetros da primeira simulação de análise nexa-causal:

1. Local da contingência: na linha entre Tucuruí e Altamira – (TUC - ALT (25));
2. Local onde supostamente estariam instalados os equipamentos danificados: Alimentador TP04, barra 412;
3. Tipo de curto circuito: FFFT;
4. Tipo de carga: Pesada.

Observa-se na Tabela 7.7, que os equipamentos: ar condicionado, microondas, aparelho de som, televisor e telefone sem fio, poderiam se comportar de maneira irregular caso estivessem submetidos a situação simulada, enquanto que os aparelhos: vídeo cassete, rádio relógio, microcomputador, geladeira e fax, estariam livres de defeitos. Esse diagnóstico foi evidenciado pelos dois classificadores.

Tabela 7.7 – Avaliação nexa-causal de vários aparelhos localizados no alimentador TP04-12 (Tapajós) com dados de simulações no ATP.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados do ATP				
Local da Falta: TUC - ALT (25)			Tipo: CC_FFFT (Pesada)	
Barra de Interesse: TP_04-12				
Equipamento	KNN		RNA	
	NH ou UB	Fase	NH ou UB	Fase
Ar Condicionado	UB	A, B e C	UB	A, B e C
Microondas	UB	A, B e C	UB	A, B e C
Aparelho de Som	UB	A, B e C	UB	A, B e C
Vídeo Cassete	NH	-	NH	-
Televisor	UB	A, B e C	UB	A, B e C
Rádio Relógio	NH	-	NH	-
Microcomputador	NH	-	NH	-
Geladeira	NH	-	NH	-
Fax	NH	-	NH	-
Telefone sem Fio	UB	A, B e C	UB	A, B e C

7.3.2.2. Avaliando vários equipamentos danificados instalado em Tapajós

Parâmetros da segunda simulação de análisenexo-causal:

1. Local da contingência: na linha entre Rurópoles e Tapajós – (RUR - TAP (50));
2. Local onde supostamente estariam instalados os equipamentos danificados: Alimentador STM01, barra 17;
3. Tipo de curto circuito: FFFT;
4. Tipo de carga: Leve.

Na Tabela 7.8 verificou-se o resultado dos classificadores para essa nova simulação, sendo que o laudo obtido não diferenciou da simulação anterior, ou seja, os mesmos equipamentos estarão sujeitos a problemas em seu funcionamento caso estivessem na mesma condição de falta. Entretanto, o classificador que utilizou a RNA divergiu do KNN no equipamento vídeo cassete, pois este aparelho não seria afetado pelo curto circuito de acordo com o diagnóstico da rede neural.

Tabela 7.8 – Avaliação nexo-causal de vários aparelhos localizados no alimentador STM_01 (Santarém) com dados de simulações no ATP.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados do ATP				
Local da Falta: RUR - TAP (50)			Tipo: CC_FFFT (Leve)	
Barra de Interesse: STM_01				
Equipamento	KNN		RNA	
	NH ou UB	Fase	NH ou UB	Fase
Ar Condicionado	UB	A, B e C	UB	A, B e C
Microondas	UB	A, B e C	UB	A, B e C
Aparelho de Som	UB	A, B e C	UB	A, B e C
Vídeo Cassete	UB	A, B e C	NH	-
Televisor	UB	A, B e C	UB	A, B e C
Rádio Relógio	NH	-	NH	-
Microcomputador	NH	-	NH	-
Geladeira	NH	-	NH	-
Fax	NH	-	NH	-
Telefone sem Fio	UB	A, B e C	UB	A, B e C

7.3.3. Estudo de Caso com Dados de Simulação do ANAFAS/ANAQUALI

A metodologia para identificar o local da falta na base de dados gerada pelo ANAFAS/ANAQUALI se faz da seguinte forma: de posse do local da falta nos registros de ocorrências da concessionária faz-se a relação com a base de dados de simulação, identificando o local de ocorrência da falta (curto circuito) na base de dados, sendo que a barra de interesse representa o local alvo onde aconteceu a falta e as demais barras e barras fictícias representam as unidades consumidoras (clientes) ou uma aproximação destas.

Como foram simulados curtos circuitos em todas as barras do sistema (como barras de interesse) e também a cada 10% da distância das barras (subestação, alimentadores, etc.), foi possível preencher possibilidades de faltas em quase que todo o sistema elétrico, aproximando-se do cliente. Com esta metodologia foi possível realizar várias possibilidades de simulações para validar a base de dados, dentre essas, foi escolhida duas para serem representadas como estudo de caso.

