



Universidade Estadual de Londrina
Centro de Tecnologia e Urbanismo
Departamento de Engenharia Elétrica

Modelo de Estimativa de Variações de Tensão de Curta Duração em Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Ilson Sussumo Mogari

Londrina, 2 de dezembro de 2006

Universidade Estadual de Londrina

Centro de Tecnologia e Urbanismo

Departamento de Engenharia Elétrica

**Modelo de Estimativa de Variações
de Tensão de Curta Duração em
Redes de Distribuição de Energia
Elétrica**

Discente: Ilson Sussumo Mogari

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Dos Reis Barbosa

Dissertação orientada pelo Prof. Dr. Lúcio Dos Reis Barbosa intitulada Modelo de Estimativa de Variações de Tensão de Curta Duração em Redes de Distribuição de Energia Elétrica e apresentada à Universidade Estadual de Londrina, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Modalidade: Eletrônica de Potência.

Londrina, 2 de dezembro de 2006

Ficha Catalográfica

Mogari, Ilson Sussumo

Modelo de Estimativa de Variações de Tensão de Curta Duração em Redes de Distribuição de Energia Elétrica. Londrina, 2006. 106 p.

Dissertação — Universidade Estadual de Londrina. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Variação de Tensão de Curta Duração. 2. Afundamento de Tensão. 3. SAG. 4. Depressão de Tensão. 5. Qualidade de Energia.

I. Universidade Estadual de Londrina. Departamento de Engenharia Elétrica.
II. Modelo de Estimativa de Variações de Tensão de Curta Duração em Redes de Distribuição de Energia Elétrica.

Ilson Sussumo Mogari

Modelo de Estimativa de Variações de Tensão de Curta Duração em Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Lúcio Dos Reis Barbosa
UEL/DEEL
Orientador

Prof. Dr. Lourenço Matias
UFG/EEEC

Profa. Dra. Silvia Galvão de Souza
Cervantes
UEL/DEEL

Londrina, 2 de dezembro de 2006

Aos meus pais, esposa e filhos.

Agradecimentos

Ao professor Lúcio dos Reis Barbosa, orientador acadêmico deste trabalho.

Ao professor Carlos Dias Maciel, ex-coordenador e ex-professor do Curso de Mestrado, pela receptividade, apoio e incentivo desde o início do curso.

Ao professor José Fernando Mangili Junior, pela receptividade e apoio desde o início do curso.

Aos professores Lourenço Matias e Silvia Galvão de Souza Cervantes pela participação na Banca Examinadora para o exame de qualificação com valiosos comentários e orientações.

Aos professores Lourenço Matias e Silvia Galvão de Souza Cervantes pela participação na Banca Examinadora para a defesa do trabalho.

A Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade e apoio para concretizar este título tão importante em minha vida.

A minha esposa e filhos pelo apoio, compreensão, incentivo e paciência concedidos.

Ao meu pai (in memorian) e minha mãe (in memorian) por sempre acreditarem antecipadamente em minhas conquistas, bem como serem sempre excelentes exemplos.

Resumo

A preocupação com qualidade da energia fornecida é crescente e a necessidade de estudos sobre os seus aspectos também. Dentro da qualidade da energia elétrica, a Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD), em particular a depressão de tensão, é um dos distúrbios mais importantes, sendo responsável pela maior parte dos prejuízos financeiros relatados pela indústria.

A literatura sobre o assunto mostra que para abordar corretamente a questão, é necessária a realização de uma estimativa confiável sobre as características das VTCD e da frequência de sua ocorrência. De acordo com esta tendência, esta dissertação vem propor uma metodologia para estimar a distribuição da VTCD em um ponto referencial de observação. Para estimar a distribuição da VTCD, o modelo propõe a determinação da estimativa do valor de depressão de tensão, duração e quantidade de eventos associados a VTCD que atingem um ponto referencial de observação através de um método estatístico estocástico, associado a um programa computacional.

A metodologia proposta foi aplicada em um estudo de caso, para a avaliação da ferramenta computacional desenvolvida.

Abstract

The concern with the quality of the electrical energy supplied is crescent and the necessity of the studies about its aspects too. In power quality, the short variation of voltage - VTCD, in particular voltage sag, is probably the most important disturbances and being responsible for most of the financial losses reported by the industry.

The published work on the subject show that the correct deal with this question is necessary a good estimation of the number and characteristics of the voltage sags. With this tendency, this work came to proposes a methodology to estimate the characterization of voltage sags distribution at a referencial observation point. To estimate the voltage sags value distribution, the model proposes the determination of the estimate voltage sags value, duration and the frequency of the occur of this event that occur at a referencial observation point by a stochastic statistical method, associated with a software.

The proposed methodology was applicated in a study case, like a example case, to evaluate the developed computational tool.

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas	xiii
Lista de Símbolos	xvi
1 Introdução	1
2 Revisão da Literatura	5
2.1 Distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica	5
2.2 Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD)	5
2.2.1 Definição de VTCD	5
2.2.2 Origem da VTCD	8
2.2.3 Influências Sobre as VTCDs	10
2.3 Cálculo da Amplitude da VTCD	11
2.4 Área de Exposição a VTCD	12
2.5 Conseqüências das VTCDs	14
2.6 Compatibilidade das Cargas com as VTCDs	14
2.7 Finalidade da Caracterização de VTCD	15
2.8 Outras Características da VTCD	16
2.8.1 Forma de Onda	16
2.8.2 Tipos Básicos de VTCD em Função do Tipo de Ligação dos Trans- formadores e Cargas	17

2.8.3	Salto do Ângulo de Fase	21
2.9	Importância do Distúrbio	23
2.10	Normas e Parâmetros de Referência para VTCD	24
2.10.1	Normas Existentes	24
2.10.2	Parâmetros de Referência	24
2.11	Metodologia para a Determinação das VTCDs	29
2.11.1	Método da Monitoração de Qualidade de Energia	29
2.11.2	Método da Distância Crítica	30
2.11.3	Método da Posição das Falhas	32
2.11.4	Métodos de Estimação	33
2.12	Considerações Finais	35
3	Modelo para Estimar a VTCD em Redes de Distribuição	37
3.1	Introdução	37
3.2	Metodologia	37
3.2.1	Modelo para Caracterização das VTCDs	38
3.2.2	Descrição da Metodologia	39
3.2.3	Determinação da Estimativa da VTCD no PAC	40
3.3	Sistema Elétrico a ser Analisado	41
3.3.1	Área Elétrica a Ser Trabalhada	41
3.3.2	Levantamento de dados do sistema	41
3.3.3	Diagrama de Impedâncias de Seqüência dos Componentes do Sistema	42
3.3.4	Método das Componentes Simétricas	42
3.3.5	Falhas no Sistema Elétrico	42
3.4	Freqüência de Ocorrência de Eventos de VTCDs	43
3.5	Escolha dos Locais de Ocorrências das Falhas	44
3.6	Processo de Simulação de Vários Anos	44

3.7	Cálculo da Corrente de Defeito	44
3.7.1	Corrente de Defeito	44
3.7.2	Tipos de Defeitos	45
3.7.3	Definição da Impedância de Defeito	45
3.8	Determinação da Amplitude da VTCD, Depressão de Tensão, no Ponto Referencial de Observação	45
3.9	Determinação da Duração da VTCD	45
3.9.1	Proposição de Um Modelo para Determinação da Duração de Eventos de VTCD	45
3.10	Estimação das Características das VTCDs	46
3.11	Simulação	47
3.12	Determinação da VTCD de Forma Sistematizada	47
3.12.1	Cálculo de Curto Circuito	47
3.12.2	Programação em Linguagem MATLAB	48
3.13	Resultado Final - Demonstração da Tendência do Processo	49
3.14	Considerações Finais	52
4	Simulação - Avaliação de VTCDs na Rede de Distribuição	53
4.1	Introdução	53
4.2	Simulação de Circuito	53
4.2.1	Sistema em Estudo	53
4.3	Circuito Utilizado na Simulação	56
4.4	Valores Utilizados	56
4.4.1	Condutores Elétricos	56
4.4.2	Transformadores	56
4.4.3	Diagrama de Impedâncias de Seqüência do Circuito a Ser Simulado	57
4.5	Caracterização da Falta	58

4.5.1	Falta Utilizada na Simulação	58
4.5.2	Determinação dos Pontos de Ocorrências das Faltas	58
4.5.3	Cálculo da Corrente de Falta	58
4.5.4	Determinação da Duração da VTCD	58
4.5.5	Cálculo da Amplitude da VTCD no Ponto Referencial de Observação	59
5	Análise dos Resultados	60
5.1	Introdução	60
5.2	Desenvolvimento da Simulação	60
5.3	Resultados de Simulação	61
5.4	Discussões	67
6	Conclusão Geral	68
6.1	Conclusão	68
6.2	Sugestão para Trabalhos Futuros	69
	Anexo A – Condutores Elétricos de Redes de Distribuição	71
	Anexo B – Dado das Subestações e Alimentadores	74
	Anexo C – Ajustes do sistema de Proteção e Curvas de Elos Fusíveis	76
	Anexo D – Taxa de Falha do Sistema Elétrico	90
	Anexo E – VTCD - Resultado da Simulação	92
	Referências	104

Lista de Figuras

2.1	Formas de onda e significados utilizados por consumidores e fabricantes de analisadores de energia respectivamente. Fonte: IEEE Std 1250 - 1995.	6
2.2	Exemplo de variação de tensão de curta duração (VTCD). Fonte: IEEE Std 1346 - 1998.	8
2.3	Exemplo de variação de tensão de curta duração (VTCD).	8
2.4	Exemplo de variação de tensão de curta duração (VTCD).	9
2.5	Modelo de divisor de tensão para cálculo de VTCD.	12
2.6	Exemplo de área de exposição com contornos em torno do PAC para uma carga específica.	13
2.7	Suscetibilidade a VTCD, depressão de tensão, de alguns componentes do processo. Fonte: IEEE Std 1346 - 1998.	16
2.8	Sobreposição do ambiente de VTCD, depressão de tensão, com a suscetibilidade de alguns dos componentes do processo. Fonte: IEEE Std 1346 - 1998.	17
2.9	Curva de uma VTCD e de característica retangular.	17
2.10	Tensões para um defeito FFT - VTCD tipo F. Fonte: Dranetz.	21
2.11	Comparação de VTCD trifásica desbalanceada para faltas FFT (F e G) com VTCD trifásica desbalanceada de faltas FF e FT (C e D). Os pontos indicam a direção da mudança em 3 tensões complexas para diferentes tipos de VTCD.	22
2.12	Modelo de divisor de tensão para cálculo de depressão de tensão, VTCD, no PAC.	22
2.13	Curva CBEMA \times ITIC.	25
2.14	Envelope de tolerância a tensão. Aplicável a equipamentos com tensão fase neutro 120V. Curva ITIC. (CBEMA - Curva revisada 2000).	26

2.15	Curva de suscetibilidade típica de computadores. Fonte: IEEE Std 446 - 1995.	27
2.16	Exemplo de método da distância crítica com faltas trifásicas aplicadas a uma rede 13,8 kV.	31
2.17	Exemplo de método da posição das faltas. VTCD para diferentes pontos para uma falta na barra 6.	32
4.1	Área de abrangência do trabalho.	54
4.2	Área de abrangência da SE Bela Vista do Paraíso.	55
4.3	Circuito a ser utilizado na simulação.	57
5.1	Gráfico de barra em 3D das VTCDs passíveis de ocorrência no ponto referencial de observação.	62
5.2	Disfunção ou desligamento de equipamento por VTCD. Referência 492 VTCDs/ano.	65
5.3	Trecho de alimentadores que provocam disfunção ou desligamentos em equipamentos suscetíveis a VTCD no ponto de observação quando da ocorrência de falta (%). Referência 492 VTCDs/ano.	66
5.4	Diagrama de desempenho: Suscetibilidade versus eventos de VTCDs. Referência 492 VTCDs/ano.	66
C.1	Curva de fusão de elos fusíveis tipo k: 6k, 10k, 15k, 25k, 40k e 65k.	89

Lista de Tabelas

2.1	Categorias e características típicas de fenômenos eletromagnéticos em sistemas elétricos de potência - Distúrbios típicos. Fonte: IEEE Std 1159 - 1995.	7
2.2	Tipos de VTCD em fasores (amplitude de 50%) e em forma de equação. . .	20
2.3	Tipos de falta, tipos de VTCD e conexão da carga.	20
2.4	Transformação do tipo de VTCD para o lado de baixa tensão.	21
2.5	Normas aplicáveis aos sistemas elétricos das concessionárias e consumidores.	36
3.1	Algoritmo do processo para estimar a VTCD.	50
3.2	Entrada de dados no MATLAB.	51
3.3	etalhamento da saída de dados do programa através de arquivo tipo texto: 'VTCDSag.txt.	51
5.1	Quantidade de VTCDs no ponto referencial de observação (Eventos/ano). .	62
5.2	Eventos de VTCDs que causam disfunções em computadores no ponto de observação (Eventos/ano).	63
5.3	Eventos de VTCDs que causam desligamentos em contadores no ponto de observação (Eventos/ano).	64
5.4	Eventos de VTCDs que causam desligamentos em ASDs no ponto de observação (Eventos/ano).	64
5.5	Influência da VTCDs na unidade (Eventos/ano).	64
A.1	Impedância dos Condutores em Montagem de Redes Aéreas Tipo NÚ - 13,8 kV. Fonte: COPEL	72
A.2	Impedância de Condutores de Redes em Montagem Aéreas Tipo NÚ - 34,5 kV. Fonte: COPEL	73
B.1	Dados das Subestações e Alimentadores.	75

C.1	Dados da Ordem de Proteção do Circuito - Primeiro de Maio.	77
C.2	Dados da ordem de proteção do circuito - Warta.	78
C.3	Dados da ordem de proteção do circuito - Sertanópolis.	79
C.4	Dados da ordem de proteção do circuito - Santa Margarida.	80
C.5	Dados da ordem de proteção do circuito - Ramal Santa Margarida (Trecho).	81
C.6	Dados da ordem de proteção do circuito - Ibiaci.	82
C.7	Dados da ordem de proteção do circuito - Ramal Ibiaci (Trecho).	83
C.8	Dados da ordem de proteção do circuito - Buenos Aires.	84
C.9	Dados da ordem de proteção do circuito - Amazonas.	85
C.10	Dados da ordem de proteção do circuito - Ramal Amazonas (Trecho).	86
C.11	Dados da ordem de proteção do circuito - Taboca.	87
C.12	Habilitação de Curvas Rápidas ou Instantâneas.	88
D.1	Taxa de falha da área elétrica de abrangência simplificada.	91
E.1	VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB.	93
E.2	VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 48 a 97).	94
E.3	VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 98 a 147).	95
E.4	VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 148 a 197).	96
E.5	VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 198 a 247).	97
E.6	VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 248 a 297).	98
E.7	VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 298 a 347).	99
E.8	VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 348 a 397).	100

E.9 VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 398 a 447).	101
E.10 VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 448 a 497).	102
E.11 VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB (continuação - linhas 498 a 531).	103

Lista de Abreviaturas

Alimentador.txt	Arquivo matriz informa intervalo é trecho de rede do sistema (entre barras)
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASD	Ajustable speed drives (Conversores de frequência)
CBEMA	Computer Business Equipment Manufacturers Association
DIC	Duração de Interrupção por Consumidor. Exprime o intervalo de tempo que cada consumidor, individualmente considerado, ficou privado do fornecimento de energia elétrica, no período de observação, considerando-se as interrupções maiores ou iguais a 3 minutos
Dip	Depressão, afundamento da tensão. Refere-se a redução em valor eficaz da tensão nominal. Terminologia IEC
DMIC	Duração máxima das interrupções por unidade consumidora considerada, expressa em horas e centésimo de hora
DPDT	Double-pole Double-throw. (Relé tipo DPDT)
EXCEL	Programa computacional da empresa Microsoft Corporation
FT	Fase à terra
FF	Dupla fase ou Fase fase
FFT	Dupla fase à terra
FFF	Trifásica
FIC	Frequência de Interrupção por Consumidor. Exprime o número de interrupções que cada consumidor, individualmente considerado, sofreu no período de observação, considerando-se as interrupções maiores ou iguais a 3 minutos
FM	Fração de minuto ou Falha momentânea. É o número de interrupções com tempo de duração inferior a 3 minutos, ocorridas no circuito alimentador considerado
(g,h)	Coordenada do trecho de rede correspondente
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
ITIC	Information Technology Industry Council

ImpSeqPositiva.txt	Arquivo matriz impedância de seqüência positiva do sistema
ImpSeqNegativa.txt	Arquivo matriz impedância de seqüência negativa do sistema
ImpSeqZero.txt	Arquivo matriz impedância de seqüência zero do sistema
Ipck Fase	Corrente de pick up de fase
Ipck Neutro	Corrente de pick up de neutro
Isosags	Linhas indicadoras de mesmo valor de depressão de tensão de dentro de um sistema
Loop	Seqüência de defeito atribuído no trecho
MATLAB	Linguagem computacional da empresa The MathWorks Inc.
NBI	Nível Básico de Isolamento
NdefFT (g,h)	Número de defeito atribuído para o trecho
NumeroBarrasM.txt	Arquivos com número de barras do sistema, trecho de rede
NumeroBarrasN.txt	Arquivos com número de barras do sistema, trecho de rede
PAC	Ponto de acoplamento da unidade consumidora com a rede de distribuição de energia elétrica
pick up	Valor de sensibilização (Corrente de atuação do dispositivo de proteção)
PLC	Programmable logic control (Controlador lógico programável)
ProtecaoRamais.txt	Arquivo matriz informa existência de proteção no trecho de rede (entre barras)
pu	Por unidade
Sag	eficaz da tensão nominal. Terminologia IEEE
SE	Subestação de energia elétrica
Std	Standard (Normas)
Tft Final	Tempo de extinção do defeito
TipoProtecao.txt	Arquivo matriz informa tipo de proteção no trecho de rede (entre barras)
UNIPEDA	Union of International Producers and Distributors of Electrical Energy
Vftmin Barra34	Tensão mínima da fase na barra 34,5 kV na subestação
Vftmax Barra34	Tensão máxima da fase na barra 34,5 kV na subestação
Vftmin Barra13	Tensão mínima na barra 13,8 kV na subestação
Vftmax Barra13	Tensão máxima na barra 13,8 kV na subestação
Vftmin Observação	Tensão mínima no ponto referencial de observação
Vftmax Observação	Tensão máxima no ponto referencial de observação
Voltage Swell ou	Saliência da tensão. Refere-se a elevação em valor eficaz a valores

Swell acima da tensão nominal. Terminologia IEEE
Voltage Sag ou Depressão, afundamento da tensão. Refere-se a redução em valor
VTCD Variação de Tensão de Curta Duração
VTCDSag.txt Saída de dados do programa através de arquivo tipo texto
3D Três dimensões

Arquivos: DefeitoAnoAlimentador.txt, NumeroDefeitoAnoFT.txt, NumeroDefeitoAnoFF.txt, NumeroDefeitoAnoFFT.txt e NumeroDefeitoAnoFFF.txt

Terminologia: Arquivo matriz número de defeitos/ano do alimentador por tipo de falha

Lista de Símbolos

E	Tensão de pré-falta
l	Comprimento do trecho de rede considerado
Num_{FALTAS}	Número de falha a ser considerado para cada trecho de rede do alimentador
R	Resistência
R_S	Resistência da fonte vista do PAC
R_F	Resistência da rede compreendida entre o PAC e a ponto de falta
v	Tensão crítica, VTCD de referência no PAC, para uma falta a uma distância crítica do PAC
$V_{VTCD-PAC}$	Depressão de tensão ou VTCD no PAC
X	Reatância indutiva
X_S	Reatância indutiva da fonte vista do PAC
X_F	Reatância indutiva da rede compreendida entre o PAC e a ponto de falta
z	Impedância da linha por unidade de comprimento
Z_F	Impedância da rede compreendida entre o PAC e a ponto de falta
Z_S	Impedância da fonte vista do PAC
Z_D	Impedância de falta
ℓ_{CRIT}	Distância crítica, distância entre a falta e o PAC
$\Delta\phi$	Salto de ângulo de fase
τ	Taxa de falhas do alimentador

1 Introdução

A conjuntura atual onde a busca incessante da competitividade é uma premissa econômica financeira o emprego de equipamentos elétricos com tecnologia que permitam a automatização de processos industriais é uma necessidade. Dentro desta tecnologia encontram-se os equipamentos eletrônicos microprocessados, controladores lógicos programáveis e os conversores de frequência, dentre outros (BOLLEN, 2000).

A produção destes equipamentos em grande escala possibilitou a redução de seu custo de produção permitindo a sua larga utilização em processos industriais.

Ocorre que estas cargas passaram a ser mais sensíveis aos distúrbios da qualidade de energia elétrica e conseqüentemente a exigir uma energia elétrica de melhor qualidade, fornecimento contínuo de energia elétrica com ausência relativa de distúrbios na forma de onda da tensão muito embora os distúrbios de energia sempre estiveram presentes na rede de distribuição de energia elétrica.

Outra definição é a relacionada com a qualidade de energia elétrica, que é o funcionamento adequado dos equipamentos elétricos e de forma compatível com o sistema de suprimento, não significando necessariamente uma energia isenta de qualquer distúrbio.

A qualidade da energia elétrica ganhou sua maior importância como competitividade de mercado, sendo avaliado por usuários, como um produto, pela sua qualidade e preço. Assim, aspectos de qualidade da energia elétrica que antes não eram preponderantes por parte dos usuários e distribuidores de energia tornaram sua avaliação relevante nos dias de hoje.

Dentre os vários distúrbios da qualidade de energia elétrica, a Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD) na rede de suprimento de energia elétrica é citado como um dos distúrbios mais importantes dentre os que causam prejuízos aos consumidores industriais com elevação do custo de produção e/ou lucro cessante e perdas de milhões de dólares por ano (BOLLEN, 2000; De ANDRADE Jr.; LEÃO, 2001; JESUS et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2001; LOURENÇO; OLIVEIRA, 2001; SANTOS et al., 2001; LEBORGNE et al., 2003; SANTOS;

SILVA, 2003; ALVES; COSTA, 2003; CARVALHO et al., 2005).

Os conflitos entre distribuidoras de energia, usuários e fabricantes de equipamentos também são cada vez mais freqüentes, pois a qualidade de energia elétrica tradicionalmente regulada, avaliação do desempenho por níveis de tensão de referência e número de interrupções não mais satisfaz usuários com cargas suscetíveis a VTCD e por outro lado distribuidoras com redes de grandes extensões e expostas as intempéries meteorológicas que não são remuneradas pela manutenção do fornecimento de energia elétrica acima dos níveis de qualidade exigidos pelo agente regulador.

