

RICARDO NUNES WAZEN

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE FALHAS EM
ESTRUTURAS METÁLICAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO**

CURITIBA

2011

RICARDO NUNES WAZEN

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE FALHAS EM
ESTRUTURAS METÁLICAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Thelma Solange Piazza Fernandes

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki

CURITIBA

2011

AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DE FALHAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

RICARDO NUNES WAZEN

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná.

Prof.^a Thelma S. Piazza Fernandes, Dr.^a
Orientadora

Prof. Evelio M. G. Fernandes, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora

Prof.^a Thelma Solange Piazza Fernandes, Dr.^a (UFPR)
Presidente

Prof.^o Alexandre Rasi Aoki, Dr. (UFPR-LACTEC)
Co-Orientador

Prof. Gustavo Henrique da Costa Oliveira, Dr. (UFPR)

Prof.^a Giselle Lopes Ferrari, Dr.^a (UFPR)

Prof.^o Germano Lambert Torres, Dr. (UNIFEI)

CURITIBA, 9 DE DEZEMBRO DE 2011.

DEDICATÓRIA

DEDICO ESTE TRABALHO À MINHA FAMÍLIA, EM ESPECIAL À MINHA ESPOSA FRANCIANE, AO MEU FILHO GABRIEL E NOSSO BEBÊ, PELO AMOR, INCENTIVO E CARINHO TANTO EXPRESSADOS DURANTE A REALIZAÇÃO DO MESMO E PELA COMPREENSÃO NOS MOMENTOS DIFÍCEIS.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo, pela Sua benção para que este trabalho pudesse ser realizado, já que humanamente isto poderia ter sido impossível.

À Prof.^a Dr.^a Thelma Solange Piazza Fernandes meu sincero agradecimento pela paciência, atenção e colaboração durante esta fase vivenciada e, além de tudo, pela amizade e confiança dispensada, que sem elas este trabalho não teria sido realizado, quanto menos iniciado.

Ao Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki meus agradecimentos pelas orientações e sugestões sobre a forma de trabalhar com as técnicas propostas.

À Wyrllen Souza por todo o auxílio e esclarecimentos sobre aplicações de métodos estatísticos e aplicações destes em Sistemas de Potência.

À minha família, pais e irmãos, pelo apoio, incentivo e compreensão dos momentos ausentes.

A COPEL por viabilizar a minha participação no curso de mestrado e pelo apoio técnico fornecido.

RESUMO

Linhas de transmissão aéreas estão expostas a diversos riscos associados ao meio, às alterações de características construtivas e às variações climáticas. Muitas vezes, estes riscos podem trazer sérios danos, incorrendo em quedas de estruturas. A queda de uma estrutura pode causar a interrupção do fornecimento de energia de uma localidade por longo período, bem como gera custos associados na reconstrução de trechos do sistema elétrico, no lucro cessante da concessionária e em indenizações decorrentes da falta de energia. Devido à importância das linhas aéreas, uma análise quantitativa de suas características com o intuito de identificá-las e mitigá-las tem muito a contribuir para o planejamento, operação e manutenção de linhas. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar a suscetibilidade das estruturas quanto a quedas a partir da análise de bancos de dados de estruturas e de informações sobre as que sofreram danos utilizando a Teoria de Conjuntos Aproximados (*Rough Sets*) e o Método de Regressão Logística. A partir da aplicação destas técnicas, pretende-se extrair conhecimento sobre quais parâmetros e variáveis influenciam o comportamento mecânico das linhas em operação e podem ser utilizados para diagnosticar possíveis quedas de torres. Estas informações podem se tornar uma base para direcionar os investimentos de reforço de estruturas, evitando a ocorrência de longos desligamentos e altos custos por decorrência de danos em torres de linhas de transmissão. Os resultados são obtidos utilizando o histórico de duas mil estruturas metálicas atualmente em operação no estado do Paraná, a partir das quais se geram regras a fim de identificar a suscetibilidade das estruturas quanto a quedas. A partir dos resultados encontrados é possível fazer uma comparação entre os métodos e concluir sobre sua capacidade de apresentar dados suficientes para a realização de projetos de melhorias nas estruturas apontadas.

Palavras-chave: Estruturas Metálicas, Linhas de Transmissão, Quedas de Estruturas, Regressão Logística, Teoria de Conjuntos Aproximados.

ABSTRACT

Overhead transmission lines are exposed to several risks associated with its surroundings, changes in design characteristics and climatic variations. Many times, these risks can lead to serious damages, incurring in drop towers. The fall of one structure can cause the interruption of energy during long time and costs associated with reconstruction of parts of the electric system, stopped gains and indemnities elapsed by energy failure. Due the importance of the overhead transmission lines, a quantitative analysis of their characteristics in order to identify and mitigate them has much to contribute to the planning, operation and maintenance. So, this work has as objective the evaluation of the susceptibility of the structures to suffer mechanical efforts above the projected, which can lead to their fall. It is made taking the data base of the structures and information about the ones that had suffered damages and using the Rough Sets Theory and the Regression Logistic Method to extract knowledge about what parameters and variables influence the mechanic behavior of the operation lines and can be applied to diagnose possible dropped towers. This information can become a base to direct the investments to reinforce the structures, to prevent disconnections provoked by damages in towers avoiding long times without electricity and great costs due damages in lines transmission towers. The results are obtained using the history of two thousand steel structures currently operating in the state of Parana, from which rules are generated to identify the susceptibility of fall. With the founded results it is possible to realize a comparison between methods and conclude about their capacities to show enough data to define projects of improvement of the selected structures.

Keywords: Dropped Structures, Logistic Regression, Metallic Structures, Rough Sets, Transmission Lines.

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 – Sistema de informação	49
Tabela 3-2 – Estruturas com características e atributo de decisão.....	50
Tabela 3-3 – Distribuição do sistema pelo atributo de decisão.....	51
Tabela 3-4 – Sistema sem atributos irrelevantes	55
Tabela 3-5 – Sistema sem atributos irrelevantes e redundâncias.....	55
Tabela 3-6 – Regras geradas.....	56
Tabela 3-7 – Tabela de Classificação.....	65
Tabela 4-1 - Relação de características não-numéricas para numéricas	85
Tabela 4-2 - Relação de características não-numéricas para numéricas	86
Tabela 5-1 – Classificação de Conjuntos Aproximados.....	90
Tabela 5-2– Resultados Conjuntos Aproximados.....	91
Tabela 5-3 – Atributos da Função Logística	93
Tabela 5-4 – Tabela de Predição da Regressão Logística.....	94
Tabela 5-5 – Classificação da Regressão Logística.....	95
Tabela 5-6– Classificação da Regressão Logística.....	95
Tabela 5-7 – Resultados pela Regressão Logística	96
Tabela 6-1 – Comparação entre os resultados	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 – Linha de Transmissão 69kv usina mourão – mamborê.....	23
Figura 2-2 – Curva da Catenária.....	30
Figura 2-3 – Representação de Vão Nivelado.....	31
Figura 2-4 – Representação de Vão Desnivelado	31
Figura 2-5 – Fundação em tubulão com manilhas.....	35
Figura 2-6 – Fundação em sapata.....	36
Figura 2-7 – Fundação tipo Grelha.....	38
Figura 2-8 – Representação da Flecha	39
Figura 2-9 – Representação de Vão Gravante.....	41
Figura 2-10 – Representação de Vão Médio	42
Figura 3-1 – Regiões de Interesse de um sistema de Informação.....	48
Figura 3-2 – Forma Gráfica da Função Logística.....	59
Figura 4-1 – Queda da estrutura 93 da LT Irati – Sabará.....	68
Figura 4-2 – Queda da estrutura 34 da LT Medianeira – Céu Azul	68
Figura 4-3 – Identificação das Linhas onde ocorreram Quedas	69
Figura 4-4 – Identificação das Linhas Seleccionadas para estudo	70
Figura 4-5 – Mapa Eólico do Estado do Paraná.....	75
Figura 4-6 – Relevo do Estado do Paraná.....	76
Figura 4-7 – Massas de Ar influentes no Brasil.....	78
Figura 4-8 – Temperatura média anual no estado.....	80
Figura 5-1 – Resultados da redução do banco de dados	88
Figura 5-2 – Resultados da classificação do banco de dados.....	89
Figura 5-3 – Classificação do banco de dados de estruturas em Operação.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APER	–	Taxa de Erro Aparente
CA	–	Corrente Alternada
CC	–	Corrente Contínua
COPEL	–	Companhia Paranaense de Energia
DHTV	–	Distorções Harmônicas de tensão
f	–	flecha
LT	–	Linha de Transmissão
km	–	quilômetros
km/h	–	quilômetros por hora
kV	–	quilo volts
m/s	–	metros por segundo
NBR	–	Norma Brasileira
TCA	–	Teoria de Conjuntos Aproximados (<i>Rough Sets</i>)
v	–	vão
v _P	–	vão de peso ou gravante
v _V	–	vão de vento ou médio

LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS

$\alpha_B(X)$	–	Coeficiente de qualidade de X
β	–	Parâmetros de ajuste de função logística
A	–	Atributos
A^*	–	Reduto dos atributos de A
B	–	Subconjunto de um Sistema
B^{INF}	–	Conjunto de Aproximação Inferior de B
B^{SUP}	–	Conjunto de Aproximação Superior de B
C	–	Atributos Condicionais
D	–	Atributo de Decisão
$F(X)$	–	Função Logística de X
$F_i(B)$	–	Função de Discernibilidade de X
I	–	Sistema de Informação
$IND_{I(X)}$	–	Relação de Indiscernibilidade de X
$m_D(i,j)$	–	Matriz de Indiscernibilidade
O	–	Conjunto de Objetos
$P(X)$	–	Parâmetros da Função Logística de X
$RF(X)$	–	Região de Fronteira de X

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
CAPÍTULO 1 - PROPOSTA	15
1.1 INTRODUÇÃO	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.4.1 Aplicação de Conjuntos Aproximados em Sistemas de Potência	19
1.4.2 Aplicação de Regressão Logística em Sistemas de Potência	20
1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	21
CAPÍTULO 2 – LINHAS DE TRANSMISSÃO	22
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 ESTRUTURAS	23
2.2.1 Dimensionamento Básico.....	23
2.2.2 Classificação de Estruturas.....	25
2.2.2.1 Quanto à sua Função.....	25
2.2.2.2 Classificação quanto à sua Resistência	25
2.2.2.3 Classificação quanto a sua Composição	26
2.2.3 Configuração e Tipos de Estruturas	27
2.3 CABOS.....	29
2.3.1 Materiais de Fabricação dos Cabos	29
2.3.2 Comportamento dos Cabos.....	30
2.3.3 Influência de Agentes Externos.....	32
2.4 FUNDAÇÕES	33
2.4.1 Características de Solo	33
2.4.2 Fundações em Concreto	34

2.4.2.1 Tubulão.....	34
2.4.2.2 Sapata em concreto armado	35
2.4.3 Fundações Metálicas	36
2.4.3.1 Grelha Metálica	37
2.5 PROJETO E CONSTRUÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO	38
2.5.1 Locação de Estruturas	40
2.5.2 Condições de Estabilidade de uma Estrutura.....	40
2.6 QUEDAS DE ESTRUTURAS METÁLICAS	42
2.6.1 Recuperação de Linhas Danificadas	43
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	44
CAPÍTULO 3 – TÉCNICAS PARA EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO E	
CLASSIFICAÇÃO	46
3.1 INTRODUÇÃO	46
3.2 CONJUNTOS APROXIMADOS	46
3.2.1 Conceitos de Aproximação	47
3.2.2 Relações entre Objetos e Atributos	48
3.2.3 Relações de Indiscernibilidade.....	51
3.2.4 Redução de Sistemas	53
3.2.5 Geração de Regras.....	56
3.2.6 Algoritmo de Classificação de Dados	56
3.3 REGRESSÃO LOGÍSTICA.....	57
3.3.1 A Análise Multivariada.....	58
3.3.2 O Modelo Logístico	59
3.3.3 Estimadores de Máxima Verossimilhança	60
3.3.4 Seleção de Variáveis Preditoras	61
3.3.5 Diagnóstico do Modelo.....	62
3.3.6 Predição de Resultados	63

3.4 MÉTODO DE LACHENBRUCH	64
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	66
CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	67
4.1 MATERIAIS	67
4.1.1 Histórico de Quedas de Estruturas no Estado do Paraná.....	67
4.1.2 Estruturas Metálicas em Operação na COPEL.....	70
4.2 MÉTODOS	71
4.3 DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS DAS ESTRUTURAS	73
4.3.1 Tensão de Operação	73
4.3.2 Vento da Região	74
4.3.3 Relevo do Local	75
4.3.4 Massas de Ar	77
4.3.5 Temperatura da Região	79
4.3.6 Tipo de Terreno.....	80
4.3.7 Capacidade Mecânica da Estrutura.....	81
4.3.8 Função da Estrutura.....	82
4.3.9 Fundação da Estrutura.....	82
4.4 LEVANTAMENTO DOS DADOS	83
4.5 APLICAÇÃO EM CONJUNTOS APROXIMADOS	84
4.6 APLICAÇÃO EM REGRESSÃO LOGÍSTICA.....	84
4.7 VALIDAÇÃO DAS APLICAÇÕES	86
4.8 APLICAÇÃO SOBRE O BANCO DE DADOS	86
CAPÍTULO 5 – TESTES E RESULTADOS	88
5.1 CONJUNTOS APROXIMADOS	88
5.1.1 Geração das Regras	88
5.1.2 Validação das Regras	89
5.1.3 Aplicação das Regras nas Estruturas em Operação	90

5.2 REGRESSÃO LOGÍSTICA.....	92
5.2.1 Definição da Função Logística	93
5.2.2 Definição dos Parâmetros da Função	93
5.2.3 Aplicação das Regras nas Estruturas em Operação	95
5.3 QUEDA DE ESTRUTURAS EM AGOSTO DE 2011	98
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	99
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES	101
6.1 CONCLUSÕES	101
6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
ANEXO A – TUTORIAL ROSETTA.....	107
APÊNDICE A - HISTÓRICO DE QUEDAS DE ESTRUTURAS NO PARANÁ.....	116
APÊNDICE B - ATRIBUTOS DAS ESTRUTURAS QUE SOFRERAM QUEDA.....	119
APÊNDICE C - ESTIMATIVAS DE QUEDA – CONJUNTOS APROXIMADOS	122
APÊNDICE D - ESTIMATIVAS DE QUEDA - REGRESSÃO LOGÍSTICA	125
APÊNDICE E - ESTIMATIVAS DE QUEDA - COMPARATIVO DOS RESULTADOS.....	131

CAPÍTULO 1 - PROPOSTA

1.1 INTRODUÇÃO

Um sistema de transmissão de energia elétrica compreende toda rede que interliga as usinas geradoras às subestações da rede de distribuição, sendo necessários milhares de quilômetros de linhas de transmissão (LT) que se interligam com diferentes níveis de tensão.

Os tipos de linhas de transmissão mais comuns são: linha aérea, em corrente alternada ou em corrente contínua com condutores separados pelo ar (meio dielétrico), e linha subterrânea, com um fio central condutor isolado de um condutor externo coaxial de retorno (FUCHS, 1977).

O sistema elétrico brasileiro é interligado através de linhas de transmissão aéreas por praticamente todo seu território. O estado do Paraná, por exemplo, possui mais de 7.500 km de linhas aéreas que se interligam por todo o estado transmitindo energia nas tensões de 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV e 525 kV (COPEL, 2011).

Para que os cabos aéreos que transportam a energia sejam sustentados de forma eficaz e segura, são necessárias estruturas específicas para cada nível de tensão, para cada volume de carga a transportar e para diferentes tipos de relevos a serem transpostos. Assim, de acordo com as especificidades de cada projeto, as estruturas adotadas podem ser metálicas, de concreto ou mesmo de madeira, sendo definido de acordo com a vegetação regional e sua densidade demográfica.

Em um sistema de transmissão aéreo, existe uma série de riscos associados ao transporte da energia das fontes geradoras às fontes consumidoras finais. Dentre estes riscos, os principais são: desgastes em cabos e ferragens, colisões, descargas por aproximação excessiva de objetos aos condutores e quedas das torres aéreas devido a fatores climáticos, as quais acarretam descontinuidades de abastecimento e prejuízos de toda natureza. (WAZEN, 2008)

Normalmente as quedas de estruturas são identificadas após a ocorrência de fortes chuvas e vendavais. A queda das estruturas traz por consequência o rompimento dos cabos de energia ou, quando não há rompimento de cabos, faz com que ocorra um curto circuito fase-terra pelo contato de pelo menos um dos cabos com o corpo da estrutura ou mesmo com o solo.

Assim, tendo em conta o uso intensivo de linhas aéreas cujos riscos associados ao transporte podem levar ao desabastecimento de energia, uma análise quantitativa dos mesmos com o intuito de identificá-los e mitigá-los tem muito a contribuir para o planejamento, operação e manutenção das linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.

1.2 JUSTIFICATIVA

No Paraná, por exemplo, nos últimos 60 anos de operação do seu sistema de transmissão, foram registradas quedas em mais de 150 torres cujas estruturas são metálicas devido a fatores associados ao clima, relevo e características construtivas. (COPEL, 2009)

A partir de dados históricos, tais como: velocidade do vento na região da estrutura, relevo de sua base, vegetação de seu entorno, pressão atmosférica e variação de temperatura da região, além da capacidade mecânica máxima e do tipo de fundação da estrutura; pode-se realizar uma análise a fim de desenvolver um modelo que permita verificar dentre as estruturas atualmente em operação, quais são mais suscetíveis a danos causados por fatores naturais.

Assim, com base no banco de dados de estruturas de todo o estado do Paraná e de informações sobre as estruturas que sofreram danos nos últimos anos propõe-se utilizar a Teoria de Conjuntos Aproximados (*Rough Sets*) e o Método de Regressão Logística, selecionados por serem capazes de analisar dados que possuam um certo grau de incerteza. A Teoria de Conjuntos Aproximados (*Rough Sets*) forma regras de avaliação associadas a quedas (PAWLAK, 1982) e o Método de Regressão Logística formula uma função logística baseada no histórico de quedas (JOHNSON, 1998).

As regras geradas, futuramente, poderão se tornar uma base para

direcionar os investimentos de reforço de estruturas e diversos tipos de melhorias, como por exemplo: evitando longos desligamentos no sistema por decorrência de danos em torres do sistema 69 kV e 138 kV.

Hoje a queda de uma estrutura tem associada à interrupção de energia que esta transporta, lucro cessante da empresa de Transmissão e custos com indenizações por decorrência dos danos causados pela queda. Desta forma, a empresa precisa manobrar as cargas, quando possível, reduzindo a rentabilidade relacionada com a linha de transmissão da qual a estrutura faz parte.

A queda de uma estrutura não traz apenas redução do lucro, mas despesas com a construção de nova estrutura e lançamento de cabos, necessitando dispor mais materiais e mão-de-obra para a execução. Com isto, todo o entorno é afetado, pois as estruturas são instaladas em terrenos particulares e o acesso com pessoal, veículos e maquinário pesados trazem danos aos proprietários dos terrenos.

Por fim, a falta de fornecimento de energia, faz com que muitas pessoas tenham prejuízos por queima de equipamentos ou pela indisponibilidade de alimentação e outros. Um exemplo desta situação seria a falta de energia de um supermercado, onde toda a parte de resfriados poderiam ser perdidos por seu descongelamento. Este tipo de situação também gera despesas para a concessionária de energia, com custos de indenização por falta de serviço.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as estruturas metálicas componentes de uma linha de transmissão quanto sua suscetibilidade a sofrerem esforços mecânicos acima de sua capacidade, podendo resultar na queda de algumas destas estruturas.

Para que se possa alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos devem ser alcançados:

- a. Definir quais características são relevantes para análise de interferência do meio sobre a suportabilidade da estrutura;
- b. Aplicar a técnica de Conjuntos Aproximados para o banco de dados

- das estruturas que caíram;
- c. Aplicar o método de Regressão Logística para o banco de dados das estruturas que caíram;
 - d. Avaliar as estruturas de linhas de transmissão em operação para verificar a suscetibilidade de falhas em estruturas metálicas;
 - e. Comparar os resultados obtidos pelos métodos e avaliar a validade dos mesmos para seleção de estruturas metálicas para determinação de uma estratégia de manutenção preventiva nas LTs.

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Não foram encontrados, nas bases de conhecimento que tratam de linhas de transmissão, trabalhos relacionados à avaliação de suscetibilidade das estruturas quanto a quedas.

Assim, recorreu-se a técnicas capazes de analisar dados que possuam um certo grau de incerteza tais como: Conjuntos Aproximados e Regressão Logística.

A teoria de Conjuntos Aproximados (TCA) foi escolhida pela sua capacidade de gerar regras e aplicar estas regras em outros bancos de dados, avaliando os possíveis efeitos das combinações das informações. Ela é uma ferramenta que quando conciliada com experiência profissional é capaz de trazer bons resultados em análises que possam conter incerteza.

Já a teoria de Regressão Logística, que é um método estatístico, é capaz de relacionar diversas variáveis independentes ao mesmo tempo, apresentando além de resultados numéricos, probabilidades de ocorrência dos mesmos. Esta característica faz com que a regressão possa ser aplicável ao problema de avaliação da suscetibilidade de falhas em estruturas metálicas e linhas de transmissão, cujos resultados podem ser confrontados com os obtidos pela TCA, possibilitando uma melhor avaliação das técnicas.

1.4.1 Aplicação de Conjuntos Aproximados em Sistemas de Potência

Em 1999, foi realizada uma comparação de Conjuntos Aproximados com técnicas que utilizavam conjuntos de dados para a realização de análises técnicas – redes neurais artificiais, sistemas nebulosos e algoritmos genéticos – e, a partir desta comparação, surgiram alguns trabalhos relacionados ao sistema elétrico, tais como:

- a. Han *et al.* (1999) utilizaram TCA em conjunto com redes neurais para a classificação de faltas em sistemas de potência de alta tensão através de anos de dados arquivados;
- b. Lambert-Torres (2002) realizou um estudo aplicando TCA para diminuir o número de informações a serem analisadas para a determinação do estado de operação de um sistema elétrico;
- c. Bonaldi *et al.* (2002) aplicaram TCA na manutenção preditiva de motores de indução. Para isso, utilizaram como base de conhecimento a análise das formas de ondas características de corrente geradas por problemas nos motores, tais como, rotor assimétrico ou desbalanceado, defeitos em rolamentos, excentricidade de gap, entre outros;
- d. Chien, Peng e Tseng (2004) buscaram identificar o local e o equipamento avariado por uma falta através de um banco de dados que possuía registros de hora, mês, ano, local, causa ou acidente, equipamento avariado, entre outros;
- e. Cao, Feng e Qiu (2004) utilizaram TCA em conjunto com redes neurais para realizar a previsão, em curto prazo, de cargas no sistema elétrico;
- f. Coutinho (2007) realizou um trabalho para identificar anomalias no sistema de informações da rede elétrica;
- g. Crossley, Hor e Watson (2007) realizaram um trabalho utilizando a técnica para auxiliar na tomada de decisão de operadores do sistema elétrico;
- h. Chen e Pai (2008) utilizaram TCA para o controle do fluxo de potência em sistemas elétricos, onde, na saída da aplicação da metodologia, obtinham-se os resultados para incrementar, manter ou diminuir o

fluxo;

- i. Martins (2010) utilizou Conjuntos Aproximados para classificação de transformadores de distribuição de energia elétrica quanto à Distorções Harmônicas de Tensão;
- j. Rodrigues (2010) utilizou a mesma técnica para a análise elétrica de impedimentos programados em um dado sistema de energia, conciliando com a aplicação de fluxo de potência otimizado.

1.4.2 Aplicação de Regressão Logística em Sistemas de Potência

A metodologia de Regressão Logística possui ampla aplicação nas áreas relacionadas às ciências sociais e medicina, enquanto que ainda existe pouca aplicação nas áreas relacionadas à energia elétrica e sistemas de alta tensão. Desta forma, seguem alguns trabalhos associados a Sistemas de Potência.

- a. Araújo (2007) utilizou a Regressão Logística como parte da modelagem matemática para avaliar perdas e inadimplência em concessionárias de distribuição de energia elétrica;
- b. Penin (2008) realizou um estudo para o problema das perdas não técnicas associadas à distribuição de energia elétrica, para isto usou uma abordagem multidisciplinar onde a Regressão Logística foi parte aplicada neste trabalho;
- c. Souza (2008) aplicou a Regressão Logística na análise de distorções harmônicas de tensão a partir das características de transformadores de distribuição e dados de consumo de energia.

Salienta-se, novamente, que não foram encontrados trabalhos nas bases de conhecimento que tratam de avaliação de dados de linhas de transmissão tanto com Conjuntos Aproximados quanto com qualquer outra técnica conhecida, o que justifica a contribuição desse trabalho na área de avaliação de estruturas metálicas de linhas de transmissão.

1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, sendo que o primeiro é introdutório; o Capítulo 2 possui informações gerais sobre linhas de transmissão e seus principais componentes que serão tratados no trabalho; o Capítulo 3 detalha os fundamentos da Teoria de Conjuntos Aproximados, descrevendo suas características e aplicações, além de descrever a técnica de Regressão Logística e sua forma de aplicação; o Capítulo 4 descreve detalhes sobre a estruturação dos atributos considerados tanto para aplicação de Conjuntos Aproximados quanto para Regressão Logística; o Capítulo 5 apresenta os resultados para o sistema de transmissão do Paraná e finalmente no Capítulo 6, apresentam-se as conclusões pertinentes e as sugestões de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – LINHAS DE TRANSMISSÃO

2.1 INTRODUÇÃO

Linhas de Transmissão (LT) são circuitos que fazem a interligação entre Subestações, Usinas ou Distribuidores de Energia. Estes circuitos são compostos por torres autoportantes ou mesmo postes, além de cabos metálicos para o fluxo da energia. Sua função principal é o transporte de grandes volumes de energia elétrica com a menor perda possível de energia. Seu projeto é determinado pela capacidade de energia a ser transportada, pela região onde serão construídas as linhas e pela importância dos pontos que serão interligados.

Os sistemas de transmissão podem ser em corrente alternada (CA) ou corrente contínua (CC). Dentre os sistemas, o mais utilizado no Brasil é o de corrente alternada e sua aplicação ocorre em circuitos trifásicos, possuindo atualmente apenas uma LT de alta tensão em corrente contínua. Estas são composições para interligação de energia no país, entre diversos centros consumidores, bem como para alimentação de grandes instalações industriais.

Os níveis de tensão aplicados são padronizados tanto para transmissão em CC como CA. O sistema brasileiro (CA) transmite em tensões de 69 kV, 88 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 525 kV e 750 kV. As tensões entre 69 e 138 kV são chamadas de subtransmissão e as tensões acima de 525 kV são chamadas de extra-alta tensão. A Figura 2-1 ilustra uma linha de 69 kV entre as Subestações Usina Mourão e Mamborê.

A padronização de tensões faz-se necessária devido à padronização de equipamentos (como chaves seccionadoras, disjuntores e transformadores). Assim, o nível da linha se refere ao valor da tensão entre fases, enquanto os equipamentos são classificados entre o referencial de fase e terra (potencial zero).

A fim de se analisar convenientemente as causas para a descontinuidade de transmissão de energia devido a contingências nas linhas de transmissão provocadas por fatores externos, faz-se necessário uma descrição dos tipos e configurações de estruturas, cabos e fundações, bem como o dimensionamento

de uma LT para que então se possa analisar e descrever os tipos comuns de quedas e suas causas físicas.

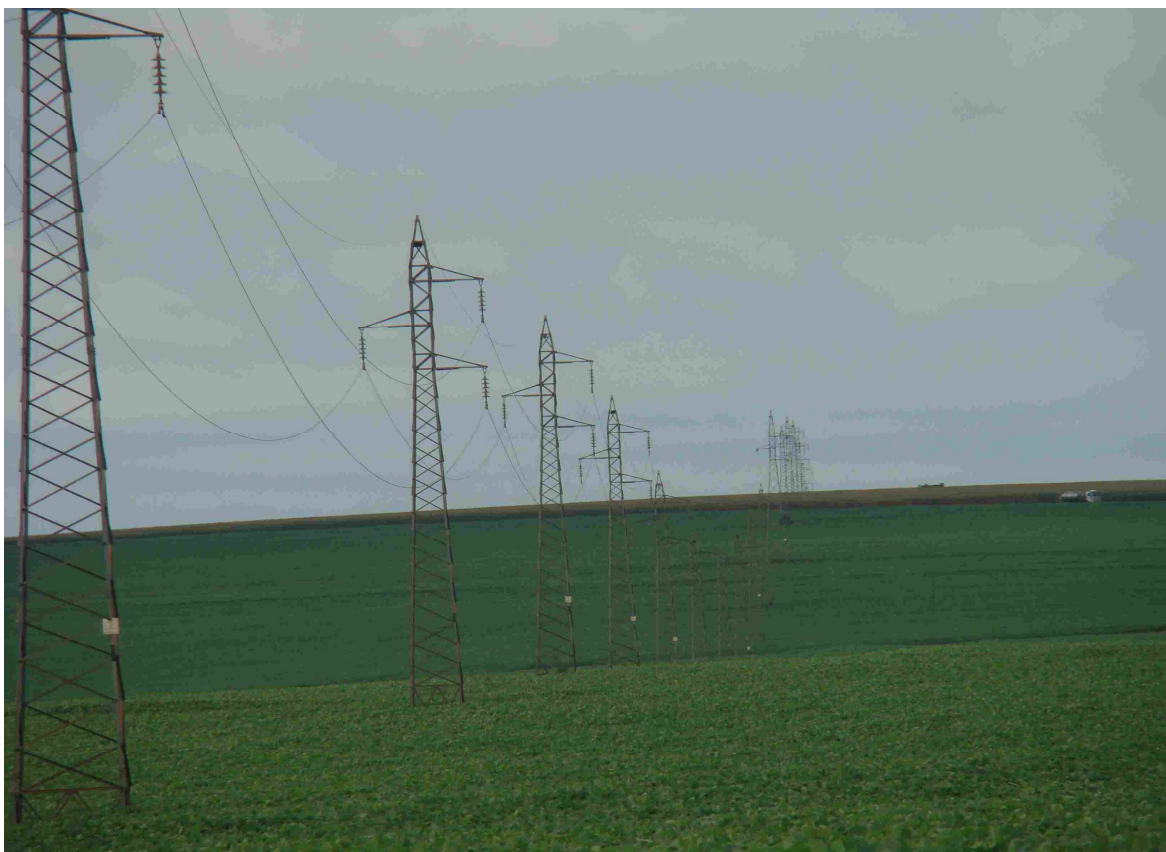


FIGURA 2-1 – LINHA DE TRANSMISSÃO 69KV USINA MOURÃO – MAMBORÊ

FONTE: O autor (2009)

2.2 ESTRUTURAS

As dimensões e formas das estruturas dependem da disposição necessária dos condutores, da distância entre os condutores, das dimensões e forma de isolamento, das flechas projetadas para os condutores, da altura mínima de segurança, além do número de circuitos envolvidos (LABEGALINI *et al*, 1992).

2.2.1 Dimensionamento Básico

O dimensionamento de uma estrutura de linha de transmissão depende

tanto da carga que será transportada (associado diretamente à capacidade e comportamento dos cabos) como das dimensões da própria estrutura a ser utilizada. Estes valores são calculados em função de considerações de segurança e do desempenho em face aos valores de sobretensão e esforços a que as estruturas serão submetidas.