A Figura 7.15 ilustra a localização dos curtos circuitos e das barras de interesse. Sendo que os curtos circuitos foram aplicados em dois pontos, o primeiro na linha que fica entre a barra Transamazônica 230 kV (TRANSAM. 230) e a barra Rurópoles 230 kV (RUROP. 230), sendo observado um alimentador SN04 de Santarém, barras 412 (SN04-412); enquanto que o segundo foi aplicado na barra Rurópoles pertencente à CELPA 138 kV (RUR-CEL T 138), e a barra alvo foi o alimentador SN06 de Santarém, barra 614 (SN06-614).

Os resultados dessas simulações foram detalhados no sub-item 7.3.31.

7.3.3.1. Avaliando donexo-causal para o equipamento ar condicionado após o curto circuito na linha entre Transamazônica e Rurópoles considerando os dois classificadores

Parâmetros da primeira simulação de análise nexo-causal considerando o equipamento ar condicionado:

1. Local da contingência: na linha entre Transamazônica e Rurópoles;
 2. Local onde supostamente estariam instalados os equipamentos danificados: Alimentador SN04, barra 412;
-

3. Tipo de curto circuito: FT;
4. Tipo de carga: Pesada;
5. Equipamento: Ar condicionado.

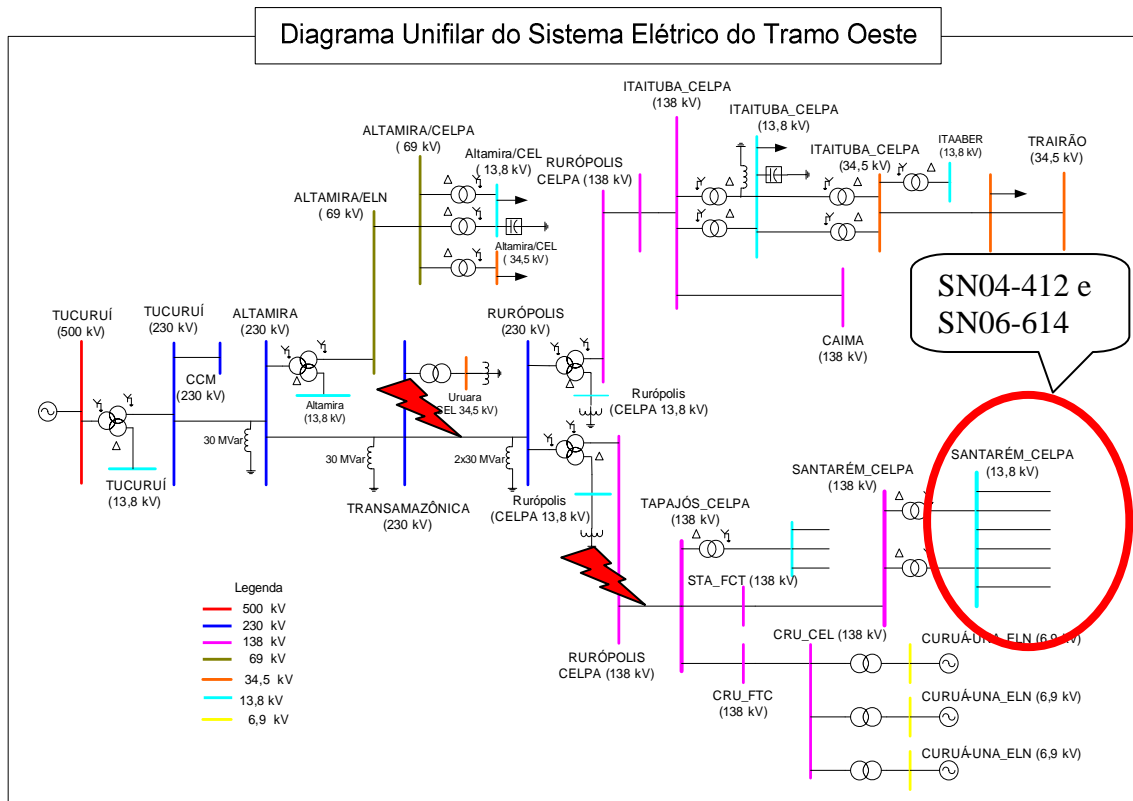


Figura 7.15 – Representação do local das faltas no sistema Tramo Oeste para a base de dados de simulação do programa ANAFAS/ANAQUALI.

Devido a grande quantidade de dados presentes na simulação com o programa ANAFAS/ANAQUALI e também devido a inserção da característica duração em cada possibilidade de amplitude da tensão, foi descrito nas Tabelas 7.9 e 7.10, apenas a(s) fase(s) que prejudicaria(m) o equipamento, caso este estivesse instalado nesta(s) fase(s), diagnosticada pelo classificador, após a análise nexa-causal, considerando também apenas a duração até sessenta ciclos, já o resultado não se alteraram caso aumentasse o número de ciclos.