O ideal seria que existisse um equilíbrio entre as expectativas do consumidor e as limitações da concessionária. Para isto seria necessário que a concessionária pudesse informar ao consumidor sobre a qualidade da energia fornecida, muitas vezes compatíveis com os níveis de desempenho de qualidade regulamentado e da remuneração tarifária.

O conhecimento por parte da concessionária quanto as expectativas do consumidor com relação a qualidade, normalmente ligadas aos prejuízos causados no seu processo pelas VTCDs, também seria desejável. Neste cenário, usuários também deveriam avaliar se a qualidade de energia requerida pelas suas cargas é compatível com a energia entregue pela concessionária.

Um aspecto importante a ser mencionado é a constatação de que muitos dos consumidores não sabem a que tipo de distúrbios de qualidade de energia elétrica que estão sendo expostos. Este fato ocorre porque os estudos e o trabalho de conscientização a respeito dos problemas de qualidade de energia elétrica são de caráter recente (FONSECA, 1999).

Para reduzir as interferências no processo industrial e perdas financeiras devidas a VTCDs e tornar possível o trabalho neste ambiente é necessária a compatibilização das cargas dos processos com estes distúrbios, assim surgiram as metodologias para avaliar as VTCDs no ponto de acoplamento da unidade consumidora com a rede de distribuição de energia elétrica (PAC).

Inicialmente surgiu o método da distância crítica, exemplos destas metodologia podem ser encontrados nas referências (BOLLEN, 2000; HEINE; LEHTONEN, 2003). Mais tarde apareceram os métodos da posição das faltas, propostos na referência (BOLLEN, 2000). No entanto, algumas de suas características, como a não consideração da aleatoriedade da ocorrência das falhas, restringiram o uso prático destas metodologias tornando-se apenas uma metodologia para proporcionar uma visão global da VTCD no sistema. Seguindo essa linha de pesquisa, surgiram outras metodologias para avaliação de VTCDs que levam em consideração no seu modelo a aleatoriedade dos eventos de falha do sistema, dados

pelas descargas atmosférica, como o método da estimação (BOLLEN, 2000; FONSECA, 1999; HEINE; LEHTONEN, 2003; ALVES; COSTA, 2003; QADER; *ET. AL.*, 1999) e da monitoração de qualidade de energia (JESUS et al., 2001; SANTOS et al., 2001; KAGAN et al., 2002; FERREIRA; CASTRO; DECKMANN, 2002; BRITO et al., 2002). Sendo neste método para obtenção dos dados é necessário um longo período de observação para que os dados sejam representativos, limitando portanto a sua aplicação.

A principal vantagem do método da estimação é que os resultados são praticamente imediatos, uma vez que esta tem nas estatísticas de histórico de funcionamento do sistema a sua referência de dados.

Nas diversas topologias estudadas, o da estimação tem sido o mais indicado para determinar as características das VTCDs em um ponto de observação (BOLLEN, 2000; IEEE Std 1346, 1998; FONSECA, 1999; ALVES; COSTA, 2003).

Diante do exposto, os principais objetivos da dissertação são:

- Estudo da metodologia de estimação das características de VTCDs aplicados a rede de distribuição de energia elétrica;
- Utilizar a metodologia estudada e propor uma metodologia para estimar a caracterização das VTCDs em um ponto referencial de observação, PAC, com determinação dos valores de depressão de tensão, duração e a quantidade de eventos de VTCDs tendo como modelo a utilização da curva de atuação do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes do sistema para a determinação da duração dos eventos de VTCD.

E as suas contribuições são:

- Possibilitar a predição das características da VTCD no PAC;
- Possibilitar a avaliação do desempenho do processo fabril frente as VTCDs;
- Subsidiar estudos de mitigação dos efeitos das VTCDs nas unidades industriais;
- Possibilitar análises mais apuradas de viabilidade técnico-econômica de projetos que visam o aumento da imunidade do processo a VTCD.

Comparada às metodologias hoje disponíveis na literatura (BOLLEN, 2000), a metodologia proposta permite a obtenção do desempenho da rede frente à VTCD de forma preditiva e de resultados mais precisos.

Objetivos intermediários do trabalho:

- Estudar o sistema elétrico de potência, redes de distribuição de energia elétrica em média tensão, para aplicação da metodologia de estimativa de distribuição da VTCD;
- Estudar a proteção de sistemas elétricos em redes de distribuição de média tensão aplicado ao modelo de estimativa de distribuição da VTCD;
- Avaliar a topologia do sistema estudado frente à VTCD;
- Estudar a suportabilidade da unidade consumidora frente à VTCD;
- Avaliar o impacto da VTCD no ponto de observação em função do local de ocorrência do defeito na rede de distribuição.

Para alcançar estes objetivos o trabalho está estruturado em apresentar o estudo de todas as fases do processo, inicialmente apresentamos a definição de VTCD, causas e seus efeitos. Abordamos as suas características mais conhecidas e posteriormente outras menos citadas nas bibliografias. Dentre estas características temos a VTCD desequilibrada e o salto de ângulo de fase. Normas e parâmetros de referência, metodologias existentes para determinação de VTCD, proposição de modelo, simulação e análise de resultados. Até aqui, o exposto tem como objetivo explorar a área em estudo e situar o trabalho proposto na dissertação como segue:

- O Capítulo 2 apresenta a revisão da literatura;
- O Capítulo 3 apresenta o modelo para estimar VTCD em redes de distribuição;
- O Capítulo 4 apresenta um estudo de caso para validação da metodologia proposta;
- A análise dos resultados da simulação são apresentados no Capítulo 5;
- No Capítulo 6 a conclusão geral e discussão das possibilidades futuras de estudo.

2 Revisão da Literatura

2.1 Distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica

Os distúrbios eletromagnéticos associados à qualidade de energia estão relacionados na figura 2.1 e na tabela 2.1, a variação de tensão de curta duração (VTCD), depressão de tensão - “voltage sag”, objeto de nosso estudo é destacada na tabela. Esta classificação apresentada é amplamente utilizada pelo IEEE (IEEE Std. 1159, 1995; IEEE Std 1250, 1995) e pela IEC.

2.2 Variação de Tensão de Curta Duração (VTCD)

2.2.1 Definição de VTCD

Conforme “The Institute of Electrical and Electronics Engineers” (IEEE) a variação de tensão de curta duração (VTCD) é um fenômeno que engloba tempos de 0,5 ciclo até 1 minuto, figuras 2.2, 2.3 e 2.4 (IEEE Std. 1159, 1995):

- “Voltage Sag”, refere-se a redução (depressão, afundamento) da tensão, em valor eficaz, entre 0,1 pu e 0,9 pu da tensão nominal. (Nota: “Dip” para terminologia IEC). Conforme figuras 2.2, 2.3 e 2.4;
- “Voltage Swell”, refere-se a elevação (saliências) da tensão, em valor eficaz, a valores acima de 1,1 pu;
- Redução da tensão a valores inferiores a 0,1 pu são classificadas como interrupção de curta duração.

Para caracterização de uma VTCD, figuras 2.2, 2.3 e 2.4, são necessárias referências de amplitude, duração e frequência de ocorrência destes eventos. As definições mais comumente empregadas para caracterização dos eventos de VTCD, “voltage sag” ou depressão de tensão em sistemas trifásicos são:

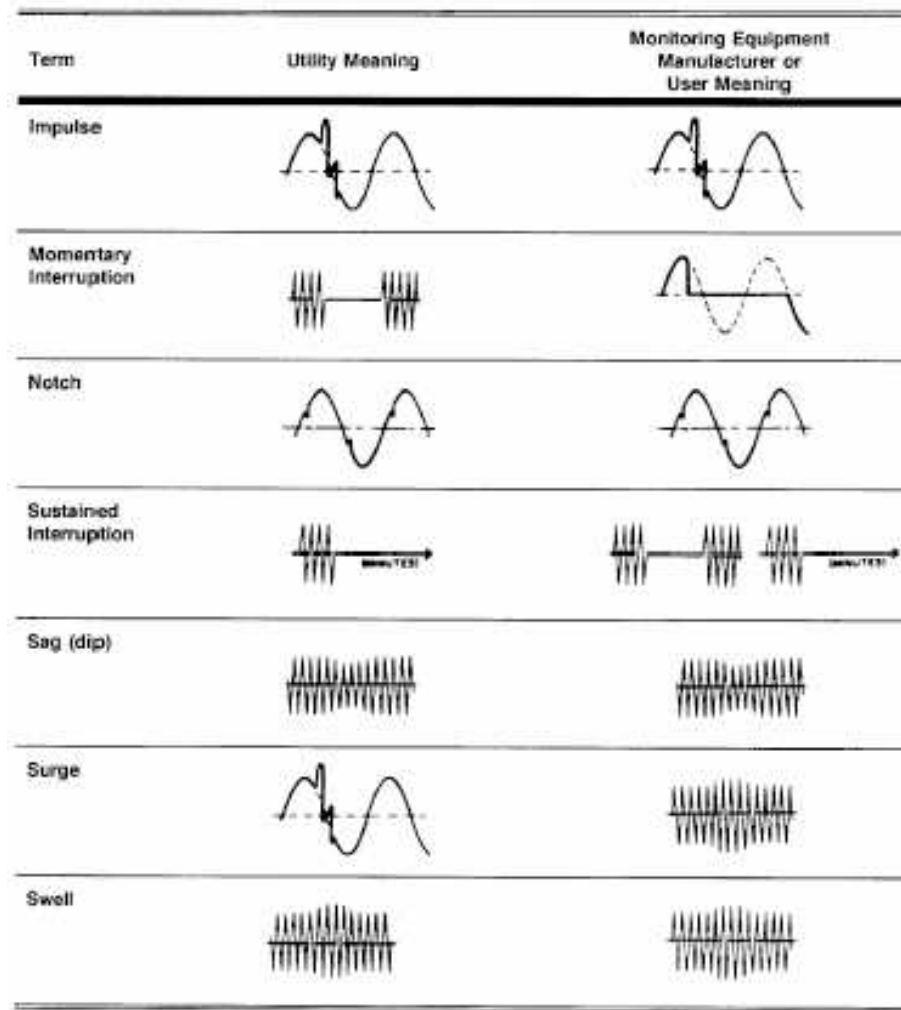


Figura 2.1: Formas de onda e significados utilizados por consumidores e fabricantes de analisadores de energia respectivamente. Fonte: IEEE Std 1250 - 1995.

- Amplitude de tensão quando da VTCD, depressão de tensão, em um sistema trifásico desequilibrado: “É o menor valor eficaz da tensão das três ondas de tensão durante o evento” (BOLLEN, 2000). Na prática existe a incerteza dos dados coletados pelos equipamentos de medição para determinação da amplitude dos eventos face aos métodos de avaliação das quantidades de amostras diferentes, por ciclo, atualizada a cada amostra pelos equipamentos de monitoração;
- Duração do evento de VTCD em sistemas trifásicos: “É o intervalo de tempo compreendido entre o início da transgressão dos limites estabelecidos de caracterização de VTCD por uma das ondas de tensão até o retorno da última onda ao nível normal”. Método da “Union of International Producers and Distributors of Electrical Energy” (UNIPEDA). Na prática existe a incerteza dos dados coletados por equipamentos de medição para determinação da duração dos eventos face aos diversos

Tabela 2.1: Categorias e características típicas de fenômenos eletromagnéticos em sistemas elétricos de potência - Distúrbios típicos. Fonte: IEEE Std 1159 - 1995.

Categorias	Espectro típico	Duração típica	Amplitude de tensão Típica
1 Transientes			
1.1 Impulso			
1.1.1 Nanosegundo	Acima de 5ns	< 50 ns	
1.1.2 Microsegundo	Acima de 1 ms	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milisegundo	Acima de 0,1 ms	> 1 ms	
1.2 Oscilação			
1.2.1 Baixa frequência	< 5 kHz	0,3 - 50ms	0 - 4,0 pu
1.2.2 Média frequência	5 - 500 kHz	20 ms	0 - 8,0 pu
1.2.3 Alta frequência	0,5 - 5 MHz	5 ms	0 - 4,0 pu
2 Variações de curta duração			
2.1 Instantâneas			
2.1.1 Sag (depressão de tensão)		0,5 - 30 ciclos	0,1 - 0,9 pu
2.1.2 Swell (elevação)		0,5 - 30 ciclos	1,1 - 1,8 pu
2.2 Momentânea			
2.2.1 Interrupção		0,5 ciclos - 3 s	< 0,1 pu
2.2.2 Sag (depressão)		30 ciclos - 3 s	0,1 - 0,9 pu
2.2.3 Swell (elevação)		30 ciclos - 3 s	1,1 - 1,4 pu
2.3 Temporária			
2.3.1 Interrupção		3 s - 1 min	< 0,1 pu
2.3.2 Sag (depressão)		3 s - 1 min	0,1 - 0,9 pu
2.3.3 Swell (elevação)		3 s - 1 min	1,1 - 1,2 pu
3 Variações de longa duração			
3.1 Interrupções sustentadas		> 1 min	0,0 pu
3.2 Subtensões		> 1 min	0,8 - 0,9 pu
3.3 Sobretensões		> 1 min	1,1 - 1,2 pu
4 Desequilíbrio de tensão		Regime contínuo	0,5 - 2%
5 Distorção na forma de onda			
5.1 Nível CC		Regime contínuo	0 - 0,1%
5.2 Harmônicos	0 - 100th H	Regime contínuo	0 - 20%
5.3 Inter-harmônicos	0 - 6 Hz	Regime contínuo	0 - 2%
5.4 Notching (recorte)		Regime contínuo	
5.5 Ruído	Spectro banda	Regime contínuo	0 - 1%
6 Flutuações de tensão	< 25 Hz	Intermitente	0,1 - 7%
7 Variação da frequência		< 10 s	

protocolos existentes nos equipamentos de monitoração (BOLLEN, 2000).

- Frequência de ocorrência do fenômeno de VTCD: “Quantidade de falhas ocorridas no sistema de distribuição de energia ao longo do ano (número de eventos de VTCD/ano)”.

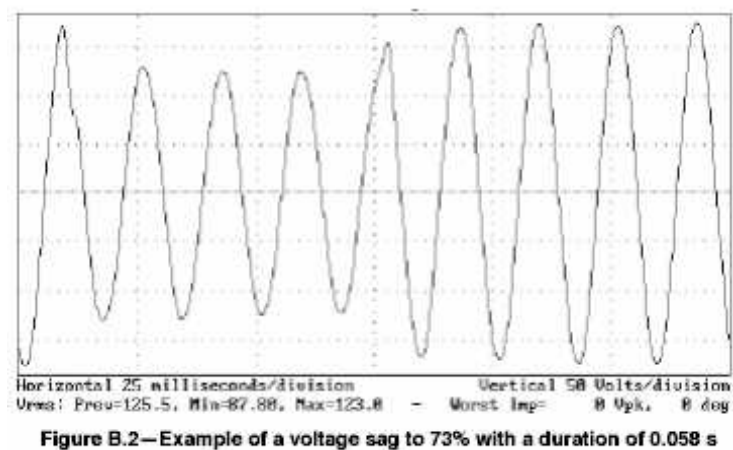


Figura 2.2: Exemplo de variação de tensão de curta duração (VTCD). Fonte: IEEE Std 1346 - 1998.

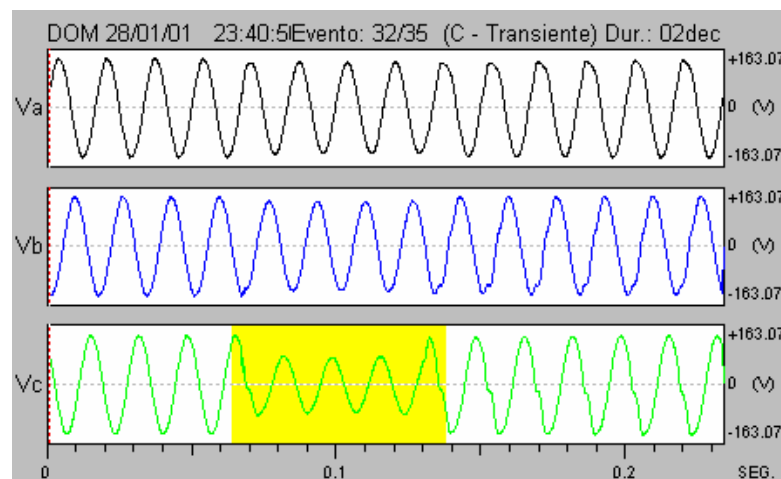


Figura 2.3: Exemplo de variação de tensão de curta duração (VTCD).

2.2.2 Origem da VTCD

A VTCDs tem origem nas faltas, curtos circuitos, ocasionadas na rede de distribuição de energia elétrica (De OLIVEIRA et al., 2000; STEVENSON, 1978; KINDERMANN, 1992; DUGAN; MCGRANAGHAN; BEATY, 1996) motivados por defeitos em equipamentos, manobras de grandes cargas e blocos de energia na rede e fenômenos naturais como descargas atmosféricas, contato de animais ou árvores, queimadas, vento, etc (BOLLEN, 2000). Tendo nas descargas atmosféricas a maioria das causas, dadas pelas características da rede:

- Alimentadores extensos e expostos aos fenômenos naturais;
- Baixo nível básico de isolamento da estrutura (poste / cruzeta / isolador);

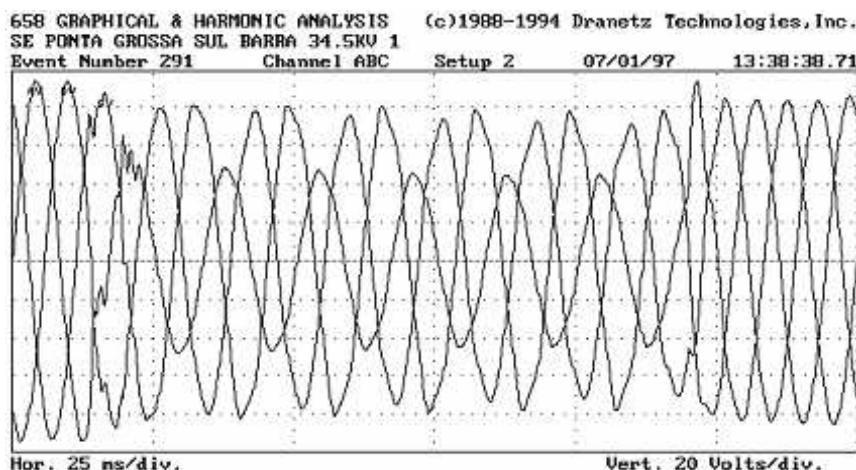


Figura 2.4: Exemplo de variação de tensão de curta duração (VTCD).

- Poucos pára-raios instalados ao longo das linhas;
- Presença de descarregadores de chifre em transformadores de unidades consumidoras de áreas rurais.

Os eventos de VTCDs também são gerados por partida de grandes motores de indução cuja corrente associada à queda de tensão também pode ser significativa. No entanto, a maioria destes possuem controle de partida, apresentando-se como causa secundária do distúrbio.

Na ocorrência de uma falta na rede de distribuição, a corrente de curto circuito ao fluir pela rede em direção ao local da falha provoca uma queda de tensão, VTCD (De OLIVEIRA et al., 2000; STEVENSON, 1978; KINDERMANN, 1992; DUGAN; MCGRANAGHAN; BEATY, 1996).

Nos defeitos mais freqüentes, como curtos circuitos fase à terra, há o surgimento de uma condição de falta, de alguns ciclos, com redução da tensão na fase atingida e, geralmente, elevação de tensão nas outras fases. Verifica-se este comportamento não só no alimentador onde ocorre o defeito, mas em todos os alimentadores pertencentes a mesma subestação supridora, fenômeno que se propaga a todos os pontos do sistema de abrangência da SE (BOLLEN, 2000). Comportamento que perdura até que seja acionado o dispositivo de proteção da rede, ou seja a VTCD inicia-se num defeito e continua presente até que o dispositivo de proteção atue, eliminando a falta do sistema.

As VTCDs por depressões de tensão representam a grande maioria dos fenômenos ocasionados por faltas no sistema elétrico. Dessa forma, este trabalho se concentra em

avaliar este fenômeno.

As falhas nos equipamentos das subestações apresentam um impacto muito pequeno na quantidade resultante de VTCD por ano. Além disto, falhas em equipamentos de subestação normalmente resultam em interrupções de energia, faltas permanentes, comprometendo todo o sistema. Estas falhas também podem ser consideradas na metodologia apresentada nesta dissertação.

2.2.3 **Influências Sobre as VTCDs**

As características de uma VTCD dependem do tipo de defeito ou falta ocorrida na rede, da localização do defeito, da impedância de defeito, do tipo de conexão dos transformadores, das tensões pré-falta e das características do sistema de proteção (tecnologia adotada, ajustes, coordenação e seletividade etc.) do sistema elétrico (BOLLEN, 2000; DE OLIVEIRA et al., 2000; STEVENSON, 1978; KINDERMANN, 1992; IEEE Std 1346, 1998; HEINE; LEHTONEN, 2003).

Uma VTCD ou depressão de tensão momentânea pode ser do tipo equilibrado ou desequilibrado. Esta característica depende fundamentalmente do tipo de falta que deu origem ao distúrbio. Por exemplo, um curto circuito trifásico gera uma VTCD ou depressão de tensão equilibrada (simétrica) num ponto de observação, enquanto os outros tipos de falta geram tensões desequilibradas quando da ocorrência de defeito na rede (BOLLEN, 2000; IEEE Std 1346, 1998; HEINE; LEHTONEN, 2003). A maioria dos defeitos que ocorrem no sistema elétrico são faltas do tipo fase à terra. As faltas trifásicas são menos comuns apesar de serem mais severas. Conseqüentemente as VTCD do tipo desequilibrada são as mais comuns. Dependendo da localização da falta, a VTCD ou depressão de tensão pode afetar uma grande quantidade de unidades consumidoras ou apenas um número restrito.

Uma falta no sistema de distribuição atinge um número muito menor de consumidores que uma falta no sistema de transmissão, pelo fato do sistema de transmissão de energia ser supridor do sistema de distribuição e pela diferença na configuração dos sistemas (HEINE; LEHTONEN, 2003). Os sistemas de transmissão geralmente são interligados em malha, cobrindo uma área geográfica muito grande, e o sistema de distribuição é radial e mais concentrado geograficamente. Além disto, as distâncias elétricas entre os diversos pontos de um sistema de distribuição são pequenas (baixa impedância), tornando as amplitudes das VTCDs solidárias, semelhantes, para todo o sistema (BOLLEN, 2000).