As distâncias de segurança são os afastamentos mínimos recomendados do condutor e seus acessórios energizados a quaisquer partes. Os valores mínimos devem ser determinados em função de estudos que levam em consideração as várias solicitações elétrica a que a linha será submetida, devidamente coordenada com as condições de vento que ocorrem simultaneamente com cada uma das referidas solicitações (ABNT - NBR 5422, 1985).

As estruturas possuem uma isolação em relação aos cabos feita por cadeias de isoladores e as distâncias de segurança também levam em conta a capacidade de isolação do próprio ar. As normas técnicas relacionadas estabelecem as distâncias mínimas de segurança para trabalhos. Estas distâncias levam em conta as partes energizadas e as partes das estruturas que realizam os suportes dos cabos, além de considerar a distância mínima ao solo e aos objetos que possam estar próximos aos cabos.

Além da informação de distância de segurança, existe também a preocupação quanto a seu desempenho quando exposta a descargas atmosféricas. É preciso ter em mente que quanto maior a estrutura, mais sujeita a sofrer com descargas ela estará. Assim, para estruturas de tensão abaixo de 230 kV, devido a restrições de condutividade de correntes injetadas por descarga, esta deverá ter capacidade de dissipar a energia incidida através de seu sistema de proteção contra descargas (conjunto de cabos pára-raios e aterramento).

Em função do citado problema, uma série de estruturas com dimensões reduzidas foram desenvolvidas nas duas últimas décadas a fim de limitar principalmente a altura e readequando os cabos a esta nova situação, são as chamadas estruturas compactas. As estruturas compactas também colaboram com a estética das regiões onde são implantadas, já que seu impacto é inferior ao das estruturas convencionais.

2.2.2 Classificação de Estruturas

Devido aos diversos pontos que devem ser observados, para a determinação dos tipos de estrutura a serem aplicados, podem-se classificar as estruturas em alguns critérios, como:

- a. Quanto à sua função na linha;
- b. Quanto à sua forma de resistir aos esforços;
- c. Quanto ao material de sua composição.

2.2.2.1 Quanto à sua Função

A função de uma estrutura numa linha de transmissão está associada aos esforços aos quais cada estrutura deverá ser submetida. Estes esforços podem possuir componentes verticais (associados ao peso dos cabos, das cadeias de isoladores e ferragens), componentes horizontais transversais (tração e vento sobre os cabos e equipamentos) e cargas horizontais longitudinais (esforços no sentido da linha). Assim classificam-se as estruturas como sendo:

- a. Suspensão: estruturas sujeitas a esforços de componentes verticais e horizontais transversais.
- b. Ancoragem: estruturas sujeitas a esforços verticais, horizontais transversais e longitudinais. Estas estruturas podem suportar ângulos de altos valores, pois apresentam as cadeias de isoladores ancoradas no corpo da estrutura.

Existem estruturas em situações intermediárias às apresentadas, tais como, suspensão com pequenos ângulos, estruturas de transposição de fases, derivação, mas todas se enquadram, em grande parte de suas características, dentro dos dois tipos apresentados anteriormente.

2.2.2.2 Classificação quanto à sua Resistência

Nesta classificação, as estruturas podem ser classificadas quanto ao modo que suportam as componentes incididas sobre elas, ou seja, de que forma ela transfere os esforços sofridos aos materiais aplicados e a região na qual foi

realizada sua locação. Conforme Fuchs (1977), as estruturas podem ser classificadas em dois grandes grupos:

- a. Autoportante: suas ferragens são capazes de suportar todo o esforço aplicado sobre a mesma, transferindo suas componentes verticais e horizontes sobre sua base e distribuindo sobre a área do solo no qual está em contato.
- b. Estaiada: para a melhor distribuição de esforços, utiliza estais conectados entre pontos de fixação na estrutura e o solo. Desta forma, os pontos mais suscetíveis são neutralizados por cabos metálicos ancorados na terra, ou seja, mais pontos são presos ao solo, gerando mais pontos de distribuição de esforços mecânicos.

2.2.2.3 Classificação quanto a sua Composição

De acordo com o avanço das tecnologias aplicadas em linhas de transmissão, com o passar do tempo foram estudadas formas de transmissão de energia por estruturas de diversos materiais, trazendo diversificação nos materiais empregados e em suas variedades. Então, classificam-se as estruturas como:

- a. Metálica: são geralmente fabricadas com aço-carbono, normais ou de alta resistência, perfiladas ou tubulares. A composição em peça permite a montagem e o relativamente fácil transporte. A galvanização das peças garante a vida útil acima dos 25 anos. No passado, o Alumínio e suas ligas puderam ser utilizados para material estrutural, com sensível redução de peso, porém com grande perda em resistência mecânica. Este tipo de estrutura está amplamente associado a regiões de baixa densidade populacional, devido necessidade de larga faixa de servidão (que varia de acordo com o nível de tensão).
- b. Concreto: pode ser produzida tanto no processo de centrifugação como de vibração, porém devido ao material empregado, este deve ser fabricado já com o corpo inteiro, dificultando seu transporte e sua montagem. O poste centrifugado apresenta melhor acabamento, necessitando de instalações mais elaboradas para a

fabricação. O poste vibrado necessita de instalações mais modestas para ser fabricado, sendo que os postes apresentam maior robustez. Os postes feitos em processo de vibração podem ser aplicados nas mesmas situações das torres metálicas com menor custo, porém com aplicação em vãos mais curtos. Já os postes centrifugados, possuem grande aplicação em regiões urbanas, já que são mais leves e requerem uma faixa de servidão bem reduzida, causando menor impacto na área instalada.

- c. Madeira: apesar de ser feito de material de fácil extração e baixo custo, o poste de madeira não possui grande resistência mecânica. Foram muito utilizados até os anos 90, mas com a elevação dos níveis de tensão aplicados, os esforços requeridos aumentaram, perdendo espaço nas novas construções de linhas.

Para a definição da composição da estrutura, deve-se considerar a composição da estrutura aérea, quer dizer, das partes expostas aos esforços aéreos. Assim, não foi contemplado o tipo de fundação aplicado na estrutura, já que este varia de acordo com o tipo de solo.

2.2.3 Configuração e Tipos de Estruturas

A escolha do tipo de estrutura é influenciada pelo projeto de uma linha específica, onde o custo dos materiais e mão-de-obra, os terrenos, a capacidade, a confiabilidade e a manutenção interferem diretamente na decisão. Por isto, a configuração básica é selecionada em função dos seguintes parâmetros:

- a. Espaçamento entre fases;
- b. Configuração das cadeias de isoladores;
- c. Definição dos cabos condutores das fases;
- d. Distanciamento necessário entre os condutores e o pára-raios;
- e. Ângulo da estrutura em relação ao eixo da linha de transmissão;
- f. Folgas necessárias dos componentes energizados, para a realização de manutenções em condições normais de operação;
- g. Folga necessária devido à posição do cabo condutor na estrutura, causado por desníveis entre estruturas e ângulos acentuados na

estrutura;

- h. Folga necessária para a utilização de amortecedores ou pesos adicionais nos cabos, em função de correção de catenárias;
- i. Folgas adicionais necessárias para manutenções específicas.

Os tipos e configurações das estruturas em uso são variados. Os projetos de estrutura não estão limitados aos modelos já aplicados. Mas para a definição de um novo modelo, é necessário um grande número de informações para encontrar uma configuração eficiente e que não seja aplicado exclusivamente a uma estrutura de uma série de linhas projetadas. A aplicação de materiais adequados, bem como os níveis de tensão, acaba por tornar ainda mais difícil a definição de estruturas padronizadas (FUCHS, 1977).

Os diversos tipos são formados conforme a combinação das diversas funções de uma estrutura. Por exemplo, existem diversos tipos de estruturas com a função de ancoragem, com a resistência de autoportante e feita de material metálico. E também é preciso levar em conta que no Brasil, as linhas de transmissão em sua maioria utilizam três cabos condutores, formando um sistema trifásico (circuito simples). Isto faz com que as estruturas possam conduzir apenas um ou dois circuitos, tornando a estrutura para circuito simples ou duplo, respectivamente.

Além deste fator, a disposição dos condutores é de suma importância. A disposição entre os cabos varia entre: horizontal, vertical ou triangular. De acordo com a disposição dos cabos existem diferentes valores de campo eletromagnético associados. Entre as posições vertical e horizontal, os campos gerados por cada um dos cabos se somam devido a sua distribuição, com isto os cabos de proteção (cabos guarda) também tem a finalidade de evitar que ocorram curto-circuitos na ocorrência de sobretensão nos condutores.

Os circuitos triangulares são todos aqueles em que a distribuição é feita para que os campos eletromagnéticos das fases possam melhor se equilibrar. Esta situação é a que apresenta melhores condições, com menores riscos de indução e curtos por sobretensão, porém é a forma mais difícil de se utilizar uma estrutura otimizando seus espaços.

2.3 CABOS

Os cabos podem ser diferenciados pelas diversas funções que possuem numa linha de transmissão, onde podem ser condutores de energia, protetores contra surtos atmosféricos e sobrecorrentes, ou mesmo dissipadores de energia em partes aterradas. O cabo condutor pode ser chamado de parte ativa de uma linha de transmissão, pois serve de guia dos campos elétrico e magnético (FUCHS, 1977).

Os materiais dos cabos, geralmente utilizados são de Alumínio, Cobre e aço galvanizado. Nos cabos condutores, a grande maioria é feita de Alumínio possuindo núcleo de aço galvanizado (alma de aço).

2.3.1 Materiais de Fabricação dos Cabos

Devido ao alto custo para aplicação, cada vez mais os cabos de Cobre vem sendo substituídos nas linhas de transmissão. Devido ao valor agregado, muitas LT vêm sofrendo com roubo deste tipo de material para revenda no mercado informal, trazendo grandes prejuízos a empresas do setor elétrico. Mesmo assim, ainda vem sendo utilizados em antigas instalações, mas com pouca perspectiva de continuar em atividade.

No caso dos cabos de Alumínio, os materiais utilizados vêm sendo mais aplicados, mas não em sua forma pura, mas em ligas de Alumínio-aço e ligas de Alumínio termo-resistente.

Utilizados quase na totalidade das linhas de transmissão brasileiras, a finalidade do aço no condutor é conferir ao cabo a resistência mecânica necessária para a utilização em grandes vãos, o que não se consegue com condutores de Alumínio puro. Existem várias formações de cabos, onde a alma possui um fio de aço envolvido por vários fios de Alumínio.

Os condutores formados por ligas de Alumínio têm por finalidade conferir maior resistência mecânica aos cabos, do que o cabo de Alumínio, com maior resistência à oxidação e à corrosão. Porém este tipo de material ainda não é muito aplicado no Brasil.

Os cabos de aço galvanizado utilizados em linhas têm por finalidade

interceptar descargas atmosféricas, ou seja, são cabos pára-raios, bem como podem ser utilizados para estaiamento de estruturas ou aterramento da mesma no solo. Além deste tipo de cabo, para o aterramento também podem ser utilizados os cabos *Copperweld* (liga de aço e Cobre) e *Alumoweld* (liga de Alumínio e Cobre).

2.3.2 Comportamento dos Cabos

Os condutores das linhas aéreas de transmissão podem ser considerados suficientemente flexíveis, quando os pontos onde suas extremidades estão fixadas, estiverem afastados entre si acima de dezenas de metros. Observando o desenho formado por este cabo, verifica-se sua proximidade com o desenho de uma catenária. A catenária é uma curva que se aproxima de uma parábola, porém sua curvatura depende diretamente do coeficiente de dilatação dos fios que formam o cabo (Figura 2-2).

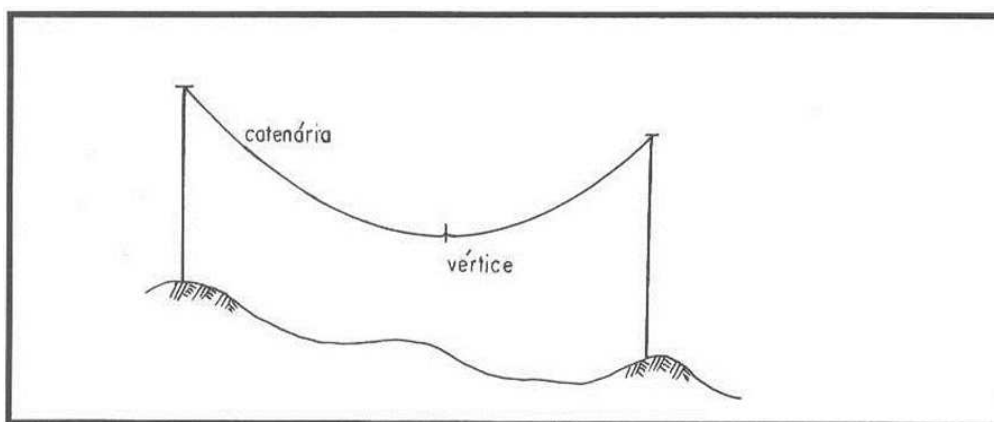


FIGURA 2-2 – CURVA DA CATENÁRIA

FONTE: FUCHS (1977)

Os pontos de suspensão ou ancoragem dos condutores de uma linha aérea podem estar em uma mesma altura ou, como é mais frequente, em alturas diferentes. Nos casos dos pontos estarem em mesma altura (Figura 2-3), a curva apresentada torna-se simétrica e seu ponto mais baixo está no meio da distância horizontal entre os pontos. Esta situação já não ocorre para os casos em que os

pontos estão em alturas diferentes (Figura 2-4) e, para estas situações, o ponto mais baixo deve ser calculado tomando como base as informações de dilatação dos cabos e das alturas dos suportes (estruturas) que fixam as extremidades do cabo.

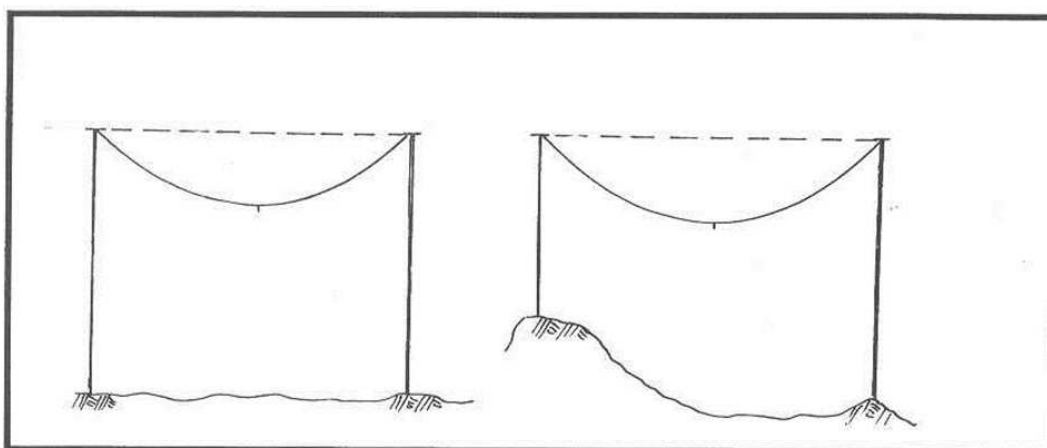


FIGURA 2-3 – REPRESENTAÇÃO DE VÃO NIVELADO

FONTE: FUCHS (1977)

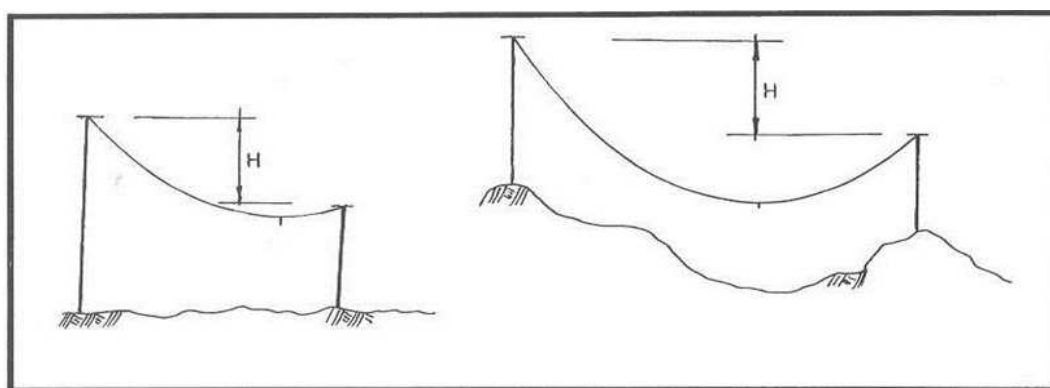


FIGURA 2-4 – REPRESENTAÇÃO DE VÃO DESNIVELADO

FONTE: FUCHS (1977)

O desenho da catenária também ocorre em função da tração a que o cabo está submetido, ou seja, quanto mais tracionado, mais próximo estará de ser uma reta e quanto menos tracionado, mais próximo estará de ser uma catenária. Com isto, o tracionamento do cabo ocorre em função da capacidade do cabo e de suas características próprias, como dilatação e peso do material do qual é constituído.

2.3.3 Influência de Agentes Externos

Além dos esforços permanentes aos quais os cabos condutores estão expostos, também estão expostos a esforços de caráter transitório. Estes esforços podem ser classificados basicamente em três tipos:

- a. Aqueles que ocorrem frequentemente durante toda a vida útil do cabo;
- b. Aqueles que ocorrem durante os trabalhos de montagem e manutenção;
- c. Aqueles que ocorrem durante eventualidades que sejam causados por forças externas, de forma aleatória, como acidentes.

No primeiro tipo classificado, é possível identificar as cargas causadas por fatores meteorológicos, como a força resultante da pressão do vento sobre os condutores e aquelas decorrentes da redução da temperatura dos condutores durante seu tensionamento. É importante saber que o próprio tracionamento do cabo ocorre em função das condições de temperatura, onde conforme esta aumenta, menor é a tração sobre o cabo. Isto ocorre em decorrência de suas propriedades metálicas de dilatação.

O vento incidido em um cabo também gera uma força lateral ao qual este é submetido, em sentido perpendicular ao eixo do cabo e de sentido lateral. Quanto mais forte for o vento, maior será a força lateral aplicada. Por isto, cada projeto de estrutura considera um valor limite de vento baseado em históricos desta força lateral de sentido diferente ao sentido da tração e do peso do cabo. Para melhor controlar o valor de referência é feita uma equivalência entre a força gerada pela incidência do vento sobre a superfície da estrutura e a velocidade do vento que gera esta força.

Durante a fase de montagem e durante os serviços de manutenção, os cabos podem ser solicitados por forças adicionais, como aquelas decorrentes de seu tracionamento inicial (quando o cabo é instalado) e por cargas verticais concentradas, como as de carrinhos instalados no cabo para deslizar no vão das estruturas. Além destas, o próprio peso dos trabalhadores e dos equipamentos utilizados para a construção e instalação de acessórios geram aumento nos esforços.

O último tipo de esforço transitório citado ocorre devido a cargas

excepcionais ou acidentais. São forças unilaterais de grande intensidade, submetendo as estruturas a solicitações de tração. Estas situações podem ser causadas pelo rompimento de cabos ou mesmo por colisão de objetos com os cabos, como helicópteros ou aviações de pequeno porte.

2.4 FUNDAÇÕES

As fundações têm por finalidade equilibrar a ação das forças atuantes sobre a parte superior da estrutura e seus equipamentos, e para isto deve levar em conta o tipo de solo onde esta será implantada. Com isto, é necessário realizar uma conciliação destes fatores para que as fundações possam ser mais bem aplicadas, sem gerar excessos de material ou dirimir as forças a qual estará exposta.

2.4.1 Características de Solo

As estruturas podem ser aplicadas em diversos tipos de região e, por consequência, estão sujeitas a serem implantadas em diversos tipos de solos. Obviamente, existem situações onde é inviável a instalação de uma estrutura, mas é importante se destacar a existência de estruturas em meio a matas fechadas, em regiões desérticas e mesmo no meio de rios.

Com a grande variedade de solos possíveis, o cálculo do tipo de fundação considera a capacidade de contrariar o momento gerado por forças que tendem a tombar uma estrutura, inserindo no cálculo da estabilidade o empuxo do terreno. Quando se trata de terrenos soltos (de baixa coesão) como areia, o eixo de rotação da fundação possui um limite considerado aceitável para que se tenha uma referência para a adoção de melhor solução. Quando são terrenos considerados elásticos (solos de alta coesão) a limitação de rotação é outra. É importante saber que os terrenos elásticos possuem uma maior capacidade quando exposto a esforços acima do projetado, podendo gerar um deslocamento momentâneo da fundação, mas vindo a retornar a um estado próximo ao original.

A resistência específica dos solos à compressão ao longo das faces

verticais varia proporcionalmente à profundidade. Já a profundidade varia em função da classe do terreno e da umidade ao qual está sujeito. Para efeito de análise e cálculos, o terreno se comporta como um corpo, mais ou menos elástico ou plástico, e por ele os deslocamentos da fundação dão origem a reações do terreno, que também tendem a ser diretamente proporcionais.

2.4.2 Fundações em Concreto

Algumas concessionárias utilizam concreto em algumas de suas fundações, sendo que sua utilização depende do preparo do concreto. Para este preparo os concretos devem ser misturados mecanicamente conforme as quantidades estipuladas pelo projeto da estrutura. A quantidade de concreto preparada em cada operação é estritamente necessária para o seu emprego imediato.

Os concretos frescos devem sofrer a menor distância possível de transporte e serem lançados logo após a mistura e amassamento. Nos casos de uso de impermeabilizante para concretagens com presença de água, este intervalo para lançamento deve ser extremamente curto, isto para que a massa seja praticamente uniforme. O trabalho com concreto está sempre sujeito a problemas construtivos, desde que o processo de mistura, lançamento e secagem não sofram alterações.

Considerando estas situações básicas para a aplicação de concretos, seguem os tipos de fundação aplicados em linhas de transmissão.

2.4.2.1 Tubulão

Tipo de fundação mais profunda, escavada com pá, picareta, ou trado. Depois de colocada a armadura para o concreto, é realizada a concretagem. Geralmente, usam-se manilhas de concreto armado, para efetuar o escoramento do fuste (camada superficial do concreto).

Para a aplicação das fundações em tubulão (Figura 2-5), os seguintes critérios são aplicados:

- a. O local deve apresentar condições de escavação a céu aberto;

- b. As escavações devem ser realizadas com assentamento simultâneo dos tubos de concreto para escoramento, metro a metro, permitindo a contenção das paredes da cava;
- c. Eventualmente, deve ser avaliada a possibilidade de se compensar a não execução da base alargada, pelo aumento do comprimento do fuste;
- d. Para torres com carregamentos elevados, se justifica o uso de tubulões pelo processo de execução (mais simples que grelhas), resultando em custos menores.

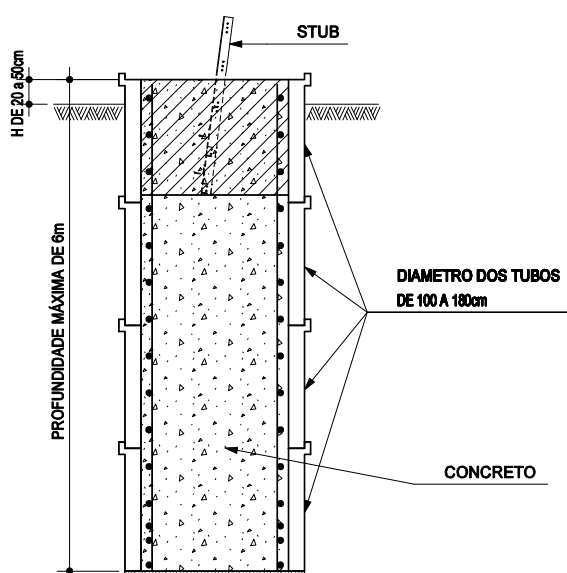


FIGURA 2-5 – FUNDAÇÃO EM TUBULÃO COM MANILHAS

FONTE: COPEL (Manual de Fiscalização de Obras de LT – documento de acesso restrito)

2.4.2.2 Sapata em concreto armado

As sapatas são fundações rasas de concreto armado e de pequena altura em relação às dimensões da base. Elas são normalmente de base quadrada e de fuste inclinado ou vertical. No projeto, são utilizados fustes de comprimentos variáveis para facilitar a montagem das estruturas em locais de pés desnivelados. Há a necessidade de armação da face inferior e superior da sapata, em função de os esforços na torre serem ora de compressão, ora de tração (Figura 2-6).

A fundação pode ser aplicada para terrenos inundáveis ou com nível freático até a superfície do terreno, desde que se possam tomar medidas que contenham as paredes da cava e que rebaixem o nível d'água.

Utilizam-se sapatas, geralmente quando não se dispõe de grelhas, ou quando se deseja compensar o desnivelamento em um pé de torre. O pilarete da sapata pode ser construído com comprimento desejado.

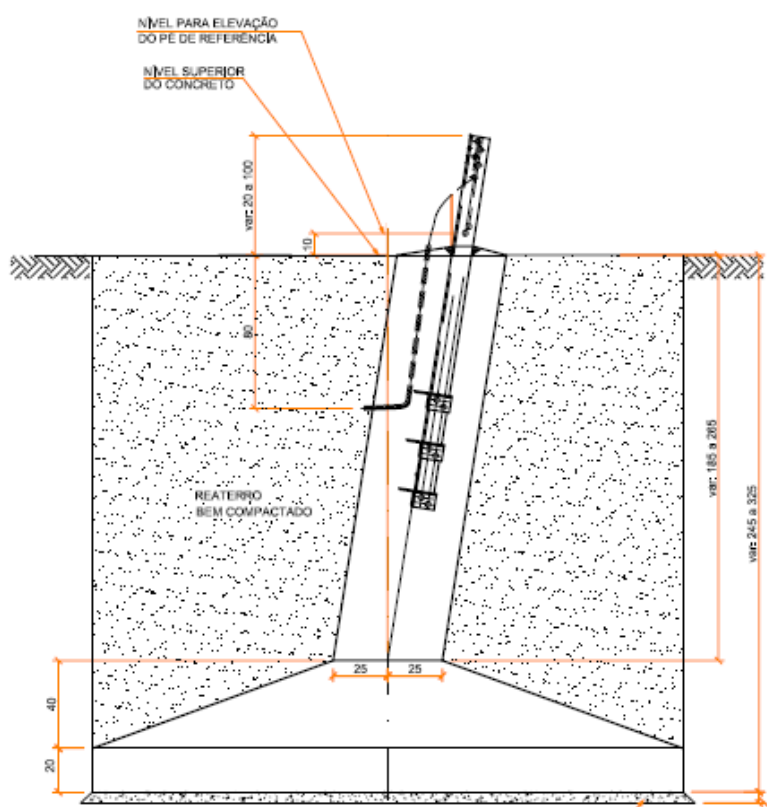


FIGURA 2-6 – FUNDAÇÃO EM SAPATA

FONTE: COPEL (Manual de Fiscalização de Obras de LT – documento de acesso restrito)

2.4.3 Fundações Metálicas

As fundações metálicas são utilizadas em regiões onde o solo possui boa coesão. As fundações puramente metálicas aplicadas em estruturas de linhas de transmissão possuem formato piramidal de forma que a conexão com a estrutura seja feita pelo topo da pirâmide e toda sua área interna seja vazada e preenchida com terra. Este formato faz com que o próprio solo seja uma barreira mecânica que evite que a base da fundação (base da pirâmide) possa vir a subir ou mesmo

se deslocar lateralmente.

As variações neste tipo de fundação ocorrem quanto a dimensão da base, altura do conjunto, dimensões das longarinas e chapas metálicas a serem aplicadas.

2.4.3.1 Grelha Metálica

A grelha metálica é classificada como fundação rasa, ligada ao pé (montante) da torre, ao nível do terreno. A base da fundação (grelha propriamente dita) é constituída por travessas (perfil U) e por cantoneiras (Figura 2-7). São fundações rasas com 2 a 4 metros de profundidade, indicadas para terrenos argilosos, arenosos ou siltosos, porém secos e com resistência crescente com a profundidade e com possibilidade de serem escavados a céu aberto.

A facilidade de transporte e montagem é grande vantagem deste tipo de fundações de linhas de transmissão, principalmente quando o acesso é limitado e impede outra solução. Em torres de tensão mais baixas e pouco carregadas, este tipo de fundação é utilizado sempre que possível. Porém em caso de torres mais pesadas (de ancoragem) ou de circuito duplo, devem ser analisadas outras soluções tecnicamente viáveis.

As fundações em grelhas metálicas são utilizadas de acordo com os seguintes critérios:

- a. Em locais de solos que apresentam potencial de corrosão, são tomadas medidas de proteção anti-corrosiva adequadas;
- b. Procura-se locar a base de fundação acima do nível do lençol freático, sempre que possível;
- c. Em terrenos de menor suporte aplica-se embasamento da grelha com concreto simples, sendo eventualmente necessário o reforço com brita abaixo de sua base ou outro material apropriado;
- d. Para o reaterro da cava, pode ser utilizado material diferente do escavado (material granular), quando da ocorrência de solos encharcados ou com baixa capacidade à tração.

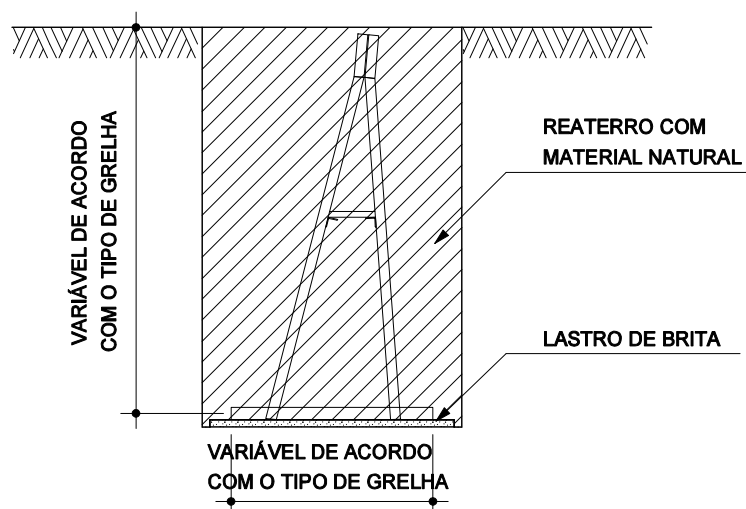


FIGURA 2-7 – FUNDAÇÃO TIPO GRELHA

FONTE: COPEL (Manual de Fiscalização de Obras de LT – documento de acesso restrito)

2.5 PROJETO E CONSTRUÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Uma vez que a transmissão de energia elétrica por linhas aéreas se faz com o emprego de tensões elevadas e que representam real risco de morte para os seres vivos e de danos para os objetos ou propriedades em seu entorno, existem regras e normas que devem ser observadas nos projetos e durante a construção das linhas de transmissão, afim de garantir a segurança de todos.

As normas estabelecem critérios mínimos que devem ser observados pelo projetista e cada linha de transmissão deve ser estudada em particular. Nos dados a serem observados constam máximas solicitações admissíveis nos elementos que compõem a linha, os fatores de segurança, bem como os esforços solicitantes que devem ser considerados.

Os cabos condutores, meio por onde a energia demandada é transportada, são mantidos sob tensões projetadas para um determinado transporte máximo de energia, assim os demais elementos são dimensionados em função dessa tensão, como também em função das solicitações mecânicas que estes transmitem às estruturas. A definição dos tipos de estruturas é dependente do local onde estas serão instaladas, tornando necessário fazer um estudo do relevo onde a linha irá passar e desta forma definir os pontos onde

serão instaladas. Estes estudos e definições são chamados de projetos de locação de estruturas.