Observou-se nas Tabelas 7.9 e 7.10 que os resultados dos dois classificadores divergiram para a duração de cinco ciclos em todos os percentuais de distâncias, ou seja, o kNN classificou que se a amplitude do afundamento de tensão apresentasse duração até 5 ciclos, esta poderia danificar o equipamento instalado na Fase A, caso a duração

da amplitude ultrapassasse esse valor afetaria os equipamentos instalados tanto na Fase A quanto os da Fase C. Enquanto que a RNA diagnosticou que para qualquer duração na amplitude do afundamento de tensão afetaria o equipamento ar condicionado instalado tanto na Fase A como na Fase C.

Tabela 7.9 – Avaliação nexo-causal do classificador KNN para o equipamento ar condicionado.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados do ANAFAS							
Local da Falta: Linha - TRANSAM. 230 - RUROP. 230				Tipo: CC_FFF (Pesada)			
Barra de Interesse: SN04-412							
Equipamento: Ar Condicionado				Classificador: KNN			
Duração(ciclos)	5	10	20	30	40	60	
distância (10% do comprimento da linha)	0	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	10	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	20	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	30	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	40	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	50	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	60	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	70	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	80	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	90	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	100	Fase A	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C

Tabela 7.10 – Avaliação nexo-causal do classificador RNA para o equipamento ar condicionado.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados do ANAFAS							
Local da Falta: Linha - TRANSAM. 230 - RUROP. 230				Tipo: CC_FFF (Pesada)			
Barra de Interesse: SN04-412							
Equipamento: Ar Condicionado				Classificador: RNA			
Duração(ciclos)	5	10	20	30	40	60	
distância (10% do comprimento da linha)	0	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	10	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	20	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	30	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	40	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	50	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	60	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	70	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	80	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	90	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C
	100	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C	Fase A e C

Além do equipamento ar condicionado, também foi realizado a análise nexo-causal para o aparelho de som, sendo que o laudo do kNN como o da RNA

apresentaram o mesmo resultado: que o equipamento poderia apresentar comportamento irregular caso estivesse instalado na fase A para qualquer duração, instalados em todos os percentuais de distâncias considerados, estando portanto, livre de defeitos se estivesse instalado em qualquer outra fase.

7.3.3.2. Avaliando onexo-causal para alguns equipamentos após o curto circuito na barra RUR-CEL T 138 considerando os dois classificadores

Parâmetros da segunda simulação da análise nexo-causal considerando um aparelho de som:

1. Local da contingência: na barra de Rurópoles pertencente à Celpa 138 kV;
2. Local onde supostamente estariam instalados os equipamentos danificados: Alimentador SN06, barra 614;
3. Tipo de curto circuito: FFF;
4. Tipo de carga: Pesada;
5. Equipamento: Aparelho de som e microcomputador.

Como o curto circuito foi aplicado diretamente na barra então há apenas uma amplitude de tensão para as várias possibilidades de duração. Neste caso, observouse na Tabela 7.11 que os dois classificadores apresentaram o mesmo diagnóstico para todas as possibilidades de duração: um aparelho de som poderia apresentar falhas se estiver instalado em qualquer uma das fases se estivesse na mesma condição de contingência no sistema elétrico.

Já na Tabela 7.12, o classificador kNN apresentou o seguinte resultado: o equipamento “microcomputador” poderia apresentar algum tipo de falha se a duração do afundamento se estendesse para valores superiores a dez ciclos, instalados em qualquer uma das fases. Entretanto, o classificador com a RNA apresentou como resultado um ponto de divergência em relação ao kNN, pois apresentou o seguinte resultado: o microcomputador só estaria sujeito a falhas se a duração do afundamento de tensão ultrapassasse os 20 ciclos de duração, instalado em qualquer umas das fases do sistema (A, B ou C).

Tabela 7.11 – Avaliação nexa-causal de um curto circuito na barra para o equipamento “aparelho de som”.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados do ANAFAS				
Local da Falta: Barra - RUR-CEL T 138			Tipo: CC_FFF (Pesada)	
Barra de Interesse: SN04-614				
Equipamento: Aparelho de Som				
Duração (Ciclos)	KNN		RNA	
	NH ou UB	Fase	NH ou UB	Fase
5	UB	A, B e C	UB	A, B e C
10	UB	A, B e C	UB	A, B e C
20	UB	A, B e C	UB	A, B e C
30	UB	A, B e C	UB	A, B e C
40	UB	A, B e C	UB	A, B e C
60	UB	A, B e C	UB	A, B e C

Tabela 7.12 – Avaliação nexa-causal de um curto circuito na barra para o equipamento “microcomputador”.