Os curtos circuitos na rede normalmente acontecem através de uma impedância de

defeito não nula constituída pela associação dos seguintes elementos (De OLIVEIRA et al., 2000; STEVENSON, 1978; KINDERMANN, 1992):

- Resistência do arco elétrico entre o condutor e a terra, ou entre dois ou mais condutores, no caso de falta que envolve mais de uma fase;
- Resistência de contato devido à oxidação no local da falta;
- Resistência de terra para defeitos englobando a terra.

A impedância de defeito influencia a amplitude da tensão ou VTCD. Ao se desprezar esta impedância obtém-se valores mais severos para as depressões de tensões.

Nos casos de VTCDs desequilibradas oriundas de curtos circuitos; fase à terra (FT), dupla fase (FF) ou dupla fase à terra (FFT) a tensão de sobre a carga, dependerá também do tipo de conexão do transformador envolvido que liga a rede faltosa ao barramento onde está conectada a carga na unidade consumidora (BOLLEN, 2000). As principais alterações nas VTCD são causadas por transformadores conectados em Y e Y .

Em condição normal de funcionamento a tensão no sistema de distribuição geralmente varia entre 0,95 a 1,05 pu. A tensão no sistema ao longo de um dia varia de acordo com a sua curva de carga do alimentador, alternando patamares de elevações e quedas em função do horário de carga leve, média ou pesada e de suas compensações dados pelos “taps” dos transformadores de força das subestações. Quando assumimos em um estudo que a tensão pré-falta é de 1,0 pu, freqüentemente estamos cometendo um erro no cálculo da amplitude da VTCD. A tensão de pré-falta real no sistema pode ser maior ou menor que 1,0 pu.

Uma VTCD se inicia com uma falta na rede e se encerra quando o equipamento do sistema de proteção elimina o defeito. Já foi mencionado anteriormente que uma das características importantes da VTCD é a sua duração, portanto é fundamental a análise de sua evolução no tempo dado pelo tempo de extinção do defeito. Por isso, as características da proteção do sistema elétrico são de suma importância (BOLLEN, 2000).

2.3 Cálculo da Amplitude da VTCD

Para compreensão do conceito, o cálculo da amplitude da VTCD pode ser realizado através de um divisor de tensão (BOLLEN, 2000; De OLIVEIRA et al., 2000; STEVENSON, 1978; KINDERMANN, 1992), conforme figura 2.5, dada pela equação 2.1. Cálculo de

maneira simplificada para obtenção da amplitude da tensão na ocorrência de VTCD em sistemas radiais. Para sistemas mais complexos ele não é viável (BOLLEN, 2000). Nesta abordagem adotou-se o modelo monofásico para retratar o sistema real trifásico o que significa que a equação é restrita a faltas trifásicas.

Da equação, as depressões de tensão são mais severas para faltas que ocorrem próximas da unidade consumidora e para sistemas cujos níveis de curto circuito são menores.

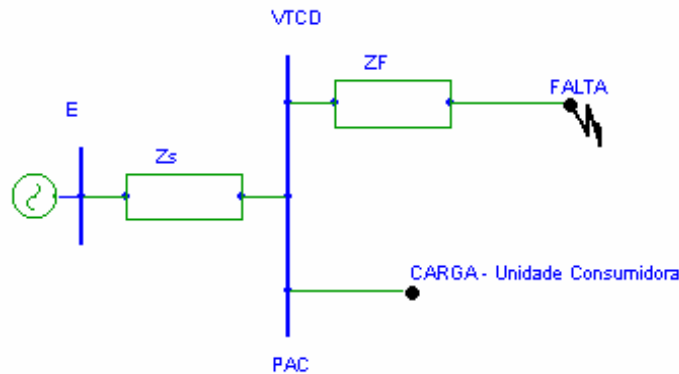


Figura 2.5: Modelo de divisor de tensão para cálculo de VTCD.

$$V_{VTCD-PAC} = \frac{Z_F}{Z_F + Z_S + Z_D} E \quad (2.1)$$

Onde: $V_{VTCD-PAC}$: Depressão de tensão no PAC [pu]; Z_S : Impedância entre a fonte e o PAC [Ω]; Z_F : Impedância entre o PAC e a falta [Ω]; Z_D : Impedância de falta [Ω]; E : Tensão de pré-falta [pu] (Consideração $E = 1,0$ pu).

2.4 Área de Exposição a VTCD

A amplitude da VTCD é calculada tendo como referência uma barra ou ponto de acoplamento de uma determinada unidade consumidora em observação para faltas no sistema. Posições ou pontos de faltas que causam uma VTCD de mesma amplitude são interligados a fim de estabelecer um contorno tendo como referência este ponto para amplitudes de 30%, 50%, 60% e 80% conforme figura 2.6. Área em que a falta ocasiona uma VTCD de amplitude abaixo da suportabilidade da carga é chamada de área de exposição (BOLLEN, 2000). Como exemplo; equipamentos que apresentam mau funcionamento quando a tensão cai abaixo de 60%, equipamentos estarão expostos as faltas que ocorrem dentro deste contorno na figura.

O conceito de área de exposição foi desenvolvido para auxiliar na avaliação da probabilidade de uma determinada carga específica, no PAC, estar sujeita a VTCD de uma determinada amplitude. A área de exposição é definida para uma unidade consumidora em específico e para um limite de VTCD. Limite este estabelecido por curvas de suportabilidade para cada tipo de carga existente na unidade. Conhecida a curva de imunidade ou suportabilidade da carga à VTCD é possível estabelecer a amplitude da VTCD passível de afetá-la com mau funcionamento e conseqüentemente determinar a área geográfica ou de exposição do sistema capaz de causar este distúrbio (BOLLEN, 2000). A determinação da área de exposição é feita através de cálculos de curto circuito ao longo do sistema. É importante ressaltar que quanto mais suscetível a carga à VTCD, maior será a sua área de exposição. Na figura 2.6 mostramos a área de exposição para uma carga específica. Isto significa que, para qualquer falta dentro da área de exposição a carga estará operando de forma inadequada, com mau funcionamento ou mesmo com desligamentos.

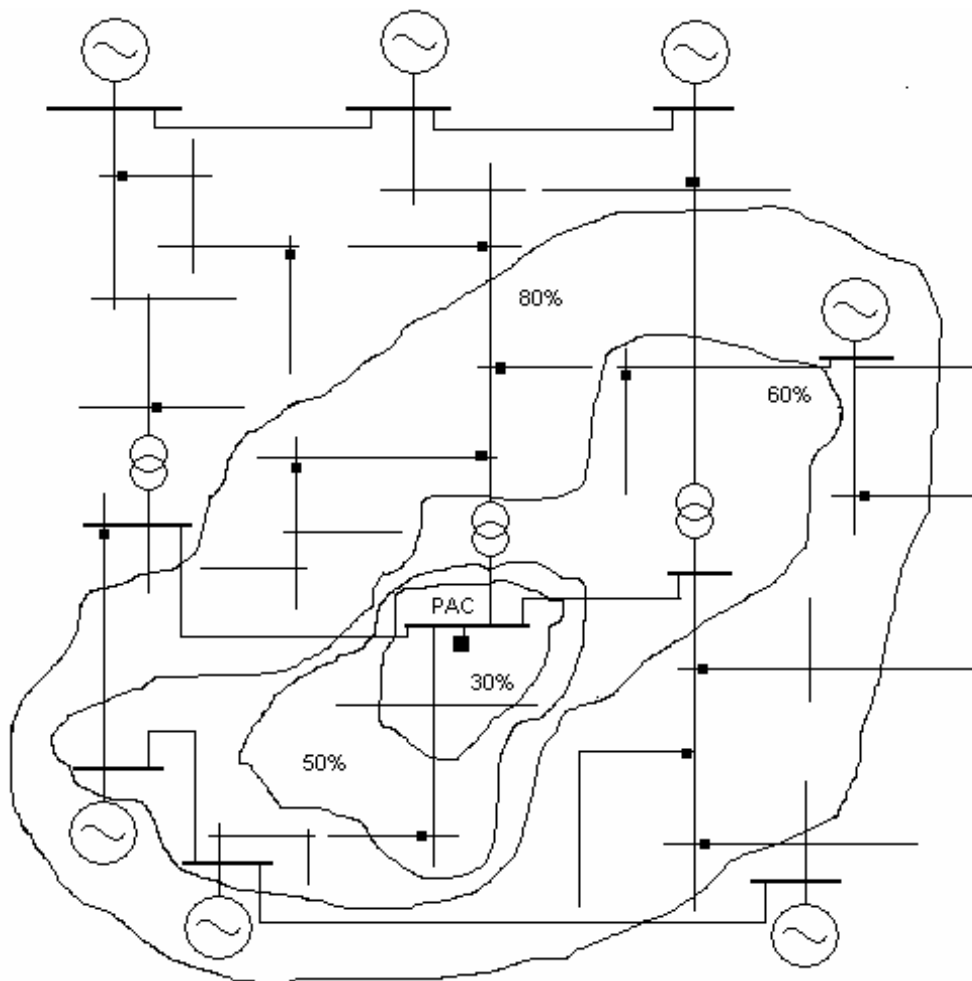


Figura 2.6: Exemplo de área de exposição com contornos em torno do PAC para uma carga específica.

2.5 Conseqüências das VTCDs

Como já mencionado as cargas mais suscetíveis as VTCDs são os equipamentos eletrônicos microprocessados, os acionamentos à velocidade variável (ASDs) e os controladores lógicos programáveis (CLPs) (CUNHA; SILVA, 2003; SANTOS; SILVA, 2003). Sendo que o efeito mais comum é a interrupção em parte ou em todo o processo produtivo industrial (BOLLEN, 2000; IEEE Std. 1159, 1995; IEEE Std 1346, 1998; IEEE Std 1250, 1995; De ANDRADE Jr.; LEÃO, 2001; JESUS et al., 2001; SANTOS et al., 2001; CUNHA; SILVA, 2003; SANTOS; SILVA, 2003; POMILIO, 2003, 1995) dado pelas:

- Disfunções nos CLPs ou nos microprocessadores de controle;
- Atuação dos dispositivos de proteção dos ASDs manifestando de duas formas, ambas podendo levar ao seu desligamento: a primeira quando o capacitor do barramento de corrente contínua - CC não consegue manter uma tensão mínima necessária nos terminais do módulo inversor durante a ocorrência de evento de VTCD com depressão de tensão e a segunda: quando é atingido o limite de capacidade do sistema de controle de operar com níveis reduzidos de tensão.
- Abertura de contatores e relés auxiliares;
- Perda de programação nos microprocessadores;
- Desligamentos nas lâmpadas de descargas, etc.

Ocorrências que resultam em prejuízos econômicos, redução da eficiência produtiva, perda de produtividade, redução da qualidade do produto e até mesmo a diminuição da satisfação do cliente.

O estabelecimento de um padrão de comportamento para estes equipamentos é difícil devido à diversidade de modelos e fabricantes, no entanto estes apresentam uma faixa de sensibilidade a VTCD demonstradas normalmente por gráficos de suportabilidade ao distúrbio para cada tipo de equipamentos.

2.6 Compatibilidade das Cargas com as VTCDs

A compatibilização de cargas do processo industrial com o sistema elétrico contribui na redução das interferências no processo por VTCDs e promove a eficiência do processo produtivo.

Conhecimentos do desempenho da rede de distribuição frente as VTCDs e a suportabilidade dos equipamentos envolvidos são fundamentais neste tipo de projeto. No entanto, a obtenção de dados e informações acerca de VTCDs do sistema elétrico, como da curva de suportabilidade de equipamentos frente as VTCDs na prática é extremamente difícil. Uma maneira de levantar informações a respeito da qualidade de energia da rede e suscetibilidade da carga ao distúrbio seria por monitoração da qualidade com instalação de equipamentos específicos para este fim. E a outra maneira por estimação das características das VTCDs que ocorrem no sistema.

O desempenho de um processo industrial de uma unidade consumidora frente os distúrbios de VTCDs poderá ser realizada pela avaliação da compatibilidade da predição das características de VTCDs passíveis de ocorrências no PAC com as curvas de suportabilidade aos distúrbios de VTCDs das cargas ou processos industriais envolvidos.

A figura 2.7 mostra as curvas de suscetibilidade a VTCD de alguns equipamentos componentes do processo industrial. A área acima da curva é a faixa onde os equipamentos apresentam tolerância as VTCDs, e a área sob a curva é a faixa onde estes poderão apresentar problemas com o distúrbio, com interrupções ou disfunções dos equipamentos em análise independente do modelo e/ou fabricante (IEEE Std 1346, 1998).

A figura 2.8 apresenta um gráfico de coordenação dado pela sobreposição das estimativas das caracterizações dos eventos de VTCD por ano na unidade em estudo no PAC com as curvas de suscetibilidade dos equipamentos pertencentes ao seu processo fabril. Este gráfico demonstra de forma preditiva as VTCDs por ano que poderão causar interferência no processo com distúrbios.

A curva que está na parte superior a esquerda do gráfico definirá a sensibilidade do processo (IEEE Std 1346, 1998). No exemplo da figura 2.8, o componente mais sensível é o relé tipo “double-pole double-throw” (DPDT) onde de forma preditiva apresentará uma disfunção ou interrupção de 20 a 25 vezes por ano. Interpolando entre outros contornos e realizando-se uma análise do gráfico de coordenação do desempenho do processo a VTCD poderão emergir outros resultados de disfunção e mau funcionamento do processo fabril dados pela predição da metodologia.

2.7 Finalidade da Caracterização de VTCD

A estimativa das caracterizações dos eventos de VTCDs no PAC tem como finalidade permitir o estudo de compatibilidade cargas sensíveis da unidade com os eventos

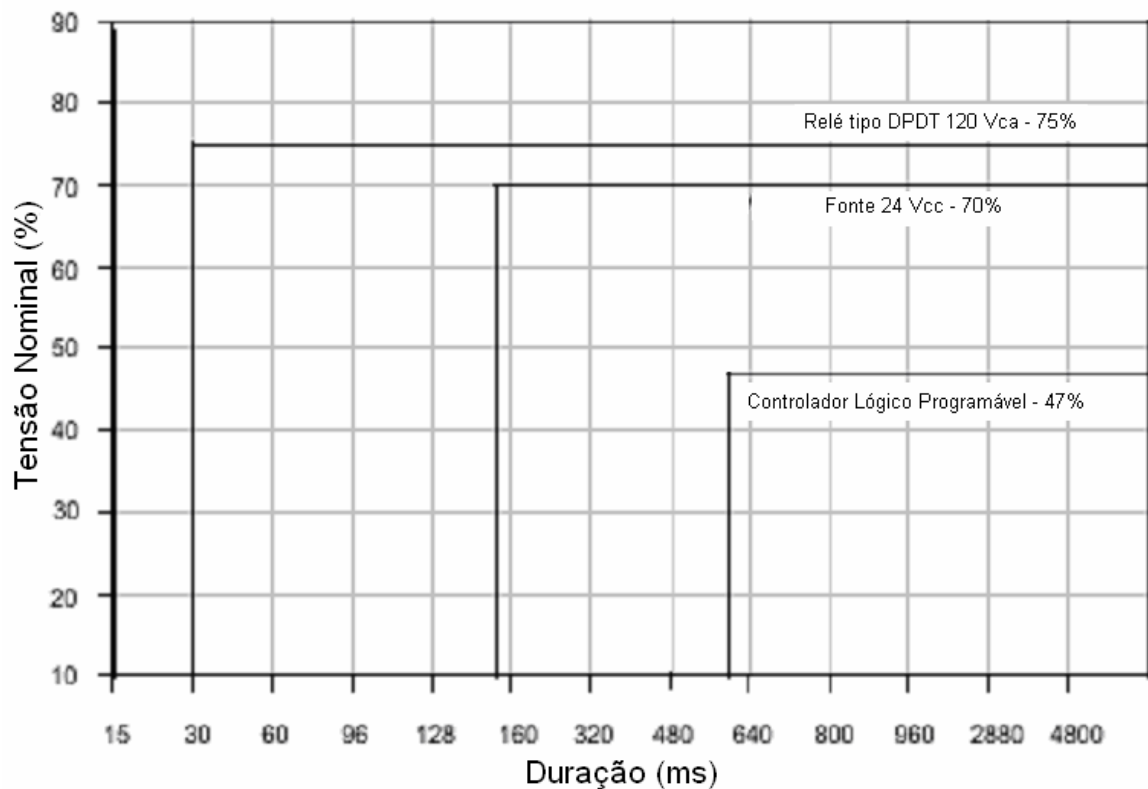


Figura 2.7: Suscetibilidade a VTCD, depressão de tensão, de alguns componentes do processo. Fonte: IEEE Std 1346 - 1998.

de VTCDs da rede de distribuição de energia elétrica de forma a possibilitar ações de mitigação de seus efeitos junto as cargas suscetíveis ao fenômeno.

2.8 Outras Características da VTCD

2.8.1 Forma de Onda

A figura 2.9 representa a VTCD, em valor eficaz, num sistema trifásico e a idealização de uma VTCD de característica retangular com depressão de tensão de 60%, com duração de 10 ciclos, intervalo de tempo correspondente ao início da variação de tensão da primeira onda de fase e o término com restabelecimento da última fase (BOLLEN, 2000). Sabe-se, no entanto, que a maioria das VTCD não possui valor constante onde a amplitude de tensão nas fases varia ao longo do tempo de duração do evento.

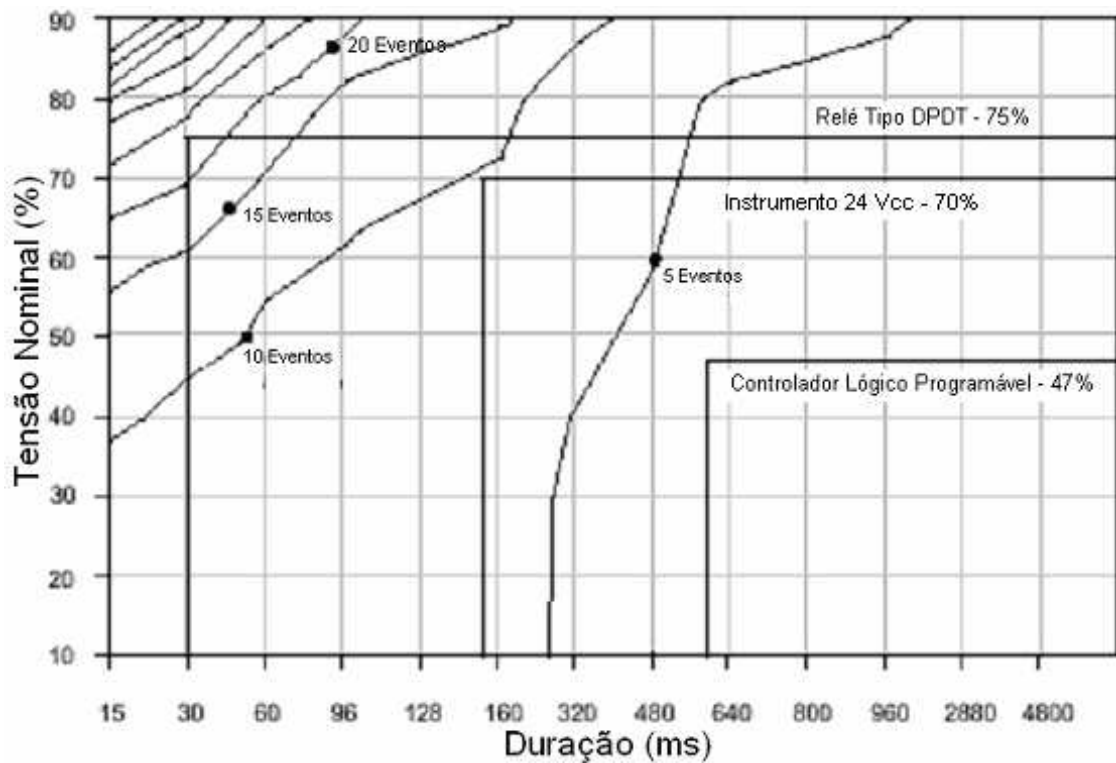


Figura 2.8: Sobreposição do ambiente de VTCD, depressão de tensão, com a suscetibilidade de alguns dos componentes do processo. Fonte: IEEE Std 1346 - 1998.

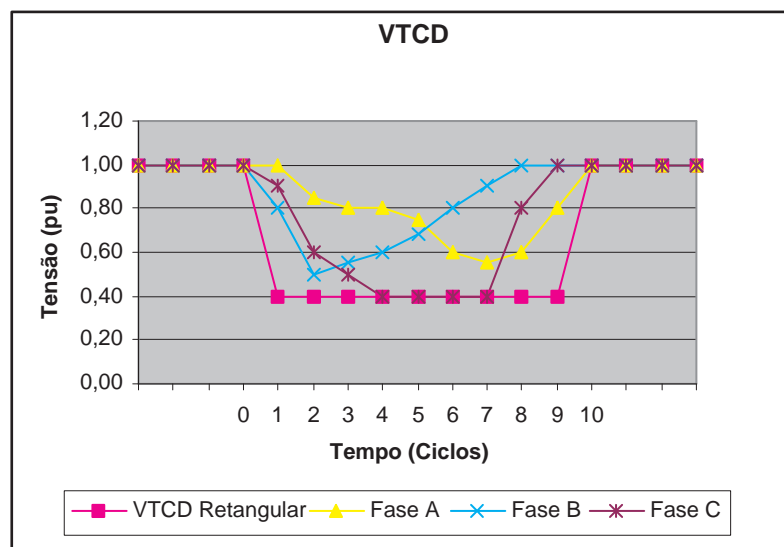


Figura 2.9: Curva de uma VTCD e de característica retangular.

2.8.2 Tipos Básicos de VTCD em Função do Tipo de Ligação dos Transformadores e Cargas

A discussão a seguir é apresentada em detalhes nas referências (BOLLEN, 2000; HEINE; LEHTONEN, 2003; SANTOS; SILVA, 2003). Apresentamos aqui apenas as conclusões mais

relevantes. O objetivo é apresentar o que já foi desenvolvido sobre o assunto e destacar a importância da questão. Porém, as análises feitas neste trabalho não consideram a questão do desequilíbrio da depressão de tensão.

Entretanto, é fundamental ressaltar, que a metodologia proposta no Capítulo 4 pode ser utilizada para considerar este fator, VTCDs desequilibrados, sendo apenas necessária uma adequação na forma de caracterizar a VTCD e na ferramenta de cálculo desenvolvida.