O estudo da localização das estruturas é feito sobre o perfil topográfico, representando a curva dos cabos suspensos. Para a representação das catenárias é feito o cálculo de vão básico, o qual determina a flecha máxima que poderá ocorrer (Figura 2-8). A flecha é o componente vertical de distância entre o ponto mais baixo e o eixo da reta que interliga as estruturas. As seções de tracionamento e os vãos que serão utilizados para os cálculos das flechas serão definidos sobre este levantamento. (LABEGALINI *et al*, 1992).

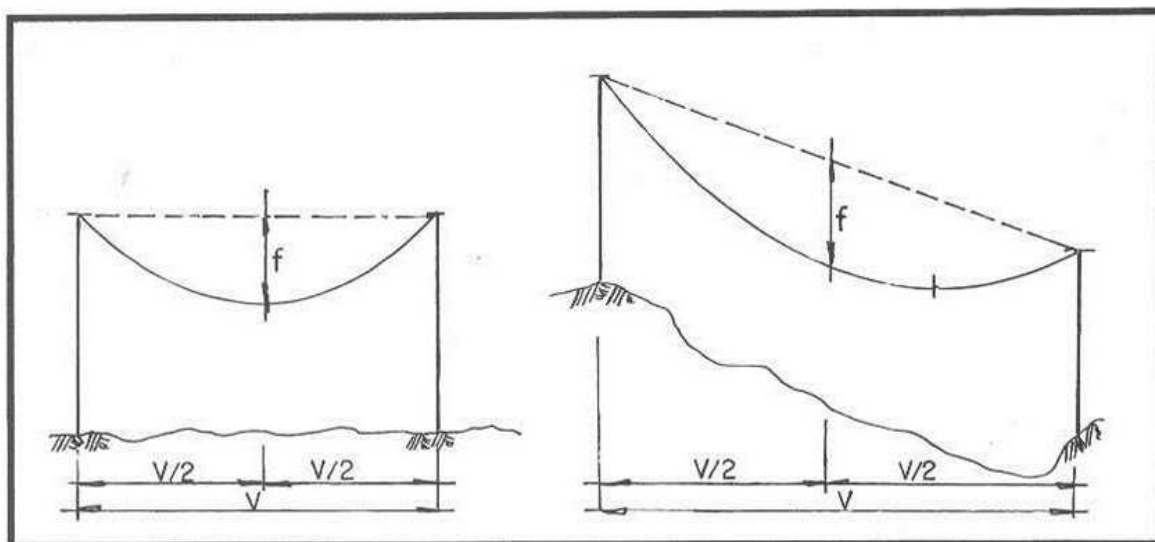


FIGURA 2-8 – REPRESENTAÇÃO DA FLECHA

FONTE: FUCHS (1977)

As flechas máximas, em condições normais de operação ocorrem após a deformação total dos cabos. Em condições de contingência do sistema elétrico, em geral de curta duração, sobrecorrentes devido faltas ou sobrecargas, podem elevar transitoriamente as temperaturas dos cabos para valores acima das máximas adotadas no projeto. Nestas condições podem ocorrer abaixamentos adicionais dos condutores, de caráter transitório, violando as distâncias de segurança.

2.5.1 Locação de Estruturas

Os projetos de locação de estruturas são feitos sobre perfis planialtimétricos dos relevos. Eles consideram os eixos longitudinais das linhas, apoiados em levantamentos topográficos de faixas de áreas onde a linha pode ser construída. A largura das faixas é variável, tendo como centro o eixo da linha e mostrando a posição e dimensões dos obstáculos, tipo de cobertura vegetal, natureza do solo, dentre outros fatores relacionados aos possíveis lugares onde implantar uma estrutura.

Os trabalhos topográficos são feitos exigindo-se um número de pontos suficientes para uma reprodução razoavelmente fiel do terreno sobre os perfis de projeto. O perfil longitudinal é obtido através da interpolação dos pontos levantados. A reprodução é feita em escala reduzida, variando entre as distâncias verticais e horizontais.

O projeto da distribuição das estruturas também é baseado no estudo do comportamento dos cabos, sob as condições de carregamento, sua vida útil e quanto ao seu mínimo afastamento do solo ou obstáculos cruzados pela linha. A integridade de toda a linha de transmissão é assegurada pelas limitações impostas às trações do cabo e que são conservadas pelo posicionamento e modelos de estruturas aplicados.

Pontos obrigatórios para a linha, como vértices no eixo e pontos de derivação, devem estar claramente representados, como também marcos e as estacas do levantamento topográfico. Quando o eixo da linha segue uma encosta, o desenho contém informações acerca da declividade do terreno no sentido transversal. Uma vez preparada a planta topográfica de uma linha de transmissão, pode-se iniciar a execução das marcações do centro das estruturas e dos pontos onde suas bases deverão ser escavadas para a locação da estrutura determinada.

2.5.2 Condições de Estabilidade de uma Estrutura

Uma vez locadas as estruturas de uma linha, é relativamente fácil calcular os esforços que cada uma das estruturas deve suportar, porém é trabalhoso

definir os componentes a que cada parte da estrutura está sendo submetida. Teoricamente, cada uma das estruturas a ser implantada poderia ser projetada e dimensionada conforme os esforços que deve suportar. Porém, isto não se torna viável por demandar projeto específico para a fabricação de cada modelo projetado.

Para as linhas de transmissão, é muito comum a utilização de estruturas padronizadas, onde os projetistas já têm suas características de resistência e seus projetos executivos prontos para execução. Isto faz com que o custo para a produção de estruturas com partes idênticas seja mais barato que a composição uma a uma. O único ponto a ser observado é que esta situação determina que sejam feitas as comparações dos valores necessários para que a estrutura selecionada seja, no mínimo, equivalente à necessária.

Os diagramas de utilização de estruturas em geral são baseados nas solicitações transversais e de ângulo, enquanto que as verticais, no vão gravante máximo admissível para cada tipo (Figura 2-9), e ao correspondente vão médio (Figura 2-10).

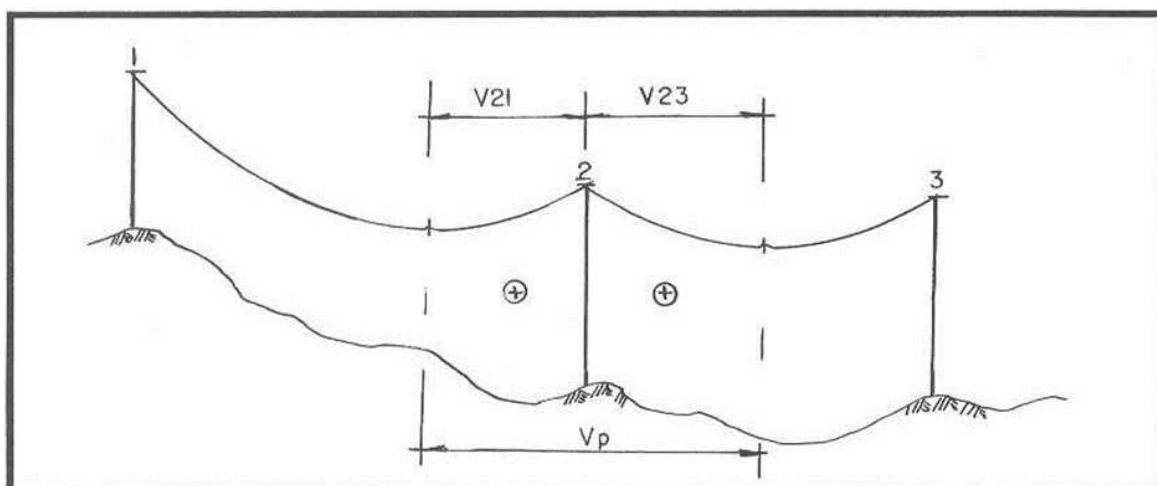


FIGURA 2-9 – REPRESENTAÇÃO DE VÃO GRAVANTE

FONTE: FUCHS (1977)

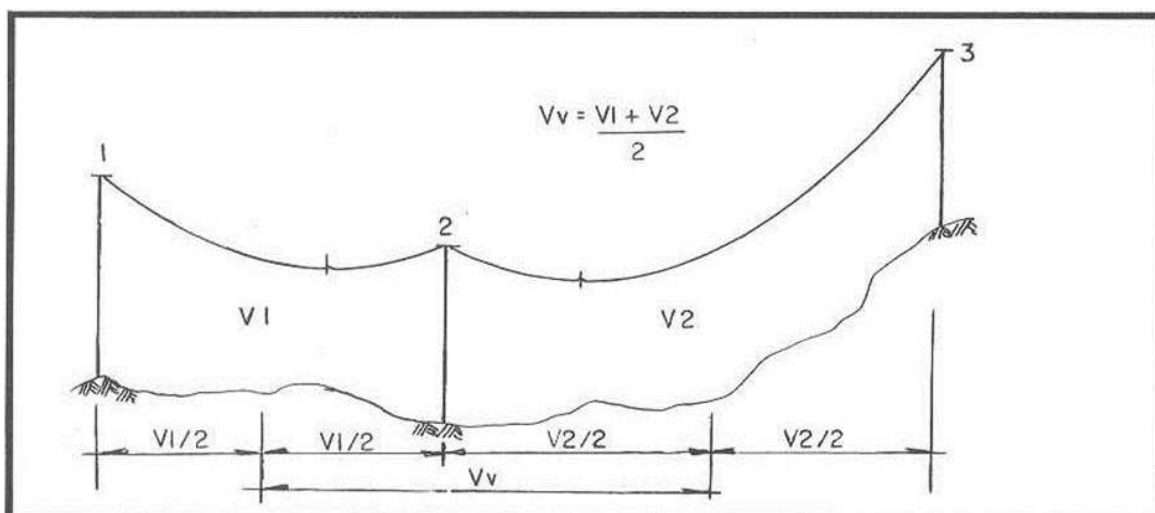


FIGURA 2-10 – REPRESENTAÇÃO DE VÃO MÉDIO

FONTE: FUCHS (1977)

O vão gravante representa quanto de peso que a estrutura deverá suportar, ou seja, todas as cargas no sentido vertical representam quanto esta deve suportar. Este é determinado pela distância entre os pontos mais baixos da curva dos cabos adjacentes a estrutura. Já o vão médio considera a incidência do vento sobre os cabos, empurrando o cabo de forma que fique perpendicular ao solo, isto faz com que uma nova componente de força exista, puxando a estrutura lateralmente. Para saber quanto desta força é aplicado sobre a estrutura basta somar metade do valor do vão adjacente de cada lado da estrutura.

2.6 QUEDAS DE ESTRUTURAS METÁLICAS

As linhas de transmissão transportam grande volume de energia elétrica aos centros de distribuição (consumidores) utilizando cabos metálicos (de Cobre ou Alumínio) sustentados por estruturas feitas de concreto ou de material metálico. Cada tipo de estrutura possui características próprias de suportabilidade a esforços mecânicos. Nestas, os esforços se dão no sentido longitudinal dos cabos, na componente vertical (associada ao peso) e no sentido transversal aos cabos, ambos laterais às estruturas.

Todo tipo de equipamento está suscetível a sofrer esforços superiores ao que é projetado, podendo gerar uma falha funcional, ou seja, este equipamento

deixa de exercer sua função. No caso das linhas de transmissão, existem equipamentos que supervisionam e controlam o transporte de energia, sinalizando a ocorrência de interrupções para atuação das equipes responsáveis por seu restabelecimento.

Os equipamentos que realizam a supervisão da linha são relés eletromecânicos ou digitais com funções associadas à verificação constante do fluxo de energia existente entre as extremidades da linha. Quando ocorre desequilíbrio significativo entre os lados, o relé é sensibilizado e sinaliza a ocorrência de falha na LT.

Além da supervisão feita pela equipe de operação, existe uma equipe de manutenção que realiza inspeções detalhas e de patrulhamento ao longo das linhas. Quando as equipes de manutenção são solicitadas, devido à sinalização de falha, estas realizam um patrulhamento, no qual é possível identificar visualmente qual componente sofreu falha funcional. E com as informações levantadas, as equipes podem atuar em sua recuperação e disponibilização para retornar à operação normal.

Dentre as possíveis causas de falhas podem ser citadas: curto-circuito fase-terra por quebra de isoladores ou por descargas atmosféricas, curto-circuito fase-terra por contato de objetos estranhos (árvores, arames, pipas), rompimento de cabos pára-raios com ocorrência de curto-circuito fase-terra, rompimento de condutores com ocorrência de curto-circuito fase-terra ou fase-fase e mesmo quedas de estruturas. Tais situações podem ser causadas por atos voluntários ou involuntários, bem como por questões climáticas (temporais e vendavais). Identificada umas das situações acima, o restabelecimento da carga deverá ser no menor tempo possível e a situação toma características de emergência.

2.6.1 Recuperação de Linhas Danificadas

Nas situações de emergência com quedas de torres, devem-se verificar quais componentes foram seriamente afetados, tais como: estruturas - apontando o tipo e altura, os tipos de fundação, os cabos condutores e um detalhamento da topografia do local, assim como o estado do acesso às torres.

Detectadas as torres avariadas, deve ser feita uma análise sobre a importância da LT para o sistema interligado, o estoque de torres reserva, os tipos de fundação e distâncias entre as bases, a existência de obstáculos para a reconstrução, o tipo de solo e a localização da ocorrência.

Com as informações citadas, é possível a determinação da solução a ser adotada, definindo principalmente a recuperação inicial provisória com estruturas de emergência ou a recuperação da linha com estruturas definitivas. Para esta decisão devem ser levados em conta: o custo da indisponibilidade da LT para a empresa, as condições de demanda, a possibilidade de interrupção de carga e os consumidores afetados pela interrupção.

Para a definição da melhor forma de recuperação deve ser feito um comparativo entre o tempo de construção utilizando estruturas de emergência, somado ao tempo da futura recuperação definitiva, e o tempo da construção de torres definitivas. Além disto, deve ser considerado o custo associado às duas situações possíveis, bem como a disponibilidade dos profissionais e os recursos envolvidos em ambas as situações.

Para situações de linhas radiais, o restabelecimento deve ser feito no menor tempo possível a fim de reduzir o impacto do desligamento aos consumidores afetados. Caso o desligamento não acarrete em desligamento total ou parcial a consumidores, é sugerida a reconstrução em caráter definitivo, evitando que novos desligamentos causem indisponibilidades ao sistema.

Percebe-se que a recuperação de linhas danificadas pode ser onerosa e demorada, sendo que um pré-diagnóstico, que possa detectar antecipadamente as linhas suscetíveis de quedas pode viabilizar um processo preventivo que sem dúvida é mais barato em termos monetários e sociais.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram descritas as informações gerais sobre linhas de transmissão, considerando as partes que as compõem bem como as principais características destes componentes. Estas informações são necessárias para identificação da relação das características com o problema, levantado e

apresentando quais dados são relevantes para os estudos relacionados aos esforços adicionais às quais as estruturas estão sujeitas.

Dentre as características descritas, salientam-se as relacionadas aos tipos de estruturas e fundações, dados sobre esforços e projetos de linhas transmissão.

As informações deste capítulo permitem a definição de atributos que devem ser utilizados na análise de estruturas sujeitas à queda. Por exemplo, a partir das informações de estruturas, podem-se listar os atributos de capacidade mecânica, função e fundação das estruturas; pelos esforços gerados sobre os cabos, podem ser extraídos os atributos de vento e massas de ar; e, pelos dados de locação da estrutura, identificam-se os atributos de relevo, terreno e temperatura da região.

As características de projetos de torres, cabos e projeto de locação estão sempre relacionados já que as definições dos tipos aplicados dependem das variáveis medidas e calculadas para cada linha de transmissão.

CAPÍTULO 3 – TÉCNICAS PARA EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO E CLASSIFICAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar as técnicas Conjuntos Aproximados e Regressão Logística, que foram selecionadas neste trabalho, para extração de conhecimento e classificação das estruturas de linhas de transmissão quanto à suscetibilidade de queda.

A fim de se avaliar o desempenho das mesmas, foi escolhida dentre as técnicas de validação, o método de Lachenbruch (*Leave-One-Out*), também descrito neste capítulo.

3.2 CONJUNTOS APROXIMADOS

A Teoria de Conjuntos Aproximados - TCA foi desenvolvida em 1982 pelo pesquisador polonês Zdzislaw Pawlak como um modelo matemático para representação do conhecimento e tratamento de incerteza. O modelo de Pawlak foi aplicado pela primeira vez na criação de uma ferramenta capaz de receber informações de sintomas de pacientes, que conseguisse analisar as combinações dos dados médicos e as associasse a uma determinada doença. Com isto, a partir de características pré-definidas, pensou ser possível criar modelos que permitissem chegar a conclusões sobre possíveis doenças relacionadas às combinações dos sintomas apresentados (OHRN, 1999).

Ainda, TCA trata de um tipo fundamental de incerteza, a indiscernibilidade, a qual surge quando não é possível distinguir elementos de um mesmo conjunto, e representa a situação em que todos esses componentes parecem ser um único elemento.

Assim, a Teoria de Conjuntos Aproximados aplica a combinação de atributos e faz o tratamento de informações mesmo contendo incertezas ou imprecisões. Sua base são as regras de conjuntos, valendo da noção de

indiscernibilidade. Esta situação mostra que a aproximação de conjuntos ocorre formando-se relações entre dados empíricos pelo agrupamento por semelhança (PAWLAK, 1982).

Uma das principais vantagens da TCA é que ela não necessita de informações preliminares, como por exemplo, distribuição de probabilidade, porque ela utiliza apenas a estrutura interna de dados analisados para modelar o conhecimento.

Pelas combinações de informação, a TCA permite eliminar variáveis ou atributos irrelevantes, reduzindo o sistema de informação através da definição de redutos, os quais são subconjuntos de atributos capazes de manter as mesmas propriedades da representação do conhecimento quando esta é feita utilizando todos os atributos. A redução de atributos é uma das características desta teoria.

Com estas características, a TCA tem-se mostrado relevante por ser uma espécie de interseção entre as áreas de mineração de dados e desenvolvimento do conhecimento (sistemas de informação), a qual tem a propriedade de criar regras que podem ser utilizadas como mecanismos de inferências, desta forma enquadrando-a como um ramo da Inteligência Artificial Simbólica (VIEIRA *et al*, 2003).

3.2.1 Conceitos de Aproximação

Os atributos contidos em um sistema são agrupados em classes e os objetos de uma mesma classe são considerados indiscerníveis entre si. Conjuntos Aproximados são capazes de administrar imprecisões, informações ruidosas e incompletas presentes nestes sistemas. Ou seja, objetos que não podem ser especificados através dos dados disponíveis são classificados em dois conceitos: o de aproximação inferior e de aproximação superior.

O conceito de aproximação inferior considera que todas as informações relevantes de um sistema fazem parte deste conjunto. A aproximação superior considera que todas as informações relevantes fazem parte, além das informações que podem vir a serem relevantes. Portanto, a aproximação inferior não possui valores imprecisos ou incertos em seu conjunto, enquanto a

aproximação superior considera esta possibilidade, mesmo que os dados não façam parte da solução do problema.

Os conceitos citados, quando observados como conjunto de dados, nos apresentam três regiões de interesse: a região positiva (dados da aproximação inferior), a região negativa (dados da aproximação superior) e a região de fronteira. A região de fronteira possui os elementos imprecisos e os que não são relevantes ao sistema (PAWLAK, 1982).

As regiões podem ser representadas pela Figura 3-1.

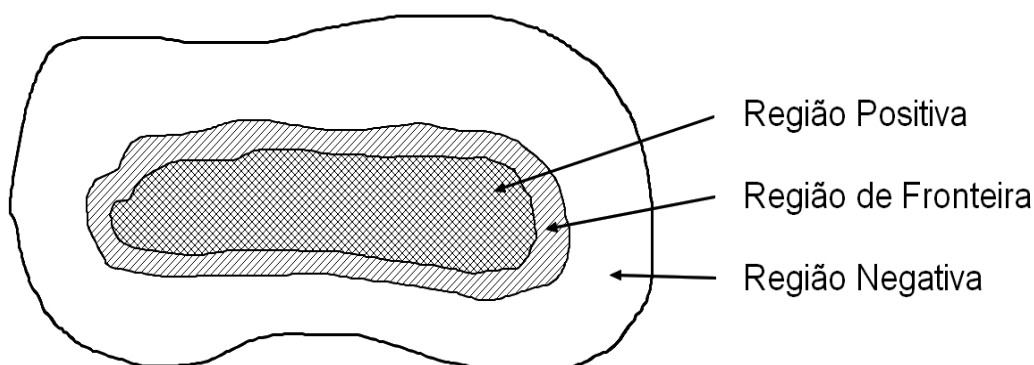


FIGURA 3-1 – REGIÕES DE INTERESSE DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO

FONTE: O Autor (2011)

3.2.2 Relações entre Objetos e Atributos

Para um melhor entendimento, segue a análise quanto a um sistema de informação que pode ser indicado por $I=(O,A)$, sendo O o conjunto de objetos e A os atributos disponíveis na base de dados.

Como ilustração, sugere-se o exemplo de uma linha de transmissão composta por torres. As estruturas metálicas componentes desta linha possuem diversas características e dentre estas características é possível destacar pelo menos três: função da estrutura, fundação da estrutura e capacidade mecânica, que são significativas para a classificação da suscetibilidade da mesma quanto a quedas.

Estas características formam o conjunto de objetos O . Além disto, cada

um dos objetos apresenta seus atributos *A* associados:

- a. Função – {Ancoragem, Suspensão}
- b. Fundação – {Grelha Metálica, *Stub* de Concreto}
- c. Capacidade Mecânica – {Alta, Baixa}.

A Tabela 3-1 apresenta um exemplo, apenas didático, de um sistema de informação considerando algumas estruturas e os atributos relacionados diretamente a elas.

TABELA 3-1 – SISTEMA DE INFORMAÇÃO

Estrutura	Função	Fundação	Capacidade
1	Ancoragem	Grelha	Alta
2	Ancoragem	Grelha	Baixa
3	Ancoragem	Stub	Alta
4	Ancoragem	Stub	Baixa
5	Suspensão	Grelha	Alta
6	Suspensão	Grelha	Baixa
7	Suspensão	Stub	Alta
8	Suspensão	Stub	Baixa

Para a classificação de objetos, comumente é utilizado um atributo para tomar uma decisão, com isto é possível assumir que um sistema de informação está sempre munido de um atributo de decisão (D).

Observando as estruturas que sofreram quedas, é possível verificar que a combinação de algumas características pode ser diretamente associada à possibilidade de queda das estruturas quando submetidas a esforços próximos aos limites de projeto. Para as outras combinações, pode-se considerar que não resultam em nenhum efeito sobre a estrutura. Com isto pode-se dizer que o efeito possui as seguintes condições:

- Efeito – {Queda, Nenhum}.

A partir dos fatores citados é possível formar diversas combinações e verificar os resultados encontrados sobre a estrutura, apresentando ou não características que podem resultar em sua queda. Dentre as 8 combinações possíveis, os efeitos podem ser considerados conforme identificado no histórico das estruturas que já sofreram quedas. É preciso enfatizar que há diversos outros fatores que tornam as estruturas mais expostas a sofrer esforços acima de seu limite de projeto, mas que serão avaliadas com mais detalhes posteriormente.

Apesar deste exemplo apresentar uma quantidade resumida de características, os efeitos sobre as mesmas encontram-se na Tabela 3-2.

TABELA 3-2 – ESTRUTURAS COM CARACTERÍSTICAS E ATRIBUTO DE DECISÃO

Estrutura	Função	Fundação	Capacidade	Efeito
1	Ancoragem	Grelha	Alta	Nenhum
2	Ancoragem	Grelha	Baixa	Nenhum
3	Ancoragem	Stub	Alta	Nenhum
4	Ancoragem	Stub	Baixa	Nenhum
5	Suspensão	Grelha	Alta	Nenhum
6	Suspensão	Grelha	Baixa	Queda
7	Suspensão	Stub	Alta	Nenhum
8	Suspensão	Stub	Baixa	Queda

Pelos efeitos identificados na Tabela 3-2, é possível verificar que há apenas duas combinações de fatores que resultam na possível queda de uma estrutura metálica. E que todas as outras combinações não estão associadas a uma maior exposição à queda. Isto permite afirmar que existem dois grupos de combinações, ou seja, duas maneiras de agrupar as variáveis de forma a identificar um conjunto relacionado ao efeito de queda e outro conjunto relacionado a nenhum efeito. Com base nas informações de atributo de decisão, a Tabela 3-3 apresenta as mesmas informações da Tabela 3-2, porém com nova organização.

TABELA 3-3 – DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA PELO ATRIBUTO DE DECISÃO

Estrutura	Função	Fundação	Capacidade	Efeito
6	Suspensão	Grelha	Baixa	Queda
8	Suspensão	Stub	Baixa	Queda
5	Suspensão	Grelha	Alta	Nenhum
7	Suspensão	Stub	Alta	Nenhum
1	Ancoragem	Grelha	Alta	Nenhum
2	Ancoragem	Grelha	Baixa	Nenhum
3	Ancoragem	Stub	Alta	Nenhum
4	Ancoragem	Stub	Baixa	Nenhum

Observando as informações da Tabela 3-3, é possível verificar que a combinação de atributos pode ter o efeito de queda ou não da estrutura. As estruturas 6 e 8 possuem a queda como seu efeito, mas é possível verificar que os atributos coincidentes são de função da estrutura e de capacidade, enquanto o atributo de fundação é diferente. Isto mostra que o atributo de fundação é dispensável para a análise do efeito de queda. Para as estruturas 5 e 7, também com função de suspensão, pode-se chegar à mesma conclusão que na análise das estruturas 6 e 8, porém com o efeito de nenhuma queda. Na observação das estruturas seguintes pode-se perceber que apenas o atributo de função é suficiente para associar ao efeito. No exemplo didático da Tabela 3-3, se a estrutura tiver a função de ancoragem com capacidade alta ou baixa, seu efeito é de nenhuma queda.

3.2.3 Relações de Indiscernibilidade

Considerando os atributos condicionais (C), para todo subconjunto de atributos (B) pertencentes ao sistema I, uma relação de indiscernibilidade do sistema I ao subconjunto B, é representado por $IND_I(B)$. Assim, se existe uma relação de indiscernibilidade entre dois objetos, significa que todos os valores de seus atributos são idênticos com respeito ao subconjunto de atributos B considerado. O conjunto de todas as classes de objetos de equivalência

determinadas por $IND_1(B)$ é representado por $U/IND_1(B)$ (PATRICIO, 2003).

Para cada subconjunto de B presente entre os atributos condicionais C ($B \subseteq C$), os objetos são agrupados e os grupos consistem de objetos que são indiscerníveis entre si. De acordo com a teoria de Conjuntos Aproximados, cada um destes grupos é uma classe de equivalência, onde os objetos de uma mesma classe podem possuir diferentes valores para seu Atributo de Decisão.

Seja o sistema de informação $I=(O,A)$, $B \subseteq C$ e $X \subseteq O$, onde X é um conjunto de objetos ou registros relacionados à B . Com isto, define-se Aproximação Inferior como a relação de X com B , representado por $B^{INF}(X)$ e a Aproximação Superior por $B^{SUP}(X)$. Os objetos da Aproximação Inferior $B^{INF}(X)$ são classificados como membros de X , enquanto que os objetos da Aproximação Superior $B^{SUP}(X)$ apenas podem ser membros de X . Com isto é possível definir que $B^{SUP}(X) - B^{INF}(X)$, que é a diferença entre as aproximações e é representada por $RF(X)$. Uma região é considerada imprecisa (*Rough*) se sua Região de Fronteira é diferente do conjunto vazio. Se o conjunto for vazio, a região é considerada precisa (*Crisp*).

A qualidade das aproximações obtidas pelas definições dadas previamente pode ser caracterizada numericamente a partir dos próprios elementos que a definem. O coeficiente para medir essas qualidades é representado por $\alpha_B(X)$, sendo X o conjunto de objetos relacionados à B . Este coeficiente pode ser relacionado de três formas diferentes:

- a. Coeficiente de Imprecisão: qualidade da aproximação de X , dado pela divisão entre os módulos da aproximação inferior e da aproximação superior, onde $0 \leq \alpha_B \leq 1$. Para os casos em que $\alpha_B=1$, X é preciso em relação ao conjunto de atributos B , para o caso de $\alpha_B < 1$, X é impreciso em relação ao conjunto de B ;
- b. Coeficiente de Qualidade da Aproximação Superior: percentual de todos os objetos possivelmente classificados como pertencentes à X , dado pela divisão do módulo de $B^{SUP}(X)$ por todo o conjunto O , lembrando que O é o número de conjuntos dos objetos do Sistema de Informação;

- c. Coeficiente de Qualidade da Aproximação Inferior: percentual de todos os objetos possivelmente classificados como pertencentes à X , dado pela divisão do módulo de $B^{INF}(X)$ por todo o conjunto O , lembrando que O é o número de conjuntos dos objetos do Sistema de Informação.

3.2.4 Redução de Sistemas

A disposição dos dados num sistema de informação não deve possuir redundâncias, pois isso aumenta a complexidade de cálculos de tal forma que a extração de regras torna-se uma tarefa difícil. Com o intuito de reduzir o sistema de informação é que surge o processo de redução de atributos, sem alterar a relação de indiscernibilidade, denominado redução da informação. Essa redução é realizada pela função de discernibilidade a partir da matriz de discernibilidade.

Considerando o conjunto de atributos A para o sistema de informação I , então o conjunto de todas as classes de equivalência determinadas por A sobre I é dado por $U/IND_I(A)$. A matriz de discernibilidade de um sistema de informação A , denotada por $m_D(A)$ é uma matriz simétrica $n \times n$ da equação 3.1.

$$m_D(i,j)=\{b \in A \mid b(CI(i)) \neq b(CI(j))\} \quad (3.1)$$

para $i,j=1,2,\dots,n$, sendo $1 \leq i, j \leq n$ e $n = |U/IND_I(A)|$ e b são elementos chamados de atributos de B .

Logo, os elementos da matriz de discernibilidade $m_D(i,j)$ é o conjunto de atributos condicionais de B que diferenciam os objetos das Classes (CI) com relação aos seus valores nominais.

A função de discernibilidade $F_I(B)$ é uma função com m variáveis que determina o conjunto mínimo de atributos necessários para diferenciar qualquer classe de equivalência das demais, definida pela equação 3.2.

$$F_I(b_1^*, b_2^*, \dots, b_m^*) = \{ m_D^*(i, j) \mid i, j = 1, 2, \dots, n, m_D(i, j) \neq 0 \} \quad (3.2)$$

sendo $m_D^*(i, j) = \{b^* \mid b \in m_D(i, j)\}$ e $b_1^*, b_2^*, \dots, b_m^*$ são os elementos indispensáveis dos atributos b_1, b_2, \dots, b_m .

A seleção de atributos é feita pelo Conjuntos Aproximados (TCA) através dos chamados redutos que são capazes de manter as mesmas propriedades da representação de conhecimento quando esta é feita utilizando todos os atributos. Utilizando o método de simplificação de expressões booleanas na função $F_I(A)$, obtém-se o conjunto de todos os implicantes primos dessa função, que determina todos os redutos de A . A simplificação é um processo de manipulação algébrica das funções lógicas com a finalidade de reduzir o número de variáveis e operações necessárias para a sua realização.