Comparação Entre os Classificadores Utilizando Dados do ANAFAS				
Local da Falta: Barra - RUR-CEL T 138			Tipo: CC_FFF (Pesada)	
Barra de Interesse: SN06-614				
Equipamento: Microcomputador				
Duração (Ciclos)	KNN		RNA	
	NH ou UB	Fase	NH ou UB	Fase
5	NH	-	NH	-
10	NH	-	NH	-
20	UB	A, B e C	NH	-
30	UB	A, B e C	UB	A, B e C
40	UB	A, B e C	UB	A, B e C
60	UB	A, B e C	UB	A, B e C

7.4. Conclusão

Neste capítulo foi apresentado vários estudos de caso utilizando a ferramenta proposta, aplicando a análise nexa-causal sobre várias situações de contingências e utilizando diferentes bases de dados. Sendo que estas simulações foram realizadas através de situações que poderiam ocorrer em um sistema elétrico.

O principal objetivo do estudo de caso foi demonstrar a eficiência das técnicas de mineração de dados utilizadas no software, como o classificador utilizando o kNN como o de RNA.

8 CONCLUSÃO

8.1. Considerações Finais

Este trabalho teve o propósito de apresentar o desenvolvimento de um sistema computacional, baseado em processos de descoberta de conhecimento em base de dados, utilizando na etapa de mineração de dados duas técnicas de classificação (kNN e RNA), objetivando ser utilizado em processos de pedido de ressarcimento por danos em equipamentos do consumidor, interferindo na etapa “Parecer Técnico”. É nesta etapa que o encarregado da empresa organiza entre vários outros relatórios, o resultado da ferramenta proposta, e define o parecer técnico sobre o pedido de indenização ao cliente, formalizando se o processo é deferido ou indeferido.

O software tem como entrada a base de dados de monitoramento e simulações computacionais, desenvolvidas nesse estudo, além do banco de dados de suportabilidade de equipamentos. Sendo que, na etapa de mineração de dados do processo de KDD é realizada a classificação das conseqüências que poderiam acontecer com o equipamento do consumidor em um dos dois estados possíveis (comportamento normal ou anormal), caso este estivesse sujeito a VTCD's.

No desenvolvimento da base de dados de monitoramento foram instalados quatro monitores de qualidade de energia, dois em subestações em 138 kV (Tapajós e Santarém) e dois diretos nos alimentadores em 13.8 kV (SN04 e TP02). Entretanto, dois destes apresentaram defeitos (instalados um na subestação Santarém e outro no alimentador TP02), sendo, portanto utilizados no banco de dados apenas os registros adquirido pelos monitores instalados na subestação Tapajós e no alimentador SN04.

Para a base de dados de simulação, utilizou-se os programas de ATP e ANAFAS/ANAQUALI. Como ponto de partida o programa ANAREDE foi utilizado para modelar o sistema elétrico e gerar o fluxo de potência. Sendo estes programas recomendados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico para realizar atividades relacionadas a estudo de sistemas elétricos de potência.

Apesar de os registros de monitoramento apresentarem dados mais precisos em relação ao comportamento do sistema elétrico, os resultados das simulações computacionais destacaram sua importância, pois, como na maioria dos casos, não é economicamente viável instalar monitores em cada ponto do sistema elétrico,

devido a isso programas que descrevem o comportamento do sistema elétrico de forma detalhada e precisa se tornam fundamentais para as análises de tais fenômenos.

Com intuito de validar o modelo do sistema elétrico e as simulações computacionais realizadas nos programas ATP e ANAFAS/ANAQUALI foram utilizados registros de ocorrência de contingências da concessionária chegando a uma boa aproximação nas simulações computacionais quando comparado com os casos reais, como as características das várias faltas simuladas estavam bem próximas das reais, o modelo foi considerado validado.

Já o uso do banco de dados de suportabilidade de equipamento foi de fundamental importância para produção dos resultados esperados, visto que foi a partir de comparações realizadas através destes registros que os resultados para tomada de decisão foram executados.

A utilização das técnicas de mineração de dados, como o kNN e a RNA para auxiliar no parecer técnico foram de fundamental importância, garantindo confiabilidade nos resultados gerador pelo aplicativo, já que apresentaram pequenos erros no teste dos modelos de cada um dos dois classificadores.

Vale, também, destacar a importante contribuição da utilização do pacote WEKA como ferramenta de aplicação das duas técnicas de mineração de dados, utilizadas no processo de análisenexo-causal. É uma ferramenta de fácil interação, de código fonte aberto, disponível para ser utilizado em qualquer aplicação, composto por uma variedade de técnicas de mineração de dados e o mais importante, apresentou resultados satisfatórios na aplicação dos dois classificadores.