Para curtos circuitos tipo FT, FF e FFT as VTCD se apresentam desequilibradas (BOLLEN, 2000). Caso a carga esteja ligada ao secundário de um transformador tipo delta-estrela ou estrela-delta, esta experimentará uma mudança na tensão em relação ao primário quanto a amplitude, ou de amplitude e defasamento angular devido a VTCD (BOLLEN, 2000; SANTOS; SILVA, 2003).

Na análise dos tipos de VTCDs, em função do tipo de ligação dos transformadores e das cargas, foram considerados:

- Sistema de aterramento: Solidamente aterrado;
- Valores das impedâncias dos componentes de seqüência positiva e negativa: Iguais;
- Desconsideração das correntes de carga quando da falta.

Como consequência, a tensão nas fases não faltosas permanece sem alterações. Entretanto, estas simplificações normalmente utilizadas com o objetivo de facilitar o desenvolvimento analítico e a obtenção de conclusões importantes a respeito da questão estudada não são uma limitação para a metodologia adotada, que permite considerar valores distintos para as três impedâncias de seqüência.

Para o caso de uma falta FFF a VTCD gerada é do tipo equilibrado e não é influenciada pelo tipo de ligação do transformador e nem da carga. É denominada como tipo A, e é mostrado no diagrama fasorial da tabela 2.2 (Falta trifásica-1).

No caso de falta FT a VTCD com depressão de tensão ocorrerá somente na fase defeituosa. Na tabela 2.2 (Falta fase à terra - 2) o diagrama fasorial apresentado é de uma VTCD causada por uma falta FT e denominada de tipo B. Sendo a carga ligada em estrela esta não sentirá mudanças na VTCD, isto é, a carga continuará experimentando uma VTCD do tipo B, entretanto se a carga estiver conectada em delta observará uma queda na amplitude e mudança no ângulo de fase das duas fases não faltosas, e a terceira retornará ao normal se comparada com a VTCD no primário do transformador. Esta VTCD é denominada C, conforme tabela 2.3 e mostrado no diagrama fasorial da tabela

2.2 (Falta fase à terra - 2). Este diagrama também representa a transformação da VTCD sobre a carga, carga conectada em estrela no secundário de transformador delta-estrela, tabela 2.4. Caso a carga esteja conectada em Delta irá experimentar uma queda de tensão nas três fases com mudança de ângulo de fase em duas delas. O diagrama fasorial que representa esta VTCD é o tipo D, conforme tabelas 2.3 e 2.4.

Para faltas do tipo FF tem-se uma VTCD com depressão de tensão e mudança de ângulo de fase nas duas fases faltosas e a terceira fase permanecerá inalterada. Esta VTCD é do tipo C, se a carga é conectada em estrela e está representada na tabela 2.2 (Falta dupla fase - 3). Caso está estiver conectada em delta receberá uma VTCD nas três fases com mudança de ângulo de fase em duas delas. Esta VTCD recebe a denominação de tipo D, conforme tabela 2.3, e é representado pelo diagrama fasorial da tabela 2.2 (Falta dupla fase - 3). Para uma falta tipo FF ocorrida no primário de um transformador delta-estrela a carga conectada em estrela no secundário experimentará uma VTCD do tipo D, conforme tabelas 2.3 e 2.4, entretanto, uma carga conectada em delta receberá uma VTCD do tipo C.

Para faltas FFT tem-se uma VTCD com depressão de tensão nas fases faltosas e a terceira fase permanecerá inalterada. Esta VTCD é do tipo E, e está representada pela tabela 2.2 (Falta dupla fase à terra - 4). Para uma falta tipo FFT ocorrida no primário de um transformador delta-estrela, a VTCD no secundário deste sobre uma carga conectada em estrela será do tipo F, conforme figura 2.10, ou seja com uma VTCD nas três fases com mudança de ângulo em duas delas com presença da redução de tensão na terceira fase, conforme diagrama fasorial da tabela 2.2 (Falta dupla fase à terra - 4). Sendo a carga conectada em delta neste mesmo ponto ela receberá uma VTCD nas três fases com mudança de ângulo em duas delas, sendo que a terceira fase experimentará uma redução de tensão sem alteração de ângulo. Esta VTCD recebe a denominação de tipo G, conforme representação dada pelo diagrama fasorial da tabela 2.2 (Falta dupla fase à terra - 4).

Nas tabelas 2.2, 2.3 e 2.4 (BOLLEN, 2000) mostramos um resumo dos tipos de VTCDs e as influências das ligações dos transformadores e das cargas nas VTCDs causados por faltas do tipo FT, FF, FFT e FFF.

As considerações da figura 2.11 são válidas para as condições apresentadas no início deste item, caso as impedâncias dos componentes de seqüência positiva e zero não forem iguais existirá uma mudança nas tensões das fases não faltosas também. No sistema solidamente aterrado esta diferença é pequena. Em sistemas aterrados por resistências e de altas impedâncias, a tensão nas fases não faltosas poderá cair além de 70%. Ao

Tabela 2.2: Tipos de VTCD em fasores (amplitude de 50%) e em forma de equação.

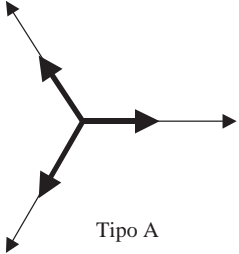
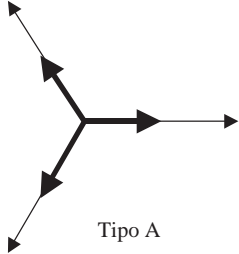
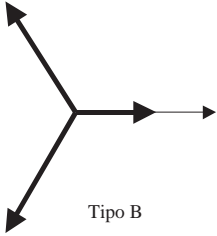
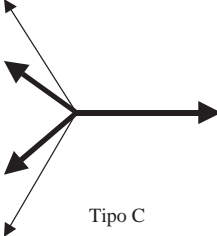
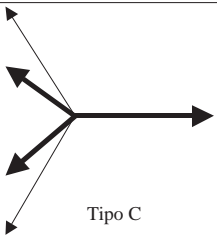
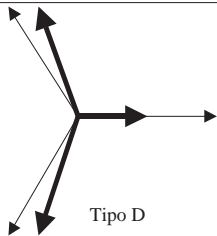
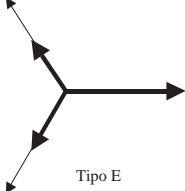
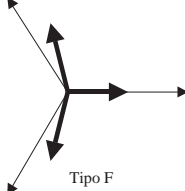
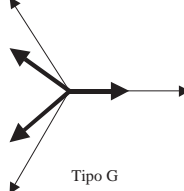
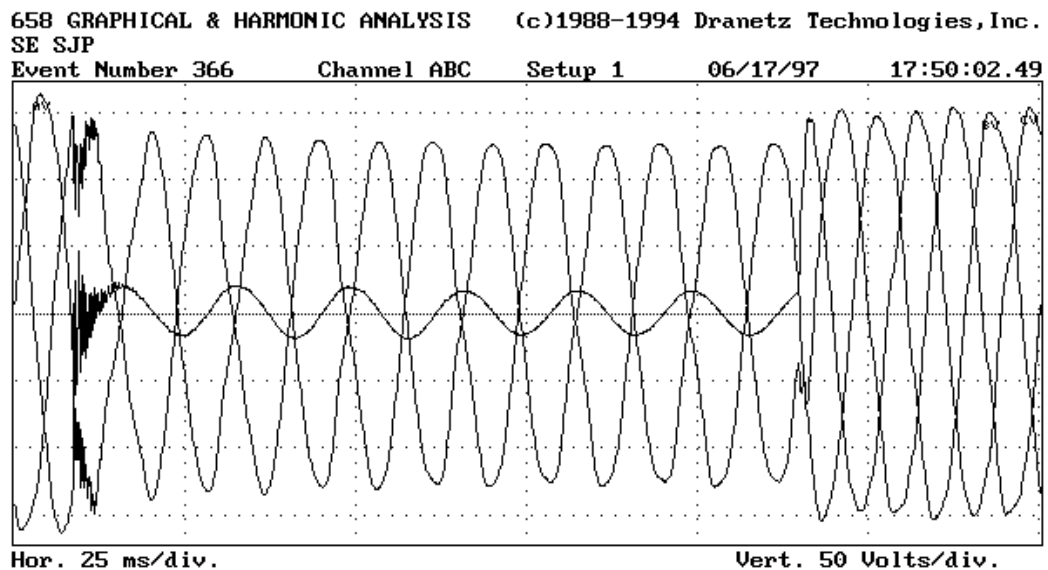
Falta trifásica – 1			
Tensões de fase		Tensões de linha	
	$V_a = V$ $V_b = \frac{1}{2}V - j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{2}V + j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$		$V_a = V$ $V_b = \frac{1}{2}V - j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{2}V + j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$
Falta fase à terra – 2			
Tensões de fase		Tensões de linha	
	$V_a = V$ $V_b = \frac{1}{2}V - j\frac{1}{2}\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{2}V + j\frac{1}{2}\sqrt{3}$		$V_a = 1$ $V_b = \frac{1}{2} - j\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{3}\right)V\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{2} + j\left(\frac{1}{6} + \frac{1}{3}\right)V\sqrt{3}$
Falta dupla fase – 3			
Tensões de fase		Tensões de linha	
	$V_a = 1$ $V_b = \frac{1}{2} - j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{2} + j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$		$V_a = 1$ $V_b = \frac{1}{2}V - j\frac{1}{2}\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{2}V + j\frac{1}{2}\sqrt{3}$
Falta dupla fase à terra – 4			
Tensões de fase			
		No secundário do transformador	
		Tipo 1	Tipo 2
	$V_a = 1$ $V_b = \frac{1}{2}V - j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{2}V + j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$		
		$V_a = V$ $V_b = j\frac{1}{3}\sqrt{3} - \frac{1}{2}V - j\frac{1}{6}V\sqrt{3}$ $V_c = +j\frac{1}{3}\sqrt{3} - \frac{1}{2}V + j\frac{1}{6}V\sqrt{3}$	$V_a = \frac{2}{3} + \frac{1}{3}V$ $V_b = \frac{1}{3} - \frac{1}{6}V - j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$ $V_c = \frac{1}{3} - \frac{1}{6}V + j\frac{1}{2}V\sqrt{3}$

Tabela 2.3: Tipos de falta, tipos de VTCD e conexão da carga.

Tipo de Falta	Tipo de conexão da carga	
	Estrela	Delta
Trifásico - FFF	Tipo A	Tipo A
Dupla fase a terra - FFT	Tipo E	Tipo F
Dupla fase - FF	Tipo C	Tipo D
Fase à terra - FT	Tipo B	Tipo C

Tabela 2.4: Transformação do tipo de VTCD para o lado de baixa tensão.

Conexão do transformador	VTCD no lado primário						
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G
Tipo 1: YY (Aterrados)	A	B	C	D	E	F	G
Tipo 2: YY, DD	A	D*	C	D	G	F	G
Tipo 3: YD, DY	A	C*	D	C	F	G	F

**Figura 2.10:** Tensões para um defeito FFT - VTCD tipo F. Fonte: Dranetz.

analisarmos os diagramas fasoriais da figura 2.11 e as tabelas 2.2 e 2.3, observa-se que as depressões de tensão ocasionadas por faltas do tipo FT assemelham-se às depressões causados por faltas FF (BOLLEN, 2000). Isto é devido ao fato de que as características destas VTCD dependem do tipo de conexão do transformador e da carga.

2.8.3 Salto do Ângulo de Fase

Muitos tipos de conversores de eletrônica de potência utilizam o ângulo de fase da tensão como referência para informação dos disparos em ângulos pré-determinados de seus dispositivos. Ocorre que o salto de ângulo de fase da tensão motivada pela VTCD não é imediatamente sentido pelos conversores, resultando em disparos dos dispositivos em ângulos incorretos, ocasionando operações inadequadas, desligamentos e até danos permanentes, dependendo do tipo de equipamento, do ajuste da proteção do conversor, e da categoria dos componentes de eletrônica de potência utilizadas (BOLLEN, 2000).

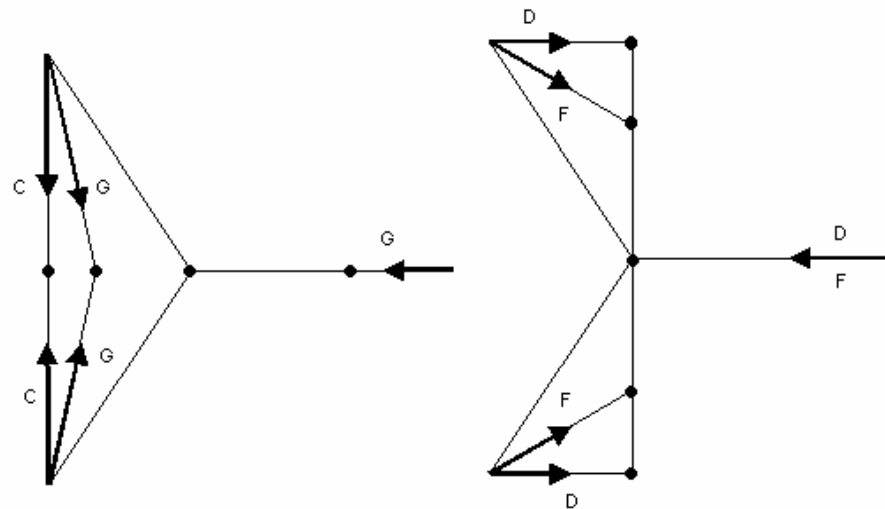


Figura 2.11: Comparação de VTCD trifásica desbalanceada para faltas FFT (F e G) com VTCD trifásica desbalanceada de faltas FF e FT (C e D). Os pontos indicam a direção da mudança em 3 tensões complexas para diferentes tipos de VTCD.

Para explicar a origem do salto de ângulo de fase utiliza-se o divisor de tensão para cálculo da amplitude da VTCD, depressão de tensão em sistemas radiais, através da figura 2.12 e equação 2.2. Assumindo que a tensão de pré-falta da fonte é 1,0 pu, o salto de ângulo de fase é dado através da equação 2.3. O salto de ângulo de fase é a diferença entre o ângulo da tensão pré falta e o ângulo de fase durante a falta (BOLLEN, 2000).

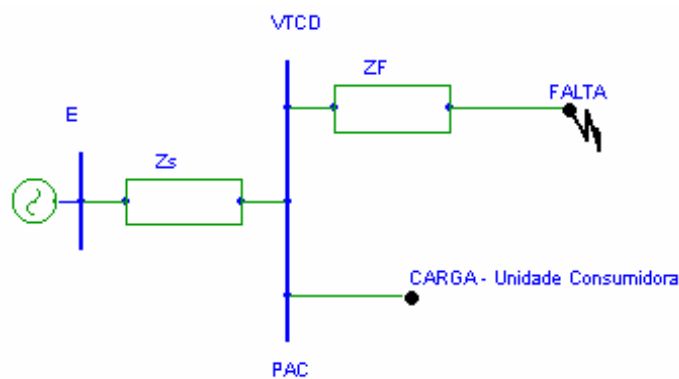


Figura 2.12: Modelo de divisor de tensão para cálculo de depressão de tensão, VTCD, no PAC.

$$V_{VTCD-PAC} = \frac{Z_F}{Z_F + Z_S} E \quad (2.2)$$

Sendo: $V_{VTCD-PAC}$: Amplitude da VTCD, depressão de tensão, no PAC [pu]; $Z_S = R_S + jX_S$: Impedância entre a fonte e o PAC [Ω]; $Z_F = R_F + jX_F$: Impedância entre o

PAC e a falta $[\Omega]$; E : Tensão de pré-falta [pu].

$$\Delta\phi = \arg(V_{VTCD-PAC}) = \arctan\left(\frac{X_F}{R_F}\right) - \arctan\left(\frac{X_S + X_F}{R_S + R_F}\right) \quad (2.3)$$

Se $\left(\frac{X_S}{R_S}\right) = \left(\frac{X_F}{R_F}\right)$, a equação 2.3 é zero e não haverá o salto de ângulo de fase. O salto do ângulo acontecerá se a relação da fonte e do alimentador faltoso forem diferentes. Portanto os equipamentos são sensíveis a combinação dada pela variação na amplitude da tensão associada a mudança de ângulo de fase na onda de tensão (BOLLEN, 2000).

2.9 Importância do Distúrbio

A VTCD apesar de menos severo é mais comum que uma interrupção momentânea, corte total da tensão na carga, as VTCDs causam praticamente o mesmo efeito a um consumidor industrial. Ambos os distúrbios podem causar interrupções em alguns equipamentos e até mesmo do processo industrial.

Eliminar a possibilidade de ocorrência de defeitos no sistema elétrico para que não ocorram os eventos de VTCD é impossível e economicamente inviável. Portanto ao se esgotar as melhorias no sistema elétrico, dentro de uma solução economicamente viável, a solução seria compatibilizar ou mesmo adequar as cargas dos sistemas das unidades consumidoras à realidade existente. Para isso existem diversos tipos de soluções dependendo de cada equipamento e sistema envolvido.

A análise a ser feita para se obter a solução à unidade consumidora em estudo deve ser sempre precedida de uma avaliação da relação custo benefício, pois não adianta reduzir o número de eventos de VTCD sendo que para isso seja necessário um recurso maior que o prejuízo causado pelos distúrbios. É importante ressaltar que muitas vezes existem soluções simples como a possibilidade de aumento na imunidade dos equipamentos as VTCDs com mudanças nas especificações dos equipamentos, que podem gerar uma redução significativa no número de interrupções de equipamentos e/ou processos, causados pelas VTCDs.

Devido à generalidade dos parâmetros envolvidos, características do sistema elétrico, das cargas, do tipo de falta e seus mecanismos de extinção de defeito, a VTCD é um distúrbio de análise complexa. A análise da VTCD requer um conhecimento das características do distúrbio, informações estatísticas descrevendo a probabilidade de ocorrência da VTCD, informações a respeito da suportabilidade a VTCD dos equipamentos envolvi-

dos, e informações a respeito do prejuízo causado pelo distúrbio na unidade consumidora. De posse dos dados mencionados acima pode-se realizar um estudo para solução do problema.

2.10 Normas e Parâmetros de Referência para VTCD

2.10.1 Normas Existentes

As Normas existentes, tabela 2.5, podem ser classificadas em Normas Aplicáveis aos Sistemas das Concessionárias e Normas Aplicáveis aos Sistemas dos Consumidores. Entre as Normas que se aplicam aos sistemas das concessionárias destaca-se a IEEE Std 1346, que propõe uma metodologia para as análises dos distúrbios e é tida como um guia para os critérios apresentados nas Normas IEEE Std 493, IEEE Std 1159 e IEEE Std 446 (IEEE Std. 1159, 1995; IEEE Std 493, 1997; IEEE Std 446, 1995).

Dentre as normas aplicáveis às instalações elétricas, a IEC 61000-2-4 estabelece alguns níveis de compatibilidade, ilustrativos (IEC 61000-2-2 (2002-03) Ed. 2.0 Consolidated Edition, 2002; IEC 61000-2-4 (2002-06) Ed. 2.0 Consolidated Edition, 2002; IEEE Std 493, 1997). Os demais documentos propõem uma metodologia para análise da VTCD aplicável a qualquer sistema elétrico de potência, como é o caso da Norma IEEE Std 1346 (IEEE Std 1346, 1998) e da IEEE Std 493 (IEEE Std 493, 1997).

2.10.2 Parâmetros de Referência

Após a estimativa das características e frequência de ocorrência das VTCDs, é necessária a comparação dos valores contratuais, valores normalizados junto às curvas de suportabilidade específicas para equipamentos (BOLLEN, 2000; IEEE Std. 1159, 1995; IEEE Std 1346, 1998; IEEE Std 1250, 1995), figura 2.7.

Uma das referências amplamente conhecida é a curva da “Computer Business Equipment Manufacturers Association” (CBEMA), figura 2.13. Curva originalmente criada por esta associação de fabricantes de computadores para especificar faixas de operação em que seus equipamentos apresentavam erros de funcionamento ou danos e subsidiar projetos de circuitos de proteção de fonte de alimentação.

O uso da curva tornou-se amplo, tendo se transformado em parâmetro comparativo de tolerância de equipamentos microprocessados em geral, sendo que o recomendável seria dispor da curva específica do equipamento a ser analisado. A comparação é feita através

do confronto da localização do ponto característico da VTCD dado pelo par ordenado; amplitude da tensão e duração do evento de VTCD com a curva de suportabilidade do equipamento a VTCD.

Nas figuras 2.13 a 2.15, a área delimitada entre as duas curvas descreve um envelope, região de distúrbio na tensão de alimentação onde a maior parte dos equipamentos da tecnologia de informação apresenta tolerância ao distúrbio, região em que o equipamento opera normalmente sem apresentar interrupção na função, portanto área de suportabilidade do equipamento ao distúrbio na qualidade da tensão recebida.

As primeiras referências de VTCDs surgiram com a Norma do IEEE Std 446 - 1987 (IEEE Std 446, 1995) e atualizada em 1995, figura 2.15. Uma versão revisada desta curva foi proposta pela “Information Technology Industry Council” (ITIC) com o objetivo de representar as especificações dos equipamentos eletrônicos microprocessados para tensão nominal de 120V - 60 Hz, figura 2.14.

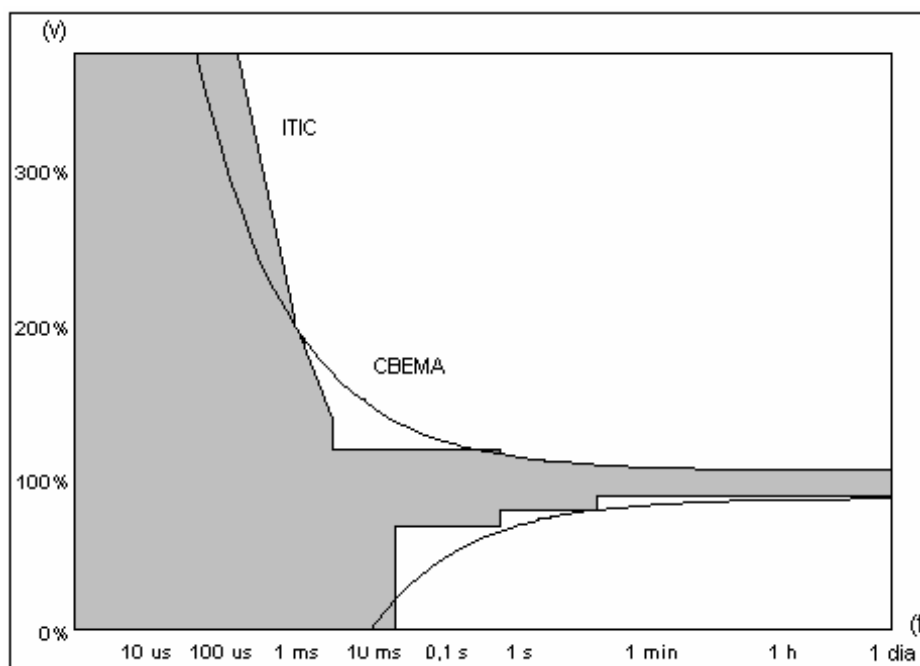


Figura 2.13: Curva CBEMA × ITIC.