Pode-se inferir que as informações contidas em um reduto são suficientes para distinguir os objetos de diferentes classes de um sistema de informação. Os redutos relativos são transformados em regras através da união dos valores dos atributos condicionais da classe de objetos da qual o reduto foi originado com os atributos correspondentes ao reduto.

A função de discernibilidade $F_I(A)$ é obtida da seguinte forma: para os atributos contidos dentro de cada célula da matriz de discernibilidade, aplica-se o operador “soma”, “or” ou “v” e, entre as células dessa matriz, utiliza-se do operador “produto”, “and” ou “^”, resultando em uma expressão booleana de “Produto da Soma”.

A função discernibilidade determina o termo mínimo da função, ou seja, determina o conjunto mínimo de atributos necessários para discernir as Classes formadas por todas as classes de equivalência da relação $IND_I(A)$. Um reduto de A sobre um sistema de informação I é um conjunto de atributos A^* , em que $A^* \subseteq A$, sendo todos os atributos $c \in (A - A^*)$ dispensáveis. Com isso, $U/IND_I(A) = U/IND_I(A^*)$. O conjunto formado pelo termo mínimo da função de discernibilidade $F_I(A)$ determina os redutos de A .

O reduto é um conjunto de atributos mínimos necessários para manter as mesmas propriedades de conhecimento de um sistema de informação quando este é feito utilizando todos os atributos. Assim, o reduto é capaz de classificar

objetos sem alterar a representação do conhecimento. Pode existir mais de um reduto para um mesmo conjunto de atributos. Os subconjuntos de atributos obtidos através da redução do sistema de informação são capazes de manter as mesmas propriedades da representação de conhecimento quando esta é feita utilizando todos os atributos.

Conforme as relações de indiscernibilidade apresentadas, os atributos relacionados à fundação (Tabela 3-3) podem ser omitidos do sistema de informação, sem gerar prejuízo no resultado das análises. A Tabela 3-4 apresenta o sistema sem esses atributos.

TABELA 3-4 – SISTEMA SEM ATRIBUTOS IRRELEVANTES

Estrutura	Função	Capacidade	Efeito
1	Ancoragem	Alta	Nenhum
2	Ancoragem	Baixa	Nenhum
3	Ancoragem	Alta	Nenhum
4	Ancoragem	Baixa	Nenhum
5	Suspensão	Alta	Nenhum
6	Suspensão	Baixa	Queda
7	Suspensão	Alta	Nenhum
8	Suspensão	Baixa	Queda

Além da redução dos atributos, as redundâncias devem ser eliminadas, com isto a Tabela 3-4 ainda pode ser reduzida, mantendo apenas as informações que irão se tornar base para a geração de regras. A Tabela 3-5 apresenta o sistema sem os atributos irrelevantes e sem as redundâncias.

TABELA 3-5 – SISTEMA SEM ATRIBUTOS IRRELEVANTES E REDUNDÂNCIAS

Combinação	Função	Capacidade	Efeito
1	Ancoragem	Alta	Nenhum
2	Ancoragem	Baixa	Nenhum
3	Suspensão	Alta	Nenhum
4	Suspensão	Baixa	Queda

3.2.5 Geração de Regras

Os atributos encontrados através do método de redução do sistema de informação podem ser descritos na forma de regras, ou seja, as regras de classificação são extraídas do banco de dados reduzido. Para transformar um reduto em regras, deve-se somente unir o atributo de decisão. Com isto, apenas as regras consistentes são consideradas como válidas para classificar o sistema de informação.

Observando a Tabela 3-5 é fácil de verificar as combinações existentes e como deverão ficar as regras do exemplo das estruturas de uma dada linha de transmissão. As combinações 1 e 2 são de estruturas com função de ancoragem e percebe-se que a capacidade da estrutura não importa, enquanto que para as combinações 3 e 4, não apenas a função é necessária como também a capacidade, assim tem-se as seguintes regras na Tabela 3-6.

TABELA 3-6 – REGRAS GERADAS

Regra	Função	Capacidade	Efeito
1	Ancoragem	-	Nenhum
2	Suspensão	Alta	Nenhum
3	Suspensão	Baixa	Queda

3.2.6 Algoritmo de Classificação de Dados

Resumidamente, as etapas anteriormente descritas, podem ser organizadas através de um algoritmo de classificação de dados criado por Pawlak (1982), formulado através de relações lógicas e que tem como objetivo retirar o conhecimento de uma base de dados através da redução e compactação de suas informações:

- a. Transformar valores contínuos em faixas;
- b. Eliminar objetos idênticos;
- c. Eliminar exemplos idênticos;

- d. Eliminar atributos dispensáveis;
- e. Calcular o conjunto básico da tabela de decisão;
- f. Compor a tabela do conjunto redução;
- g. Agrupar os exemplos;
- h. Compor o conjunto final de regras.

3.3 REGRESSÃO LOGÍSTICA

A regressão logística é um método estatístico amplamente aplicado na medicina, que permite descrever e analisar dados de diversas variáveis ao mesmo tempo. Esta característica faz com que este método se enquadre em métodos estatísticos de solução de problemas multivariáveis. (KLEINBAUM, 1994)

Assim como conjuntos aproximados, a regressão logística surgiu para realizar a análise de sintomas de doenças de forma que permita prever quais doenças podem estar relacionadas com determinados sintomas. A partir de um modelo baseado em características definidas pelas relações de sintomas e doenças, é feita a associação a um dado de saída, dependente das relações das outras variáveis.

O método logístico, assim como os de regressão linear e múltipla, é capaz de estabelecer a relação entre variáveis independentes com uma variável de resposta. A regressão logística trabalha com variáveis dispostas em categorias enquanto que os métodos linear e múltiplo trabalham com as variáveis de forma contínua. Além disto, nas análises logísticas os resultados estão representados não apenas pelo valor numérico, mas por uma probabilidade de ocorrência de um resultado (JOHNSON, 1998).

O modelo de regressão não-linear logística é utilizado quando a variável resposta é qualitativa com dois resultados possíveis. Este modelo pode ser estendido quando a variável resposta qualitativa tem mais do que duas categorias, onde para isto precisa ter faixas entre as respostas muito bem definidas (NETER *et al*, 1996).

3.3.1 A Análise Multivariada

A análise multivariada pode ser utilizada para encontrar uma representação de um grupo de informações pela simplificação deste grupo, reduzindo a estrutura dos dados. Esta análise também permite a classificação dos dados pelo estabelecimento de observações dentro dos grupos ou mesmo, concluir que alguns dados não podem ser reduzidos ou relacionados dentro de subgrupos. Assim, identificando dados que não podem ser relacionados, é possível analisar as independências entre as variáveis, mesmo para os casos em que não existe correlação entre estas (JOHNSON, 1998).

A análise multivariada considera que a combinação de diversas variáveis independentes $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ são capazes de ter suas combinações representadas por uma variável dependente de decisão (D). Em um problema multivariado é possível utilizar modelos matemáticos para lidar com as complexas relações entre as variáveis e a regressão logística adota o uso da variável D de forma dicotômica.

O modelo logístico é baseado em uma função logística $F(X)$. Esta função é dada pela seguinte relação:

$$F(X) = \frac{1}{1 + e^{-X}} . \quad (3.3)$$

A função logística $F(X)$ varia entre 0 e 1, isto porque o modelo é projetado para descrever uma probabilidade, que é representado numericamente entre 0 e 1. Desta forma, os valores de saída da função $F(X)$ não apresentam valores acima de 1 e abaixo de 0 e caso isto venha a acontecer, evidencia problemas de ajustes do modelo gerado.

Quando a variável resposta é binária, podem aparecer alguns problemas associados, dentre eles pode-se destacar: os erros não tem distribuição normal; as variâncias são heterogêneas e existe restrição na função resposta. Em virtude do último problema possível, a resposta média apresenta valores entre 0 e 1, tornando-se inapropriado seu uso (NETER *et al*, 1996).

Pelo fato de trabalhar com valores dentro de um intervalo, a variável dependente é definida como tendo dois resultados distintos, um mais próximo de 0 e outro mais próximo de 1. Com isto, a estimação é feita com base na

aproximação entre estes valores (KLEINBAUM, 1994).

Outra razão para que o modelo logístico seja tão aplicado está relacionado à forma gráfica da função logística (Figura 3-2). Pela observação do gráfico é possível definir duas áreas distintas, onde estas áreas permite, por aproximação, definir a qual resultado mais se aproxima, de 0 ou de 1. (KLEINBAUM, 1994)

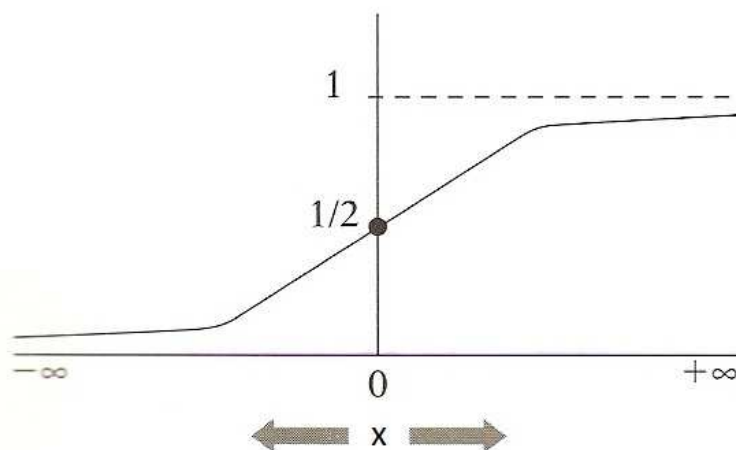


FIGURA 3-2 – FORMA GRÁFICA DA FUNÇÃO LOGÍSTICA
FONTE: KLEINBAUM (1994)

3.3.2 O Modelo Logístico

A questão deste trabalho é saber qual a probabilidade de ocorrência de queda de estrutura conhecendo-se os atributos das estruturas. A probabilidade de queda varia entre 0 e 1. Para uma dada estrutura, a queda é um evento dicotômico, que pode ser entendido como 1 quando a queda ocorre e 0 quando esta não ocorre.

O modelo logístico será usado para prever a ocorrência da queda (variável dependente) usando os valores dos atributos das estruturas (X_n , variáveis independentes).

A função logística é uma função que varia entre 0 e 1 e seu modelo calcula a probabilidade do efeito pela seguinte fórmula:

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum \beta_i X_i)}} \quad (3.4)$$

Os termos α e β representam parâmetros desconhecidos que serão estimados com base em dados amostrais obtidos pelo método da máxima verossimilhança (maximiza a probabilidade de obter o grupo observado de dados).

Assim, conhecendo os parâmetros α e β e os valores das variáveis independentes para cada estrutura, pode-se aplicar a equação (3.4) para calcular a probabilidade de que a estrutura caia $P(X)$.

3.3.3 Estimadores de Máxima Verossimilhança

Para a definição dos parâmetros α e β , o método da Máxima Verossimilhança é considerado o melhor para se estimar os valores dos parâmetros. Não existe uma solução analítica para a definição dos citados parâmetros, de forma a maximizar a função de verossimilhança, por isso métodos numéricos são necessários para encontrar as estimativas de melhores respostas (NETER *et al*, 1996).

O valor dos parâmetros é definido pela maximização da probabilidade de ocorrência deste valor. O valor de β é chamado de estimador de máxima verossimilhança e representa uma estimativa da probabilidade condicional (JOHNSON, 1998).

Com isto, conhecendo os valores dos parâmetros α e β para todos os casos e os valores de X_n para cada variável independente, é possível relacionar estes valores de forma a obter uma estimativa de resposta D. Ou seja, é definido um valor probabilístico associado à D que permite afirmar se ela se aproxima mais de um resultado 0 ou 1 (KLEINBAUM, 1994).

A função que representa este método é aproximadamente idêntica à equação da função logística:

$$F(X) = \frac{e^{\beta_i X_i}}{1 + e^{\beta_i X_i}} \quad (3.5)$$

A definição se o valor mais se aproxima a 0 ou a 1 é feita de forma a se avaliar qual o percentual de erro associado à definição de ser 0. Após isto é feita a avaliação de qual o percentual associado a ser 1. Pela combinação das duas faixas é possível definir em que ponto a combinação possui erro mínimo. Este ponto (R) se torna referência onde para as situações em que $F(X)$ seja menor que R, este mais se aproxima de 0 e para valores de $F(X)$ maiores que R, mais se aproxima de 1.

As variáveis X_n podem ser variáveis preditoras diferentes, ou algumas podem representar efeitos de curvatura ou interação. Além disto, as variáveis preditoras podem ser quantitativas ou elas podem ser qualitativas e representadas por variáveis indicadoras. Esta flexibilidade torna o modelo de regressão logístico múltiplo atrativo para os casos em que as faixas de variável resposta são bem definidos (NETER *et al*, 1996).

3.3.4 Seleção de Variáveis Preditoras

Para realizar a verificação dos subconjuntos das variáveis de X_n é possível extrair cada um dos parâmetros e realizar os testes sobre o modelo de regressão logística de múltiplas variáveis preditoras. Para esta verificação, é possível utilizar o teste de Razão de Verossimilhança baseado na estatística chamada de *Deviance* do Modelo (NETER *et al*, 1996).

O *Deviance* (desvio) do modelo compara o logaritmo de verossimilhança deste modelo completo. Um modelo completo é um modelo que se ajusta completamente aos dados, isto é, para cada observação tem-se um parâmetro. Com base no *Deviance*, é possível definir duas situações, Pequeno e Grande:

- a. *Deviance* Pequeno: a explicação do modelo ajustado de pesquisa de dados é praticamente igual ao do modelo completo onde pode-se utilizar o modelo ajustado, já que este possui menos parâmetros

tornando-se mais simples;

- b. *Deviance* Grande: a explicação do modelo ajustado de pesquisa de dados possui menos informações (atributos) para ajuste dos parâmetros, tornando-se inviável aplicar o modelo ajustado para este tipo de situação.

A diferença entre os desvios dos dois modelos de pesquisa é denominada de *Deviance* (desvio) parcial e, com esta, é possível testar as variáveis e definir quais podem ser retiradas do modelo. O desvio parcial segue para uma distribuição pelo método de qui-quadrado. Este tem associado um dado valor em graus de liberdade. Os graus de liberdade correspondem à diferença dos graus de liberdade dos erros relacionados aos desvios de Pequeno e Grande. Com isto, é possível calcular as estimativas de verossimilhança e o *Deviance* representado por DEV (X_0, X_1, \dots, X_n) (NETER *et al*, 1996).

Se o desvio parcial do modelo reduzido não é muito maior do que o desvio do modelo completo, as variáveis X_n nesta condição podem ser retiradas do modelo de regressão logístico, pois possuem baixa relevância na combinação de todas variáveis. Para os casos em que a diferença entre os desvios é grande, significa que as variáveis devem ser mantidas no modelo, pois os dados possuem alta relevância e contribuem diretamente para o ajuste do modelo logístico (KLEINBAUM, 1994).

3.3.5 Diagnóstico do Modelo

O diagnóstico do modelo tem por objetivo verificar o ajuste realizado no modelo e o ajuste da parte linear do modelo de regressão logística, identificando seu desvio residual e os valores extremos (*outlying*), de forma que estes não fiquem muito distante da curva ideal estimada pelo próprio modelo. Os valores extremos são observações bem separadas do restante dos dados (NETER *et al*, 1996).

Conforme NETER *et al* (1996) é possível definir um procedimento para verificação do ajuste do modelo com os seguintes passos:

- a. Criar classes com valores similares considerando $\pi = \beta.X$ (valores

- ajustados em escala logarítmica);
- b. As classes devem ter aproximadamente o mesmo número de casos dos dados do conjunto utilizado;
- c. Para cada classe fazer o registro da proporção de, classe por classe, representada por p ;
- d. Representar graficamente as proporções definidas em relação aos pontos médios das classes dos valores de $\pi = \beta \cdot X$.

A verificação do ajuste apresenta como respostas a verificação se a função resposta estimada é monotônica e de forma sigmoidal, além de confirmar a presença de valores extremos, pontos influentes e se, por consequência, o modelo logístico ajustado está adequado (NETER *et al*, 1996).

3.3.6 Predição de Resultados

O modelo logístico pode ser utilizado para obter a taxa de risco estimado de forma direta. Para isto, duas condições devem ser satisfeitas: deve-se ter a estimativa de risco individual e devem-se ter especificados os valores para todas as variáveis independentes para o modelo ajustado para marcar a estimativa de risco associado a cada indivíduo da função.

Para as situações em que não é possível satisfazer estas situações, não é possível realizar a estimação da taxa de erro diretamente. Porém é possível estimar a taxa de erro indiretamente a partir de medidas de associação estimadas de forma direta do modelo logístico (KLEINBAUM, 1994).

Para estudos com casos controlados, a predição é realizada apenas após a definição dos parâmetros e regras associadas aos casos já conhecidos. Desta forma, os dados conhecidos geram as regras e os valores dos parâmetros são estimados. Assim, quando é feita uma análise, a variável dependente possui um dado de resposta e as variáveis independentes são representadas conforme o interesse. Com o modelo logístico, os dados podem ser tratados de forma que o estudo tenha um resultado confiável.

Como toda a análise é feita com relações de probabilidade, é possível fazer uma estimativa de riscos comparando as situações com valores estimados

(representado por E) e valores reais (representado por R.) Tanto os valores reais como os casos de estimativa possuem saída 0 ou 1. Com estas informações é possível definir uma taxa de risco:

$$F(X) = \frac{\text{Prob}(E = 1 | R = 1) \cdot \text{Prob}(E = 0 | R = 0)}{\text{Prob}(E = 1 | R = 0) \cdot \text{Prob}(E = 0 | R = 1)} \quad (3.6)$$

A taxa de erro não necessita de função de distribuição de probabilidade, assim apenas o valor associado é suficiente para fazer sua relação com o método. Com isto, uma forma de se trabalhar é dividir um conjunto de dados em pequenos conjuntos e construir uma função para classificação e sua avaliação para possível validação.

Também é possível afirmar que a equação 3.6 está fundamentada na avaliação dos valores corretos na estimativa, enquanto que há métodos que permitem avaliar com base nos valores incorretos, porém esta forma é a menos utilizada, devido ser mais complexa e menos intuitiva.

3.4 MÉTODO DE LACHENBRUCH

Para avaliar o desempenho da aplicação dos métodos de redução de sistemas e geração de regras, será utilizado o método de Lachenbruch. Este método que também é conhecido como *leave-one-out* consiste na avaliação da eficiência das regras de classificação utilizada pela retirada de um dos exemplos que compõem o conjunto de formação das regras. (LACHENBRUCH, 1975).

Para esta validação, utiliza-se o algoritmo a seguir, conforme SOUZA (2008):

- a. Iniciar as observações do grupo de geração de regras n_1 omitindo uma observação deste grupo e construindo uma função de classificação utilizando as (n_1-1) e os dados do grupo a ser avaliado n_2 ;
- b. Classificar a observação retirada, usando a função do passo 'a';
- c. Repetir os passos 'a' e 'b' até que todas as observações de n_1 e n_2

sejam classificadas;

- d. Calcular o erro associado ao método e definir o erro do conjunto, definindo a margem de erro do sistema de regras aplicado.

Os resultados do item “c” fornecem resultados das classificações das observações retiradas e classificadas, que podem ser agrupados e apresentados conforme a Tabela 3-7.

TABELA 3-7 – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO

Efeito		Estimado	
		Nenhum	Queda
Real	Nenhum	$n_{1/1}$	$n_{1/2}$
	Queda	$n_{2/1}$	$n_{2/2}$

Para a realização do cálculo é preciso definir os valores de:

$n_{1/1}$ – número de itens estimados com nenhum efeito e que o efeito real é nenhum

$n_{1/2}$ – número de itens estimados com efeito de queda e que o efeito real é nenhum

$n_{2/1}$ – número de itens estimados com nenhum efeito e que o efeito real é de queda

$n_{2/2}$ – número de itens estimados com efeito de queda e que o real é de queda.

A partir dos valores de “n” é possível calcular a taxa de erro aparente (APER):

$$APER = \frac{n_{1/2} + n_{2/1}}{n_{1/1} + n_{1/2} + n_{2/1} + n_{2/2}} \quad (3.7)$$

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A teoria de Conjuntos Aproximados foi apresentada de forma a enfatizar sua capacidade de trabalhar com dados que possuam um certo grau de incerteza, podendo fazer reduções no banco de dados, trazendo ganho de tempo em análises de grandes bancos de dados. Além disto, possui a capacidade de gerar regras e aplicar estas regras em outros bancos de dados, avaliando os possíveis efeitos das combinações das informações. A TCA é uma ferramenta que quando conciliada com experiência profissional ou mesmo boa base teórica é capaz de trazer bons resultados em análises mais amplas e que possam ainda conter um certo número de imprecisões.

A teoria de regressão logística foi apresentada de forma a enfatizar sua característica de trabalhar com dados de diversas variáveis ao mesmo tempo. Esta característica faz com que este método seja aplicável também ao problema de avaliação da suscetibilidade de falhas em estruturas metálicas e linhas de transmissão, cujos resultados podem ser confrontados com os obtidos pela TCA, possibilitando uma melhor avaliação dos mesmos.

CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

Com base nas informações apresentadas sobre as estruturas metálicas, este capítulo apresenta as avaliações fornecidas pelas técnicas de Conjuntos Aproximados e Regressão Logística com relação ao risco das mesmas sofrerem queda.

Para a entrada dos dados que geram as regras são consideradas as informações dos atributos das estruturas que sofreram quedas juntamente com os atributos das estruturas que estão em operação. Esta situação dá um rol de combinações em que os sistemas permitem identificar os casos em que o efeito resultante é a queda e os outros em que se tem nenhum efeito. Para esta situação foi identificado um banco de dados composto por 181 estruturas que compõem as combinações resumidas das características que informam qual o efeito resultante.

O banco de dados, de estruturas em operação, a ser analisado é composto por 2029 estruturas selecionadas dentre todo o estado, além de 147 estruturas que sofreram queda. Isto para que durante as análises, os métodos possam apresentar quais estruturas tem estimativa de queda e, também, confirmar os casos de queda em meio ao banco.

4.1.1 Histórico de Quedas de Estruturas no Estado do Paraná

Até 2010, a rede elétrica do estado do Paraná registrou 61 quedas de estruturas ao longo dos últimos 50 anos de operação e manutenção de linhas de transmissão, sejam de 69 até 525 kV. Destas, mais de 40 linhas de transmissão diferentes foram afetadas e aproximadamente 150 torres foram reconstruídas.



FIGURA 4-1 – QUEDA DA ESTRUTURA 93 DA LT IRATI – SABARÁ

FONTE: O Autor (2010)



FIGURA 4-2 – QUEDA DA ESTRUTURA 34 DA LT MEDIANEIRA – CÉU AZUL

FONTE: O Autor (2009)

A Figura 4-1 ilustra a queda da estrutura 93 ocorrida na linha de 138 kV que interliga a Subestação Irati à Sabará (em Ponta Grossa), enquanto que a Figura 4-2 apresenta a queda da estrutura 34 da linha de transmissão 138 kV que interliga a subestação Medianeira à Céu Azul.

Uma lista das ocorrências registradas em linhas com tensão entre 69 e 525 kV ocorridas no estado do Paraná está no Apêndice A (Tabela A-1), a qual apresenta as informações resumidas sobre todas as estruturas que caíram por ação de temporais, vendáveis e outros fatores climáticos relacionados. Esta listagem não contempla quedas ocorridas em decorrência de colisões ou mesmo fatores de sobrecarga durante a construção de linhas de transmissão.

A Figura 4-3 apresenta todas as linhas de transmissão que possuem pelo menos uma estrutura que sofreu queda e teve a mesma reconstruída no estado do Paraná.

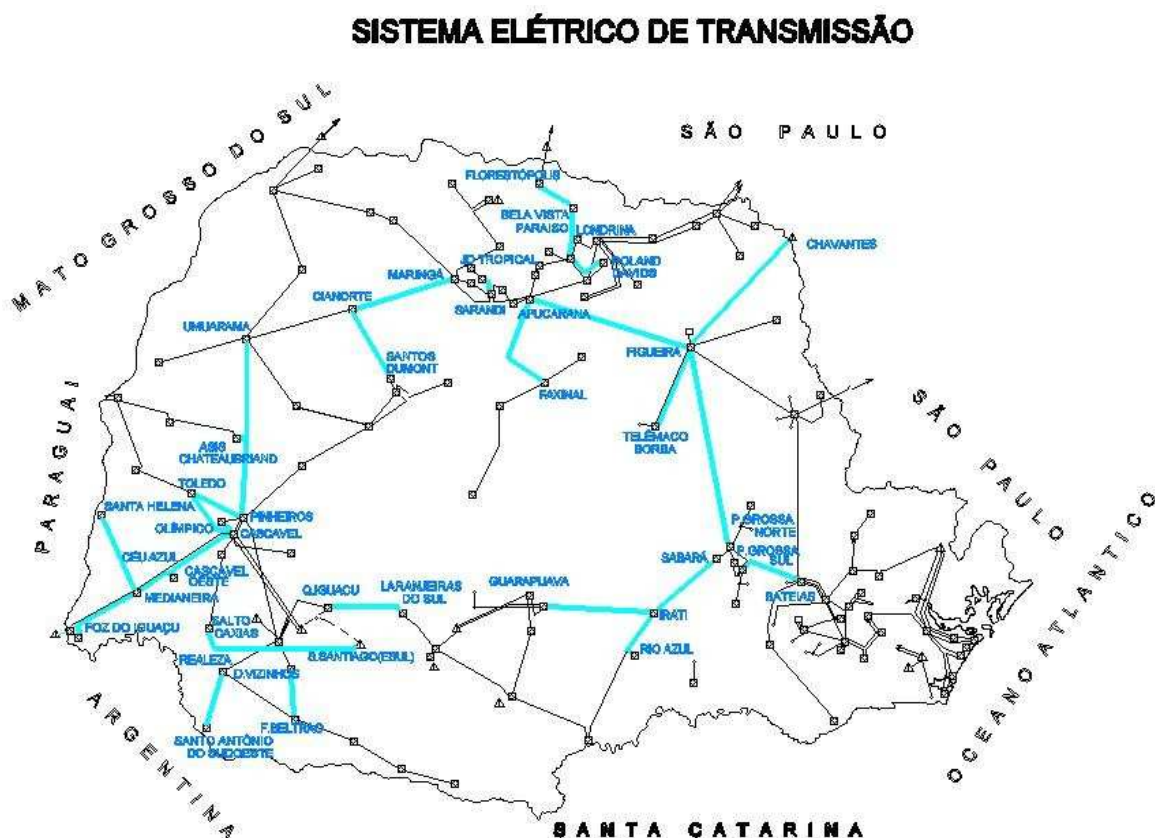


FIGURA 4-3 – IDENTIFICAÇÃO DAS LINHAS ONDE OCORRERAM QUEDAS

FONTE: COPEL

O único ponto que foi restrito na seleção está relacionado ao fato de aplicar todas as estruturas de uma linha selecionada. Isto faz com que se possam comparar os resultados das classificações não apenas em diferentes regiões do estado, mas também entre estruturas aplicadas em uma mesma linha de transmissão. Desta forma, as linhas de transmissão selecionadas foram:

- a. LT 138 kV Araçongas – Rolândia
- b. LT 138 kV Areia – Socorro
- c. LT 138 kV Astorga – Alto Alegre
- d. LT 138 kV Bateias – Lapa
- e. LT 138 kV Cascavel – Ibema
- f. LT 138 kV Cascavel – Toledo
- g. LT 138 kV Campo Mourão – Mamborê
- h. LT 138 kV Francisco Beltrão – Realeza
- i. LT 230 kV Figueira – Ponta Grossa Norte
- j. LT 138 kV Figueira – Siqueira Campos
- k. LT 138 kV Governador Parigot de Souza – Posto Fiscal 2
- l. LT 138 kV Ibiporã – Assaí
- m. LT 138 kV Jaguariaiva – Sengés
- n. LT 138 kV Medianeira – Céu Azul
- o. LT 138 kV Mandaguari – Sarandi
- p. LT 69 kV Rio Branco do Sul – Tunas
- q. LT 138 kV Rio Azul – Irati
- r. LT 69 kV Telêmaco Borba – Klabin
- s. LT 138 kV Vila Carli – Guarapuava
- t. LT 138 kV Umuarama – Cidade Gaúcha

4.2 MÉTODOS

Para a classificação das linhas de transmissão quanto a suscetibilidades de falhas propõe-se identificar as linhas mais propensas levando em consideração os seguintes parâmetros: velocidade do vento na região da

estrutura, relevo de sua base, vegetação de seu entorno, pressão atmosférica e variação de temperatura da região, além da capacidade mecânica máxima e do tipo de fundação da estrutura.

A técnica proposta para solução desse problema é a Teoria de Conjuntos Aproximados que tem sido cada vez mais explorada e aplicada a Sistemas Elétricos de Potência para a classificação e eliminação de informações irrelevantes em banco de dados (MARTINS, 2010).

A partir dos dados referentes às torres que caíram é possível com a técnica sugerida extrair regras que, quando aplicadas às demais linhas, seja possível estimar se as estruturas de uma linha estão suscetíveis a sofrerem quedas.

Os dados sobre alterações das condições mecânicas das estruturas foram obtidos do banco de dados de Linhas de Transmissão da COPEL, concessionária que atua no estado do Paraná, e os casos de quedas de estruturas foram obtidos de relatórios de campo, também da COPEL, e que se relacionam a manutenções relacionadas aos esforços e alterações de condições de projeto.

Os dados de estruturas do Paraná, que sofreram danos ao longo dos últimos anos, foram utilizados como base para gerar as regras. Além destas, foram utilizadas as características de algumas estruturas que não sofreram quedas para completar o conjunto de informações para a geração de regras. Com as regras formadas, é possível avaliar as estruturas atualmente em operação e apontar as que estão mais sujeitas a falhas.

A partir das informações constantes no banco de dados, conjuntos aproximados são capazes de eliminar atributos irrelevantes, reduzindo o sistema de informação e gerar subconjuntos de atributos capazes de manter as propriedades de representação de conhecimentos e assim classificar os objetos. A aplicação dessa técnica se dá utilizando-se um software desenvolvido em 1999 (OHRN, 1999) que se chama Rosetta e é de domínio público.

Após a aplicação de TCA, utilizou-se um segundo método de avaliação das estruturas que sofreram quedas, que é o método estatístico de Regressão Logística. O método de Regressão Logística foi selecionado com base na

dissertação de Souza (2008), onde foi o método com melhores resultados encontrados e é recomendado para as análises estatísticas de combinação de fatores com uma variável de saída.

4.3 DEFINIÇÃO DOS ATRIBUTOS DAS ESTRUTURAS

Em cada uma das quedas de estruturas ocorridas no estado do Paraná foi realizado um relatório pelas equipes de manutenção constando as possíveis causas, os tipos de estruturas, as condições do terreno e a região onde foram as ocorrências. A partir destas informações e buscando informações que tenham ficado ocultas em um primeiro instante, foram definidos quais atributos podem interferir na queda de uma estrutura metálica.

Ambos os métodos a serem aplicados possuem a capacidade de apresentar atributos que não sejam relevantes para os efeitos selecionados (queda e não queda). Isto faz com que a seleção de atributos possa ser não apenas com características já consolidadas ao longo do tempo, mas selecionando alguns dados que não são comumente relacionados às quedas. Deve-se também considerar se a utilização de todas as informações possíveis não torna o sistema muito grande, dificultando seu tratamento e tornando sua análise mais complexa.