Por fim, foram realizadas inúmeras simulações de estudo de caso, de situações reais que ocorrem no sistema elétrico e podem causar prejuízo aos consumidores através de danos em equipamentos. Nessas simulações foram testados o comportamento de alguns equipamentos após sofrerem variações nas tensões de alimentação, onde pode-se observar o laudo proposto pelos dois classificadores.

Através dos resultados dessas simulações, verificou-se que a ferramenta proposta apresentou bom desempenho para os dois classificadores (kNN e RNA), pois ambos chegaram a resultados bem próximos.

8.2. Proposta de Trabalhos Futuros

O presente trabalho, apesar de ter obtido resultados satisfatórios, ainda pode ser aperfeiçoado através de algumas modificações, citadas a seguir:

1. Inclusão na modelagem do processo de soluções de fluxo de carga, alguns dispositivos do sistema elétrico que foram inseridos após o término da etapa de modelagem, por exemplo, novos transformadores foram inseridos na região de Tapajós.

Atualizar a modelagem do sistema elétrico de potência é um desafio, pois o sistema é dinâmico em vários aspectos, como na sua estrutura topológica ou como no dinamismo das cargas. Esse problema poderia ser resolvido se o software fosse incorporado no sistema corporativo da empresa;

2. Inserir no banco de dados de monitoramento uma maior quantidade de dados, com a finalidade de observar mais amplamente a condição da tensão do sistema elétrico. Para isso seria necessário aumentar a quantidade de instrumentos instalados na rede elétrica, além de fazer um rodízio dos mesmos nos pontos considerados críticos em períodos que poderiam variar de semanas, meses ou até mesmo estação do ano;
 3. A base de dados de suportabilidade de equipamentos ainda é pequena para a variedade de equipamentos que normalmente são submetidos ao processo de pedido de indenização. Necessário, portanto, ser acrescentado outros tipos de curva de suportabilidade de equipamentos, como por exemplo, equipamentos industriais (CLP's) e hospitalares;
 4. Inserir no aplicativo análises com outros tipos de distúrbios além das VTCD's, pois há uma série de distúrbios que também podem causar mau funcionamento do equipamento do consumidor, como por exemplo: transitórios eletromagnéticos, distorções harmônicas, entre outros;
 5. Desenvolver um algoritmo que apresente uma técnica inteligente capaz de refazer o modelo da Rede Neural, sem que seja necessário um especialista de Inteligência Artificial para refazer o modelo do classificador todas as vezes que os dados de suportabilidade de equipamentos forem alterados.
-

8.3. Publicações Deste Trabalho

- Fonseca, M. C. P., Cardoso Junior, G., Silva, J. S., Garcez, J. N. Sena, J. A. S. “Desenvolvimento de uma Base de Dados para Gestão da Qualidade do Produto em Sistemas de Energia Elétrica”. XII Encontro Regional Ibero-americano do Cigré, Foz do Iguaçu, 2007.
- Fonseca, M. C. P., Sena, J. A. S., Carvalho, A. J. B., Rocha, M. G., Morais, J. M., Lobo, L. M. M., Nunes, M. V. A., Bezerra, U. H., Garcez, J. N., Klautau, A. B. R., Pinheiro, F. M., Pereira, L. H. “Desenvolvimento de um Sistema Inteligente para Apoio a Tomada de Decisão em Ressarcimento por Danos em Equipamentos Elétricos Utilizando o Algoritmo de Classificação KNN” VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais - INDUSCON, Poços de Caldas, 2008.
- Fonseca, M. C. P., Carvalho, A. J. B., Rocha, M. G., Morais, J., Brasil, F. S., Mello, L. M., Nunes, M. V. A., Bezerra, U. H., Garcez, J. N., Klautau, A. B. And Mattos, C. A., *Sistema inteligente de apoio à tomada de decisões baseado na análise das perturbações na tensão e frequência no sistema Santarém provocadas por contingências locais e no sistema TRAMOESTE*, Relatório de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, Financiador: Centrais Elétricas do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Tech. Rep.TR-1688, 2008.
- Fonseca, M. C. P., Castro, A. R. G, Garcez, J. N, *Sistema Inteligente para Apoio a Tomada de Decisão em Ressarcimento de Danos Elétricos em Consumidores da Companhia de Eletricidade do Amapá*, Relatório de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, Financiador: Companhia de Eletricidade do Amapá, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2009.
- Fonseca, M. C. P, Carvalho, A. J., Rocha, M. G., Morais, J., Mello, L. M., Nunes, M. V. A., Bezerra, U. H., Garcez, J. N., Klautau, A. B. R., Tupiassu, A., Pinheiro, F. M. E Pereira, L. H. “ Sistema Inteligente de Apoio à Tomada de Decisões Baseado na Análise das Perturbações na Tensão no Sistema de Distribuição Provocadas por Contingências Locais e no Sistema do Tramoeste”. V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – Citenel, Belém, 2009.
- Fonseca, M. C. P., Bezerra, U. H., Garcez, J. N., Sena, J. A. S., Pinheiro, F. M. M., Pereira, L. H. “Sistema de Apoio ao Estabelecimento do Nexo Causal em Pedidos de Indenização por Prejuízos Causados pela Perda da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica”. Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica - CBQEE, 2009.
- Fonseca, M. C. P., Sena, J. A. S., Bezerra, U. H., Rocha, M. G., Garcez, J. N., Nunes, M. V. A., Tostes, M. E. L., Pinheiro, F. M. E Pereira, L. H. “Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisões em Procedimentos de Ressarcimento a Danos Baseado em Análises das Perturbações da Tensão e Dados de Suportabilidade de Equipamentos Elétricos”. Anais do XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife-PE, 2009.
-