Os computadores são mais suscetíveis a distúrbios de tensão que a maior parte de outros equipamentos. É razoável esperar que a qualidade de um computador deve satisfazer o requisito da curva apresentada na figura 2.15. A curva na realidade é um “envelope” que define os limites do estado de transiente e de estabilidade para o equipamento, podendo a tensão de entrada variar dentro destes limites sem afetar a performance do computador ou mesmo danificá-lo.

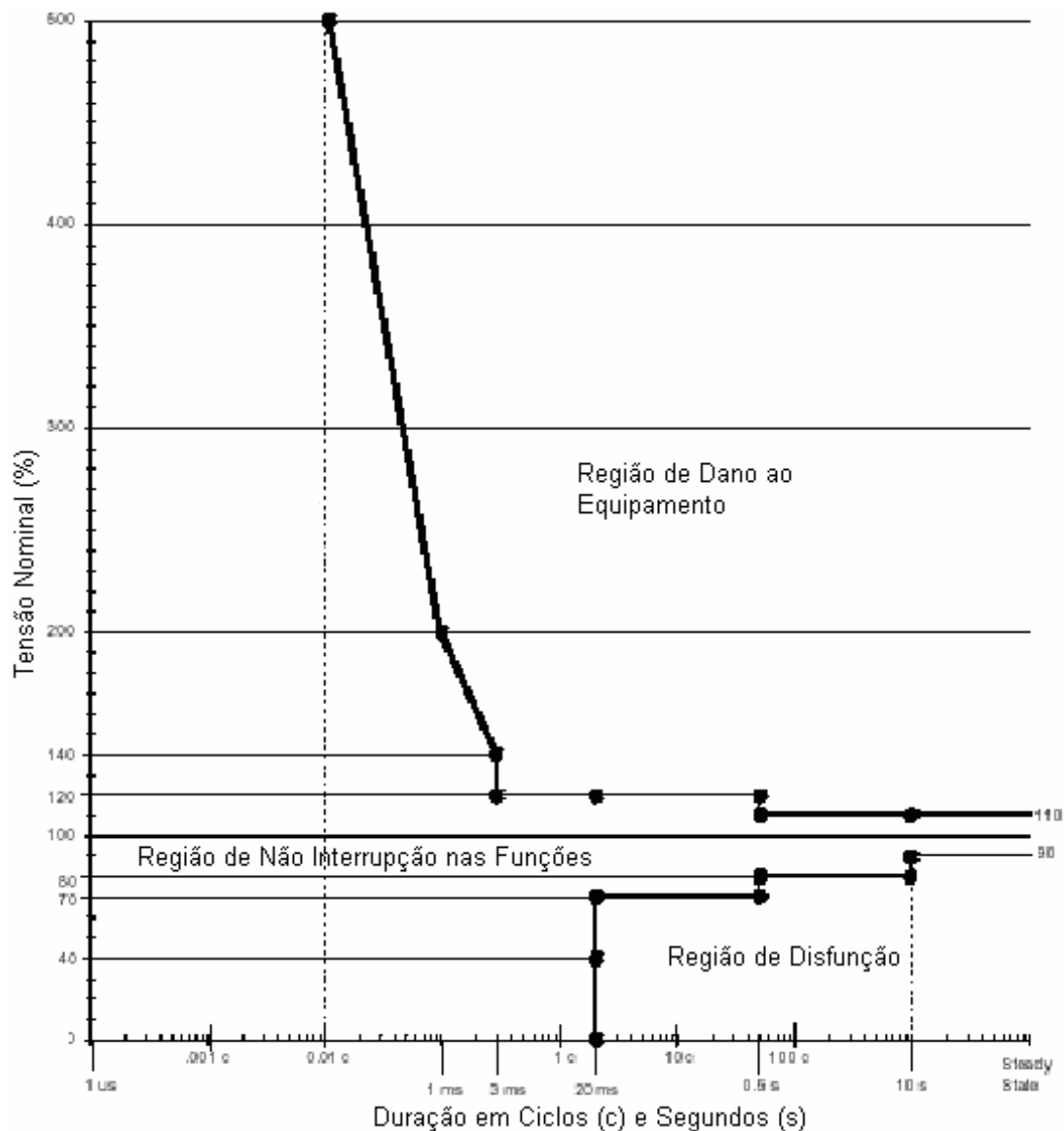


Figura 2.14: Envelope de tolerância a tensão. Aplicável a equipamentos com tensão fase neutro 120V. Curva ITIC. (CBEMA - Curva revisada 2000).

Observar que a curva admite uma completa perda de tensão por até 0,5 ciclo (8,3 ms) e permite uma tensão de 80% da nominal por 0,5 s, para cargas tipicamente sensíveis com frequência dentro da tolerância de $\pm 0,5$ Hz.

Alguns equipamentos suscetíveis a VTCD mais utilizados na indústria:

- Computadores (Figuras 2.13 a 2.15);
- Controle de processos industriais que incorporam microprocessadores e microcomputadores;
- Controle de processos industriais que contam com “Programmables logics controls”

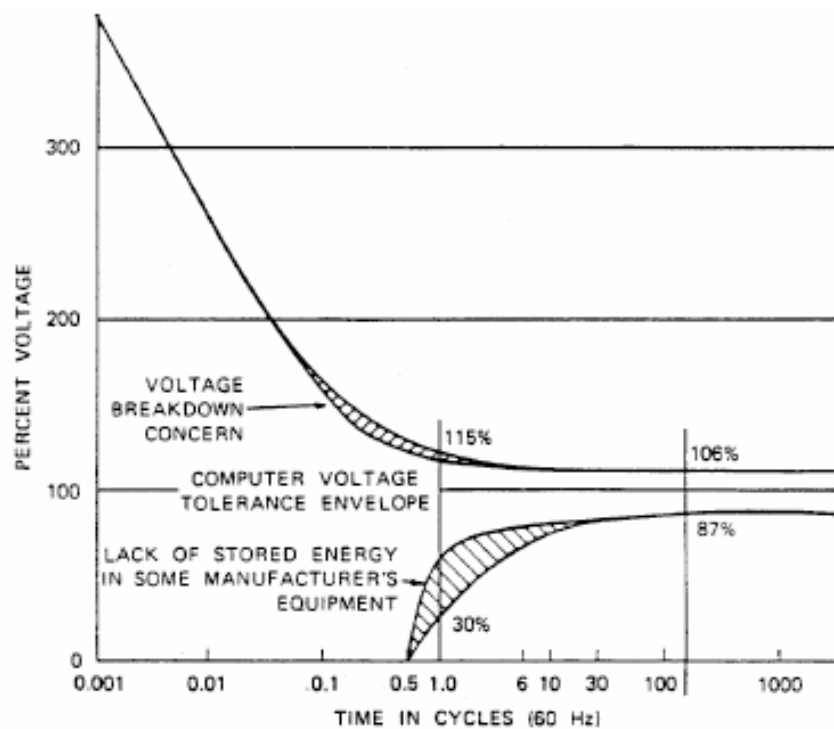


Figura 2.15: Curva de suscetibilidade típica de computadores. Fonte: IEEE Std 446 - 1995.

(PLCs);

- Conversores de frequência - "Adjustable speed drives" (ASDs);
- Falhas de comutação em pontes de tiristores;
- Lâmpadas de descargas à vapor de: mercúrio, sódio, halógenas e metálicas;
- Consumidores com eletro-eletrônicos com aparelhos de: Videocassete, forno de microondas, televisão, rádio relógios e etc;
- Contatores eletromecânicos e relés auxiliares.

A necessidade de eficiência e de controle de processos industriais, pela capacidade de proporcionar economia de energia elétrica e a redução gradual do custo de aquisição, o crescimento do emprego de equipamentos de acionamentos a velocidade variável é uma realidade, porém estes equipamentos são suscetíveis a distúrbios de tensão, portanto, alvo de atenção por parte de distribuidores de energia, usuários e fabricantes. Em (QADER; *ET AL.*, 1999), através de experimentos em ASDs, permitiu-se criar a curva de suscetibilidade dos ASD frente a VTCD. Deste experimento resultou que a sensibilidade dos ASDs testados as VTCDs, equilibradas são bem superiores se comparadas com as desequilibradas

resultantes de curtos circuitos tipo dupla fase e fase à terra. Para depressões de tensão trifásicas desequilibradas decorrentes de faltas tipo fase à terra, manutenção de uma das tensões de linha no seu valor nominal, as ASDs testadas apresentaram sua maior imunidade. Ocorrendo situações em que as ASDs se mostraram totalmente imunes a este tipo de VTCD, bem como a interrupções momentâneas por período superior a 1,0 minuto.

Verifica-se, portanto, a alta performance dos ASDs a VTCD originadas por faltas monofásicas na rede, pelas suas características de equivalência a carga ligada em delta, onde somente as tensões de linha são as de interesse. Em (QADER; *ET. AL.*, 1999) comenta que o ajuste do relé de subtensão no elo CC esteja demasiadamente elevado levando o ASD a desligamentos desnecessários sendo que o inversor ainda seria capaz de sintetizar a tensão de saída requerida pela carga e a fonte do circuito de controle manter a necessária tensão de segurança.

Diversas bibliografias tratam das questões conceituais da variação de tensão de curta duração como definição, discussão da terminologia empregada, levantamento das causas e efeitos deste distúrbio. Estudam também quais cargas são mais suscetíveis a VTCD e a suportabilidade destas frente aos valores de depressão de tensão (De ANDRADE Jr.; LEÃO, 2001; JESUS et al., 2001; LOURENÇO; OLIVEIRA, 2001; CUNHA; SILVA, 2003; SANTOS; SILVA, 2003; ALVES; COSTA, 2003).

Muitos trabalhos discutem como analisar os problemas decorrentes de VTCD e como avaliar as soluções para o mesmo. No entanto é consenso que para se estudar o problema, no sentido de reduzir o impacto causado a uma determinada carga suscetível ao fenômeno é fundamental a obtenção da estimativa do número de ocorrências e das suas características. Dessa forma, se determinada unidade consumidora possuir uma carga suscetível na sua planta e quer minimizar seus prejuízos com problemas oriundos da VTCD, é necessário que se conheça as características da energia que lhe é fornecida.

Os trabalhos (FONSECA, 1999; ALVES; COSTA, 2003) trazem uma proposta de estimar o número de ocorrências de uma maneira estocástica, onde são utilizadas taxas médias de falha nas redes do sistema estudado. A amplitude da VTCD é obtida através de cálculos de curtos circuitos e a duração dos distúrbios pelo tempo de atuação dos dispositivos de proteção contra sobrecorrentes do sistema. Para a avaliação do impacto deste distúrbio em uma carga sensível são confrontados os dados obtidos pela estimativa feita e a curva de suportabilidade dos equipamentos a VTCD.

2.11 Metodologia para a Determinação das VTCDs

Com referência a esta diretriz algumas propostas de metodologias foram formuladas para determinação e caracterização das VTCDs no sistema. Dessa forma a obtenção do impacto esperado no processo produtivo como a estimativa do número de paradas e as perdas financeiras decorrentes deste distúrbio torna-se possível, bem como proposições de projetos de compatibilização das cargas suscetíveis ao fenômeno com os eventos de VTCDs da rede de distribuição.

Estes métodos são apresentados a seguir nas suas propostas básicas (FONSECA, 1999; SANTOS et al., 2001; KAGAN et al., 2002; BRITO et al., 2002; ALVES; COSTA, 2003).

2.11.1 Método da Monitoração de Qualidade de Energia

O método da monitoração de qualidade leva em consideração a aquisição de dados por medição eventos relativos as VTCDs com registros de amplitude de tensão e a duração dos eventos (JESUS et al., 2001; SANTOS et al., 2001; KAGAN et al., 2002; FERREIRA; CASTRO; DECKMANN, 2002; BRITO et al., 2002) para a formação de um banco de dados de eventos de VTCDs para estimar o desempenho da rede frente a estes distúrbios.

Neste método para obtenção de informações estatísticas é necessário um longo período de monitoração para que os resultados estatísticos sejam confiáveis, uma vez que estes eventos não são freqüentes, de 1 a 3 vezes por semana. Da distribuição de Poisson o período mínimo necessário para monitoração para uma determinada precisão de um evento que ocorre uma vez por semana, teria que monitorar 4 meses para obter uma precisão de 50% e 7 anos para obter uma precisão de 10%, o que torna o método pouco conveniente para determinação de eventos deste tipo de distúrbio.

Pesquisas utilizando-se desta metodologia também são realizadas lado da carga com a monitoração dos eventos de VTCD na unidade consumidora a fim de caracterizar o limiar de sensibilidade de cargas e processos frente aos distúrbios de VTCD (De ANDRADE Jr.; LEÃO, 2001; JESUS et al., 2001; LOURENÇO; OLIVEIRA, 2001; CUNHA; SILVA, 2003; LEBORGNE et al., 2003; SANTOS; SILVA, 2003).

Nestes casos, a validade da metodologia está na quantidade de números de registros de paradas de fábrica, uma vez que este tem caráter aleatório.

Algumas concessionárias monitoram a qualidade de energia elétrica fornecidas a seus clientes com cargas sensíveis. Conforme recomendação do autor (OLIVEIRA et al., 2001;

SANTOS; SILVA, 2003) estas ações que devem ser precedidas de uma ampla discussão, pois atualmente não há regulamentação no setor para os fenômenos de VTCDs e concessionárias não possuem referências que possam assegurar a qualidade que levem em conta estes eventos.

O desempenho do sistema de distribuição quanto aos níveis de qualidade normalmente são compatíveis com os de sistemas aéreos de distribuição de energia, exposto as intempéries naturais e casuais regulamentados pelo “Limites de tensão de fornecimento no ponto de entrega”, conforme Resolução ANEEL 505, de 26.11.2001 (ANEEL, RESOLUÇÃO n.505, 2001) e “Indicadores de interrupção DIC, FIC e DMIC estabelecidos pela ANEEL”, conforme Resolução ANEEL 24/2000 (ANEEL, RESOLUÇÃO n.24, 2000), dessa forma, mesmo que as providências na rede de distribuição, realização de manutenção preventiva, sejam tomadas para o cumprimento das metas reguladas a ocorrência da VTCD se manterá na mesma dimensão dos eventos de interrupção do sistema.

Outra proposta existente utilizando o método de monitoração é o modelo que caracteriza a VTCD através de um índice numérico capaz de expressar o grau de impacto do evento sobre as cargas. Índice levantado por processamento digital dos sinais de tensão com detecção e agregação temporal de eventos, com codificação das amostras de tensão eficaz na forma de histograma por níveis e por fim o cálculo do grau de severidade do evento sobre as cargas sensíveis (FERREIRA; CASTRO; DECKMANN, 2002).

2.11.2 Método da Distância Crítica

Este modelo de cálculo basicamente é um método para localização do ponto de defeito na rede (BOLLEN, 2000). A metodologia consiste na determinação da posição do local de ocorrência da falta que gerou uma determinada VTCD numa barra de referência ou em um PAC na ocorrência de um curto circuito na rede (HEINE; LEHTONEN, 2003). Método normalmente utilizado para sistemas radiais com utilização de um divisor de tensão para o cálculo da VTCD no PAC (BOLLEN, 2000), conforme equação 2.1.

$$V_{VTCD-PAC} = \frac{Z_F}{Z_F + Z_S} \quad (2.4)$$

Onde: $V_{VTCD-PAC}$: Amplitude da VTCD, depressão de tensão no PAC [pu](igual a 1,0 pu na pré falta); Z_F : É a impedância da rede compreendida entre o PAC e a posição da falta [Ω]; Z_S : É a impedância da fonte vista do PAC [Ω].

A distância crítica da ocorrência de defeito para uma tensão crítica no PAC pode ser

obtida através da equação 2.4. Sendo que as VTCDs de menor amplitude estão além da distância crítica da calculada.

$$\ell_{CRIT} = \frac{Z_S}{z} \cdot \frac{V}{1 - V} \quad (2.5)$$

Onde:

ℓ_{CRIT} : Distância crítica, distância entre a falta e o PAC [km];

z : Impedância da linha por unidade de comprimento [Ω/km];

V : Tensão crítica, VTCD de referência no PAC para a ocorrência de falta a uma distância crítica do PAC [pu].

Neste método também é possível criar linhas indicadoras do valor de depressão de tensão, linha de “isosags” dentro de um sistema a fim de demonstrar o desempenho do sistema frente a VTCD por trecho de rede conforme mostrado na figura 2.16.

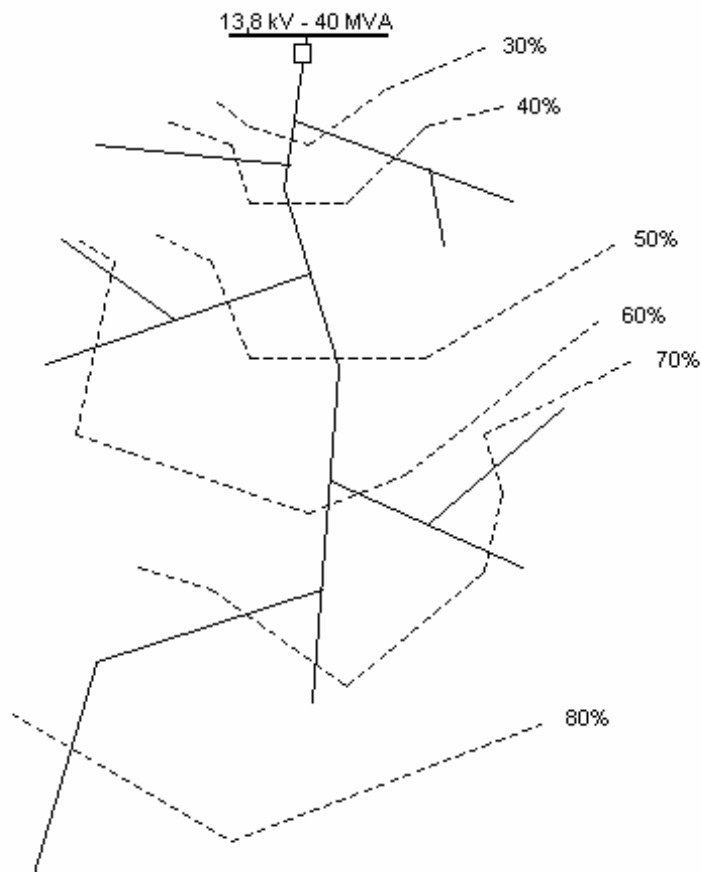


Figura 2.16: Exemplo de método da distância crítica com faltas trifásicas aplicadas a uma rede 13,8 kV.

2.11.3 Método da Posição das Falhas

Modelo que propõe a atribuição de defeitos a serem alocados ao longo das linhas por todo sistema de modo a considerar a influência da posição ou local de defeito nos valores da depressão de tensão nos eventos de VTCD. As posições de falta na rede são estabelecidas de forma que, caso ocorra uma falta, as depressões de tensão geradas tenham as mesmas características (valor e duração). Através deste método é possível criar linhas indicadoras, “isosags”, sobre o diagrama do sistema elétrico que representam contornos de áreas suscetíveis a um determinado valor de depressão de tensão, figura 2.17. Este modelo proporciona uma visão global da distribuição de VTCD ao longo do sistema (BOLLEN, 2000). A precisão dos resultados está condicionada a quantidade de posição de defeitos.

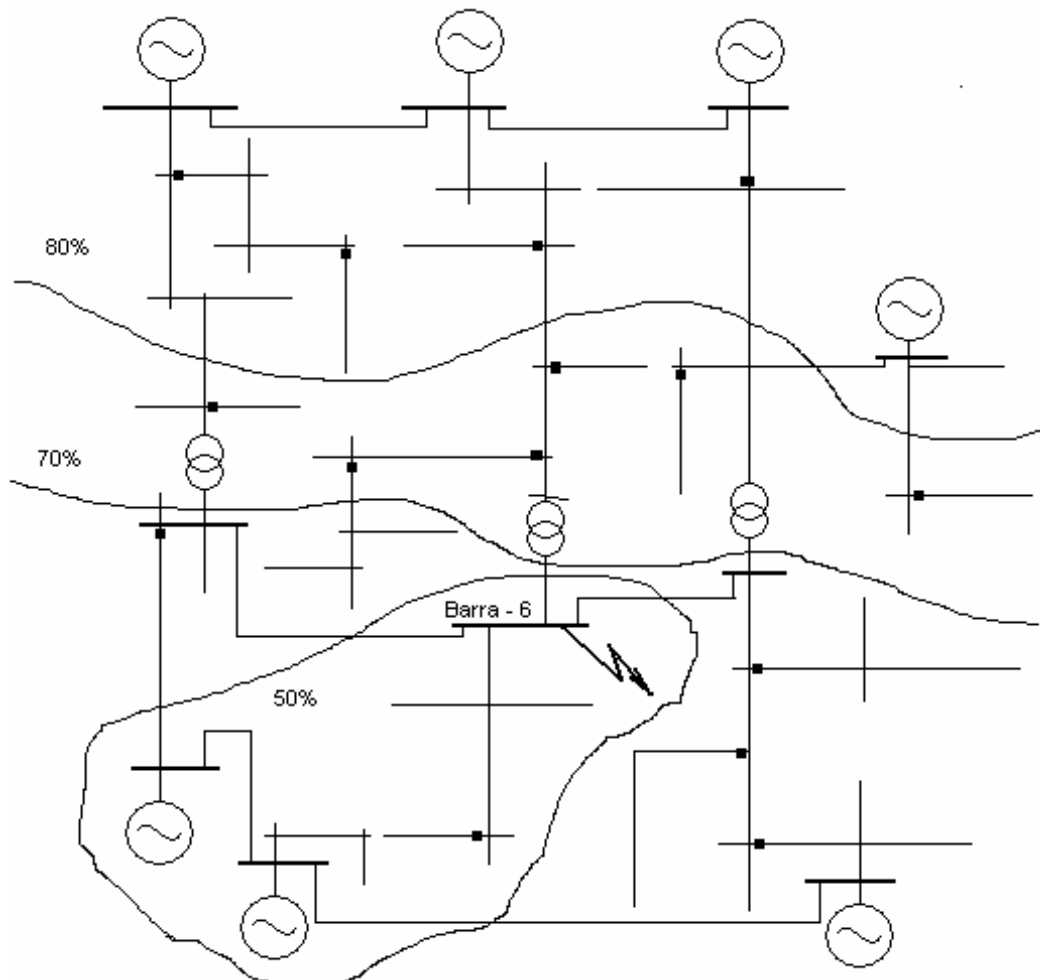


Figura 2.17: Exemplo de método da posição das falhas. VTCD para diferentes pontos para uma falha na barra 6.