Portanto, os atributos selecionados para a aplicação são: tensão de operação, vento na região, relevo do local, massas de ar, temperatura da região, tipo de terreno, capacidade mecânica da estrutura, função e tipo de fundação da estrutura.

4.3.1 Tensão de Operação

Conforme citado no Capítulo 2, o sistema elétrico do Paraná possui Linhas de Transmissão nas tensões de 69, 88, 138, 230 e 525 kV. Como existem apenas duas LT com o nível de tensão de 88 kV e estas deverão futuramente ser alteradas de 138 kV, este nível de tensão não foi considerado para efeito de análise, porém no caso de verificação das condições das estruturas que compõem estas LT, elas serão consideradas com tensão de 138 kV.

Os objetos que constituem o grupo deste atributo são classificados então como sendo: {69, 138, 230 ou 525 kV}.

4.3.2 Vento da Região

Conforme já constatado em diversas emergências em Linhas de Transmissão, o vento é uma característica importante, que aumenta a suscetibilidade de queda de uma estrutura. Ele varia de acordo com a região onde a estrutura está implantada, com pequenas variações no valor em faixas de poucos quilômetros. Por isto, ao longo de uma LT pode ser considerado um mesmo valor para todas as estruturas, considerado sempre o mais alto incidente sobre a linha.

Apesar do vento variar bastante ao longo de um dia, é possível verificar que possui um regime bem definido quando é verificada sua atuação ao longo de um ano. Ele apresenta alterações correspondentes à sazonalidade e a determinação de seu valor anual e é calculado pela média dos valores medidos ao longo do ano. O vento é afetado diretamente pelas condições de relevo e a rugosidade do terreno.

As quedas de estruturas estão associadas aos ventos máximos e de rajadas que podem ocorrer ao longo do estado, porém não existem dados disponíveis que possam ser utilizados na análise deste trabalho. Desta forma, os valores utilizados são de registros efetuados por estações de medição que fornecem os valores médios ao longo do ano. As velocidades médias anuais variam no máximo 10% de um ano para outro (ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO PARANÁ, 2007).

Nos últimos anos foram feitos alguns estudos para determinação dos potenciais de vento em diversas regiões do Brasil. No estado do Paraná foi realizado um estudo pela COPEL para a determinação das velocidades de vento ao longo de todo estado. Estas velocidades foram levantadas para as altitudes de 50, 75 e 100 metros. Para os estudos de Linhas de Transmissão, as estruturas metálicas ficam muito próximas da faixa de ventos de 50 metros e sofre as mesmas interferências que sofreria uma turbina eólica posicionada para gerar nesta altitude. Com isto, a Figura 4-5 apresenta o mapa eólico do estado do

Paraná para ventos na faixa de 50 metros de altitude.

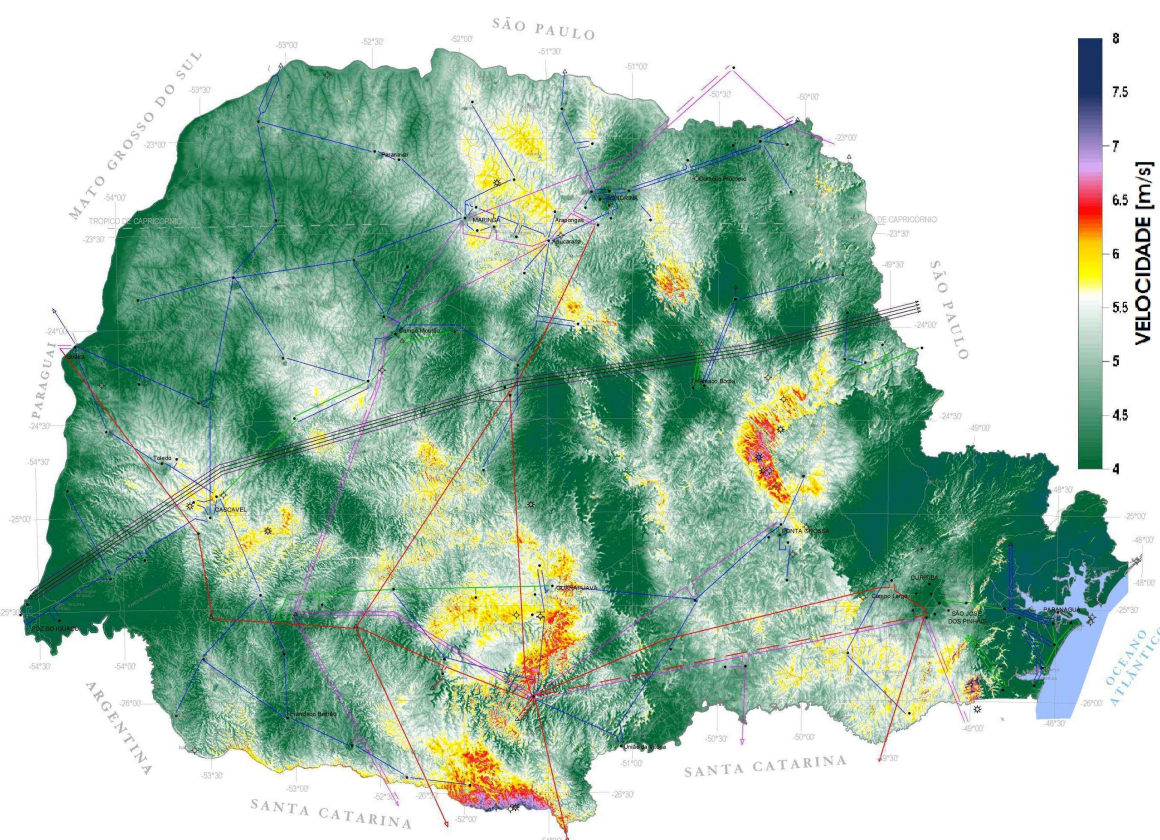


FIGURA 4-5 – MAPA EÓLICO DO ESTADO DO PARANÁ

FONTE: ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO PARANÁ (2007)

A Tabela B-1 do Apêndice B apresenta os valores de vento para as estruturas a serem analisados neste trabalho, as quais variam de 16 a 26 km/h. Desta forma o atributo de vento possui as seguintes faixas: {16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26}.

4.3.3 Relevo do Local

O relevo do estado do Paraná apresenta formações que auxiliam na visualização dos pontos onde as estruturas têm maior chance de queda. O posicionamento da estrutura dentre as diferentes formas mostra o quanto a estrutura pode estar em local recortado ou plano. Visualmente é possível verificar

que grande parte das estruturas que caíram estão em locais mais abertos e estes locais estão relacionados com o próprio relevo. Por isso o fato da estrutura estar localizada em um planalto, planície ou mesmo em região de formação de morros ou vales implica em facilitar ou dificultar a presença de ventos, seja ele com maior ou menor incidência.

O mapa de relevo do estado do Paraná pode ser visualizado na Figura 4-6, onde se observa que, no geral, as quedas ocorreram em maior número nas regiões de planície, enquanto que nas serras não foram registradas ocorrências de quedas.

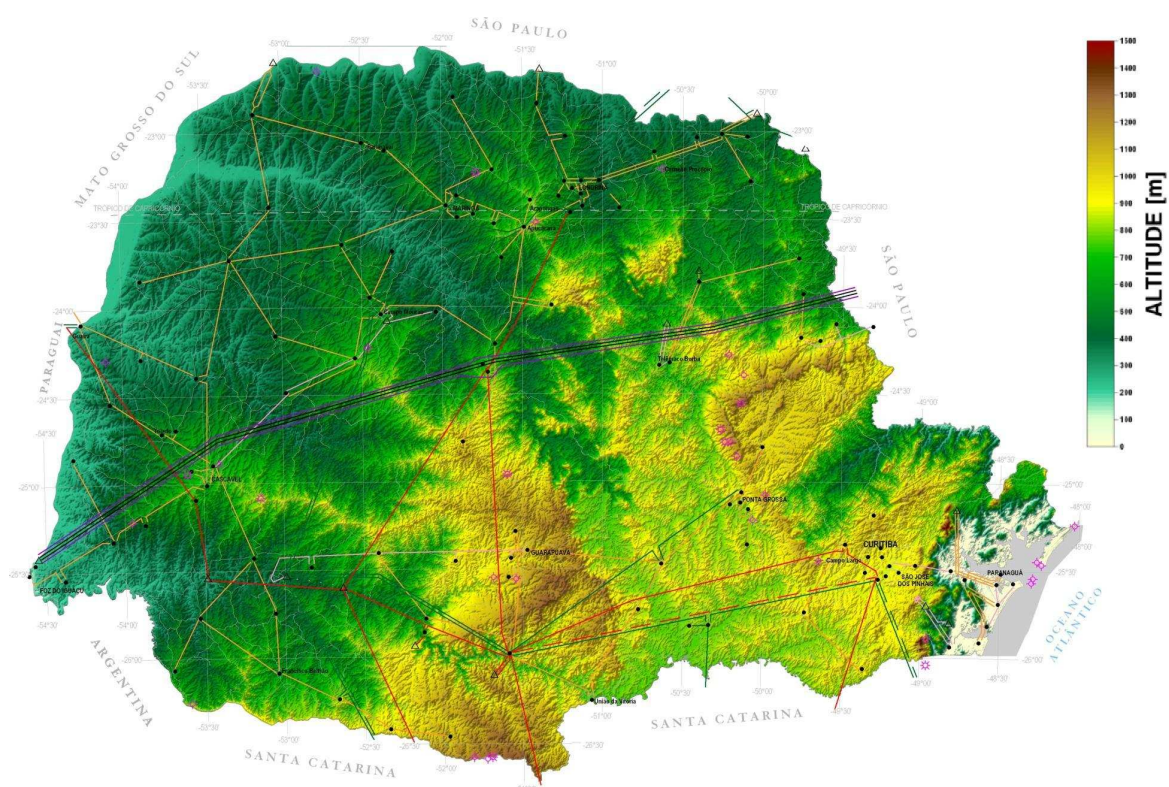


FIGURA 4-6 – RELEVO DO ESTADO DO PARANÁ

FONTE: ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO PARANÁ (2007)

Os objetos que constituem o grupo deste atributo são classificados então como sendo: {planalto, planície e vale}.

4.3.4 Massas de Ar

A massa de ar pode ser considerada como um grande volume de ar com temperatura, umidade e pressão semelhantes. Estas massas se formam em grandes zonas planas onde o ar fica relativamente parado, gerando acúmulo, até que este se desloque de uma região de alta para baixa pressão. O deslocamento da massa pode ocorrer de uma região mais fria para outra menos fria ou de uma região quente para outra menos quente. Quando o deslocamento ocorre de uma região mais fria para outra menos fria, a massa é chamada de massa de ar quente, quando ocorre de uma região quente para outra menos quente é chamada de massa de ar fria.

O Brasil sofre a influência de cinco massas de ar diferentes:

- a. Massa Equatorial Continental (mEc);
- b. Massa Tropical Continental (mTc);
- c. Massa Polar Atlântica (mPa);
- d. Massa Tropical Atlântica (mTa);
- e. Massa Equatorial Atlântica (mEa).

O sentido das massas pode ser verificado na Figura 4-7, onde se verifica que no estado do Paraná as massas que tem maior influência são a Tropical Continental e a Polar Atlântica.

Pela observação da Figura 4-7, verifica-se que a massa de ar Tropical Atlântica poderia interferir no Paraná, porém o relevo do litoral apresenta grandes formações rochosas que impedem a passagem desta para o centro do estado formando um bloqueio de gerando precipitações na região.

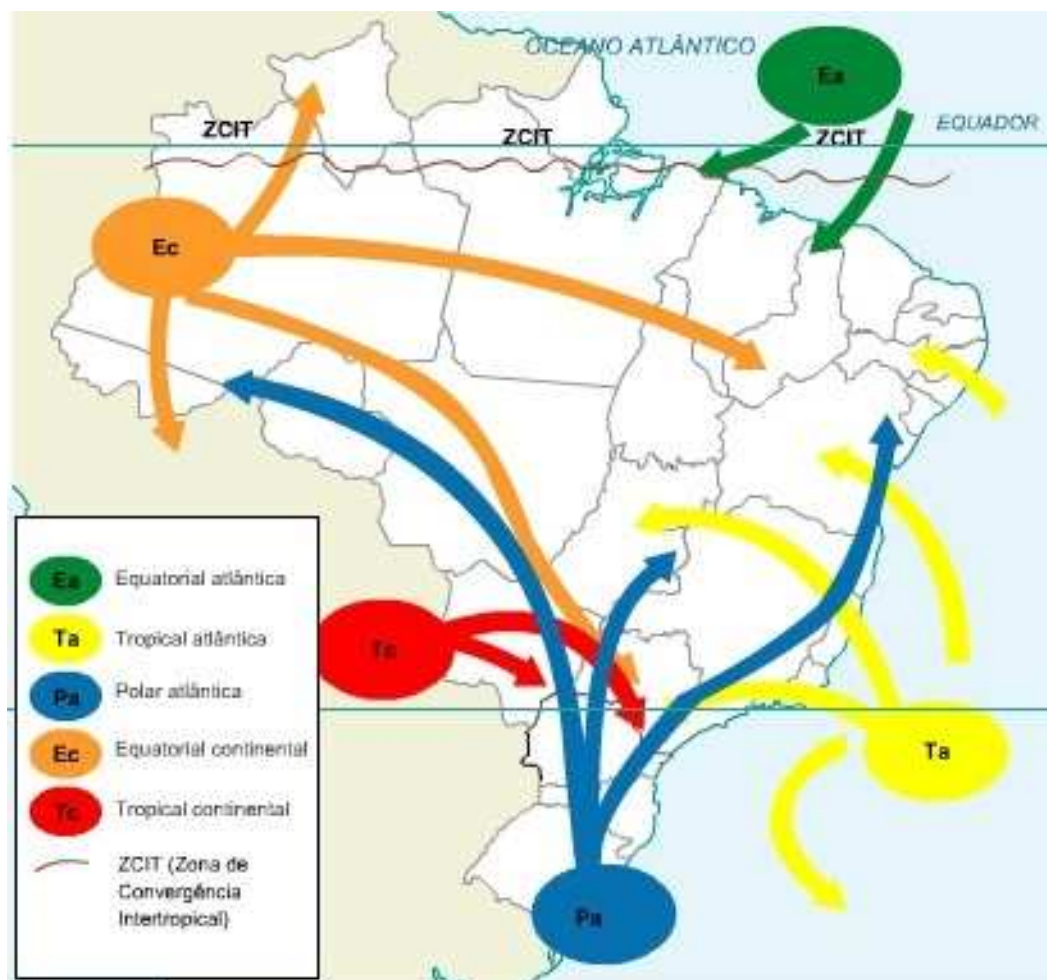


FIGURA 4-7 – MASSAS DE AR INFLUENTES NO BRASIL

FONTE: ATLAS GEOGRÁFICO DO BRASIL (2002)

As massas, Tropical Continental e Polar Atlântica, interagem entre si e causam efeitos diferentes ao longo do ano. A Tropical se forma próxima ao trópico é predominantemente seca enquanto que a massa Polar é bastante úmida, causando vendavais e temporais.

Como as massas são distintas e estas possuem diferentes sentidos de deslocamento, sua interferência é estudada de forma independente. Cada uma das massas gera forças laterais aos cabos podendo ser de maior ou de menor impacto, causando um esforço sobre as estruturas que sustentam os cabos. Quando a massa de ar é incidida no sentido perpendicular aos cabos tem-se a maior força possível aplicada sobre os cabos. Quando a incidência ocorre mais

próxima ao sentido paralelo aos cabos, menor a força aplicada pela pressão do vento nos cabos.

Portanto, a maior força gerada sobre os cabos ocorre com a massa de ar no sentido perpendicular e a menor ocorre no sentido paralelo aos cabos. Assim, os objetos que constituem os grupos de massa de ar são classificados então como sendo:

- Massa de ar frio: {paralelo, perpendicular e transversal};
- Massa de ar quente: {paralelo, perpendicular e transversal}.

4.3.5 Temperatura da Região

A região sul do país é a que apresenta as maiores variações de temperatura ao longo do dia devido a sua distância em relação aos trópicos e estar em região de forte influência tanto de massas de ar frias como quentes. O relevo faz com que o estado tenha médias com valores bem distintos em diferentes regiões, onde as temperaturas mais altas são encontradas no oeste do estado e as temperaturas mais baixas na região central.

A Figura 4-8 apresenta a distribuição dos valores médios registrados no estado, onde é possível verificar que as variações entre o sudeste e o noroeste do estado são bem grandes. Enquanto no noroeste há regiões com média anual próxima a 23° C, no sudeste há pontos em que a temperatura média é de 14 ° C (ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO PARANÁ, 2007).

Como uma linha de transmissão pode ter quilômetros de comprimento, as diversas estruturas podem passar por regiões com diferentes valores de temperatura média, mas quando observamos ao longo do dia, as extremidades possuem variações praticamente desprezíveis. Com esta situação, para este trabalho optou-se por utilizar o valor médio da região para todas as estruturas da mesma linha de transmissão, obtido do mapa da Figura 4-4, como sendo o de maior incidência.

A Tabela B-1 do Apêndice B apresenta os valores de temperatura para as estruturas a serem analisados neste trabalho, as quais variam de 17 a 27° C. Com isto, o atributo possui as faixas: {17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27}.

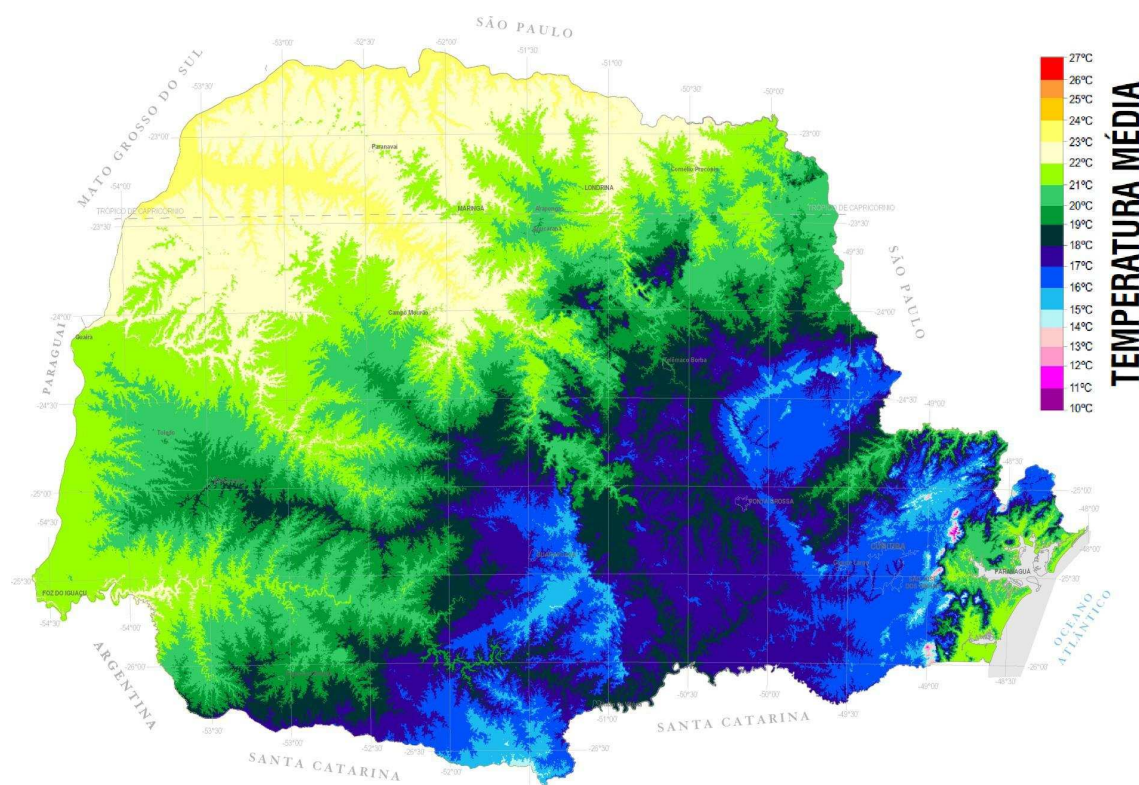


FIGURA 4-8 – TEMPERATURA MÉDIA ANUAL NO ESTADO

FONTE: ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO PARANÁ (2007)

4.3.6 Tipo de Terreno

O regime dos ventos é influenciado por fatores como o relevo e a rugosidade do terreno. Esta situação faz com que apesar dos valores médios utilizados, em alguns pontos dos terrenos estes valores podem ser menores ou maiores. Em cima da definição das características do relevo do estado podem-se observar as variações que existem dentro deste relevo, que são as rugosidades.

Conforme a NBR 5422, o terreno pode ser diferenciado em quatro categorias, de acordo com os coeficientes de rugosidade definidos para este, e que podem ser definidos por:

- A: Vastas extensões de água, áreas planas costeiras e desertos planos;
- B: Terreno aberto com poucos obstáculos;
- C: Terreno com obstáculos numerosos e pequenos;

D: Áreas urbanizadas e terrenos com muitas árvores altas.

A verificação do tipo de terreno onde cada estrutura metálica foi posicionada deve ser considerada. Os vãos entre torres comumente são de centenas de metros fazendo com que existam diferenças de uma estrutura para outra. Este tipo de informação consta apenas no levantamento topográfico da obra de construção, porém estes dados são poucos utilizados para sua operação e manutenção, necessitando muitas vezes novo levantamento com o passar dos anos.

As faixas que constituem o grupo deste atributo são dados por: {A, B, C e D}.

4.3.7 Capacidade Mecânica da Estrutura

O Capítulo 2 apresentou informações sobre estruturas metálicas, dentre elas podem-se destacar as informações sobre tipos de estruturas e suas aplicações. Para a seleção de um dado tipo de estruturas são considerados os esforços a que ela será aplicada e esta definição considera o projeto de implantação.

Com o passar do tempo diversas linhas de transmissão sofrem alterações e estas podem implicar em alterar as características de projeto de aplicação de algumas estruturas. Conforme decisão do projetista, algumas são substituídas e outras não, porém podendo sofrer aumento nos esforços a que estará submetida. Com esta informação, é preciso saber que diversas linhas de transmissão foram seccionadas (gerando outras duas) ou retensionadas (passando para tensões superiores) ou mesmo tiveram seus cabos retracionados (foram elevadas as trações para correção de catenária). Em todos estes casos, na opção da manutenção da torre existente ocorre um aumento nos esforços a que esta é submetida.

Os projetos de estruturas até a década de 1980 consideravam ventos com velocidade máxima de 80 km/h (para estimativa de 50 anos) e o cálculo dos esforços laterais eram sobre a força gerada por esta velocidade. Após esta década, os novos projetos de estrutura já contemplavam uma atualização neste valor passando para ventos de 130 km/h para a mesma estimativa. Isto porque foi

detectado que as mudanças de vegetação somadas às condições de relevo estavam interferindo diretamente em uma maior exposição da torre a fortes rajadas de vento.

Portanto, para este trabalho, o atributo é considerado como uma capacidade mecânica: {alta ou baixa}, considerando as situações acima descritas.

Para projetos novos onde os esforços da torre não tenham sido alterados, a capacidade será dada como alta. Para as outras situações, esta estrutura terá sua capacidade considerada como reduzida. Nesta última, podem-se citar exemplos como: estruturas de suspensão que foram alteradas para ancoragem e estruturas projetadas para velocidade de vento até 100 km/h.

4.3.8 Função da Estrutura

Neste atributo, a aplicação da estrutura será conforme citado no item 2.2.2.1, onde uma torre pode ser aplicada como função: {suspensão ou ancoragem}, sem considerar possibilidades intermediárias. Este item também faz alusão aos esforços a que a torre é submetida, enfatizando que as composição das ferragens das estruturas de ancoragem são mais reforçadas que as de suspensão.

4.3.9 Fundação da Estrutura

O item 2.4 deste trabalho mostra os diversos tipos de fundação aplicados em linhas de transmissão, onde apesar das variedades apresentadas, pode-se considerar que existem dois tipos fundação de concreto e fundação metálica. As de concreto podem apresentar formatos diversos, mas sempre possuindo uma estrutura metálica que faz sua amarração e conexão com o corpo da torre. Como a grande maioria das fundações de concreto aplicadas são do tipo Stub, este termo será utilizado neste trabalho de forma abrangente, se referindo a todos as variedades de concreto.

As fundações metálicas também possuem diferentes projetos, mas quanto a seu formato é possível dizer que todos são piramidais. Dentre a forma piramidal, o de maior aplicação é o tipo grelha metálica. Conforme o corpo da

estrutura, o tipo de solo e mesmo a umidade do local, são utilizados diferentes tipos de grelha, mas pode-se considerar que este termo é utilizado para todas as fundações metálicas aplicadas nas linhas de transmissão.

Assim, os objetos que constituem o grupo deste atributo são classificados então como sendo: {stub, grelha}.

Intuitivamente pode-se relacionar a queda ao tipo de solo e não à fundação, porém os solos possuem diversas classificações determinadas por sua composição. E a composição do solo é capaz de apresentar infinitas combinações tornando muito complexa a determinação em poucos tipos. Para projetos de linhas de transmissão não são considerados os tipos, mas sim a composição básica do solo para a determinação do tipo de fundação. Desta forma, para este trabalho foi adotada a definição do atributo com base já no resultado da análise do solo, ao invés de considerar a composição básica.

4.4 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Para realizar as análises com Conjuntos Aproximados e Regressão Logística, foi necessário fazer uma pesquisa de informações em relação às estruturas que caíram, a partir dos dados históricos de quedas de estruturas metálicas.

Estes dados foram obtidos da COPEL, que além dos dados tabelados, possui relatórios impressos e manuscritos sobre as ocorrências registrados e arquivados para sua consulta, quando necessário.

Partindo dos atributos necessários, foi feita uma pesquisa manual sobre os relatórios antigos para este levantamento de dados. Além disto, foi feito um rastreamento para identificar as condições em que as estruturas estavam quando caíram. As informações técnicas das estruturas foram identificadas nos relatórios, enquanto os atributos de ordem climática ou relacionada à sua posição geográfica foram levantadas pelo posicionamento aproximado em relação às estruturas que foram implantadas em substituição das danificadas.

A listagem dos atributos pode ser verificada no Apêndice B, relacionando as quedas aos atributos citados neste capítulo.

4.5 APLICAÇÃO EM CONJUNTOS APROXIMADOS

Para a aplicação do Conjuntos Aproximados é possível utilizar o software Rosetta. Este software foi desenvolvido com a finalidade de aplicação de sistemas para a combinação de informações a partir de uma base de dados e fornecer as possíveis combinações, regras e reduções que possam ser realizadas com base em conjuntos aproximados (OHRN, 2001).

A partir do banco de dados gerado pelo histórico de estruturas que já caíram das linhas de transmissão da COPEL, é possível realizar sua aplicação a partir de informações tabuladas em formato de planilha eletrônica.

4.6 APLICAÇÃO EM REGRESSÃO LOGÍSTICA

Os métodos estatísticos trabalham com caracteres numéricos para a identificação de uma equação que possa melhor representar o conjunto. Como os atributos de vento e temperatura já são numéricos, não necessitam serem convertidos. Desta forma, a planilha de características do problema em questão é convertida conforme a Tabela 4-1.

Esta aplicação pode ser feita em qualquer software estatístico que possua a função Regressão Logística, desta forma não é necessário desenvolver um sistema específico ou mesmo criar uma rotina para simulação dos dados. O relacionamento das variáveis se dá conforme a Tabela 4-1 e desta forma a análise do software estatístico resulta em uma função logística que faz o relacionamento das variáveis independentes com as variáveis dependentes.

De acordo com a equação 3.4, pode-se fazer a relação com as características conforme a Tabela 4-2.

TABELA 4-1 - RELAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS NÃO-NUMÉRICAS PARA NUMÉRICAS

Característica	Variável Não-numérica	Variável Numérica
Relevo	Planalto	1
	Planície	2
	Serra	3
	Vale	4
Massa de Ar	Paralela	1
	Perpendicular	2
	Transversal	3
Terreno	A	1
	B	2
	C	3
	D	4
Capacidade	Alta	1
	Baixa	2
Função	Ancoragem	1
	Suspensão	2
Fundação	Grelha	1
	Stub	2
Resultado	Nenhum	1
	Queda	0

As opções relacionam resultados de análises, ajustes de curva e função, a relação entre os intervalos de dados, a matriz de correlação, os dados necessários para realizar predições com este sistema, valores residuais e o valor percentual da contribuição de cada variável para a análise.

TABELA 4-2 - RELAÇÃO DE VARIÁVEIS E CARACTERÍSTICAS

Variável	Característica
X_1	Tensão
X_2	Vento
X_3	Relevo
X_4	Massa de Ar Fria
X_5	Massa de Ar Quente
X_6	Temperatura
X_7	Terreno
X_8	Capacidade
X_9	Função
X_{10}	Fundação

4.7 VALIDAÇÃO DAS APLICAÇÕES

O *leave-one-out* é realizado com todas as amostras do conjunto que gera as regras. Desta forma, a cada amostra retirada, uma nova função é gerada. Utilizando esta regra para a classificação de todo o conjunto a ser estudado encontra-se um valor relacionado. Para a realização desta validação o conjunto de regras é aplicado no software Rosetta e os passos para a realização da redução e geração de regras segue o descrito anteriormente.

4.8 APLICAÇÃO SOBRE O BANCO DE DADOS

Para a aplicação das regras geradas, foi utilizada uma base de dados de aproximadamente 2000 estruturas metálicas que estão atualmente em operação na COPEL. Com isto, são avaliadas conforme as características propostas neste trabalho, para a verificação dos riscos relacionados às estruturas atuais operando no estado.

A partir das regras geradas tanto em Conjuntos Aproximados como em

Regressão Logística, é possível realizar uma predição de cada uma destas estruturas quanto a sua possibilidade de queda ou de não sofrer nenhum efeito. Ambos os métodos utilizados neste trabalho possuem formas diferentes de realizar esta classificação, desta forma é necessário fazer pequenos ajustes nas informações para que os resultados sejam encontrados.

Os resultados destas análises apresentam como resultado esperado pela combinação das informações de cada torre se há possibilidade de queda, em situações normais de operação, ou praticamente não existe este risco. Obviamente, todas as estruturas em operação tem o risco de sofrerem danos e por isto, a avaliação é feita considerando as condições de operação, sem considerar fatores que possam acelerar ou causar a queda de uma estrutura.

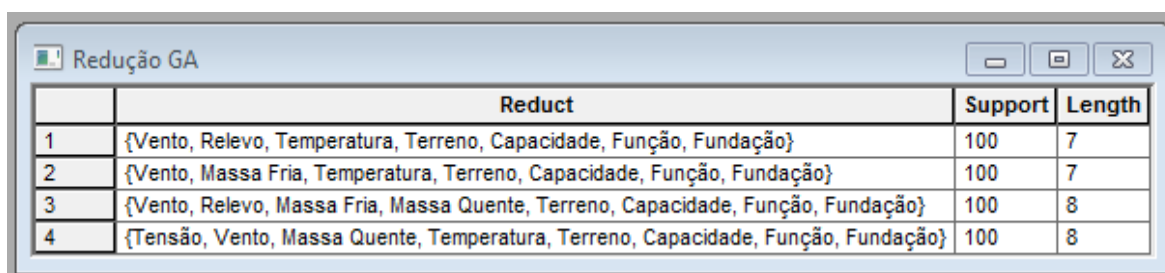
CAPÍTULO 5 – TESTES E RESULTADOS

5.1 CONJUNTOS APROXIMADOS

Com base nos dados para a geração das regras, o software Rosetta foi utilizado para o tratamento dos dados, onde sua inserção permitiu a redução, a geração e a validação das regras com os valores apresentados na sequência.