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aha, D., Kibler, D.. *Instance-based learning algorithms*. Machine Learning. Vol.6 (3), pp. 37-66, 1991.
- Amo, S., Técnicas de Mineração de Dados, Notas de Aula, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Computação, 2006.
- ANEEL (2004) – Agência Nacional de Energia Elétrica – Resolução Normativa nº 61, de 29 de abril de 2004.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, site: www.aneel.gov.br, acesso em 08/01/2009.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional- PRODIST, Módulo 8 - Qualidade de Energia Elétrica; agosto, 2007.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Normativa Nº 024, de 27 de janeiro de 2000. Último acesso em 30/01/2009. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/RES2000024.PDF>.
- Bacca, I. A., Mendonça, M. V. B., Tavares, C. E., Gondim, I. N., Oliveira, J. C., *ATP-MODELS Language to Represent Domestic Refrigerators Performance with Power Quality Disturbances*, European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09) Valencia (Spain), 15th to 17th April, 2009.
- Bonatto, B. D., Niimura, T., Dommel, H. W., “A fuzzy logic application to represent load sensitivity to voltage sag,” in Proc. 8th Int. Conf. Harmonics and Quality of Power, 1998, vol. 1, pp. 60–64.
- Bronzeado, H. S., Ramos, A. J. P., Oliveira, J.C., Abreu, J. P. G., Arruda, A. A., Brandão A. C.; II SBQEE – *Uma Proposta de Nomenclatura Nacional de Termos e Definições*, Seminário Brasileiro de Qualidade da Energia Elétrica, 1997.
- Cabral, S. C. B.; Mühlen, S.S., *Interferência Eletromagnética no Ambiente Hospitalar*, UNICAMP, Tecnologia para Saúde, MultCiência, outubro, 2005.
- Carvalho, A. J. B.; Et Al.; *Análise do Comportamento das Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs) Utilizando Comparação entre os Programas ATP e ANAFAS*. VI SBQEE – Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica, Belém, Brasil, 2005.
- Carvalho, P. L., *Uma Contribuição ao Estudo da Depressão de Tensão*. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Dissertação de Mestrado, Dezembro, 1997.
-