Este método é mais preciso e adequado para estudos de sistemas elétricos de potência em geral onde os sistemas podem apresentar-se na configuração radial e/ou em anel na

sua topologia, sendo necessário uma modelagem de todo o sistema considerado. Já o da distância crítica é utilizado em sistemas radiais ou em sistemas em que esta aproximação pode ser feita. Portanto, de concepção mais restrita.

2.11.4 Métodos de Estimação

No método da posição das faltas a taxa de falha do sistema não é considerada ou seja, a quantidade de faltas a serem alocadas em cada posição é estabelecida. Este dado não está claro nas referências (BOLLEN, 2000; HEINE; LEHTONEN, 2003), e além disso, sabe-se que a maioria das faltas que ocorrem no sistema elétrico são provenientes de descargas atmosféricas, fenômeno de caráter aleatório, portanto, métodos que propõem a caracterização de VTCD devem levar este caráter em consideração na modelagem de sua metodologia.

No método de estimação as ocorrências de VTCDs estão associadas as faltas esperadas na rede, portanto nas simulações para estimar as VTCDs no PAC a locação do ponto de falta na rede é escolhida de forma aleatória em quantidades correspondentes normalmente a um ano de funcionamento do sistema (BOLLEN, 2000).

Nesta metodologia a taxa média de falha do sistema é baseada num histórico de observações do desempenho do sistema de vários anos de funcionamento de forma a obter dados mais próximos da realidade de funcionamento do sistema nas simulações (QADER; ET. AL., 1999; CLARKE; RALPH, 1979; PAPOULIS, 1991).

A metodologia de estimação de VTCD é baseada nas informações acerca de determinadas grandezas que possibilitem a caracterização destes distúrbios como valores de depressão de tensão, duração e frequência de ocorrência dos eventos de VTCD, que permitam a estimação das VTCD tendo como referência a taxa de falha do sistema (HEINE; LEHTONEN, 2003).

As referências para estimar as características das VTCDs são conhecidas:

- Cálculo da amplitude de tensão: Ferramentas de análise de curto circuito;
- Determinação da duração do distúrbio: Tempos de atuação dos dispositivos de proteção;
- Frequência de ocorrência dos eventos de VTCD: Taxa média de falha anual da rede.

Em trabalhos mais recentes (BOLLEN, 2000; FONSECA, 1999; KAGAN et al., 2002; HEINE; LEHTONEN, 2003; ALVES; COSTA, 2003; CARVALHO et al., 2005) as propostas de

estimativa seguem as diretrizes das referências citadas acima porém, sempre com o fornecimento de contribuições adicionais para o desenvolvimento do tema.

Os aspectos aqui apresentados são considerados na metodologia de estimativa das distribuições da VTCD a ser proposta no Capítulo 4.

A grande vantagem do método de estimativa é a da predição estocástica se comparado ao método de monitoramento é que a acuracidade requerida é obtida de maneira imediata (BOLLEN, 2000; QADER; *ET. AL.*, 1999; CLARKE; RALPH, 1979; PAPOULIS, 1991). Outro benefício deste método é a possibilidade de avaliar a qualidade de energia do sistema ainda que inexistente, objetivo impraticável pelo método do monitoramento de qualidade de energia.

O método da predição estocástica utiliza o modelo da determinação de um valor esperado, desvio padrão, etc. de uma variável estocástica. Método de predição estocástica tem sido utilizado por muitos anos para prever frequência e duração de longas interrupções, já para caracterizar eventos de curta duração o uso de técnica de predição estocástica ainda é pouco comum (BOLLEN, 2000).

Com a predição estocástica da VTCD no ponto de acoplamento da unidade é possível avaliar o desempenho de determinados equipamentos do processo industrial conectados neste ponto frente as VTCDs.

No Brasil a filosofia de projeto de implantação de um sistema de distribuição é dada por subestações de grande capacidade, redes de distribuição com alimentadores extensos com padrão de montagem em rede tipo nú faz com que a rede de apresente ocorrências relativas a descargas de atmosféricas, motivados por elevados índices de nível cerâmicos que atingem o nosso território, induzindo sobretensões elevadas no sistema elétrico. Quando esta tensão excede o Nível Básico de Isolamento (NBI) da linha, dado basicamente pelos isoladores da rede, resultam em disrupção sobre os isoladores resultando em curto circuito ou falha, caso contrário, sendo o pico de tensão insuficiente para romper o NBI da linha a sobretensão se propagará pelo sistema. Dessa forma, modelos que determinam VTCDs por estimativas estão bem ajustados pela grande quantidade de faltas que ocorrem na rede motivados por descargas atmosféricas devido a suas características de aleatoriedade.

Com a estimativa das características de VTCD no PAC pode-se estimar, através da compatibilidade, a quantidade de paradas dos equipamentos e assim determinar o impacto financeiro decorrente destes eventos.

A metodologia possibilita subsidiar decisões para a escolha da melhor opção de pro-

jetos de mitigação dos efeitos da VTCD sobre o processo (ALVES; COSTA, 2003), seja do lado do suprimento de energia ou da carga, ou mesmo da manutenção do desempenho do estágio atual considerado tendo em vista a relação custo benefício.

Em (BOLLEN, 2000) o autor adota o modelo de predição para avaliação de impacto econômico da VTCD, depressão de tensão, sobre o processo industrial com estimativa da quantidade, amplitude e duração do evento, associada a compatibilidade da carga com as solicitações do sistema.

Dentro deste conceito uma das opções é a adoção de um método de estimativa que significa uma oportunidade de avaliar configurações alternativas e prevenir problemas através de opções específicas para cada caso. Num método de estimativa necessita-se de dados estatísticos de frequência de ocorrência de faltas no sistema. É importante ressaltar que quanto mais próximos da realidade estes dados estiverem, mais precisa será a estimativa.

Estudos na área em questão com esta abordagem têm caráter recente e existe uma grande necessidade de se conhecer com mais propriedade os aspectos relativos ao problema. Dentro deste contexto este trabalho vem propor uma metodologia de estimar as VTCDs com o intuito de explorar as metodologias já mencionadas em trabalhos anteriores bem como complementá-las de forma a contribuir com o aperfeiçoamento do modelo.

2.12 Considerações Finais

Neste capítulo apresentou-se a definição do fenômeno da VTCD, sua característica, causa e efeitos. Apresentação de métodos para determinação de VTCD em suas propostas básicas, algumas referências bibliográficas que tratam destas questões, as propostas dos trabalhos mais recentes na área e as diretrizes destas referências.

Tabela 2.5: Normas aplicáveis aos sistemas elétricos das concessionárias e consumidores.

Documentos	Abrangências	Sub área de abrangência
IEC 61000-2-2 (2002)	Sistemas elétricos de concessionárias	Propõe critérios na análise dos níveis de compatibilidade para os distúrbios de VTCD e interrupções rápidas.
IEC 61000-2-4 (2002)	Sistemas elétricos de consumidores industriais	Níveis de compatibilidade ilustrativos para equipamentos de plantas industriais; equipamentos destes sistemas são classificados em 3 classes para os quais são estabelecidos diferentes níveis de compatibilidade, conforme o grau de sensibilidade dos equipamentos.
IEEE Std 493 – 1997. Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems	Sistemas elétricos de consumidores industriais e concessionárias	Propõe metodologia para planejamento e manutenções das instalações dos sistemas elétricos, análise de custo e avaliação de sistemas de energia; de emergência e “standby” com metodologia para o cálculo dos parâmetros de VTCD.
IEEE Std 446 – 1995. Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications	Sistemas elétricos de consumidores	Recomendações gerais, diretrizes para planejamento e manutenção de instalações elétricas de sistemas de energia de emergência e de “standby”. Limites de distúrbios aos equipamentos sensíveis. Práticas para o uso de sistemas condicionadores de energia. Informações e pré-requisitos para o gerenciamento dos efeitos dos distúrbios do sistema elétricos com a integração de usuários, fabricantes e distribuidores de energia.
IEEE Std 1159 – 1995. Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality	Sistemas elétricos de concessionárias e consumidores	Propõe uma metodologia para monitoramento da qualidade de energia em sistemas elétricos de potência: definições de qualidade de energia, terminologias, impactos da qualidade sobre os equipamentos dos consumidores e metodologia para medições dos fenômenos eletromagnéticos.
IEEE Std 1250 – 1995. Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances	Sistemas elétricos de concessionárias e consumidores	Guia para incrementar o desenvolvimento da compatibilidade dos modernos equipamentos eletrônicos com o sistema elétrico de potência: Descreve a operação dos equipamentos sensíveis, identifica problemas e sugere modos de elevar a imunidade destes aos distúrbios, descreve os tipos de distúrbios que ocorrem no sistema e seus efeitos sobre os equipamentos sensíveis e etc.
IEEE Std 1346 – 1998. Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility With Electronics Process Equipment. Description	Sistemas elétricos de concessionárias e consumidores industriais	Propõe uma metodologia para a análise técnica e financeira da compatibilidade dos processos com o sistema elétrico de potência frente às depressões de tensões.

3 Modelo para Estimar a VTCD em Redes de Distribuição

3.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma proposta de metodologia para estimar a VTCD, em particular a depressão de tensão, em um ponto referencial de observação, ponto de acoplamento da unidade consumidora com a rede de distribuição de energia elétrica em média tensão da concessionária (PAC).

A metodologia proposta tem como referência o método da estimação de VTCD no PAC.

A estimativa da VTCD no PAC será através do fornecimento dos valores de depressão de tensão ou amplitude da VTCD e a duração deste que o ponto estará exposto em um período de um ano.

3.2 Metodologia

A metodologia utiliza um programa computacional para a caracterização das VTCDs desenvolvido na plataforma do MATLAB (“Software” marca registrada da The MathWorks Inc) exclusivamente para este fim.

Este trabalho conta com a realização de uma simulação, estudo de caso, em um sistema elétrico típico de distribuição de energia elétrica da COPEL Distribuição SA, na região de Londrina-PR., para análise da metodologia proposta e avaliação do programa computacional desenvolvido para implementação do modelo.

O modelo para estimar as VTCDs tem como referência os seguintes parâmetros:

- Dados estatísticos de taxas médias de falhas por ano dos alimentadores da rede de distribuição: taxas já indicadas em trabalhos anteriores (BOLLEN, 2000; FONSECA,

1999; HEINE; LEHTONEN, 2003) para se estimar a quantidade de faltas, ou VTCDs, que ocorrem num sistema durante o ano. Observar que neste trabalho foi utilizado o valor médio de falhas para cada alimentador do sistema, valor que caracteriza a média de um conjunto de dados que retratam o histórico de ocorrências de faltas no sistema nos últimos anos. Este valor médio é um dado estatístico que pode ser associado a um desvio padrão e um erro. Caso isto fosse considerado, a convergência dos resultados se tornaria um pouco mais complexa;

- Aleatoriedade dos pontos de ocorrência das faltas ao longo da extensão dos alimentadores da rede: Esta consideração foi devido a associação destes com as falhas provenientes de descargas atmosféricas, cuja ocorrência tem caráter aleatório. Esta variação de posição das faltas influencia diretamente os valores da VTCD, depressão de tensão e da sua duração no ponto de observação. O objetivo aqui é construir através de simulações um histórico de desempenho do sistema frente a este distúrbio. Esta distribuição é obtida para faixas específicas de valor de depressão de tensão e duração dos eventos de VTCD, que será vista posteriormente.

A implementação da metodologia proposta está condicionada às ferramentas computacionais adotadas.

3.2.1 Modelo para Caracterização das VTCDs

O modelo tem como premissa: VTCDs tem origem nas faltas ocasionadas na rede de distribuição motivadas pelas descargas atmosféricas, fenômeno de caráter aleatório, associadas a taxa média de falha do sistema (BOLLEN, 2000).

O fenômeno estudado é tipicamente um processo estocástico, fenômeno que varia em algum grau, de forma imprevisível, a medida que o tempo passa (CLARKE; RALPH, 1979; PAPOULIS, 1991). A imprevisibilidade nesse caso, implica que se observou uma seqüência de tempo inteiro do processo em diversas ocasiões diferentes sob condições presumivelmente idênticas e as seqüências resultantes foram em geral diferentes. Assim, a probabilidade aparece mas, não no sentido de que cada resultado de uma experiência aleatória determina um único número. Ao invés, a experiência aleatória determina o comportamento do sistema para uma seqüência ou intervalo de tempo inteiro. Isto é, o resultado da experiência aleatória é uma seqüência ou série de valores, uma função e não apenas um número (QADER; *ET. AL.*, 1999; CLARKE; RALPH, 1979; PAPOULIS, 1991).

Da definição acima e comparando com o processo a observação será de um ano (taxa

média de falha da rede de distribuição por ano) e as simulações a serem realizadas representarão as observações ao longo de um ano. O estudo de processo por métodos estocásticos tem sido indicado em várias bibliografias (BOLLEN, 2000; FONSECA, 1999; ALVES; COSTA, 2003), porém sem muito detalhamento das etapas envolvidas. O fator considerado estocástico nestes casos é a taxa média de falha dos alimentadores, por tipo de curto circuito, obtido de um longo período de observação. Sendo que normalmente não há informações da localização de onde ocorreram as falhas.

Ocorre que a estimação das características das VTCDs no PAC depende do local de ocorrência dos curtos circuitos na rede.

A metodologia propõe a inclusão de mais um fator estocástico no estudo, que é a distribuição aleatória das faltas ao longo da extensão de rede, em consonância com a premissa do modelo. E o resultado será várias seqüências de valores que indicará o comportamento do sistema para o fenômeno.

3.2.2 Descrição da Metodologia

A metodologia proposta é através de simulação de ocorrências de falhas no sistema de distribuição de energia elétrica com atribuição dos pontos de faltas na rede de distribuição por sorteio. Sendo que as faltas estarão localizadas entre 0 e 100% do comprimento do trecho de rede. Para cada ponto de falha calcula-se as: correntes de falta, as tensões pós-falta no PAC e a duração da falta. Sendo que as correntes de falta são determinadas pelas ferramentas utilizadas nos cálculos de correntes de curtos circuitos das análises do sistema elétrico de potência. As tensões de pós-falta no PAC através do método de tensões nodais na ocorrência de curto circuito no sistema. E a duração da falta, tempo de eliminação do curto circuito, determinada pelo tempo de atuação do dispositivo de proteção para a respectiva corrente de falta.

As simulações de curto circuito no sistema são correspondentes a um ano de funcionamento do sistema em consonância com sua taxa de falha (interrupção/ano).

A metodologia adota a simulação computacional como implementação do modelo.

“Softwares” empregados na metodologia:

- MATLAB (Marca registrada da The MathWorks Inc) para simulação computacional;
- Microsoft Excel (Marca registrada da Microsoft Corporation) para tratamento e

organização e exposição dos resultados da simulação.

Como resultado da simulação são dados os pares ordenados; amplitude da VTCD e sua respectiva duração, classificados em faixas convenientes para análise do distúrbio.

3.2.3 Determinação da Estimativa da VTCD no PAC

Para a determinação dos eventos de VTCDs no PAC deve-se simular uma quantidade de defeitos relativa a “n” anos de funcionamento do sistema para apuração, tendo como referência a quantidade média de interrupções acidentais por ano do sistema, sendo a escolha dos pontos de defeito realizada de maneira aleatória.

Admite-se que a taxa de falha do alimentador (número de falhas/km/ano), igual para todo o trecho de rede e proporcional ao comprimento do trecho envolvido. Desta forma, a quantidade de defeitos imposta a cada trecho é proporcional a taxa de falha do respectivo alimentador em função do comprimento de trecho considerado.

Para determinação das VTCDs consideram-se as faltas que ocorrem no próprio alimentador, onde está o ponto, e a influência de falhas que ocorrem em outros alimentadores pertencente ao sistema, ou seja nos alimentadores contíguos que compartilham a mesma barra do transformador na subestação.

Neste estudo considerou-se:

- Interrupção, quando a falta ocorrer no mesmo trecho de alimentador onde se encontra o ponto de observação;
- VTCDs ou depressão de tensão, quando os pontos referenciais de avaliação estão localizados a montante do dispositivo de proteção.

Para a estimativa das VTCDs no PAC adota-se a rotina:

- Elaboração do diagrama unifilar do sistema a ser estudado;
- Elaboração do diagrama equivalente de impedâncias de seqüência dos componentes do sistema;
- Escolha do ponto referencial de observação;
- Definição percentual do tipo de defeito a ser atribuídos ao sistema;

- Definição da quantidade de defeito por tipo a ser atribuídos a cada trecho de rede;
- Definição da impedância de defeito;
- Escolha do ponto de ocorrência de defeito na rede;
- Cálculo da corrente de curto circuito no ponto de ocorrência da falha escolhida;
- Cálculo da tensão quando de defeito no PAC;
- Determinação do tempo de atuação da proteção a montante do defeito;
- Correlação da tensão mínima no PAC, duração e quantidade acumulada de eventos;
- Totalização dos eventos de Interrupções e VTCDs.

3.3 Sistema Elétrico a ser Analisado

3.3.1 Área Elétrica a Ser Trabalhada

A área a ser trabalhada é a área de abrangência elétrica dada pela subestação em 138 kV onde está inserido o ponto referencial de observação a ser estudado.

3.3.2 Levantamento de dados do sistema

Necessidade de ter em mãos o diagrama unifilar de implantação do sistema de distribuição de energia elétrica a ser trabalhado para a coleta de dados conforme abaixo:

- Sistema elétrico: Impedância equivalente de Thévenin do sistema elétrico visto da barra primária do transformador da subestação fonte;
- Subestações: Número de transformadores / potência elétrica do transformador / número de enrolamentos do transformador / tipo de conexão do transformador / impedância percentual do transformador / tensões disponíveis no transformador / alimentadores atendidos pelo transformador, e etc;
- Redes de distribuições: Comprimento da rede / número de fases do trecho de rede ou ramal / tipo de condutor utilizado / seção do condutor ou bitola / taxa de falha do alimentador, e etc;
- Sistemas de proteção: Tipo de proteção utilizado / ajustes / religamentos, e etc.

3.3.3 Diagrama de Impedâncias de Seqüência dos Componentes do Sistema

De posse do diagrama unifilar do sistema elabora-se o circuito equivalente dos componentes do sistema através do diagrama de impedâncias de seqüência positiva, negativa e zero, de forma monofásica para análise do circuito.

3.3.4 Método das Componentes Simétricas

No modelo considerou-se para análise de circuito a adoção do sistema elétrico trifásico pela ocorrência de defeitos assimétricos onde as correntes e tensões deixam de exibir a simetria trifásica. Acresce que, não sendo nula a soma das correntes nas três fases, existirá uma corrente de neutro, que se fecha pela terra (De OLIVEIRA et al., 2000; STEVENSON, 1978; KINDERMANN, 1992).

Para a análise de circuito quando de defeitos na rede recorreu-se ao Teorema de “Fortescue” “Método de componentes simétricos aplicado a solução de circuitos polifásicos”, onde um sistema trifásico assimétrico ou desequilibrado pode ser decomposto e representado por três sistemas trifásicos de três sistemas de fasores simétricos ou equilibrados de mesmo módulo e igualmente defasados denominados de componentes simétricas de seqüência positiva, negativa e zero (De OLIVEIRA et al., 2000; STEVENSON, 1978).

3.3.5 Falhas no Sistema Elétrico

Abaixo algumas definições quanto aos tipos de defeito:

- Defeitos temporários: Defeitos que são sanados pela interrupção e restabelecimento do suprimento através da atuação do religador automático, pelo religamento automático, ou da chave repetidora, equipamento composto de 3 chaves fusíveis por fase, religamento automático dado pela habilitação da chave fusível subsequente quando da queima do elo, não sendo necessária a intervenção da equipe de manutenção. Como no caso ramos de árvores que por efeito do vento ocasionam a abertura de arco elétrico entre as fases do alimentador. Existindo a montante do ponto de defeito uma chave repetidora, a sua atuação possibilitará a interrupção do arco desenvolvido e o restabelecimento da rigidez dielétrica do meio;
- Falha momentânea - FM: Interrupções cuja duração é menor que 3 minutos;

- Defeitos permanentes: Defeitos que somente são corrigidos pela intervenção da equipe de manutenção, como a queima de uma cruzeta, perfuração de um isolador, e etc.

Observação: Quando a proteção de retaguarda do alimentador estiver com o religamento automático habilitado, em geral, este procedimento beneficia todos os tipos de consumidores ligados a ele. Com este recurso parte das interrupções permanentes do alimentador, dadas pela taxa de sucesso do religamento, passarão a fazer parte das estatísticas de interrupções de curta duração, reduzindo-se dessa forma a proporção das interrupções de longa duração dos alimentadores.

3.4 Frequência de Ocorrência de Eventos de VTCDs

A quantidade de eventos associados as VTCDs no sistema está relacionada com o número de ocorrência de defeitos que acontecem no sistema ou seja, com suas taxas médias de falhas, quantidade média de interrupções acidentais por ano dos alimentadores que o compõem. Estes valores poderão ser obtidos diretamente da concessionária ou em bibliografias referentes ao assunto. Com isso, para estimação das características das VTCDs serão necessárias as simulações de um ano de ocorrências de defeitos. É importante ressaltar que quanto mais confiáveis estes dados, mais significativos serão os resultados das simulações. A tabela E.1 a E.11 apresenta, a título de exemplo, a taxa média de falhas por ano, número médio de interrupções por ano, de alimentadores que compõem um sistema elétrico.

Determina-se a quantidade de defeitos a ser alocada, imposta, em cada trecho de rede, tronco e ramais, do alimentador estudado conforme equação 3.1 (BOLLEN, 2000) podendo também ser proporcionalizados por tipos de defeitos como curto circuito fase à terra, dupla fase, dupla fase a terra e trifásicos.

$$Num_{FALTAS} = \tau \cdot l \quad (3.1)$$

Sendo:

Num_{FALTAS} : Quantidade de falta a ser atribuída ao trecho de rede considerado [falta/ano];

τ : Taxa de falha do alimentador [falta/km ano];

l : Comprimento do trecho de rede considerado [km].