5.1.1 Geração das Regras

A redução dos atributos utilizados teve como resultado as combinações apresentadas na Figura 5-1.



	Reduct	Support	Length
1	{Vento, Relevo, Temperatura, Terreno, Capacidade, Função, Fundação}	100	7
2	{Vento, Massa Fria, Temperatura, Terreno, Capacidade, Função, Fundação}	100	7
3	{Vento, Relevo, Massa Fria, Massa Quente, Terreno, Capacidade, Função, Fundação}	100	8
4	{Tensão, Vento, Massa Quente, Temperatura, Terreno, Capacidade, Função, Fundação}	100	8

FIGURA 5-1 – RESULTADOS DA REDUÇÃO DO BANCO DE DADOS

Conforme a metodologia descrita, a redução aplicada resultou em quatro combinações de características. Pelas combinações, é possível afirmar que: quanto mais se repetem os atributos nas diferentes regras, maior sua relevância na redução do sistema. Dos atributos selecionados nenhum foi excluído na etapa de redução, o que mostra que para a análise todos foram considerados relevantes. Isto determina que os atributos Vento, Terreno, Capacidade, Função e Fundação são de maior relevância para a definição do efeito resultante, pois apareceram nas 4 combinações. Enquanto que o atributo Relevo pode ser considerado o menos relevante, por ter sido utilizado apenas em uma das combinações.

O fato de nenhum atributo ser excluído é um indício de que o tamanho do banco de dados utilizado não é muito grande, isto porque quanto maior o banco,

maior a chance de ocorrerem repetições. Pequenas variações entre as características podem gerar resultados iguais, apontando a possibilidade de exclusão de algum atributo.

Com a redução realizada, foram geradas 707 regras pela combinação dos atributos reais. As regras é que permitem fazer a avaliação de todas as estruturas dos bancos de dados em operação. Como a geração foi realizada sobre o banco reduzido, representado por 181 estruturas, para verificação do resultado foi feita a classificação destes dados com as regras, para confirmação de que todos os atributos seriam contemplados.

		Predicted		
		Nenhum	Queda	
Actual	Nenhum	137	0	1.0
	Queda	0	44	1.0
		1.0	1.0	1.0

FIGURA 5-2 – RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DO BANCO DE DADOS

A Figura 5-2 mostra que todas as combinações estimadas como de nenhum efeito são realmente de nenhum efeito, e que todos os casos estimados com queda foram confirmados com efeito de queda. Portanto, na classificação do banco de entrada com base nas regras geradas, as mesmas englobaram todas as estruturas utilizadas na avaliação.

5.1.2 Validação das Regras

O método de Lachenbruch (ou *leave-one-out*) foi aplicado para a validação do conjunto de regras geradas, conforme citado na metodologia relacionada. Com isto foram encontrados os valores da Tabela 5-1.

TABELA 5-1 – CLASSIFICAÇÃO DE CONJUNTOS APROXIMADOS

Efeito		Estimado		
		Nenhum	Queda	Indefinido
Real	Nenhum	25	6	113
	Queda	7	5	25

Os dados apresentados na Tabela 5-1 possuem como resultado um total de 76,24% de casos em que não possível definir se seriam de efeito nenhum ou de queda, desta forma não são considerados no montante total da avaliação. Mas dentre os possíveis de serem avaliados, foi possível identificar que a maior parte foi classificada de forma correta, o que permite assumir uma taxa de erro aparente (APER) de 43,33%. Ou seja, a maior parte dos dados foi estimada da forma esperada, mesmo na ausência de casos específicos para gerar a exata classificação.

Assim como apontado na etapa de geração das regras, o grande número de indefinições também está relacionado ao tamanho do banco de dados, com a existência de exemplos únicos. Como as características de quedas são baseadas em dados reais, para que o número fosse maior, seriam necessárias informações de mais situações de quedas.

5.1.3 Aplicação das Regras nas Estruturas em Operação

Com o conjunto de regras definido para analisar estruturas através da Teoria de Conjuntos Aproximados, é possível fazer estimativas para as estruturas que possuem suas classificações conforme os atributos propostos. Desta forma, foi realizada a classificação do banco de dados de estruturas em operação para a verificação dos resultados encontrados, que podem ser visualizados no quadro da Figura 5-3.

		Predicted		
		Nenhum	Queda	
Actual	Nenhum	1922	107	0.947265
	Queda	0	147	1.0
		1.0	0.57874	0.950827

FIGURA 5-3 – CLASSIFICAÇÃO DO BANCO DE DADOS DE ESTRUTURAS EM OPERAÇÃO

Pela classificação realizada, as 147 estruturas que sofreram queda foram evidenciadas no resultado, portanto estas foram estimadas como queda e confirmadas. Das 2029 estruturas em operação aplicadas, o sistema estimou que 1922 destas, devido seus atributos, não tem riscos evidentes de sofrerem queda. Porém, 107 estruturas que estão em operação foram estimadas com riscos de sofrerem queda, devido à similaridade de seus atributos em relação a estruturas que já sofreram queda.

Apesar de se ter um número relativamente restrito de linhas de transmissão selecionadas para avaliação, as estruturas sujeitas a quedas fazem parte de apenas algumas linhas, conforme a listagem e as quantidades de estruturas apresentadas na Tabela 5-2.

TABELA 5-2– RESULTADOS CONJUNTOS APROXIMADOS

Linha de Transmissão	Quantidade
Medianeira - Céu Azul	20
Cascavel - Toledo	49
Figueira - Ponta Grossa Norte	38
Total	107

De acordo com o resultado estimado, o Rosetta permite identificar quais estruturas foram classificadas de forma diferenciada, assim o Apêndice C apresenta a listagem completa e com os atributos das estruturas sujeitas a queda pela Teoria de Conjuntos Aproximados.

Pela observação das características das estruturas estimadas, é possível verificar que as quedas estão relacionadas mais fortemente a fatores como: sentido da linha de transmissão em relação às massas de ar, função de ancoragem e tipo de terreno.

Em comparação com estruturas analisadas após quedas, as características se enquadram com a maioria dos casos de estruturas que caíram. Além disto, as estruturas que sofreram quedas ocorreram em regiões de planalto e planície, como as estimadas. Aparentemente o tipo de fundação não interfere nos fatores de queda, onde na prática, as ocorrências de estruturas que caíram relacionadas à fundação se devem por problemas construtivos ou fatores que interferiram na fundação com o passar do tempo. Desta forma pode-se dizer que as estruturas apontadas possuem atributos mais próximos aos das torres que já caíram, tornando as outras não identificadas como menos suscetíveis.

Apesar de este trabalho ter considerado o vento médio na região, os resultados estimados mostram que estas variações são indiferentes. Para as situações de torres que caíram, percebe-se que os pontos de “corredores de vento” ou de regiões muito abertas são extremamente relevantes. Porém, pela média dos valores não foi possível refletir este tipo de informação.

As linhas de transmissão listadas na Tabela 5-2 estão localizadas em regiões de fortes ventos, instaladas em sentido perpendicular as massas de ar, seja ela fria ou quente e em regiões praticamente sem obstáculos para as frentes de vento ao corpo da estrutura. Estas informações consolidam a ideia de que não existe apenas um fator que interfira nas condições das estruturas, mas uma combinação de fatores que tornam a estrutura mais ou menos exposta a sofrer esforços acima de sua capacidade de projeto.

5.2 REGRESSÃO LOGÍSTICA

O mesmo banco de dados composto por 181 estruturas utilizados por Conjuntos Aproximados foi utilizado para a geração das regras através do Método de Regressão Logística.

A partir destes dados pode ser definida a função logística relacionada,

além dos parâmetros para ajustar a função conforme os resultados esperados pela análise.

5.2.1 Definição da Função Logística

A partir da conversão dos dados para valores numéricos, a função logística possui a composição apresentada na equação 6.1.

$$X = \alpha + \beta_1.Tensão + \beta_2.Vento + \beta_3.Relevo + \beta_4.Massa Fria + \beta_5.Massa Quente + \beta_6.Temperatura + \beta_7.Terreno + \beta_8.Capacidade + \beta_9.Função + \beta_{10}.Fundação \quad (6.1)$$

A análise apresenta um valor ótimo associado a cada um dos atributos e estes estão listados na Tabela 5-3.

TABELA 5-3 – ATRIBUTOS DA FUNÇÃO LOGÍSTICA

Variável	Valor Calculado
α	26,7191
β_1	-0,0137
β_2	-0,1146
β_3	0,2173
β_4	-1,3286
β_5	-1,3681
β_6	-0,5366
β_7	1,0958
β_8	-2,4855
β_9	-2,9346
β_{10}	0,5945

Com a função logística definida pode ser calculado o valor de P(X) relacionado a cada uma das estruturas. Isto porque cada atributo tem um valor específico, que está explicitado na Tabela 4-1.

5.2.2 Definição dos Parâmetros da Função

Com o valor de P(X) de cada uma das estruturas é preciso definir o ponto de limite entre as faixas de decisão, ou seja, qual o valor de referência que pode

ser associado a uma linha de corte. Com isto, para valores acima da referência, se tem um resultado estimado e, abaixo do valor de referência, tem-se outro resultado estimado. Os softwares estatísticos são capazes de fazer os cálculos das faixas possíveis, para facilitar a decisão conforme a análise a ser realizada. A Tabela 5-4 apresenta as faixas possíveis de serem utilizadas.

TABELA 5-4 – TABELA DE PREDIÇÃO DA REGRESSÃO LOGÍSTICA

Faixa de Corte	Verdadeiro	Falso	Total
0,00	100,00%	0,00%	75,69%
0,05	100,00%	9,09%	77,90%
0,10	100,00%	20,45%	80,66%
0,15	100,00%	27,27%	82,32%
0,20	99,27%	43,18%	85,64%
0,25	97,81%	50,00%	86,19%
0,30	97,08%	52,27%	86,19%
0,35	97,08%	54,55%	86,74%
0,40	94,89%	63,64%	87,29%
0,45	94,89%	68,18%	87,40%
0,50	93,43%	70,45%	87,85%
0,55	91,97%	79,55%	88,95%
0,60	91,97%	79,55%	88,95%
0,65	89,78%	81,82%	87,85%
0,70	86,13%	84,09%	85,64%
0,75	83,94%	84,09%	83,98%
0,80	81,02%	88,64%	82,87%
0,85	78,83%	90,91%	81,77%
0,90	71,53%	90,91%	76,24%
0,95	59,12%	95,45%	67,96%
1,00	0,00%	100,00%	24,31%

Para esta análise são esperados os maiores valores possíveis de resultados considerados verdadeiros (nenhum efeito sobre as estruturas) e resultados falsos (efeito de queda das estruturas). E conforme a Tabela 5-4, o mais interessante é utilizar o maior valor total possível, que está compreendido entre 0,55 e 0,6. Como os valores de verdadeiro e falso são idênticos para as faixas de 0,55 e 0,60, foi selecionada a faixa de corte de 0,6.

Com o valor de corte de 0,6 pode-se definir que o valor do erro associado é de 11,05%, pois a predição estimada é de 88,95%. Aplicando a função com as faixas de corte sobre o próprio banco de dados que gerou as regras (Tabela 5-5), é possível concluir que o erro de classificação é relativamente baixo.

TABELA 5-5 – CLASSIFICAÇÃO DA REGRESSÃO LOGÍSTICA

Efeito		Estimado	
		Nenhum	Queda
Real	Nenhum	126	11
	Queda	9	35

5.2.3 Aplicação das Regras nas Estruturas em Operação

Com os parâmetros definidos, é possível expandir a função para qualquer estrutura metálica que esteja em operação, onde basta que os atributos estejam conforme os definidos para a geração das regras e sejam convertidos para atributos numéricos.

Pela aplicação em Regressão Logística sobre as 2029 estruturas em operação além das estruturas com histórico de queda, pode-se concluir que todas as 147 com histórico de queda foram identificadas, conforme a tabela 5-6.

TABELA 5-6 – CLASSIFICAÇÃO DA REGRESSÃO LOGÍSTICA

Efeito		Estimado	
		Nenhum	Queda
Real	Nenhum	1769	260
	Queda	-	147

Além da confirmação das 147 previstas como queda, 260 estruturas em operação foram estimadas pela aplicação da função logística como sujeitas à queda, conforme as linhas de transmissão e as quantidades apresentadas na Tabela 5-7.

Os cálculos feitos para cada uma das estruturas, resultam em valores entre 0 e 1. Este valor resultante mostra que quanto mais perto das extremidades, mais atributos consolidam a tendência ao efeito resultante ser de queda ou nenhum. Isto quer dizer que quanto mais próximo do valor '0', menor a chance de queda, e quanto mais próximo de 1, maior a possibilidade da estrutura sofrer queda. Para as situações em que os valores ficam próximos à faixa de corte, torna-se mais difícil de afirmar se as características representam uma das tendências, mas para se tomar uma definição entre nenhum efeito ou queda, utiliza-se o valor de referência. Os resultados para Regressão Logística estão identificados na Tabela 5-7.

TABELA 5-7 – RESULTADOS PELA REGRESSÃO LOGÍSTICA

Linha de Transmissão	Quantidade
Ibiporã – Assaí	8
Medianeira - Céu Azul	66
Mandaguari - Sarandi	23
Vila Carli - Guarapuava	2
Areia – Socorro	22
Cascavel - Toledo	49
Figueira - Ponta Grossa Norte	90
Total	260

O Apêndice D apresenta a listagem das estruturas sujeitas a queda e os atributos destas pela Teoria de Regressão Logística.

Cada uma das teorias aplicadas apresentou valores diferentes em relação à quantidade de estruturas sujeitas à queda.

Dentre as estruturas estimadas é possível verificar que o número de

estruturas e linhas obtidas pela Regressão Logística é bem superior ao estimado pelo Conjuntos Aproximados. Isto porque dentre as combinações passíveis de queda, a Regressão Logística exclui algumas características destas combinações, mas não todas. As regras geradas em Conjuntos Aproximados não consideram o desvio de uma ou outra característica, enquanto que a Regressão Logística admite esta situação. Isto se dá pela relação ser feita por uma função onde diversas combinações podem gerar resultados similares.

Pela observação das combinações, alguns atributos possuem restrições maiores como: o relevo (apenas planalto e planície), o sentido da massa de ar em relação à linha de transmissão (excluindo os casos em que o sentido é paralelo), o terreno (com exceção de regiões com muitos obstáculos) e as estruturas com função de suspensão. Com isto, algumas combinações podem não estar associadas diretamente à queda, já que a alteração de um atributo considerado relevante pode fazer com que esta situação não ocorra.

A descrição anterior mostra que a Regressão Logística apresenta um número maior de possibilidades por partir não apenas dos casos de combinações idênticas às que geraram quedas, mas considerando a variação de atributos. Sem uma distinção de pesos entre os atributos de maior e menor relevância, a mudança de um deles não pode ser considerada similar à mudança de outro.

Por exemplo, uma variação na característica de temperatura (de 16 para 21 graus Celsius) é irrelevante perto de uma variação no atributo de função da estrutura (alterando de suspensão para ancoragem).

Em Conjuntos Aproximados, os resultados são encontrados por agrupamento e se apenas uma característica o difere, este é automaticamente excluído do conjunto. Com isto, caso haja uma torre que tenha apenas uma característica que diverge da classificação considerada como 'queda', ela não é considerada com risco de queda, enquanto que no caso de Regressão Logística, o valor é uma resultante do fato do mesmo se aproximar de 1, sendo sempre considerado com risco de queda nesta situação. Por esta situação o número de estruturas consideradas com risco de queda foi maior para Regressão Logística do que para Conjuntos Aproximados.

Todas as 107 estruturas consideradas como queda, através de Conjuntos

Aproximados, estão presentes no universo das 260 estruturas consideradas como queda para Regressão Logística. Esta situação enfatiza o exposto anteriormente e mostra que mesmo com bases diferentes, há similaridade nos resultados. Enquanto que as outras 153 torres possuem atributos considerando variações, porém com menores possibilidades de quedas já que as 107 são baseadas na similaridade de todos atributos com torres que sofreram quedas.

Para efeito comparativo, se a curva da função logística fosse ajustada para uma faixa de corte diferente de 0,6 os resultados estimados já seriam diferentes. Por exemplo, para a faixa de corte de 0,5 as estruturas estimadas com efeito de queda caem de 107 para 76 estruturas e os casos de coincidência com Conjuntos Aproximados já não ocorrem para todos os casos, já que nesta mudança de faixa, 31 delas mudam de avaliação (sendo todas de sujeitas à queda para não sujeitas). Isto comprova que a faixa definida com 0,6 não apenas possui o menor erro estimado como apresenta maior número de valores de estruturas estimadas com mesmo resultado para ambos os métodos utilizados.

Quando se avalia apenas as estruturas passíveis de queda, as variações de faixa de corte aparentam ser grandes, porém observando o universo total das estruturas em operação, percebe-se que a variação do erro estimado realmente não é tão grande. Por isso a definição da faixa pode ser feita apenas com base no menor erro desde que as combinações numéricas entre as características estejam bem ajustadas.

5.3 QUEDA DE ESTRUTURAS EM AGOSTO DE 2011

No dia 19 de Agosto de 2011, o sistema de supervisão da COPEL registrou a queda de 7 estruturas metálicas da linha de transmissão que interliga as Subestações Pinheiros (cidade de Cascavel) e Toledo. Após verificações em campo pela equipe de Manutenção, foi confirmada a queda das estruturas 41, 42, 43, 44, 45, 46 e 47.

Em virtude desta situação, como esta linha de transmissão não constava entre as selecionadas para serem avaliadas, foi feita nova verificação da aplicação dos métodos propostos sobre a referida linha, com base nas regras

geradas por estes. A avaliação contempla 102 estruturas metálicas. Após o levantamento dos dados conforme os atributos propostos foram feitas as avaliações tanto para Conjuntos Aproximados como para Regressão Logística.

De acordo a avaliação feita com Conjuntos Aproximados, aplicando as regras geradas com base nas quedas anteriores a esta, foram identificadas 56 estruturas com características que combinadas as tornam passíveis de queda. Destas, todas as sete torres que caíram (entre 41 e 47) estão dentro da listagem das identificadas como suscetíveis.

Já para a avaliação com Regressão Logística foram identificadas mais estruturas como suscetíveis a queda, 69 torres ao total. Apesar de o número ser maior, nem todas estruturas prevista por Conjuntos Aproximados foram previstas pela Regressão Logística, porém as sete que sofreram queda foram previstas como resultado de queda.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os resultados da aplicação dos métodos Conjuntos Aproximados e Regressão Logística a uma base de dados com 2000 estruturas metálicas localizadas no estado do Paraná. A partir das regras geradas tanto em Conjuntos Aproximados como em Regressão Logística, foi possível realizar uma predição para cada uma delas quanto a sua possibilidade de queda ou de não queda.

Para o banco de dados analisado, a TCA apresentou 107 e a Regressão Logística 260 estruturas como suscetíveis de queda. A justificativa para que a TCA tenha fornecido um conjunto resposta menor pode estar relacionado ao tamanho do banco de dados, que deveria ser maior a fim de se poder verificar se realmente o número de estruturas mais suscetíveis de queda são 107 ou 260.

Apesar do número de estruturas estimadas com risco de queda pelos dois métodos não serem coincidentes, pode-se conciliar a utilização de ambos para a realização de análises sobre um conjunto de estruturas em risco bem menor do que todo o universo de estruturas em operação. Isto já permite um bom direcionamento para estudos e proposição de melhorias.

Por exemplo, uma concessionária de energia do porte da que atende o estado do Paraná realiza anualmente centenas de inspeções em suas linhas de transmissão. A seleção de, por exemplo, apenas 107 estruturas (selecionadas pela TCA), para uma análise mais minuciosa é perfeitamente factível, o que confirma a praticidade e viabilidade da aplicação da metodologia.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos definidos para este trabalho, é possível afirmar que todos foram alcançados. Primeiramente foi possível definir algumas características para avaliação das estruturas para ambos métodos aplicados e nestas avaliações nenhum dos atributos foi desconsiderado. A aplicação dos métodos pode ser considerada satisfatória pelos resultados encontrados nos métodos de validação das regras, seja pela aplicação de *Lachenbruch* como pela aplicação dos valores das estruturas utilizadas como base para geração da função logística.

A teoria de Conjuntos Aproximados resultou em um número menor de estruturas, baseado no fato da coincidência de todos os atributos entre algumas das estruturas que caíram e as que estão em operação. Como não necessita ser convertido para caracteres numéricos, pode utilizar dados tabulados para sua implementação. Para as situações em que se deve fazer uma análise para um grande número de tabelas (como as utilizadas pela COPEL para Linhas de Transmissão) esta é a solução mais recomendada.

Já a Regressão Logística, a partir do momento que se tem as informações baseadas em características, é necessária uma conversão de atributos alfanuméricos para numéricos. Como a geração das regras fornece uma função, é necessário aplicar esta função para as estruturas, resultando em valores finais entre 0 e 1. Com os valores resultantes se faz a comparação com um valor de referência, e para após isto se conclui se a estimativa é de queda ou não. Apesar de este processo ser mais extenso, é possível se observar os resultados em forma de tendências.

Em virtude dos valores identificados na utilização dos métodos, a Tabela 6-1 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos na aplicação de Conjuntos Aproximados e Regressão Logística.

TABELA 6-1 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS (TAXA DE ERRO APARENTE)

Descrição	Conjuntos Aproximados	Regressão Logística
Classificação Banco Original – Efeito Nenhum	100%	91,97%
Classificação Banco Original – Efeito Queda	100%	79,55%
Taxa de Erro do Método	43,33%	11,05%
Estruturas em Operação – Risco Estimado de Queda	5,27%	12,81%

A tabela apresentada mostra que a TCA apresenta resultados de classificação bem exatos, porém possui uma taxa de erro consideravelmente superior à Regressão. Porém, a RL possui uma assertividade menor quando se observa a questão da classificação dos bancos em relação às regras geradas.

Com tudo que foi exposto é possível afirmar que ambos métodos aplicados possuem pontos fortes, onde pode-se conciliar a utilização de ambos para a realização de análises de um banco completo, assim como uma das técnicas pode ser selecionada para a realização de estudos.

A partir de um direcionamento em relação às estruturas mais sujeitas a queda, é possível definir quais ações podem ser tomadas previamente. Para esta definição é preciso fazer uma nova verificação dos atributos de cada uma das estruturas indicadas para que sejam verificados os atributos que podem ser alterados de forma que tragam maior confiabilidade para a operação da estrutura.

Para os casos em que sejam identificados os casos de estruturas de baixa capacidade mecânica, existem diversas soluções, desde o reforço das ferragens até a troca da estrutura por outra de maior capacidade mecânica. Claro que para isto sempre deve ser feita uma análise dos tramos componentes, bem como das características de cabos condutores associados. O tipo de fundação também pode ser reforçado, caso seja identificada esta necessidade.

Nas situações em que os fatores estão mais relacionados às condições do relevo, uma alteração do traçado da linha de transmissão pode ser uma solução, inserindo mais estruturas de ancoragem ou mesmo apenas desviando

para pontos que existam maior segurança e menores exposições a “corredores” de vento. A aplicação de torres em regiões com maior número de obstáculos em seu entorno também deve ser avaliado, sempre sabendo que estes obstáculos sejam controláveis, ou seja, que estes não venham a trazer novos riscos à integridade das estruturas. Outros estudos que podem ser realizados seria o de alterar estruturas intercaladas, desde que os atributos mais frágeis possam ser explicitados nas avaliações.

Desta forma, a avaliação prévia das estruturas mais frágeis, o estudo destas e a execução de melhorias são ações que podem ser programadas reduzindo ao máximo os custos de desligamento e evitando altos valores de lucro cessante e indenizações a que uma empresa de energia possa estar sujeita, quando se deixa de atuar preventivamente para atuar corretivamente.

Assim, como os riscos e custos envolvidos com uma queda de torre, tanto para a concessionária de energia como para a população em geral, são maiores do que atuar preventivamente, fica claro a relevância do uso das técnicas propostas para avaliação dos mesmos, como aliado no planejamento da manutenção de linhas de transmissão de uma empresa de transmissão.

6.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Sugerem-se como trabalhos futuros:

- a. A aplicação de mais atributos e mais classificações relacionados às linhas de transmissão para a definição de variáveis relevantes com mais em mais características levantadas;
- b. O estudo de outras técnicas de Inteligência Artificial (tais como, *Rough Fuzzy*, Redes Bayesianas) que possam ser comparados com os resultados encontrados para Conjuntos Aproximados e mesmo outras técnicas estatísticas que possam ser verificadas com a Regressão Logística e que possam apresentar uma quantificação do risco;
- c. A aplicação do método proposto neste trabalho em outras aplicações do sistema elétrico de potência, como para redes de distribuição ou mesmo para a realização de estimativas de pontos que possam vir a trazer falhas para um dado sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. C. M. **Perdas e Inadimplência na Atividade de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil**. Tese de Doutorado da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5422: projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica**. Rio de Janeiro, 1985.

Atlas Geográfico do Brasil. Editora Melhoramentos, 2002. Disponível em <<http://www.uol.com.br/atlas>>. Acesso em 09 nov. 2011.

BONALDI, E. L.; LAMBERT-TORRES, G.; SILVA, L. E. B.; OLIVEIRA, L. E. L.. **A Rough Sets Based Classifier for Induction Motors Fault Diagnosis**. WSEAS Transactions on Systems, Londres, v.2, n.2, p.230-237, 2002.

CAO, Y. J.; FENG, L.; QIU, J. J. **Performance of the Novel Rough Fuzzy-Neural Network on Short-term Load Forecasting**. IEEE Power Systems Conference and Exposition, v.1, p.543-547, 2004.

CHEN, T. C.; PAI, P. F. **Rough Set Theory with Discriminant Analysis in Analyzing Electricity Loads**. ELSEVIER Expert Systems with Applications, v.3, p.8799-8806, 2009.

CHIEN, C. F.; PENG, J. T.; TSENG, T. L. B. **Rough Set Theory for Data Mining for Fault Diagnosis on Distribution Feeder**. IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution. v.151, p.689-697, 2004.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL. Disponível em www.copel.com, 2011.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2007.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Manual de Instrução Técnica 164203 – Atendimento Emergencial em Linhas de Subtransmissão**. Curitiba, 2009.

COUTINHO, M. P. **Deteção de Ataques em Infra- Estruturas Críticas de Sistemas Elétricos de Potência usando Técnicas Inteligentes**. Tese de Doutorado da Universidade Federal de Itajubá, 2007.

CROSSLEY, P. A.; HOR, C. L.; WATSON, S. J. **Building Knowledge for Substation-Based Decision Support using Rough Sets**. IEEE Transactions on Power Delivery, v.22, n.3, 2007.

FUCHS, R. D. **Transmissão de Energia Elétrica: Linhas Aéreas – Volume 1**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1977.

HAN, L.; PETERS, J. F.; RAMANNA, S.; ZHAI, R. **Classifying Faults in High Voltage Power Systems: A Rough-Fuzzy Neural Computational Approach**. Springer Berlin, v.1711, p.47-54, 1999.

JOHNSON, R. A.; WYCHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 4. Ed. New Jersey: Prentice Hall, inc., 1998.

KLEINBAUM, D. G. **Logistic Regression: a self learning text**. Spring-Verlag New York, 1994.

LABEGALINI, P. R.; LABEGALINI, J. A.; FUCHS, R. D.; ALMEIDA, M. T. **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

LACHENBRUCH, P. A. **Discriminant Analysis**. New York, Halfner: 1975.

LAMBERT-TORRES, G. **Application of Rough Sets in Power System Control Center Data Mining**. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, v.1, p.627-631, 2002.

MARTINS, R. **Classificação de Transformadores de Distribuição de Energia Elétrica quanto à DHTV usando Rough Sets**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

OHRN, A. **Discernibility and Rough Sets in Medicine: Tools and Applications**. Norwegian University of Science and Technology. Norway, 1999.

OHRN, A. **Rosetta: Technical Reference Manual**. Knowledge Systems Group. Department of Computer and Information Science. Norwegian University of Science and Technology. Norway, 2001.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; WASSERMAN, W.; NACHTSHEIM, C. J. **Applied Linear Regression Models**. 3ª Ed. McGraw-Hill, 1996.

PATRICIO, C. M. M. M.; PINTO, J. O. P.; SOUZA, C. C. **Rough Sets – Técnica de Redução de Atributos e Geração de Regras para Classificação de Dados**. Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, Santo Amaro, 2005.

PAWLAK, Z. **Rough Sets**. International Journal of Computer and Information Sciences, p.341-356, 1982.

PENIN, C. A. de S. **Combate, Prevenção e Otimização de Perdas Comerciais de Energia Elétrica**. Dissertação de Mestrado da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

RODRIGUES, R. **Metodologia de Análise Elétrica de Impedimentos Programados de Sistemas Elétricos utilizando Fluxo de Potência e Rough Sets**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

SOUZA, W. E. **Análise das Distorções Harmônicas de Tensão a partir de Características dos Transformadores e de Dados de Consumo.** Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

VIEIRA, R. C.; TENORIO, M. B.; ROISENBERG, M.; BORGES, P. S. S. **Comparação entre Redes Neurais Artificiais e Rough Sets para Classificação de Dados.** Proceedings of VI Brazilian Conference on Neural Networks, p.175-178. São Paulo, 2003.

WAZEN, R. N. **Proposta de Aplicação da Manutenção Baseada em Confiabilidade para Linhas de Transmissão da COPEL.** Monografia de Especialização da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2008.

ANEXO A – TUTORIAL ROSETTA

A.1 Implantação do Sistema de Informação

Ao iniciar o software Rosetta, a tela inicial traz as informações da Figura A-1, que é a tela de abertura do sistema.

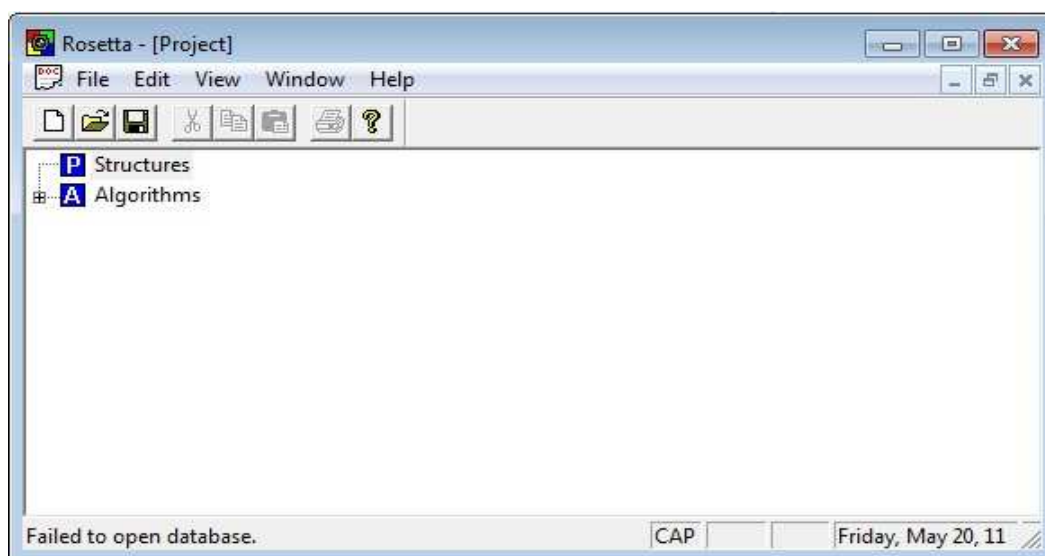


FIGURA A-1 - TELA INICIAL DO SISTEMA ROSETTA

Na tela inicial, já existe a opção da criação de um novo projeto a ser analisado e para isto basta entrar com os dados (caso já os tenha em planilha) ou selecionar para descrever manualmente as informações necessárias. Para este trabalho, os dados já se encontram tabelados sendo necessário apenas abrir o arquivo com o banco existente, conforme a Figura A-2.