- CCK – Automação - Manual de Instalação e Operação do Programa SW CCK 4100/P.
- Chapman, D., *The Cost of Poor Power Quality*, Guia de Aplicação de Qualidade de Energia, 2002.
- Cornick, K.J., Li E., Li, H.Q.; *Power Quality and Voltage Dips :Problem, Requirements, Responsibilities*, Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Power System Control, ration and Management, APSCOM, Hong Kong, Odober 2000.
- Costa J, P.; Pissolato F., J.; *O Método do Casamento de Raízes Aplicado à Simulação Digital de Transitórios Eletromafnéticos em Linhas de Transmissão*, SBA Controle & Automação, Vol.6 nº 1/Janeiro-Fevereiro 1995.
- Cover, T., Hart, P. *Nearest Neighbor Pattern Classification*. IEEE Transactions on Information Theory, 13, 21-27, 1967.
- Cumbria, N., Deregt, M., Rao, N. D., *Effects of Power Disturbances On Sensitive Loads*, Proceedings of the 1999 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering Shaw Conference Center, Edmonton, Alberta, Canada May 9-12 1999.
- Curvas. ITIC/CBEMA, disponível em [HTTP://www.itic.org/archives/iticurv.pdf](http://www.itic.org/archives/iticurv.pdf), acesso em 23/06/2008.
- Duda, R., Hart, P. And Stork, D.; *Pattern classification*. Wiley, 2001.
- Ferrari, E. L.; Kagan, N.; Matsuo, N. M.; Duarte, S. X.; Domingues, I. T.; Monteiro, A. J. - *Metodologia para Suporte à Análise de Pedidos de Indenização em Queimas de Aparelhos na Área de Concessão da Eletropaulo - IV SBQEE - Porto Alegre/RS – 2002*.
- Fix, E. and Hodges, J. L.. *Discriminatory analysis: Non-parametric discrimination: Consistency properties*. USAF School of Aviation and Medicine, Technical Report 4, 261-279, 1951.
- Fonseca, M. C. P., *Utilização de um Sistema de Banco de Dados Relacional Baseado em Dados de Simulação e Monitoramento para Análise da Qualidade de Energia Elétrica*, UFPA, Trabalho de Conclusão de Curso, Belém, 2006.
- Fonseca, M. C. P., Cardoso Junior, G., Silva, J. S., Garcez, J. N. Sena, J. A. S. “*Desenvolvimento de uma Base de Dados para Gestão da Qualidade do Produto em Sistemas de Energia Elétrica*”. XII Encontro Regional Ibero-americano do Cigré, Foz do Iguaçu, 2007.
- Fonseca, M. C. P., Sena, J. A. S., Carvalho, A. J. B., Rocha, M. G., Morais, J. M., Lobo, L. M. M., Nunes, M. V. A., Bezerra, U. H., Garcez, J. N., Klautau, A. B. R., Pinheiro, F. M., Pereira, L. H. “*Desenvolvimento de um Sistema Inteligente para Apoio a Tomada de Decisão em Ressarcimento por Danos em Equipamentos Elétricos Utilizando o Algoritmo de Classificação KNN*” VIII Conferência
-

- Internacional de Aplicações Industriais - INDUSCON, Poços de Caldas, 2008.
- Fonseca, M. C. P., Carvalho, A. J., Rocha, M. G., Morais, J., Mello, L. M., Nunes, M. V. A., Bezerra, U. H., Garcez, J. N., Klautau, A. B. R., Tupiassu, A., Pinheiro, F. M. E Pereira, L. H. “ *Sistema Inteligente de Apoio à Tomada de Decisões Baseado na Análise das Perturbações na Tensão no Sistema de Distribuição Provocadas por Contingências Locais e no Sistema do Tramoeste*”. V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – Citenel, Belém, 2009.
- Fonseca, M. C. P., Carvalho, A. J. B., Rocha, M. G., Morais, J., Brasil, F. S., Mello, L. M., Nunes, M. V. A., Bezerra, U. H., Garcez, J. N., Klautau, A. B. And Mattos, C. A., *Sistema inteligente de apoio à tomada de decisões baseado na análise das perturbações na tensão e frequência no sistema Santarém provocadas por contingências locais e no sistema TRAMOESTE*, Relatório de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, Financiador: Centrais Elétricas do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Tech. Rep.TR-1688, 2008.
- Fonseca, M. C. P., Castro, A. R. G, Garcez, J. N, *Sistema Inteligente para Apoio a Tomada de Decisão em Ressarcimento de Danos Elétricos em Consumidores da Companhia de Eletricidade do Amapá*, Relatório de Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, Financiador: Companhia de Eletricidade do Amapá, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2009.
- Fonseca, M. C. P., Bezerra, U. H., Garcez, J. N., Sena, J. A. S., Pinheiro, F. M. M., Pereira, L. H. “*Sistema de Apoio ao Estabelecimento do Nexo Causal em Pedidos de Indenização por Prejuízos Causados pela Perda da Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica*”. Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica - CBQEE, 2009.
- Fonseca, M. C. P., Sena, J. A. S., Bezerra, U. H., Rocha, M. G., Garcez, J. N., Nunes, M. V. A., Tostes, M. E. L., Pinheiro, F. M. E Pereira, L. H. “*Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisões em Procedimentos de Ressarcimento a Danos Baseado em Análises das Perturbações da Tensão e Dados de Suportabilidade de Equipamentos Elétricos*”. Anais do XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife-PE, 2009.
- Garcez, J. N.; Tostes, M. E. L.; Oliveira, R. C. L.; Oliveira, A. H. G; Moraes, J. R. B.; Santos, A. N. P.; Tupiaçu, A. A. A.; Santos, D. P.; Müller, E.; *Rede Neural de Ativação Interativa Competitiva-IAC para Auxilio a Tomada de Decisão sobre Responsabilidade por Danos em Consumidores de Energia Elétrica*. In: II Congresso Brasileiro de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, 2003, Salvador. Anais do II CITENEL, 2003. v. 1.
- Gbirardi, A. G.; Rocha, M. C.; Teixeira, L. A. L., *Lucratividade e Qualidade na Distribuição de Energia Elétrica*, Nova Economia, Belo Horizonte, Julho,2002.
- Haykin, S.; *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice-Hall, 2nd Edition, 1999.
- IEEE Standards Board 446-1995, *IEEE Recommended Practice for Emergency and*
-

Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications, Revision of IEEE Std 446-1987, Approved 12 December 1995, Reaffirmed 20 June 2000.