3.5 Escolha dos Locais de Ocorrências das Falhas

Definido o sistema a ser estudado e as quantidades de faltas a serem alocadas em cada trecho de rede do alimentador considerado, equivalentes as respectivas taxas de falhas, distribuem-se os pontos de ocorrência dos curtos circuitos no alimentador, para simulação, de forma aleatória no intuito de melhor representar o processo de descarga atmosférica.

3.6 Processo de Simulação de Vários Anos

O modelo estatístico para realizar um estudo estocástico do sistema de forma a estimar e prever a caracterização dos eventos de VTCD, deverá ser adotado um processo de simulação de forma a contemplar o funcionamento de vários anos deste sistema.

Para realização de um estudo estocástico do sistema elétrico para estimação das características das VTCDs no sistema deve-se simular o equivalente a vários anos de funcionamento deste, de forma a fornecer distribuições estatisticamente mais representativas e estimativas mais confiáveis como resultado diminuindo desvios casuais que ocorrem quando do número reduzido de amostras e obter resultados mais fidedignos.

O objetivo é a construção de um histórico do sistema através das simulações para que um valor médio de ocorrências de VTCDs seja conseguido. Portanto são simulados “n” anos de funcionamento do sistema e a média de ocorrências é então estimada.

Para análise dos dados estes são organizados inicialmente em distribuições de frequência. Para cada ano simulado origina-se uma distribuição de frequência referente às ocorrências. A partir deste conjunto são obtidos os parâmetros estatísticos e então são calculados a média aritmética de ocorrências e o erro relacionado à estimativa desta média.

3.7 Cálculo da Corrente de Defeito

3.7.1 Corrente de Defeito

Para o sistema em estudo deverão ser simulados os tipos de curto circuito: fase à terra, dupla fase, dupla fase a terra e trifásico em todos os trechos de rede do sistema de forma aleatória para estimar a VTCD causada no ponto de observação. Para o cálculo das correntes de defeito utiliza-se das ferramentas de cálculo das correntes de curto circuito do sistema elétrico de potência.

3.7.2 Tipos de Defeitos

Na simulação deverá ser considerada a distribuição percentual a ser simulada de cada tipo de defeito com base nas estatísticas dos tipos de defeitos.

3.7.3 Definição da Impedância de Defeito

Na simulação deverá ser considerada a impedância de defeito nos cálculos das correntes de falta.

3.8 Determinação da Amplitude da VTCD, Depressão de Tensão, no Ponto Referencial de Observação

A metodologia proposta tem como objetivo o estudo do sistema de distribuição de energia elétrica.

O valor da depressão de tensão é calculado através das ferramentas de análise de curto circuito. Ou seja, para um defeito na rede, calcula-se a corrente de curto circuito no ponto e as correntes nos trechos. De posse das correntes nos trechos calcula-se as tensões nodais e dessa forma a tensão no ponto referencial de observação ou VTCD. Para a realização desta tarefa utilizou-se um programa computacional exclusivo em linguagem de programação MATLAB.

3.9 Determinação da Duração da VTCD

3.9.1 Proposição de Um Modelo para Determinação da Duração de Eventos de VTCD

Para determinação da duração de eventos de VTCD é necessário conhecer o sistema de proteção da área de abrangência do estudo, ou seja, todas as informações acerca dos dispositivos de proteção, de seus ajustes e dos estudos de coordenação e seletividade.

A duração do distúrbio é definida pelo tempo de extinção do defeito associado ao tempo de atuação dos dispositivos de proteção contra sobrecorrentes que fazem parte do sistema elétrico em estudo. Com essas informações permite-se a determinação do tempo de eliminação do curto circuito de forma exata quando de um defeito ao longo da rede.

Dentro deste contexto, este trabalho propõe o modelo: determinação da duração

dos eventos de VTCD através do tempo de atuação do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes do sistema.

Para proposição do modelo foi necessária a elaboração de uma metodologia para determinação do tempo de atuação do dispositivo de proteção que levasse em consideração a sua curva ajustada de atuação, conforme tabelas e figura do Apêndice C. Para a viabilização desta proposta determinou-se a função matemática relativa a curva de atuação do dispositivo de proteção ou seja, equação matemática que exprime o tempo de atuação do dispositivo de proteção em função da corrente de defeito. Tal equação foi determinada por aproximação através de polinômios com interpolação de dados nas séries de: “tempo” e “corrente” pelo método dos mínimos quadrados, correspondentes as curvas de atuação dado nas ordens de proteção de cada dispositivo de proteção do sistema para implementação do modelo de determinação da duração do evento de VTCD pela curva de atuação do dispositivo de proteção.

Através dessa modelagem tornou-se possível a utilização da função “tempo \times corrente” ajustada de cada dispositivo de proteção na simulação para determinação da duração dos eventos de VTCD quando de atuação deste para curto circuitos a sua jusante. Também nesta etapa utilizou-se um programa computacional em linguagem de programação MATLAB.

A determinação da duração do evento de VTCD é obtida da seguinte forma: Se o defeito ocorreu num trecho de rede entre as barras 23 e 24, o “software” calcula o curto circuito no ponto de ocorrência deste e determina o tempo de extinção do defeito dado pela corrente de falta através da curva de atuação ajustada do dispositivo de proteção a montante da falta.

A coordenação e seletividade entre os dispositivos de proteções deverão ser consideradas.

3.10 Estimação das Características das VTCDs

Para estimar a caracterização de eventos de VTCDs nos pontos correlacionam-se: quantidade acumulada de eventos de VTCDs (eventos/ano), depressão de tensão (% da tensão nominal) e a duração do evento de VTCD (ciclos ou segundos) quando da ocorrência de defeitos no sistema.

3.11 Simulação

Para predição do desempenho da carga ou processo da unidade consumidora em estudo frente aos distúrbios de VTCD que ocorrem no ponto de acoplamento da unidade, gráfico de coordenação, deverá ser realizada as simulações no sistema elétrico de distribuição de energia pertencente a unidade consumidora dentro de um cenário de distúrbios de VTCD conforme metodologia proposta no trabalho para subsidiar análises posteriores de avaliações financeiras de projetos que levem em conta as reduções de custo por compatibilidade de cargas sensíveis ou processo da unidade com as ocorrências de eventos de VTCD no sistema.

3.12 Determinação da VTCD de Forma Sistemática

3.12.1 Cálculo de Curto Circuito

Para simulações de curto circuito são necessários os dados referentes ao sistema a ser estudado. De posse desses dados deve-se trabalhá-los de forma a formatá-los conforme padrão de exigência da entrada de dados que o programa de determinação de VTCD requer.

Como mencionado anteriormente, o programa permite o cálculo de faltas em pontos intermediários de um trecho de rede. Esta característica é de fundamental importância para o estudo pois para estimar as características de uma VTCD, amplitude e duração, é necessário sabermos a posição da falta ao longo da rede. Devido as características do programa, este também, possibilita o estudo da amplitude e da duração da VTCD em função do deslocamento da falta ao longo da rede, conforme método da posição da falta.

Para o sistema a ser trabalhado deverão ser simulados os tipos de curto circuito: fase à terra, dupla fase, dupla fase à terra e trifásico em todos os trechos de rede do sistema de forma aleatória, sendo que inicialmente deverão ser determinados a distribuição percentual a ser simulada de cada tipo de defeito com base nas estatísticas de falha do sistema, bem como da impedância de defeito a ser considerada nos cálculos da corrente de falta.

Na simulação serão atribuídas falhas em todos os trechos de rede do sistema de forma aleatória sendo que estas quantidades estarão associadas a taxa de falha do respectivo alimentador proporcionalizados em relação ao comprimento do trecho.

Ou seja, após as simulações teremos o valor das correntes de falta em cada fase para todos os pontos e tipos de falta simulados.

Para simulação do tipo de defeito segue a rotina de cálculo:

Atribui-se um defeito em um trecho de rede de forma aleatória, calcula-se a corrente de curto circuito no ponto e as contribuições nos ramais. Em seguida é realizado o cálculo das tensões no ponto referencial de observação. Após esta etapa o programa executa o cálculo do tempo de atuação do dispositivo de proteção de sobrecorrente a montante do defeito para a respectiva corrente de curto circuito. Esta rotina no programa é executada até que se finde a quantidade de defeito alocada para o trecho de rede considerado e reiniciando os cálculos para o novo trecho de rede. E dessa forma para todas as faltas a serem simuladas ao longo do sistema. Estes passos são executados automaticamente pelo programa.

O programa acumula os resultados apurados, estimativa de VTCDs, de cada “loop” para cada trecho de rede e no final a saída de dados com os resultados em forma de tabela.

Após esta etapa estaremos com todos os dados da simulação para estimar caracterização das VTCDs no ponto de observação. Estes dados são iterativamente gravados em arquivos tipo texto quando o programa está em execução para posterior utilização. Para o sistema teremos arquivos por tipo de falta com os dados das correntes de falta, localização da falta, tensões de pós falta no ponto de observação e tempo de atuação do dispositivo de proteção.

3.12.2 Programação em Linguagem MATLAB

O programa tem como objetivo principal o de servir como ferramenta para a aplicação da metodologia proposta.

3.12.2.1 Características do programa e uso do MATLAB

Para implementação da metodologia o modelo utiliza os recursos do MATLAB (The Math Works Inc., 1997) nos cálculos. A opção pela utilização do MATLAB deu-se por ser um sistema interativo e de linguagem de programação e ferramenta de cálculo para computação técnica e científica em geral.

Este “software” tem na teoria matricial a sua concepção apresentando portanto, bom desempenho e facilidade para resolução de problemas que envolvem sistemas de equações

lineares (MATSUMOTO, 2002).

Esta linguagem de programação possibilita a construção de funções e programas especiais para utilização posterior sob forma de arquivos (MATSUMOTO, 2002). O MATLAB também possui funções pré-programadas para utilização que facilitam o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa (MATSUMOTO, 2002). Diante destas potencialidades, esta linguagem de programação torna-se atraente para desenvolvimento de trabalhos desta natureza.

O desenvolvimento do trabalho permitiu a geração de um programa computacional em MATLAB, conforme algoritmo demonstrado na 3.1, para implementação do modelo através de simulação em um estudo de caso.

3.12.2.2 Inserção dos dados no MATLAB

A entrada de dados no “software” (The Math Works Inc., 1997) é através de matrizes, em arquivos tipo texto, com os parâmetros elétricos do sistema conforme tabela 3.2.

3.12.2.3 Saída e construção do banco de dados

A saída de dados do MATLAB referente a simulação para determinação da estimativa de VTCD é dada por uma tabela em arquivo tipo texto, 'VTCDsag.txt', com diversos parâmetros formados por campos com objetivo de reunir todas as informações da simulação para posterior exportação dos dados conforme pela tabela 3.3.

3.13 Resultado Final - Demonstração da Tendência do Processo

Do arquivo tabela saída de dados, banco de dados de VTCD, os resultados serão organizados em subconjuntos com características similares. Os dados agrupados serão resumidos em tabelas. O método utilizado para esta organização é a Distribuição de Frequência, Método de grupamento de dados em classes, ou intervalos, de tal forma que se possa determinar o número, ou a porcentagem, frequência, de cada classe, para melhor visualizar o conjunto de números. Os intervalos da distribuição de frequência serão estabelecidos para as variáveis; valor da depressão de tensão e duração do distúrbio, e posteriormente enquadrados em intervalos pré-estabelecidos mediante contagem. O resultado da contagem de eventos de VTCDs, por intervalo, deverá ser apresentado em forma de:

Tabela 3.1: Algoritmo do processo para estimar a VTCD.

<p>1. Início</p> <p>2. Entrada de dados – dados do circuito</p> <ul style="list-style-type: none"> · Número de barras do sistema · Matriz com informação do tipo de proteção existente em cada derivação de ramal · Matriz informação da existência de proteção nos ramais · Matriz impedância de componentes de seqüência dos ramais · Matriz informação se intervalo entre barras é alimentador, tronco e/ou ramal, do sistema · Matriz informação da quantidade de defeito/ano de cada alimentador (tronco e/ou ramal) · Número de defeitos/ano do alimentador, tronco e/ou ramal, por tipo de falha · Quantidade de defeitos por tipo no ramal - Número de iterações (Loop) · Impedância de defeito <p>3. Execução de funções</p> <ul style="list-style-type: none"> · Construção da matriz coluna de tensão de pré falta de seqüência nas barras · Determinação do local de defeito no alimentador por sorteio · Construção da matriz impedância de seqüência com a barra de defeito · Construção da matriz admitância nodal de seqüência com a barra de defeito · Construção da matriz impedância nodal de seqüência com a barra de defeito · Cálculo da corrente de defeito de seqüência por tipo de defeito na barra de defeito · Construção da matriz impedância de seqüência na barra de defeito · Cálculo das quedas de tensões de seqüência quando de curto circuito · Cálculo das tensões de seqüência nas barras quando de curto circuito · Cálculo das tensões de fase nas barras quando de curto circuito · Cálculo das tensões de referência quando de curto circuito: Tensão mínima e máxima na barra 34 da SE mais próxima / tensão mínima e máxima na barra 13 da SE onde está inserido o ponto de observação / tensão mínima e máxima na barra de observação · Cálculo das correntes de seqüência nos ramos, entre os nós, quando de curto circuito · Cálculo das correntes de fase nos ramos, entre os nós, quando de curto circuito · Cálculo da corrente de pick up na barra de proteção a montante do ramal · Verificação da existência de proteção no ramal com defeito · Determinação do tempo de atuação da proteção: <ul style="list-style-type: none"> Ramal com proteção: Verifica tipo de proteção do ramal e calcula o tempo de atuação Ramal sem proteção: Verifica tipo de proteção a montante e calcula o tempo de atuação <p>Retorna para item execução para repetição do procedimento até o n-ésimo sorteio determinado</p> <p>4. Saída de dados</p> <ul style="list-style-type: none"> · Coordenada do trecho de rede correspondente - (g,h) · Seqüência de defeito atribuído no trecho - Loop · Número de defeito atribuído para o trecho - NdefFT (g,h) · Tensão mínima da fase na barra 34,5 kV na subestação - Vftmin Barra34 · Tensão máxima da fase na barra 34,5 kV na subestação - Vftmax Barra34 · Tensão mínima na barra 13,8 kV na subestação - Vftmin Barra13 · Tensão máxima na barra 13,8 kV na subestação - Vftmax Barra13 · Tensão mínima no ponto referencial de observação - Vftmin Observação · Tensão máxima no ponto referencial de observação - Vftmax Observação · Tempo de extinção do defeito - Tft Final · Corrente de pick up de fase - Ipck Fase · Corrente de pick up de Neutro - Ipck Neutro <p>5. Fim</p>
--

- Gráfico de barra em 3D para avaliação de VTCD no ponto referencial de observação correlacionando-se a: “Quantidade acumulada de eventos de VTCDs (even-

Tabela 3.2: Entrada de dados no MATLAB.

<ul style="list-style-type: none"> • Número de barras do sistema, trecho de rede: Arquivos: <i>'NumeroBarrasM.txt' e 'NumeroBarrasN.txt'</i>; • Matriz informa existência de proteção no trecho de rede (entre barras): Arquivo: <i>'ProtecaoRamais.txt'</i>; • Matriz informa tipo de proteção no trecho de rede (entre barras): Arquivo: <i>'TipoProtecao.txt'</i>; • Matriz impedância de seqüência positiva do sistema: Arquivo: <i>'ImpSeqPositiva.txt'</i>; • Matriz impedância de seqüência negativa do sistema: Arquivo: <i>'ImpSeqNegativa.txt'</i>; • Matriz impedância de seqüência zero do sistema: Arquivo: <i>'ImpSeqZero.txt'</i>; • Matriz informa intervalo é trecho de rede do sistema (entre barras): Arquivo: <i>'Alimentador.txt'</i>; • Matriz número de defeito/ano do trecho de rede: Arquivo: <i>'DefeitoAnoAlimentador.txt'</i>; • Matriz número de defeitos/ano do alimentador por tipo de falha: Arquivos: <i>'NumeroDefeitoAnoFT.txt', 'NumeroDefeitoAnoFF.txt',</i> <i>'NumeroDefeitoAnoFFT.txt' e 'NumeroDefeitoAnoFFF.txt'</i>

Tabela 3.3: detalhamento da saída de dados do programa através de arquivo tipo texto: 'VTCDSag.txt.

<ul style="list-style-type: none"> • Coordenada do trecho de rede correspondente - (g,h); • Seqüência de defeito atribuído no trecho – Loop; • Número de defeito atribuído para o trecho – NdefFT (g,h); • Tensão mínima da fase na barra 34,5 kV na subestação fonte – Vftmin Barra34; • Tensão máxima da fase na barra 34,5 kV na subestação fonte – Vftmax Barra34; • Tensão mínima na barra 13,8 kV na subestação – Vftmin Barra13; • Tensão máxima na barra 13,8 kV na subestação – Vftmax Barra13; • Tensão mínima no ponto referencial de observação – Vftmin Observação; • Tensão máxima no ponto referencial de observação – Vftmax Observação; • Tempo de extinção do defeito – Tft Final; • Corrente de pick up de fase – Ipck Fase; • Corrente de pick up de Neutro – Ipck Neutro.
--

tos/ano)”, “Valor da depressão de tensão (pu)” e a “Duração do evento de VTCD (ciclos e/ou segundos)”;

- Gráfico de coordenação das curvas de suportabilidade a VTCD dos equipamen-

tos suscetíveis ao distúrbio da unidade com as estimativas das características das VTCDs no ponto referencial de observação.

Sendo que na confecção destes gráficos serão utilizados os aplicativos do Excel e do MATLAB para melhor interpretação e análise dos resultados.

3.14 Considerações Finais

Neste capítulo apresentou-se a metodologia de um modelo de estimativa de VTCDs em redes de distribuição de média tensão a ser aplicada no sistema elétrico de distribuição de energia elétrica para determinação de VTCD passíveis de ocorrência no ponto acoplamento da unidade consumidora com a rede de distribuição energia de média tensão, objeto de avaliação e estudo.

4 Simulação - Avaliação de VTCDs na Rede de Distribuição

4.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado um estudo de caso cujo principal objetivo é aplicar a metodologia proposta no capítulo 3.

A intenção é explorar ao máximo as possibilidades abertas pela metodologia proposta, visando demonstrar a potencialidade da mesma.

Apresentaremos o sistema para o estudo de caso, descrição da área elétrica ou circuito a ser estudado, considerações, criação de modelos, condições de contorno para geração do modelo simplificado para simulação, os resultados obtidos, e demais informações a serem retiradas dos dados disponíveis do programa computacional gerado exclusivamente para implementação do modelo em linguagem MATLAB para subsidiar análises posteriores de avaliação de projetos de mitigações dos efeitos de VTCD no processo industrial em referência.

4.2 Simulação de Circuito

4.2.1 Sistema em Estudo

O desenvolvimento dos estudos de simulação tem como referência o sistema elétrico de potência localizado na região norte do Paraná, com área aproximada de 1.550 km², figuras 4.1 e 4.2. O fornecimento de energia elétrica a região é feito pela subestação (SE) de Bela Vista do Paraíso - 20,83 MVA - 138/34,5/13,8 kV, alimentada em configuração radial a partir da SE de Astorga.

Região de unidades industriais cujo ramo de atividade é a transformação de produtos de origem agrícola.

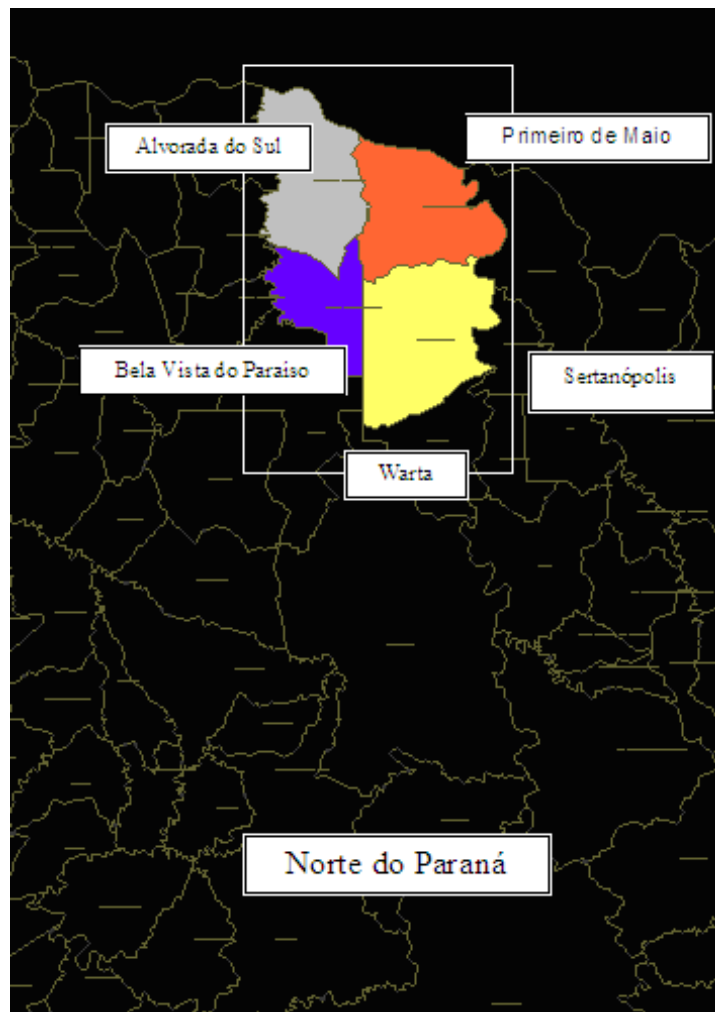


Figura 4.1: Área de abrangência do trabalho.

O trabalho tem como ponto referencial de observação, para caracterização das VTCDs, o PAC de uma unidade consumidora industrial conectada no alimentador Taboca - 13,8 kV da SE de Sertanópolis - 34,5/13,8 kV.

A escolha deste sistema para o desenvolvimento dos estudos, figura 4.2, deu-se pelo fato que o mesmo apresenta:

- A tipologia padrão de rede de distribuição da COPEL;
- Topologia desfavorável aos fenômenos de VTCD, configuração radial, por apresentar valores de depressões de tensões mais severos;
- Possuir unidades industriais com processos suscetíveis aos distúrbios de VTCDs.