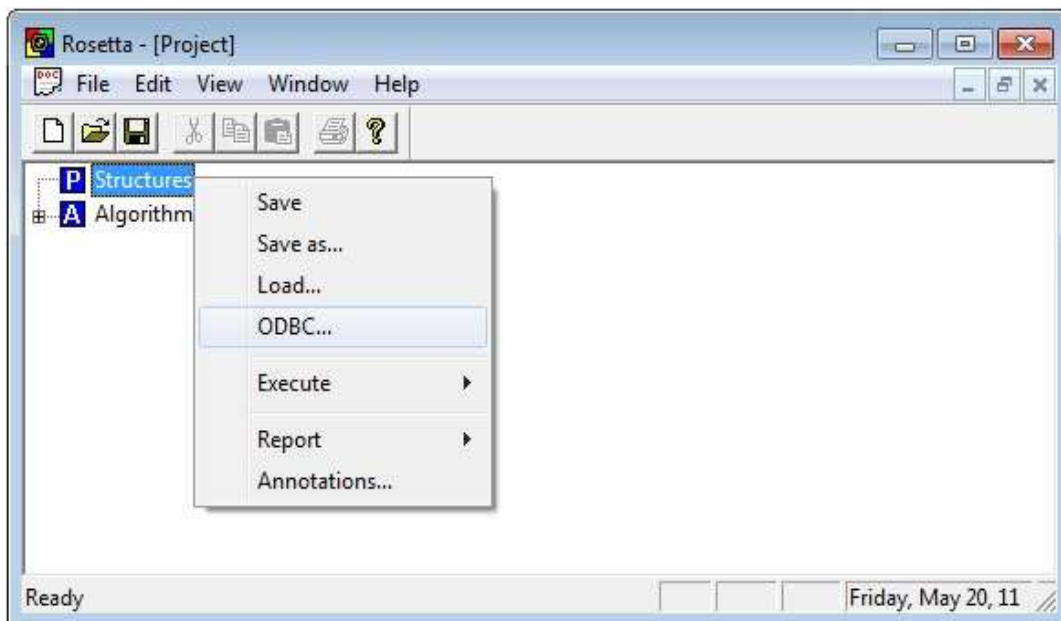


FIGURA A-2 - IMPORTAÇÃO DE BANCO DE BACOS ODBC

Para a importação dos dados, abre-se o quadro da Figura A-3, e para isto basta selecionar **ODBC** indicado na figura anterior.

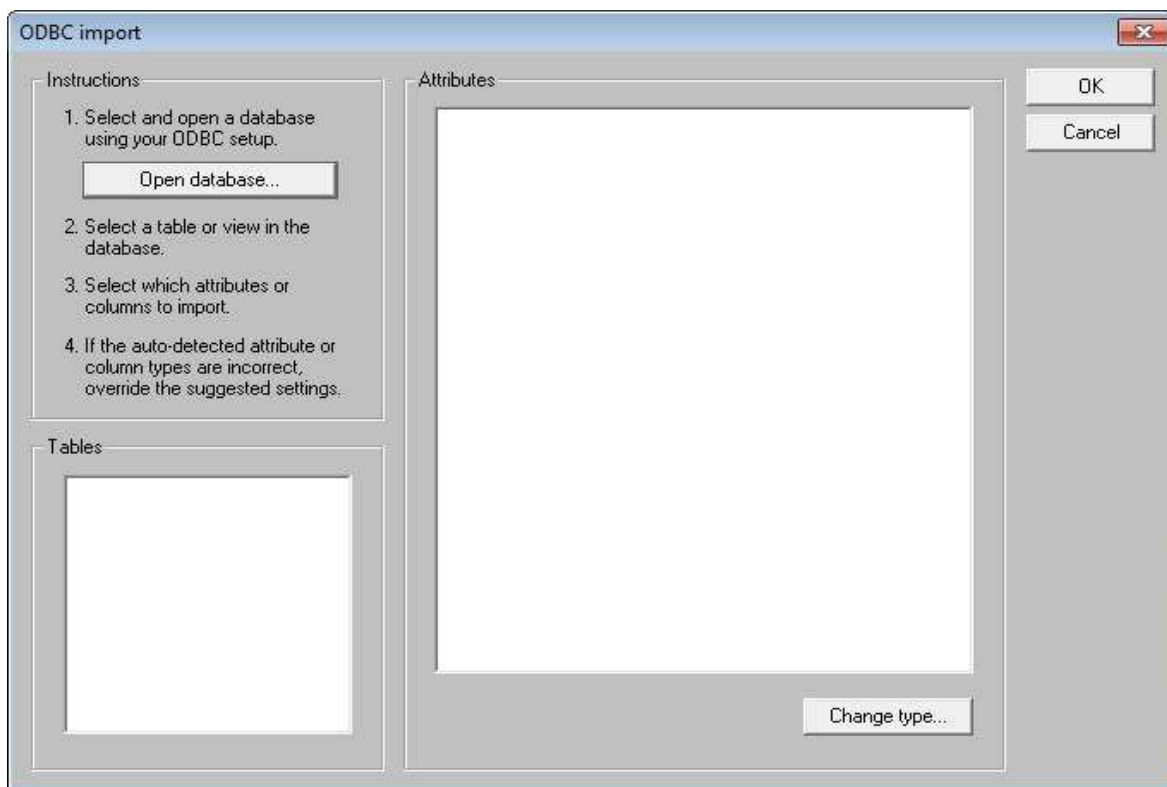


FIGURA A-3 - SELEÇÃO DO BANCO DE DADOS

Clicar em **Open Database** para buscar o arquivo fonte. Conforme o

formato do arquivo é possível escolher as diversas extensões ou mesmo abrir um formato já existente no padrão do Rosetta. Este botão permite buscar a pasta onde o arquivo se encontra e selecionar o mesmo.

Com o arquivo selecionado, é possível encontrar a planilha que contém os dados a serem trabalhados e selecionar os atributos que serão tratados, conforme Figura A-4.

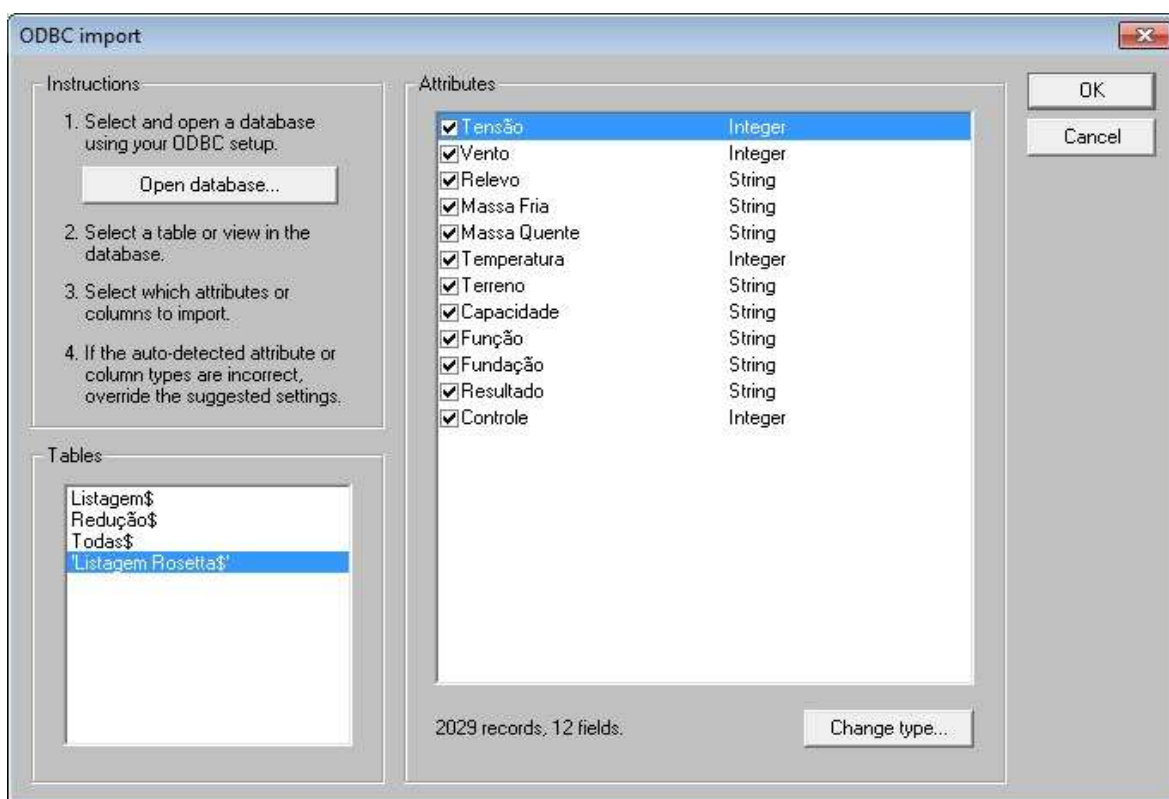


FIGURA A-4 - SELEÇÃO DOS ATRIBUTOS A SEREM UTILIZADOS

Após a seleção dos dados, é possível editar o nome da estrutura criada apenas clicando em cima do texto relacionado. Sempre que forem incluídos dados aparecerá, ao lado do nome, uma caixa verde com a letra "D" que se refere a Dados.

A.2 Redução do Sistema

Com o banco de dados é possível realizar a redução dos parâmetros a serem avaliados, fazendo com que menos iterações sejam feitas pelo software.

Para este fim, o software faz o agrupamento de informações entre os dados e forma conjuntos por semelhança de dados. Para a redução é possível selecionar técnicas que permitam isto, tais como:

- a. Algoritmos Genéticos: a redução é feita a partir da definição de uma função que permite definir um conjunto mínimo de informações válidas. O algoritmo é formado com suporte de soluções válidas pela análise como com soluções aproximadas;
- b. Algoritmo de Johnson: de acordo com Johnson, a análise é feita com base na determinação de um algoritmo simples e que seja robusto o suficiente para que um reduto único seja capaz de representar o sistema;
- c. Holte's 1R: conforme a teoria de Holte, todos os conjuntos com atributos únicos são considerados para a realização da redução. A análise é feita sobre regras de decisão univariada;
- d. Redução Manual: apresenta ao usuário as opções de variáveis a serem selecionadas para a realização dos cálculos de redução.

A Figura A-5 apresenta as opções de comando relacionadas ao banco de dados, onde pode-se enfatizar a opção **Reduce** e as formas possíveis de fazer esta redução. Neste foi considerada a utilização de Algoritmo Genético, pois comparativamente com as outras opções foi a que apresentou o menor valor de conjunto reduzido.

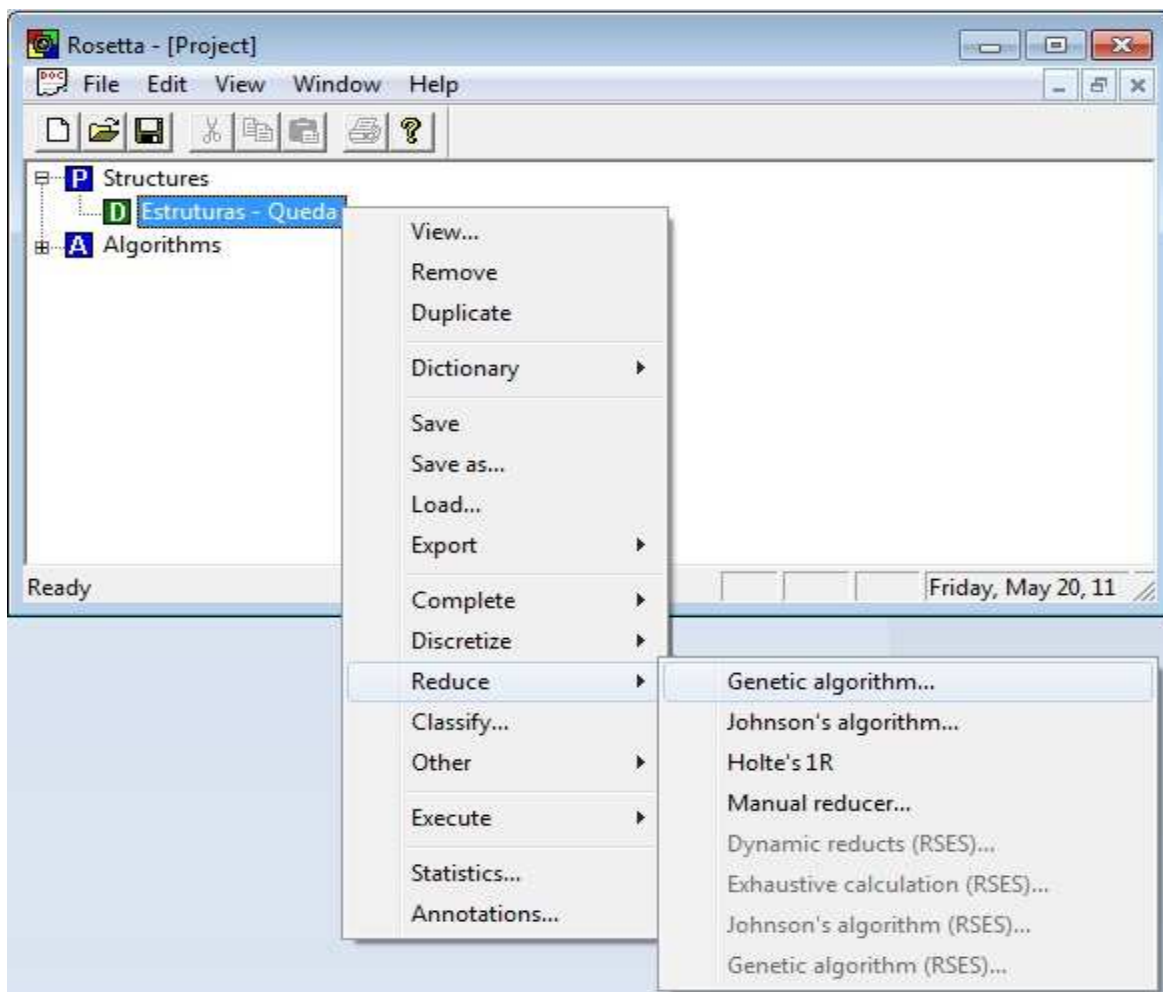


FIGURA A-5 - SELEÇÃO DO TIPO DE REDUÇÃO A SER REALIZADA

A redução também gera um resultado em um botão e possui uma caixa vermelha com a letra “R” dentro.

A.3 Geração de Regras

A partir dos dados reduzidos é possível gerar as regras, isto porque as regras são feitas sobre as combinações dos atributos relevantes encontrados na redução do banco de dados. Clicando sobre o arquivo de redução é possível identificar o comando **Generate Rules**, que faz a criação das regras a partir do arquivo de redução gerado. Esta opção é identificada na Figura A-6.

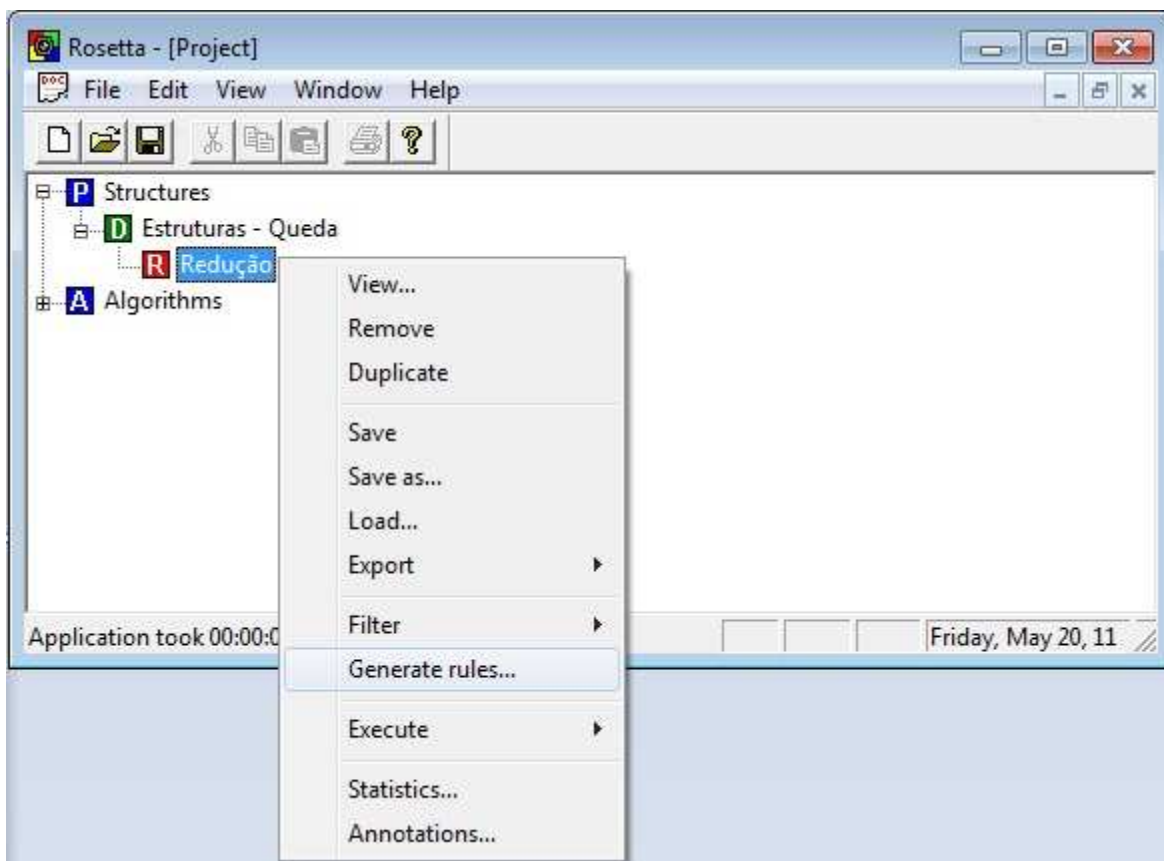


FIGURA A-6 - GERAÇÃO DE REGRAS

As regras são feitas para cada conjunto reduzido, onde é possível reduzir de formas diferentes, mas existe apenas um conjunto de regras para cada redução feita. A listagem das regras é indicada por uma caixa de cor amarela com a letra “R” dentro.

A.4 Verificação das Estruturas em Operação

Depois de escolher o banco de dados a ser trabalhado, fazer sua redução e criar as regras associadas, é possível verificar se as regras são capazes de abranger todo o banco ou quase sua totalidade. Isto ocorre porque cada forma de redução possui um método implícito que pode evidenciar pontos de difícil classificação e, com isto, difícil definição de forma de agrupamento.

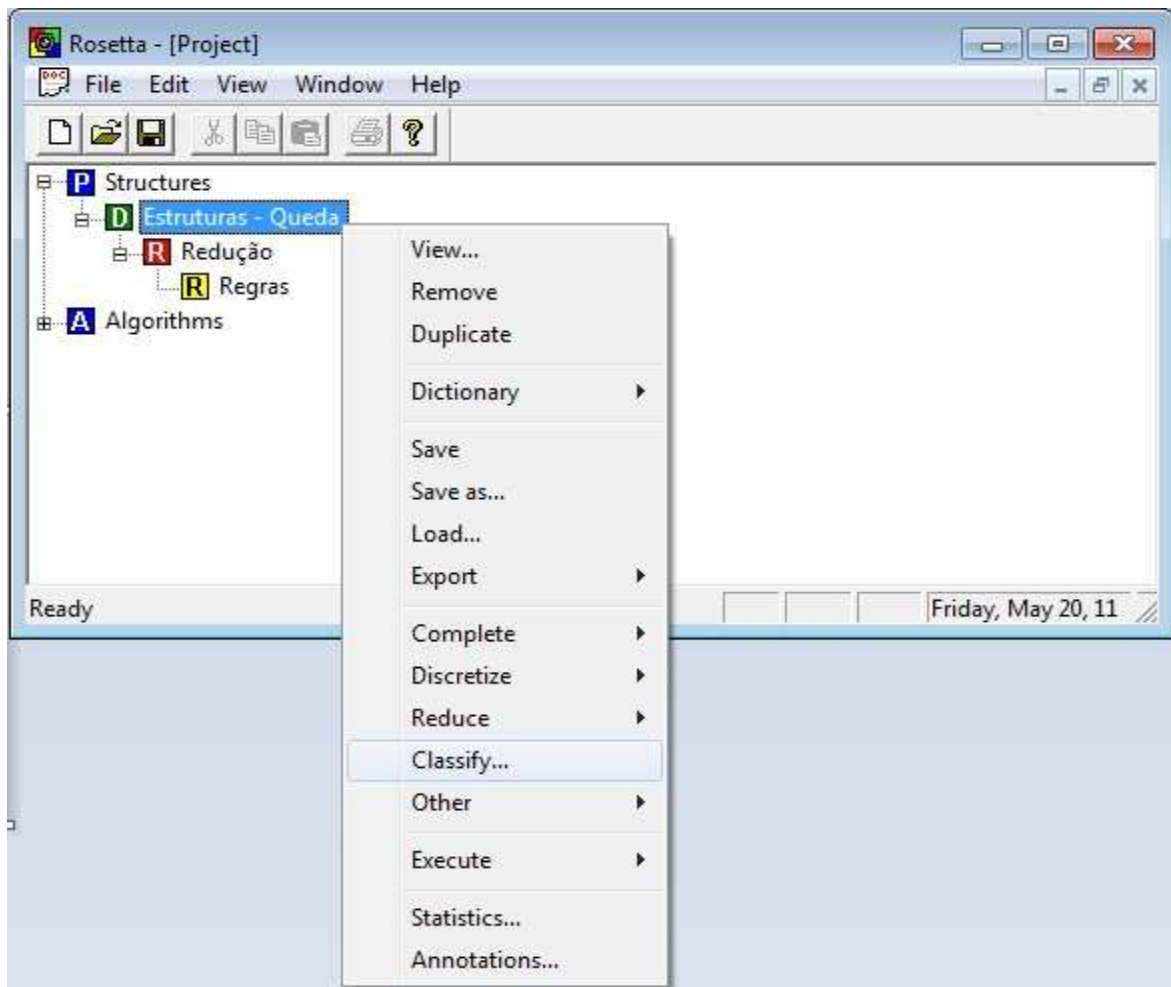


FIGURA A-7 - CLASSIFICAÇÃO DO BANCO DE DADOS

A classificação é feita sobre o banco de dados, conforme indicado na seleção da Figura A-7. A partir deste quadro, seleciona-se o comando **Classify**. Ao clicar irá aparecer a caixa de parâmetros de classificação da Figura A-8.

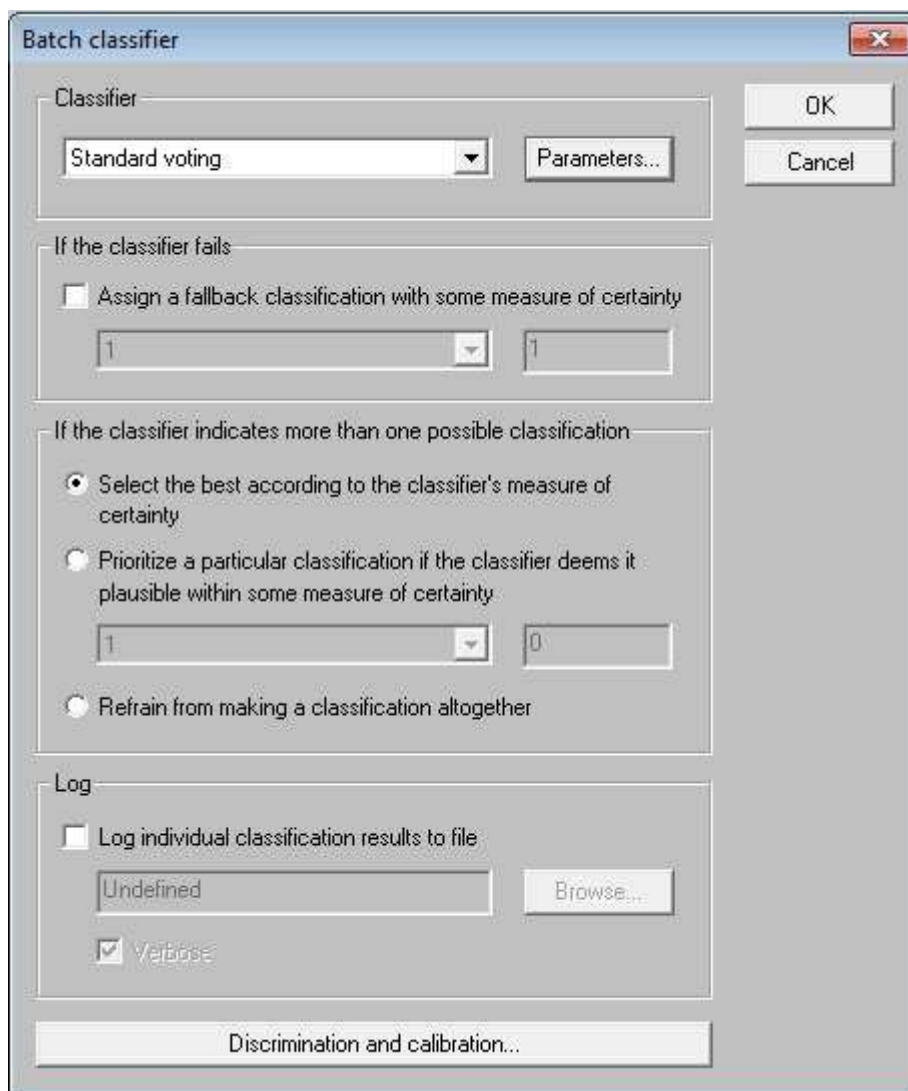


FIGURA A-8 - PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO

Esta caixa possui uma opção associada à seleção da regra criada, que para selecionar a regra é necessário clicar em **Parameters** para ver as opções possíveis.

Com esta seleção, a caixa da Figura A-9 pode ser visualizada. Nesta caixa existem opções de configuração para valores que possam conter incertezas. Porém, para a seleção da regra gerada basta escolher esta em **Rules**.

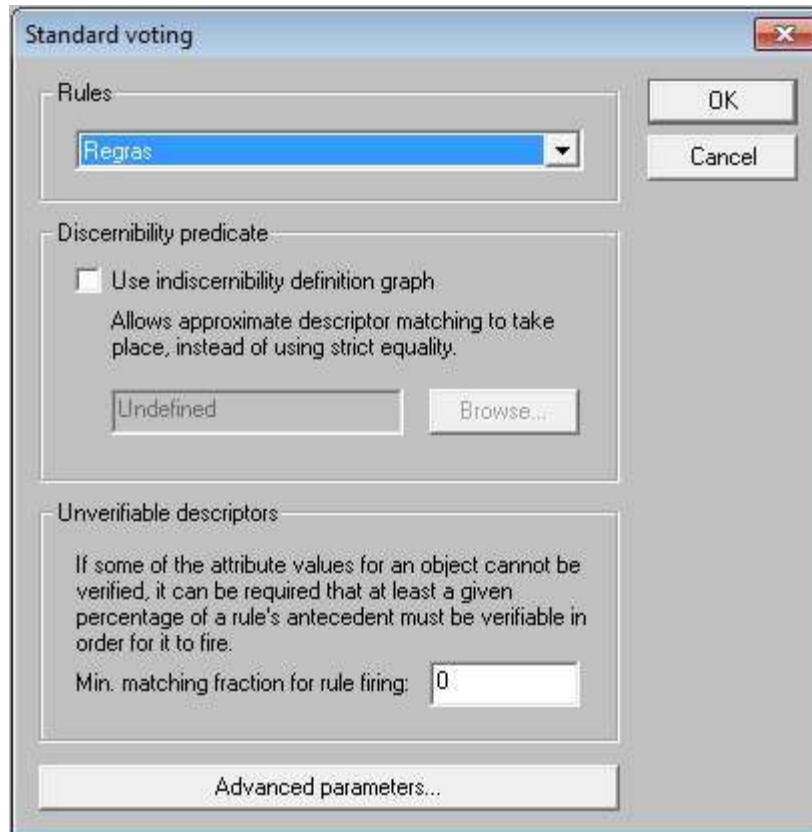


FIGURA A-9 - SELEÇÃO DE REGRA PARA CLASSIFICAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Após a seleção da regra a ser utilizada, basta dar **OK** nas duas telas anteriores para que seja feita a classificação do banco de dados a partir das regras geradas sobre suas características. Como o sistema apresenta mais de um método de redução, é possível gerar regras distintas e classificar o banco diversas vezes permitindo a comparação dos resultados entre os métodos.

O Rosetta permite que as etapas sejam gravadas e os dados acessados para melhorar o controle e utilização dos dados. Dentro de um mesmo projeto também é possível entrar com bancos de dados distintos e realizar a comparação e aplicar regras de um sobre outro, seguindo os mesmos passos citados neste item.

APÊNDICE A - HISTÓRICO DE QUEDAS DE ESTRUTURAS NO PARANÁ

A Tabela A-1 enumera todas as estruturas metálicas que sofreram quedas no decorrer dos anos em que estiveram em operação, considerando: os nomes dos circuitos aos quais pertenciam, os números das estruturas, as datas das ocorrências e os níveis de tensão em que estavam em operação.