IEEE Standards Board, IEEE Std 1159 - 1995 - *Recommended Practice for Monitoring electric Power Quality: IEEE Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality*, nov., 1995.

Kagan, N., Ferrari, E. L., Matsuo, N. M., Duarte, S. X., Rocco, A., Magrini, L. C., Loureiro, P., Crispino, F., Monteiro, A. J., Domingues, I. T. And Jonathan, S.; Metodologia para suporte à análise de pedidos de indenização em queima de aparelhos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Tech. Rep, Sep. 2001.

Kagan, N., Matsuo, N. M., Cebrian, J. C., Souza, T. P., Duarte, S. X., Ferrari, E. L., Figueiredo, C., Iunes, M. H., Takauti, E. H., Domingues, I. T., Metodologia para Análise de Eventos do Sistema Elétrico Quanto à Possibilidade de Danos de Equipamentos de Baixa Tensão, Universidade de São Paulo, 2008.

Karady, G. G., Effects of Voltage Sags on Loads in a Distribution System, Power Systems Engineering Research Center (PSERC), Arizona State University, 2005.

Lu, C. N., Shen, C. C., *Estimation of Sensitive Equipment Disruptions Due to Voltage Sags*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 2, April 2007.

Shen, C. C., Wang, A. C., Chang, R. F., Lu, C. N., Quantifying disturbance level of voltage sag events, presented at the IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meeting, San Francisco, CA, Jun. 2005.

Matsuo, N. M., Duarte, S. X., Itocazo, F. R., Kagan, N., Ferrari, E. L., Forte, G. V., Rosa, P., Camilo, L., Francisco, J. C. C., Domingues, I. T., Monteiro, A. J., Rodrigues, J. E.; *Impacto de Surtos de Manobra e de Descargas Atmosféricas em Redes de Distribuição Sobre Consumidores de Baixa Tensão, Metodologia para Suporte à Análise de Pedidos de Indenização em Queima de Aparelhos*, Universidade de São Paulo, Agosto de 2006.

Navega, S., *Princípios Essenciais do Data Mining, Intellwise Research and Training*, Publicado nos Anais do Infoimagem, Cenadem, Novembro, 2002.

Neves, M. V., *Uma (Breve) Introdução às Redes Neurais Artificiais*, Relatório de aula, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), disponível em: www.inf.ufrgs.br/gppd/disc/cmp135/.../RedesNeurais_relatorio.pdf . Acesso em: 12/12/2008.

ONS - Procedimento de Rede, Módulo 2: Requisitos mínimos para instalações e gerenciamento de indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes; Sub-módulo 2.8 - *Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes*, Atendimento à Resolução Normativa ANEEL nº 115, de 29 de novembro de 2004, Aprovado pela ONS em 10/10/2005, Resolução Autorizada pela ANEEL nº 1436/08, em 07/07/2008.

ONS – Operador Nacional do Sistema; *Estado da Arte de Indicadores para*

- Afundamentos de Tensão*; Julho 2001.
- Quinlan, J. R.; *Improved use of continuous attributes in C4.5*. Journal of Artificial Intelligence Research, pages 77-90, 1996.
- Rezende, S. O.; *Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações*. Barueri, SP: Manole, 2003. 525p.
- Shen, C. C.; Wang, A. C.; Chang, R. F.; Lu, A. N.; *Quantifying Disturbance Level of Voltage Sag Events*, presented at the IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meeting, San Francisco, CA, Jun. 2005.
- Silva, J. S.; *Avaliação Estocástica de Afundamentos de Tensão através de Análise de Curtos-Circuitos e Banco de Dados Relacionais*, Universidade Federal do Pará, Dissertação de Mestrado, 2006.
- Teixeira, M. D., Araújo, R. L., Quoirin, N. S. R., Ardjmand, L. M., Aoki, A. R., Sgobero, P., *Avaliação dos Limites de Parâmetros de Qualidade de Energia Aceitáveis para Prevenir Danos em Eletrodomésticos*, II Seminário Paranaense de Energia Elétrica, Setembro 2004.
- Witten, I; Frank, E. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations*. Morgan Kaufmann, 2nd Edition, 2005.
-