TABELA A-1: LISTA DE QUEDAS DE ESTRUTURAS DO ESTADO DO PARANÁ

Nº	Nome da Linha	Estrutura Avariada	Data	Tensão (kV)
1	VCZ-FLO	144	02/02/1966	88
2	FRA-PGN	250	22/07/1966	230
3	LNA-FLO	82	06/06/1971	88
4	LNA-FLO	83	06/06/1971	88
5	LNA-FLO	84	06/06/1971	88
6	LNA-FLO	85	06/06/1971	88
7	LNA-FLO	86	06/06/1971	88
8	JMF-LJS	93	07/05/1972	69
9	JMF-LJS	94	07/05/1972	69
10	JMF-LJS	95	07/05/1972	69
11	JMF-LJS	96	07/05/1972	69
12	IRT-PGO	104	17/10/1973	69
13	MOU-BAF	81	17/10/1975	69
14	MOU-BAF	82	17/10/1975	69
15	MOU-BAF	83	17/10/1975	69
16	PHS-TDO	16	29/10/1975	69
17	PHS-TDO	17	29/10/1975	69
18	PHS-TDO	18	29/10/1975	69
19	PHS-TDO	19	29/10/1975	69
20	FOZ-MED	48	26/05/1976	138
21	FOZ-MED	49	26/05/1976	138
22	FRA-PGN	300	05/06/1976	230
23	FRA-PGN	301	05/06/1976	230
24	FRA-PGN	302	05/06/1976	230
25	FRA-PGN	303	05/06/1976	230
26	CEL-UMU	82	04/10/1976	138
27	CEL-UMU	83	04/10/1976	138
28	CEL-UMU	86	04/10/1976	138
29	CEL-UMU	87	04/10/1976	138
30	CEL-UMU	107		138
31	CEL-UMU	108	05/11/1976	138
32	FRA-APA	190	10/10/1979	230
33	IRT-GVA	16	25/06/1980	69
34	RIL-IRT	61	25/06/1980	69
35	RIL-IRT	62	25/06/1980	69
36	FRA-TEL	20	25/06/1980	138
37	FRA-TEL	21	25/06/1980	138

38	FRA-PGN	18	25/06/1980	230
39	APA-IVP	48	25/06/1982	138
40	APA-IVP	49	25/06/1982	138
41	APA-IVP	50	25/06/1982	138
42	APA-IVP	51	25/06/1982	138
43	APA-IVP	52	25/06/1982	138
44	FRA-APA	74	25/06/1982	230
45	FRA-APA	75	25/06/1982	230
46	FRA-APA	76	25/06/1982	230
47	FRA-APA	77	25/06/1982	230
48	FRA-APA	78	25/06/1982	230
49	CHV-FRA	118	17/07/1982	230
50	CHV-FRA	119	17/07/1982	230
51	CHV-FRA	120	17/07/1982	230
52	DVI-FBL	10	17/10/1982	69
53	DVI-FBL	11	17/10/1982	69
54	FRA-PGN	188	19/05/1983	230
55	FRA-PGN	180	09/06/1983	230
56	VCZ-FLO	17	20/04/1986	88
57	PHS-AND	54	17/05/1986	138
58	PHS-AND	55	17/05/1986	138
59	PHS-AND	56	17/05/1986	138
60	PHS-AND	57	17/05/1986	138
61	FRA-PGN	252	08/05/1987	230
62	CHV-FRA	77	20/05/1987	230
63	APA-MGA	131	22/05/1987	230
64	FRA-PGN	213	25/10/1988	230
65	FRA-PGN	214	25/10/1988	230
66	FRA-PGN	215	25/10/1988	230
67	FRA-PGN	216	25/10/1988	230
68	FRA-PGN	217	25/10/1988	230
69	FRA-PGN	218	25/10/1988	230
70	FRA-PGN	219	25/10/1988	230
71	FRA-PGN	220	25/10/1988	230
72	FRA-APA	123	27/07/1989	230
73	RZA-SAE	68	27/08/1989	138
74	RZA-SAE	69	27/08/1989	138
75	CEL-FOZ	78	20/06/1991	230
76	CEL-FOZ	79	20/06/1991	230
77	CEL-FOZ	80	20/06/1991	230
78	CEU-CEL	40	20/06/1991	138
79	CIT-MGA	138	20/06/1991	138
80	FRA-APA	-	26/09/1995	230
81	FRA-APA	-	26/09/1995	230
82	FRA-APA	-	26/09/1995	230
83	FRA-APA	-	26/09/1995	230
84	QDI-LJS	-	15/06/1997	69
85	CIT-MGA	68	13/09/1997	138
86	CIT-MGA	69	13/09/1997	138
87	SSD-CIT	55	17/10/1999	138
88	SSD-CIT	56	17/10/1999	138
89	SSD-CIT	57	17/10/1999	138
90	CIT-MGA	83	15/08/2000	138
91	CIT-MGA	84	15/08/2000	138
92	CIT-MGA	85	15/08/2000	138
93	SCX-SSA	19	26/07/2001	500

94	SCX-SSA	20	26/07/2001	500
95	SCX-SSA	21	30/09/2001	500
96	SCX-SSA	22	30/09/2001	500
97	SSD-CIT	65	25/10/2002	138
98	SSD-CIT	66	25/10/2002	138
99	SSD-CIT	67	25/10/2002	138
100	SSD-CIT	68	25/10/2002	138
101	SSD-CIT	69	25/10/2002	138
102	SSD-CIT	70	25/10/2002	138
103	SSD-CIT	71	25/10/2002	138
104	SSD-CIT	72	25/10/2002	138
105	BTA-PGS	104	06/07/2003	230
106	BTA-PGS	105	06/07/2003	230
107	BTA-PGS	106	06/07/2003	230
108	BTA-PGS	120	22/10/2003	230
109	BTA-PGS	121	22/10/2003	230
110	CEL-AND	140	12/05/2004	138
111	CEL-AND	141	12/05/2004	138
112	CEL-AND	142	12/05/2004	138
113	CEL-AND	143	12/05/2004	138
114	CEL-AND	144	12/05/2004	138
115	CEL-AND	145	12/05/2004	138
116	CEL-AND	146	12/05/2004	138
117	CEL-AND	149	12/05/2004	138
118	CEL-AND	150	12/05/2004	138
119	CEL-AND	151	12/05/2004	138
120	AND-UMU	195	04/10/2005	138
121	AND-UMU	196	04/10/2005	138
122	MED-SNA	28	05/10/2005	138
123	CEL-OLP	54	01/09/2006	138
124	CEL-OLP	55	01/09/2006	138
125	CEL-TDO	63	01/09/2006	138
126	CEL-TDO	64	01/09/2006	138
127	FRA-PGN	293	19/11/2006	230
128	FRA-PGN	294	19/11/2006	230
129	FRA-PGN	295	19/11/2006	230
130	FRA-PGN	296	19/11/2006	230
131	FRA-PGN	297	19/11/2006	230
132	FRA-PGN	298	19/11/2006	230
133	FRA-TEL1	70	10/11/2007	138
134	FRA-TEL1	71	10/11/2007	138
135	PHS-AND	123	29/10/2008	138
136	PHS-AND	124	29/10/2008	138
137	PHS-AND	125	29/10/2008	138
138	PHS-AND	126	29/10/2008	138
139	PHS-AND	127	29/10/2008	138
140	MED-CEU	33	14/10/2009	138
141	MED-CEU	34	14/10/2009	138
142	MED-CEU	35	14/10/2009	138
143	CEL-OLP	56	14/10/2009	138
144	IRT-SBR	94	08/02/2010	138
145	IRT-SBR	95	08/02/2010	138
146	IRT-SBR	96	08/02/2010	138
147	CIT-MGA	112	09/11/2010	138

APÊNDICE B - ATRIBUTOS DAS ESTRUTURAS QUE SOFRERAM QUEDA

Com base nos dados do Apêndice A, seguem as informações sobre os atributos relacionados às estruturas que caíram. A partir do número listado da estrutura faz-se a relação com a Tabela A-1.

TABELA B-1 : ATRIBUTOS DAS ESTRUTURAS METÁLICAS QUE SOFRERAM QUEDA

Nº	Vento Médio	Tipo Relevo	Massa de Ar Fria	Massa de Ar Quente	Temp. Média	Tipo Ter.	Capacid. Mecânica	Função Estrutura	Fund.
1	20	Planície	Paralela	Transversal	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
2	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
3	20	Planície	Paralela	Transversal	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
4	20	Planície	Paralela	Transversal	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
5	20	Planície	Paralela	Transversal	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
6	20	Planície	Paralela	Transversal	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
7	20	Planície	Paralela	Transversal	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
8	20	Planície	Perpendicular	Transversal	19	B	Alta	Suspensão	Grelha
9	20	Planície	Perpendicular	Transversal	19	B	Alta	Suspensão	Grelha
10	20	Planície	Perpendicular	Transversal	19	B	Alta	Suspensão	Grelha
11	20	Planície	Perpendicular	Transversal	19	B	Alta	Suspensão	Grelha
12	20	Planalto	Transversal	Perpendicular	17	A	Baixa	Suspensão	Grelha
13	19	Planície	Perpendicular	Transversal	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
14	19	Planície	Perpendicular	Transversal	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
15	19	Planície	Perpendicular	Transversal	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
16	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
17	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
18	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
19	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
20	18	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
21	18	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
22	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
23	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
24	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
25	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
26	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
27	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
28	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
29	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
30	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
31	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
32	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	A	Baixa	Suspensão	Grelha
33	22	Planalto	Perpendicular	Transversal	17	B	Baixa	Suspensão	Grelha
34	20	Planalto	Paralela	Perpendicular	17	B	Baixa	Suspensão	Grelha
35	20	Planalto	Paralela	Perpendicular	17	B	Baixa	Suspensão	Grelha
36	22	Planalto	Paralela	Perpendicular	18	A	Baixa	Suspensão	Grelha
37	22	Planalto	Paralela	Perpendicular	18	A	Baixa	Suspensão	Grelha
38	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
39	20	Planalto	Paralela	Transversal	21	B	Alta	Ancoragem	Grelha
40	20	Planalto	Paralela	Transversal	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
41	20	Planalto	Paralela	Transversal	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
42	20	Planalto	Paralela	Transversal	21	A	Alta	Suspensão	Grelha

43	20	Planalto	Paralela	Transversal	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
44	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	A	Baixa	Suspensão	Grelha
45	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	A	Baixa	Suspensão	Grelha
46	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	A	Baixa	Suspensão	Grelha
47	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	A	Baixa	Suspensão	Grelha
48	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	A	Baixa	Suspensão	Grelha
49	20	Planalto	Paralela	Perpendicular	20	A	Baixa	Suspensão	Stub
50	20	Planalto	Paralela	Perpendicular	20	A	Baixa	Suspensão	Stub
51	20	Planalto	Paralela	Perpendicular	20	A	Baixa	Suspensão	Stub
52	20	Planalto	Paralela	Transversal	19	A	Baixa	Suspensão	Grelha
53	20	Planalto	Paralela	Transversal	19	A	Baixa	Suspensão	Grelha
54	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Grelha
55	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	B	Alta	Suspensão	Grelha
56	20	Planalto	Paralela	Transversal	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
57	22	Planície	Paralela	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
58	22	Planície	Paralela	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
59	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
60	22	Planície	Paralela	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
61	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Grelha
62	20	Planalto	Paralela	Perpendicular	20	A	Baixa	Suspensão	Stub
63	22	Planície	Transversal	Paralela	21	A	Alta	Suspensão	Stub
64	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
65	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
66	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
67	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
68	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
69	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
70	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
71	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
72	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	B	Baixa	Suspensão	Stub
73	18	Planalto	Transversal	Perpendicular	19	B	Alta	Suspensão	Grelha
74	18	Planalto	Transversal	Perpendicular	19	B	Alta	Suspensão	Grelha
75	22	Planície	Perpendicular	Perpendicular	20	B	Alta	Suspensão	Grelha
76	22	Planície	Perpendicular	Perpendicular	20	B	Alta	Suspensão	Grelha
77	22	Planície	Perpendicular	Perpendicular	20	B	Alta	Suspensão	Grelha
78	22	Planície	Perpendicular	Perpendicular	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
79	20	Planície	Perpendicular	Perpendicular	23	A	Baixa	Suspensão	Grelha
80	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	B	Baixa	Suspensão	Grelha
81	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	B	Baixa	Suspensão	Grelha
82	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	B	Baixa	Suspensão	Grelha
83	23	Planalto	Perpendicular	Paralela	18	B	Baixa	Suspensão	Grelha
84	22	Planície	Perpendicular	Transversal	18	B	Baixa	Suspensão	Grelha
85	20	Planície	Perpendicular	Perpendicular	23	B	Baixa	Suspensão	Grelha
86	20	Planície	Perpendicular	Perpendicular	23	C	Baixa	Suspensão	Grelha
87	19	Planície	Transversal	Paralela	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
88	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
89	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
90	20	Planície	Perpendicular	Perpendicular	23	A	Baixa	Suspensão	Grelha
91	20	Planície	Perpendicular	Perpendicular	23	A	Baixa	Suspensão	Grelha
92	20	Planície	Perpendicular	Perpendicular	23	A	Baixa	Suspensão	Grelha
93	17	Planície	Perpendicular	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
94	17	Planície	Perpendicular	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
95	17	Planície	Perpendicular	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
96	17	Planície	Perpendicular	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
97	19	Planície	Transversal	Paralela	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
98	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
99	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
100	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
101	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
102	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
103	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha

104	19	Planície	Transversal	Paralela	22	A	Baixa	Suspensão	Grelha
105	20	Planalto	Perpendicular	Paralela	17	A	Alta	Suspensão	Stub
106	20	Planalto	Perpendicular	Paralela	17	A	Alta	Suspensão	Stub
107	20	Planalto	Perpendicular	Paralela	17	A	Alta	Suspensão	Stub
108	20	Planalto	Perpendicular	Paralela	17	A	Alta	Suspensão	Stub
109	20	Planalto	Perpendicular	Paralela	17	A	Alta	Suspensão	Stub
110	22	Planície	Planície	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
111	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
112	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
113	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
114	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
115	22	Planície	Paralela	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
116	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
117	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
118	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
119	22	Planície	Paralela	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
120	20	Planície	Paralela	Transversal	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
121	20	Planície	Paralela	Transversal	22	B	Baixa	Suspensão	Grelha
122	17	Planície	Transversal	Paralela	21	B	Alta	Suspensão	Grelha
123	20	Planície	Transversal	Paralela	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
124	20	Planície	Transversal	Paralela	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
125	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
126	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
127	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
128	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
129	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
130	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
131	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
132	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
133	22	Vale	Paralela	Perpendicular	18	D	Baixa	Suspensão	Grelha
134	22	Vale	Paralela	Perpendicular	18	D	Baixa	Suspensão	Grelha
135	22	Planície	Paralela	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
136	22	Planície	Paralela	Transversal	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
137	22	Vale	Paralela	Transversal	20	C	Baixa	Suspensão	Grelha
138	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
139	22	Planície	Paralela	Transversal	20	A	Baixa	Suspensão	Grelha
140	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
141	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
142	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
143	20	Planície	Transversal	Paralela	20	B	Baixa	Suspensão	Grelha
144	20	Vale	Transversal	Perpendicular	18	C	Baixa	Suspensão	Grelha
145	20	Vale	Transversal	Perpendicular	18	D	Baixa	Suspensão	Grelha
146	20	Vale	Transversal	Perpendicular	18	D	Baixa	Suspensão	Grelha
147	20	Planície	Perpendicular	Perpendicular	23	A	Baixa	Suspensão	Grelha

APÊNDICE C - ESTIMATIVAS DE QUEDA – CONJUNTOS APROXIMADOS

Seguem as informações sobre as estruturas estimadas como passíveis de queda, de acordo com os atributos associados.

TABELA C-1 : ESTRUTURAS SUJEITAS À QUEDA – TCA

Nome LT	Nº	kV	Vent	Relevo	Massa Frio	Massa Quente	Tp	Ter	Cap	Função	Fund
MED-CEU	8	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	10	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	12	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	50	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	52	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	53	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	54	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	55	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	56	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	57	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	58	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	59	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	60	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	61	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	62	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	63	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	64	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	68	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	69	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	70	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	18	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	19	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	20	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	22	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	28	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	30	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	37	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	38	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	39	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	48	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha
CEL-TDO	49	138	23	Planície	Transversal	Paralela	20	A	Alta	Suspensão	Grelha

FRA-PGN	152	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
FRA-PGN	155	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	156	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	158	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	159	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	162	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	163	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	164	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
FRA-PGN	211	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	216	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	247	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
FRA-PGN	248	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	249	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
FRA-PGN	252	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	253	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	254	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	255	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	261	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	262	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	263	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	264	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	267	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	276	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	291	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	293	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	294	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	295	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	296	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	297	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	303	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
FRA-PGN	304	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	306	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	307	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub

APÊNDICE D - ESTIMATIVAS DE QUEDA - REGRESSÃO LOGÍSTICA

Seguem as informações sobre as estruturas estimadas como passíveis de queda, de acordo com os atributos associados.

TABELA D-1 : ESTRUTURAS SUJEITAS À QUEDA – REGRESSÃO LOGÍSTICA

Nome LT	Nº	kV	Vent	Relevo	Massa Frio	Massa Quente	Tp	Ter	Cap	Função	Fund
IBP-ASA	30	138	21	Planície	Transversal	Paralelo	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
IBP-ASA	37	138	21	Planície	Transversal	Paralelo	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
IBP-ASA	38	138	21	Planície	Transversal	Paralelo	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
IBP-ASA	40	138	21	Planície	Transversal	Paralelo	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
IBP-ASA	41	138	21	Planície	Transversal	Paralelo	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
IBP-ASA	42	138	21	Planície	Transversal	Paralelo	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
IBP-ASA	51	138	21	Planície	Transversal	Paralelo	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
IBP-ASA	52	138	21	Planície	Transversal	Paralelo	21	A	Alta	Suspensão	Grelha
MED-CEU	8	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	9	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	10	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	11	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	12	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	A	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	13	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	14	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	15	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	16	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	17	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	18	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	19	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	20	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	21	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	22	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	23	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	24	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	25	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	26	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	27	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	28	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	29	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	30	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	31	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	32	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	33	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	34	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	35	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	B	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	36	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha
MED-CEU	37	138	16	Planície	Perpendicular	Perpendicular	21	C	Baixa	Suspensão	Grelha

FRA-PGN	293	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	294	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	295	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	296	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	297	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	301	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	B	Baixa	Suspensão	Stub
FRA-PGN	303	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Baixa	Suspensão	Stub
FRA-PGN	304	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	306	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub
FRA-PGN	307	230	26	Planalto	Paralela	Transversal	17	A	Alta	Suspensão	Stub

APÊNDICE E - ESTIMATIVAS DE QUEDA - COMPARATIVO DOS RESULTADOS

Segue um comparativo sobre as estruturas estimadas como passíveis de queda em ambos os métodos aplicados. Na tabela E-1 os casos coincidentes estão destacados.

TABELA E-1 : ESTRUTURAS SUJEITAS À QUEDA – COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS

Dados das Estruturas			Regressão Logística			TCA
Nº Controle	Nome da Linha	Nº Estrutura	X	P(X)	Resultado Função	Resultado
903	IBP-ASA	30	-0,431	0,3939	0	Nenhum
910	IBP-ASA	37	-0,431	0,3939	0	Nenhum
911	IBP-ASA	38	-0,431	0,3939	0	Nenhum
913	IBP-ASA	40	-0,431	0,3939	0	Nenhum
914	IBP-ASA	41	-0,431	0,3939	0	Nenhum
915	IBP-ASA	42	-0,431	0,3939	0	Nenhum
924	IBP-ASA	51	-0,431	0,3939	0	Nenhum
925	IBP-ASA	52	-0,431	0,3939	0	Nenhum
1032	MED-CEU	8	-2,383	0,0845	0	Queda
1033	MED-CEU	9	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1034	MED-CEU	10	-2,383	0,0845	0	Queda
1035	MED-CEU	11	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1036	MED-CEU	12	-2,383	0,0845	0	Queda
1037	MED-CEU	13	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1038	MED-CEU	14	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1039	MED-CEU	15	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1040	MED-CEU	16	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1041	MED-CEU	17	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1042	MED-CEU	18	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1043	MED-CEU	19	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1044	MED-CEU	20	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1045	MED-CEU	21	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1046	MED-CEU	22	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1047	MED-CEU	23	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1048	MED-CEU	24	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1049	MED-CEU	25	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1050	MED-CEU	26	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1051	MED-CEU	27	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1052	MED-CEU	28	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1053	MED-CEU	29	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1054	MED-CEU	30	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1055	MED-CEU	31	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1056	MED-CEU	32	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1057	MED-CEU	33	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1058	MED-CEU	34	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1059	MED-CEU	35	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1060	MED-CEU	36	-0,191	0,4524	0	Nenhum

1061	MED-CEU	37	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1062	MED-CEU	38	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1063	MED-CEU	39	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1064	MED-CEU	40	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1065	MED-CEU	41	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1066	MED-CEU	42	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1067	MED-CEU	43	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1068	MED-CEU	44	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1069	MED-CEU	45	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1070	MED-CEU	46	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1071	MED-CEU	47	-0,191	0,4524	0	Nenhum
1073	MED-CEU	49	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1074	MED-CEU	50	-2,383	0,0845	0	Queda
1075	MED-CEU	51	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1076	MED-CEU	52	-2,383	0,0845	0	Queda
1077	MED-CEU	53	-2,383	0,0845	0	Queda
1078	MED-CEU	54	-2,383	0,0845	0	Queda
1079	MED-CEU	55	-2,383	0,0845	0	Queda
1080	MED-CEU	56	-2,383	0,0845	0	Queda
1081	MED-CEU	57	-2,383	0,0845	0	Queda
1082	MED-CEU	58	-2,383	0,0845	0	Queda
1083	MED-CEU	59	-2,383	0,0845	0	Queda
1084	MED-CEU	60	-2,383	0,0845	0	Queda
1085	MED-CEU	61	-2,383	0,0845	0	Queda
1086	MED-CEU	62	-2,383	0,0845	0	Queda
1087	MED-CEU	63	-2,383	0,0845	0	Queda
1088	MED-CEU	64	-2,383	0,0845	0	Queda
1089	MED-CEU	65	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1090	MED-CEU	66	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1091	MED-CEU	67	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1092	MED-CEU	68	-2,383	0,0845	0	Queda
1093	MED-CEU	69	-2,383	0,0845	0	Queda
1094	MED-CEU	70	-2,383	0,0845	0	Queda
1095	MED-CEU	71	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1096	MED-CEU	72	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1097	MED-CEU	73	-1,287	0,2164	0	Nenhum
1100	MED-CEU	76	0,103	0,5257	0	Nenhum
1113	MGI-SDI	10	-1,702	0,1542	0	Nenhum
1114	MGI-SDI	11	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1120	MGI-SDI	17	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1121	MGI-SDI	18	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1122	MGI-SDI	19	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1123	MGI-SDI	20	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1126	MGI-SDI	23	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1127	MGI-SDI	24	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1128	MGI-SDI	25	-1,702	0,1542	0	Nenhum
1129	MGI-SDI	26	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1130	MGI-SDI	27	-1,702	0,1542	0	Nenhum
1131	MGI-SDI	28	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1135	MGI-SDI	32	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1140	MGI-SDI	37	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1141	MGI-SDI	38	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1144	MGI-SDI	41	-0,606	0,3529	0	Nenhum

1145	MGI-SDI	42	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1146	MGI-SDI	43	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1147	MGI-SDI	44	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1148	MGI-SDI	45	-1,702	0,1542	0	Nenhum
1149	MGI-SDI	46	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1150	MGI-SDI	47	-0,606	0,3529	0	Nenhum
1151	MGI-SDI	48	-1,702	0,1542	0	Nenhum
1368	VCA-GVA	51	-0,557	0,3643	0	Nenhum
1369	VCA-GVA	52	-0,557	0,3643	0	Nenhum
1386	ARE-SOC	221	0,108	0,5269	0	Nenhum
1387	ARE-SOC	222	0,108	0,5269	0	Nenhum
1394	ARE-SOC	229	0,108	0,5269	0	Nenhum
1395	ARE-SOC	230	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1396	ARE-SOC	231	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1397	ARE-SOC	232	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1398	ARE-SOC	233	0,108	0,5269	0	Nenhum
1399	ARE-SOC	234	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1400	ARE-SOC	235	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1401	ARE-SOC	236	0,108	0,5269	0	Nenhum
1402	ARE-SOC	237	0,108	0,5269	0	Nenhum
1404	ARE-SOC	239	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1406	ARE-SOC	241	0,108	0,5269	0	Nenhum
1407	ARE-SOC	242	0,108	0,5269	0	Nenhum
1408	ARE-SOC	243	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1409	ARE-SOC	244	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1410	ARE-SOC	245	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1411	ARE-SOC	246	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1412	ARE-SOC	247	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1413	ARE-SOC	248	-0,988	0,2713	0	Nenhum
1414	ARE-SOC	249	0,108	0,5269	0	Nenhum
1415	ARE-SOC	250	0,108	0,5269	0	Nenhum
1577	CEL-TDO	18	-0,123	0,4692	0	Queda
1578	CEL-TDO	19	-0,123	0,4692	0	Queda
1579	CEL-TDO	20	-0,123	0,4692	0	Queda
1581	CEL-TDO	22	-0,123	0,4692	0	Queda
1587	CEL-TDO	28	-0,123	0,4692	0	Queda
1589	CEL-TDO	30	-0,123	0,4692	0	Queda
1596	CEL-TDO	37	-0,123	0,4692	0	Queda
1597	CEL-TDO	38	-0,123	0,4692	0	Queda
1598	CEL-TDO	39	-0,123	0,4692	0	Queda
1607	CEL-TDO	48	-0,123	0,4692	0	Queda
1608	CEL-TDO	49	-0,123	0,4692	0	Queda
1609	CEL-TDO	50	-0,123	0,4692	0	Queda
1610	CEL-TDO	51	-0,123	0,4692	0	Queda
1611	CEL-TDO	52	-0,123	0,4692	0	Queda
1612	CEL-TDO	53	-0,123	0,4692	0	Queda
1614	CEL-TDO	55	-0,123	0,4692	0	Queda
1617	CEL-TDO	58	-0,123	0,4692	0	Queda
1618	CEL-TDO	59	-0,123	0,4692	0	Queda
1620	CEL-TDO	61	-0,123	0,4692	0	Queda
1621	CEL-TDO	62	-0,123	0,4692	0	Queda
1622	CEL-TDO	63	-0,123	0,4692	0	Queda
1623	CEL-TDO	64	-0,123	0,4692	0	Queda

1624	CEL-TDO	65	-0,123	0,4692	0	Queda
1632	CEL-TDO	73	-0,123	0,4692	0	Queda
1633	CEL-TDO	74	-0,123	0,4692	0	Queda
1636	CEL-TDO	77	-0,123	0,4692	0	Queda
1637	CEL-TDO	78	-0,123	0,4692	0	Queda
1638	CEL-TDO	79	-0,123	0,4692	0	Queda
1640	CEL-TDO	81	-0,123	0,4692	0	Queda
1642	CEL-TDO	83	-0,123	0,4692	0	Queda
1643	CEL-TDO	84	-0,123	0,4692	0	Queda
1646	CEL-TDO	87	-0,123	0,4692	0	Queda
1647	CEL-TDO	88	-0,123	0,4692	0	Queda
1650	CEL-TDO	91	-0,123	0,4692	0	Queda
1651	CEL-TDO	92	-0,123	0,4692	0	Queda
1652	CEL-TDO	93	-0,123	0,4692	0	Queda
1658	CEL-TDO	99	-0,123	0,4692	0	Queda
1659	CEL-TDO	100	-0,123	0,4692	0	Queda
1662	CEL-TDO	103	-0,123	0,4692	0	Queda
1664	CEL-TDO	105	-0,123	0,4692	0	Queda
1665	CEL-TDO	106	-0,123	0,4692	0	Queda
1668	CEL-TDO	109	-0,123	0,4692	0	Queda
1670	CEL-TDO	111	-0,123	0,4692	0	Queda
1671	CEL-TDO	112	-0,123	0,4692	0	Queda
1673	CEL-TDO	114	-0,123	0,4692	0	Queda
1674	CEL-TDO	115	-0,123	0,4692	0	Queda
1675	CEL-TDO	116	-0,123	0,4692	0	Queda
1676	CEL-TDO	117	-0,123	0,4692	0	Queda
1689	CEL-TDO	130	-0,123	0,4692	0	Queda
1705	FRA-PGN	7	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1708	FRA-PGN	10	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1710	FRA-PGN	12	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1712	FRA-PGN	14	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1715	FRA-PGN	17	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1726	FRA-PGN	28	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1728	FRA-PGN	30	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1730	FRA-PGN	32	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1732	FRA-PGN	34	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1737	FRA-PGN	39	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1738	FRA-PGN	40	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1741	FRA-PGN	43	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1751	FRA-PGN	53	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1753	FRA-PGN	55	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1758	FRA-PGN	60	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1759	FRA-PGN	61	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1761	FRA-PGN	63	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1790	FRA-PGN	92	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1791	FRA-PGN	93	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1827	FRA-PGN	129	-2,305	0,0907	0	Queda
1828	FRA-PGN	130	0,180	0,5450	0	Queda
1830	FRA-PGN	132	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1831	FRA-PGN	133	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1837	FRA-PGN	139	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1839	FRA-PGN	141	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1842	FRA-PGN	144	-1,209	0,2298	0	Nenhum

1844	FRA-PGN	146	0,180	0,5450	0	Queda
1845	FRA-PGN	147	0,180	0,5450	0	Queda
1849	FRA-PGN	151	-2,305	0,0907	0	Queda
1850	FRA-PGN	152	-2,305	0,0907	0	Queda
1853	FRA-PGN	155	0,180	0,5450	0	Queda
1854	FRA-PGN	156	0,180	0,5450	0	Queda
1856	FRA-PGN	158	0,180	0,5450	0	Queda
1857	FRA-PGN	159	0,180	0,5450	0	Queda
1858	FRA-PGN	160	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1860	FRA-PGN	162	0,180	0,5450	0	Queda
1861	FRA-PGN	163	0,180	0,5450	0	Queda
1862	FRA-PGN	164	-2,305	0,0907	0	Queda
1863	FRA-PGN	165	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1867	FRA-PGN	169	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1869	FRA-PGN	171	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1891	FRA-PGN	193	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1893	FRA-PGN	195	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1895	FRA-PGN	197	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1897	FRA-PGN	199	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1902	FRA-PGN	204	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1903	FRA-PGN	205	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1906	FRA-PGN	208	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1907	FRA-PGN	209	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1909	FRA-PGN	211	0,180	0,5450	0	Queda
1914	FRA-PGN	216	0,180	0,5450	0	Queda
1918	FRA-PGN	220	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1921	FRA-PGN	223	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1922	FRA-PGN	224	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1931	FRA-PGN	233	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1941	FRA-PGN	243	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1943	FRA-PGN	245	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1945	FRA-PGN	247	-2,305	0,0907	0	Queda
1946	FRA-PGN	248	0,180	0,5450	0	Queda
1947	FRA-PGN	249	-2,305	0,0907	0	Queda
1950	FRA-PGN	252	0,180	0,5450	0	Queda
1951	FRA-PGN	253	0,180	0,5450	0	Queda
1952	FRA-PGN	254	0,180	0,5450	0	Queda
1953	FRA-PGN	255	0,180	0,5450	0	Queda
1956	FRA-PGN	258	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1957	FRA-PGN	259	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1958	FRA-PGN	260	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1959	FRA-PGN	261	0,180	0,5450	0	Queda
1960	FRA-PGN	262	0,180	0,5450	0	Queda
1961	FRA-PGN	263	0,180	0,5450	0	Queda
1962	FRA-PGN	264	0,180	0,5450	0	Queda
1964	FRA-PGN	266	-0,113	0,4717	0	Nenhum
1965	FRA-PGN	267	0,180	0,5450	0	Queda
1971	FRA-PGN	273	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1974	FRA-PGN	276	0,180	0,5450	0	Queda
1980	FRA-PGN	282	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1984	FRA-PGN	286	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1986	FRA-PGN	288	-1,209	0,2298	0	Nenhum
1987	FRA-PGN	289	-1,209	0,2298	0	Nenhum

1989	FRA-PGN	291	0,180	0,5450	0	Queda
1991	FRA-PGN	293	0,180	0,5450	0	Queda
1992	FRA-PGN	294	0,180	0,5450	0	Queda
1993	FRA-PGN	295	0,180	0,5450	0	Queda
1994	FRA-PGN	296	0,180	0,5450	0	Queda
1995	FRA-PGN	297	0,180	0,5450	0	Queda
1999	FRA-PGN	301	-1,209	0,2298	0	Nenhum
2001	FRA-PGN	303	-2,305	0,0907	0	Queda
2002	FRA-PGN	304	0,180	0,5450	0	Queda
2004	FRA-PGN	306	0,180	0,5450	0	Queda
2005	FRA-PGN	307	0,180	0,5450	0	Queda