Do cadastro da concessionária de energia extraiu-se a planta de implantação do sistema

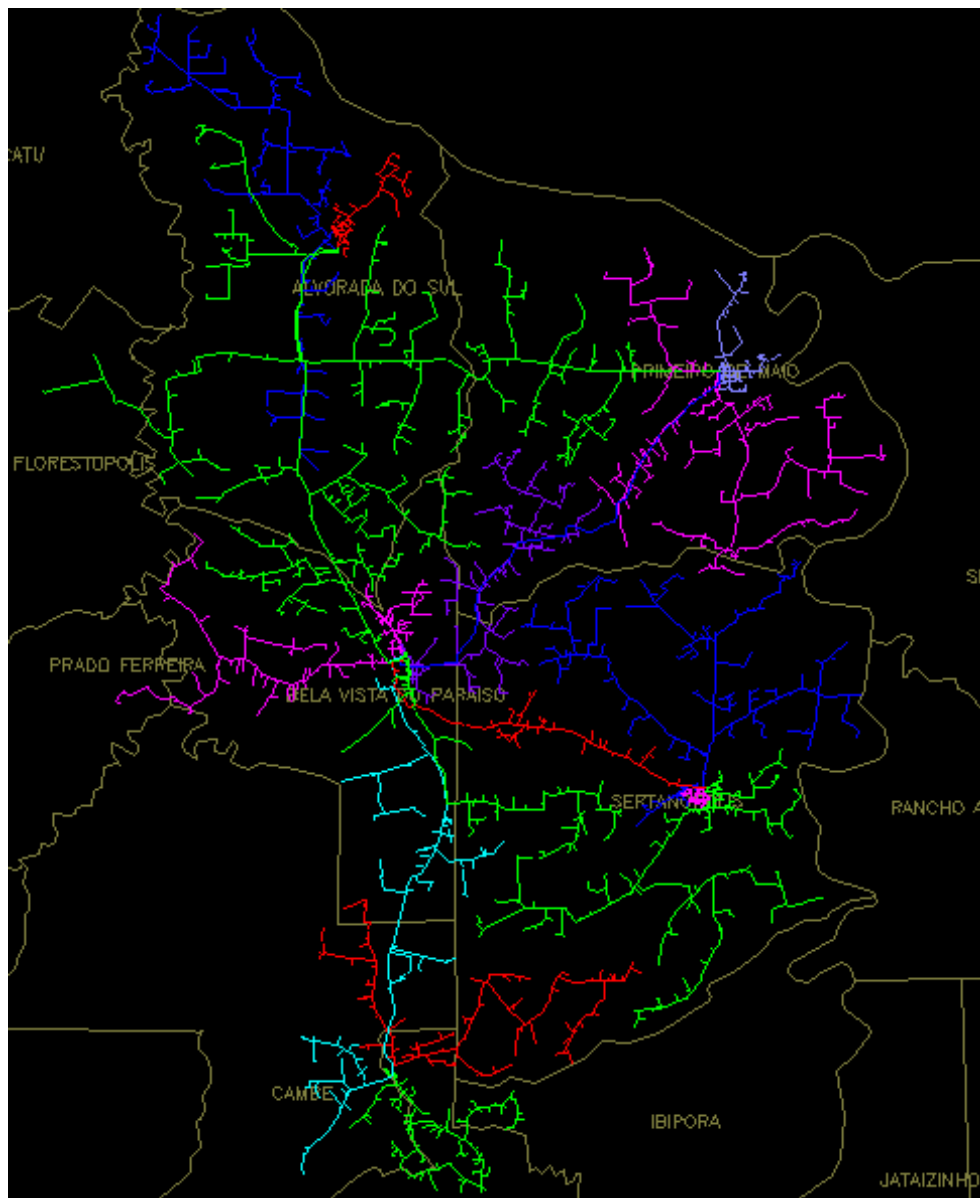


Figura 4.2: Área de abrangência da SE Bela Vista do Paraíso.

elétrico de abrangência da SE Bela Vista do Paraíso onde realizou os estudos iniciais de levantamento dos parâmetros físicos do sistema, das subestações e alimentadores.

Em seguida criou-se o sistema de distribuição simplificado, com redução da área elétrica de abrangência, para limitar a quantidade de cálculos e contribuir na redução do tempo de processamento computacional da simulação.

Para o desenvolvimento da topologia de rede foram realizadas as seguintes ações:

- Foram desconsiderados os alimentadores pares semelhantes por classe de tensão da respectiva subestação, uma vez que as influências destes poderão ser representadas

pelos que foram mantidos pela sua semelhança e características elétricas;

- Foram desconsideradas as subestações pares semelhantes por classe de tensão, uma vez que as influências destas poderão ser representadas pelos que foram mantidos pela sua semelhança e características elétricas.

4.3 Circuito Utilizado na Simulação

Do sistema de distribuição simplificado originou-se o circuito a ser simulado com as seguintes considerações:

- Desprezaram-se ramais menores que 10% do comprimento total do alimentador;
- Alimentadores como sendo rede trifásica, pelo tipo de defeito a ser atribuído neste trabalho que é a falta fase à terra.

O circuito a ser simulado é o apresentado na figura 4.3. O circuito tem caráter didático com dados característicos de um sistema real.

4.4 Valores Utilizados

Na simulação utilizaram-se valores conhecidos que atendem as considerações do capítulo 2. A seguir os dados utilizados na simulação.

4.4.1 Condutores Elétricos

Para as impedâncias dos condutores foram consideradas as tabelas A.1 e A.2 do Anexo A.

4.4.2 Transformadores

Na simulação não foi considerado o deslocamento angular de 30^0 entre as correntes primárias e secundárias no caso de transformadores com ligação estrela-delta (KINDERMANN, 1992).

Para elaboração do diagrama equivalente de impedâncias de seqüência zero dos transformadores foram considerados os tipos de ligações dos enrolamentos, da conexão, forma

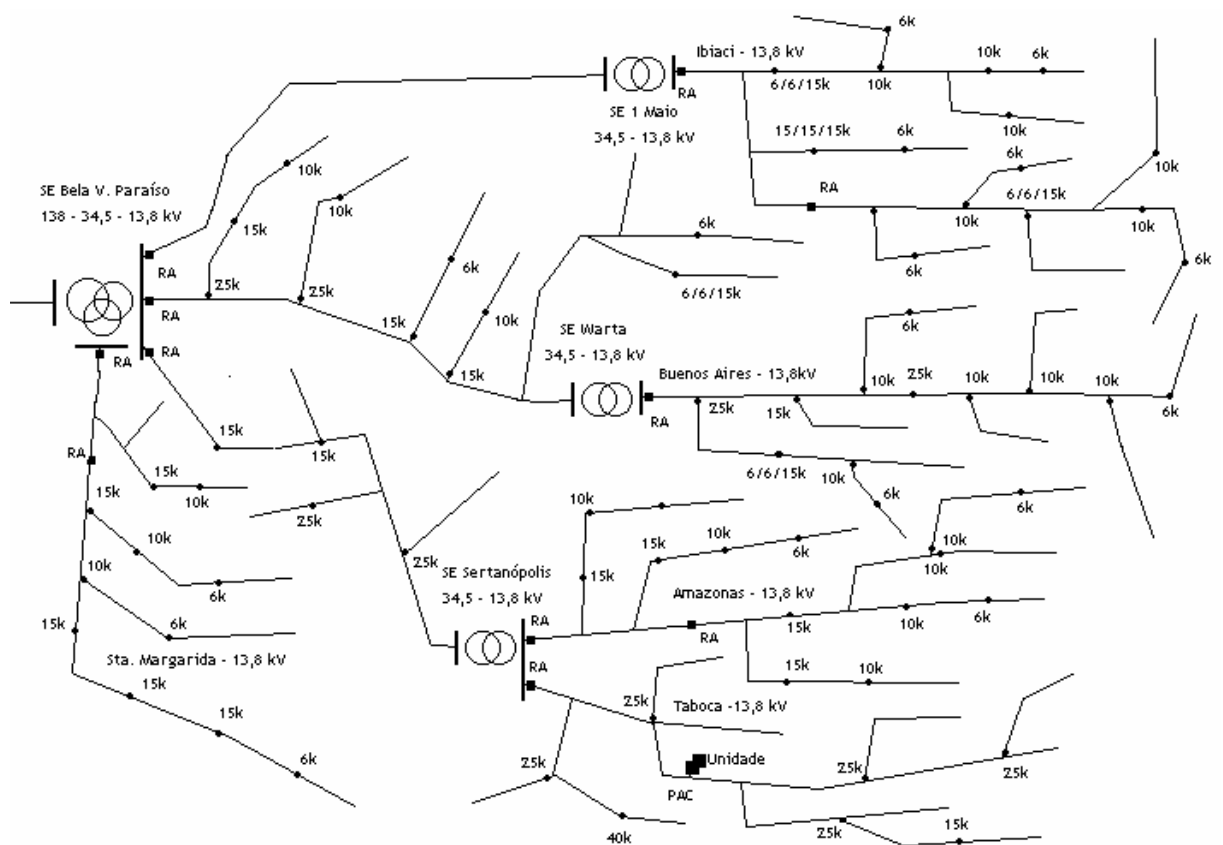


Figura 4.3: Circuito a ser utilizado na simulação.

do núcleo, bem como das ligações do neutro à terra (STEVENSON, 1978). Visto que conforme o tipo de ligação dos transformadores as correntes de seqüência zero estarão impedidas de circular pela ausência de ligação do neutro à terra conforme referência (De OLIVEIRA et al., 2000; STEVENSON, 1978; KINDERMANN, 1992).

Para a caracterização dos transformadores na simulação adotou-se os dados da tabela B.1 do Anexo B.

4.4.3 Diagrama de Impedâncias de Seqüência do Circuito a Ser Simulado

Os diagramas de impedâncias de seqüência dos componentes do circuito equivalente do sistema a ser utilizado na simulação pelo processo sistematizado de cálculo são os apresentados nas tabelas C.1 e C.2.

4.5 Caracterização da Falta

4.5.1 Falta Utilizada na Simulação

Para atribuir a quantidade de falta nos trechos de rede para simulação proporcionalizou-se a taxa de falha, quantidade média de interrupções acidentais por ano, dos alimentadores do sistema conforme tabela E.1, em relação ao comprimento do trecho de rede considerado do respectivo alimentador.

O defeito utilizado na simulação para determinação da estimativa da caracterização de VTCDs foi a falta assimétrica tipo curto circuito fase à terra por representar a maioria das ocorrências de defeitos da rede distribuição tendo como referência o seu percentual de falha.

Para determinação das correntes de defeito, curto circuito fase à terra, nos pontos sorteados, adotou-se para impedância de defeito o valor de 13,33, valor também adotado pela concessionária para obtenção de valores reduzidos de correntes de curtos circuitos fase à terra (COPEL, 1989).

4.5.2 Determinação dos Pontos de Ocorrências das Faltas

Os pontos foram determinados por sorteios, através de um gerador de números aleatórios compreendidos entre $[0,1]$, sendo que a posição ou local de cada falta é dado pelo produto do número aleatório gerado com o respectivo comprimento de trecho de rede considerado.

4.5.3 Cálculo da Corrente de Falta

Para o cálculo da corrente de defeito foram desprezadas as ligações das cargas e admitiu-se o valor de 1,0 pu para as tensões pré-falta no alimentador.

4.5.4 Determinação da Duração da VTCD

Para a determinação da duração dos eventos de VTCDs, tempo de atuação do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes, considerou-se o estudo de proteção do sistema e que a proteção atuará conforme os ajustes considerados nas ordens de proteção do sistema, tabelas de C.1 a C.12 do Anexo C, e curvas dos elos fusíveis, figura C.1 do Anexo C. Sendo o escopo deste estudo as estimativas de VTCDs, as interrupções de energia elétrica no sistema não foram abordadas, portanto, os religamentos automáticos dados

pelos religadores não foram considerados no estudo.

Para implementação do modelo proposto pelo trabalho; determinação da duração dos eventos de VTCDs através dos tempos obtidos das curvas de atuação dos dispositivos de proteção, gerou-se funções correspondentes a curvas de atuação do dispositivo de proteção através da interpolação de pontos com aproximação por polinômios de ordem 3.

A coordenação e seletividade entre os religadores automáticos (proteção de retaguarda do alimentador) e elos fusíveis de ramais foram considerados; quando a curva rápida dos religadores encontra-se habilitada considerou-se inicialmente a sua atuação para as faltas e apresentando-se como proteção de retaguarda para os casos em que a curva rápida encontrava-se desabilitada com eliminação das faltas nos ramais por elos fusíveis instalados na derivação das mesmas.

Assim a duração do distúrbio foi determinada através das curvas “tempo \times corrente” dos dispositivos de proteção a montante do ponto de defeito sorteado.

4.5.5 Cálculo da Amplitude da VTCD no Ponto Referencial de Observação

Para a determinação da amplitude da tensão no ponto referencial de observação, em condições de defeito admitiu-se VTCD retangulares, desprezando eventuais efeitos de motores nas VTCDs e as tensões de pré-falta como iguais a 1,0 pu.

5 Análise dos Resultados

5.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados e demais informações da simulação realizada no circuito apresentado no capítulo 4.

O resultado é a predição por estimativa da caracterização das VTCDs passíveis de ocorrência no PAC no período de um ano através da determinação dos seguintes parâmetros:

- Amplitude ou depressão de tensão quando de distúrbios de VTCDs;
- Duração das ocorrências dos eventos de VTCDs;
- Quantidade acumulada de eventos de VTCDs.

A predição da distribuição de VTCDs no PAC permite o estudo da compatibilidade das cargas suscetíveis a VTCDs da unidade consumidora que se encontra no ponto com a rede de suprimento de energia elétrica quanto as VTCDs.

A análise da compatibilidade poderá ser realizada mediante comparação dos parâmetros estimados com a suportabilidade das cargas a VTCD possibilitando a avaliação de seu desempenho frente ao distúrbio.

Os estudos teóricos de simulação justificam a viabilidade e aplicabilidade prática desta metodologia na predição das VTCDs em um determinado ponto de referencial da rede de distribuição de energia elétrica.

5.2 Desenvolvimento da Simulação

O circuito e as condições de contornos utilizados na simulação foram descritos anteriormente.

O “software” utilizado na simulação para estimar as caracterizações de VTCDs no PAC foi o MATLAB.

5.3 Resultados de Simulação

As tabelas E.1 a E.11 do Anexo E mostram os resultados da simulação.

O resultado final do trabalho é apresentado em forma de matriz e gráficos. Para representação gráfica dos resultados utilizaram-se as planilhas eletrônicas do EXCEL e aplicativos do MATLAB.

As figuras e tabelas foram originadas através do tratamento dos dados das tabelas E.1 a E.11 do Anexo E. A tabela 5.1 e figura 5.1 apresentam o resultado da simulação, predição das VTCDs passíveis de ocorrência no PAC considerado para o período de um ano.

A simulação demonstra que o ponto de observação em estudo estará sujeito a 531 eventos/ano decorrentes de faltas no sistema, dos quais 39 serão de interrupções no fornecimento de energia e 492 serão de VTCDs e distribuídas da seguinte forma conforme tabela 5.1:

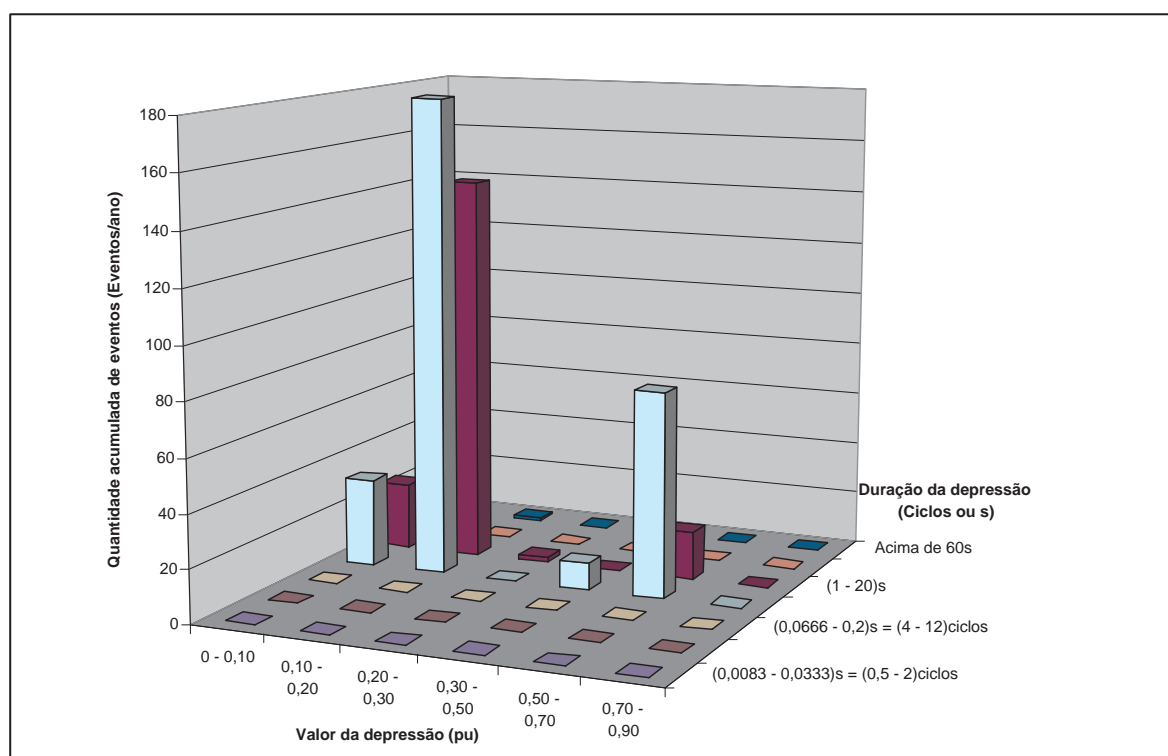
- Depressão de tensão de 0 a 10%: 33 eventos/ano com duração de 0,2 a 1 s e, 25 eventos/ano com duração de 1 a 20 s;
- Depressão de tensão de 10 a 20%: 180 eventos/ano com duração de 0,2 a 1 s e, 146 eventos/ano com duração de 1 a 20 s;
- Depressão de tensão de 20 a 30%: 2 eventos/ano com duração de 1 a 20 s;
- Depressão de tensão 30 a 50%: 10 eventos/ano com duração de 0,2 a 1 s;
- Depressão de tensão de 50 a 70%: 77 eventos/ano com duração de 0,2 a 1 s e, 18 eventos/ano com duração de 1 a 20 s.

Na tabela 5.1 as interrupções ocorridas no PAC estão indicadas em “Interrupção de curta duração” e “Interrupção de longa duração”.

A figura 5.1 é a tabela 5.1 em forma de gráfico 3D com a predição dos eventos de VTCDs passíveis de ocorrência no PAC correlacionando a “Quantidade acumulada de eventos de VTCDs (eventos/ano)”, “Valor da depressão de tensão (em pu)” e a “Duração dos eventos de VTCDs (ciclos e/ou segundos)”.

Tabela 5.1: Quantidade de VTCDs no ponto referencial de observação (Eventos/ano).

Depressão	0 - 10%	10% - 20%	20% - 30%	30% - 50%	50% - 70%	70% - 90%
$(0,0083 - 0,0333)s = (0,5 - 2)$ ciclos	0	0	0	0	0	0
$(0,0333 - 0,0666)s = (2 - 4)$ ciclos	0	0	0	0	0	0
$(0,0666 - 0,2)s = (4 - 12)$ ciclos	0	0	0	0	0	0
$(0,2 - 1)s = 200ms - 1s$	33	180	0	10	77	0
$(1 - 20)s$	25	146	2	0	18	0
$(20 - 60)s$	0	0	0	0	0	0
Acima de 60s	0	1	0	0	0	0
Total Eventos	58	327	2	10	95	0
Quantidade de evento / ano	531					
Depressão 90%-100%	0					
Interrupção de curta duração	0					
Interrupção de longa duração	39					

**Figura 5.1:** Gráfico de barra em 3D das VTCDs passíveis de ocorrência no ponto referencial de observação.

O gráfico da figura 5.1 apresenta duas faixas de concentração de eventos associados a atuação dos dispositivos de proteção; as rápidas pela atuações dos religadores automáticos pelas curvas rápidas e elos fusíveis dos ramais de derivação e as lentas pela atuações dos religadores de forma temporizada face a condição de coordenação das proteções religadores × fusíveis.

Observa-se também, na figura 5.1, que a maioria dos eventos apresentam uma depressão de tensão de até 20%.

Estes valores são devidos as impedâncias de curto circuito que estabelece baixos níveis de curtos circuitos. As VTCDs mais severas são as motivadas pelas faltas que ocorrem nos pontos mais longínquos das SEs.

As tabelas 5.2, 5.3 e 5.4 a seguir mostram através da área hachurada as quantidades de eventos de VTCDs passíveis de ocorrência na unidade conectada no ponto referencial, ao ano, que acarretam disfunções e/ou desligamentos em alguns equipamentos desta.

A tabela 5.2 apresenta, área hachurada, 105 disfunções passíveis de ocorrência ao ano nos computadores da unidade (19,77% das VTCDs/ano) distribuídos em função da depressão de tensão. Resultado obtido da análise de compatibilidade da predição dos eventos de VTCD passíveis de ocorrência na unidade com a curva de suportabilidade dos computadores.

Tabela 5.2: Eventos de VTCDs que causam disfunções em computadores no ponto de observação (Eventos/ano).

Depressão	0 - 10%	10% - 20%	20% - 30%	30% - 50%	50% - 70%	70% - 90%
(0,0083 - 0,0333)s = (0,5 - 2)ciclos	0	0	0	0	0	0
(0,0333 - 0,0666)s = (2 - 4)ciclos	0	0	0	0	0	0
(0,0666 - 0,2)s = 4ciclos - 200ms	0	0	0	0	0	0
(0,2 - 1)s = 200ms - 1s	33	180	0	10	77	0
(1 - 20)s	25	146	2	0	18	0
(20 - 60)s	0	0	0	0	0	0
Acima de 60s	0	1	0	0	0	0
Total Eventos	58	327	2	10	95	0
Quantidade de "Sags" sem parada	387					
Parada / "Sags".ano	105 (19,77%)					
Parada / ano	144 (27,12%)					

A tabela 5.3 apresenta, área hachurada, 134 desligamentos passíveis de ocorrência ao ano nos contadores da unidade (81,73% das VTCDs/ano) distribuídos em função da depressão de tensão. Resultado obtido da análise de compatibilidade da predição dos eventos de VTCD passíveis de ocorrência na unidade com a curva de suportabilidade dos contadores.

A tabela 5.4 apresenta, área hachurada, 434 desligamentos passíveis de ocorrência ao ano nos ASDs da unidade (17,89% das VTCDs/ano) distribuídos em função da depressão de tensão, resultado obtido da análise de compatibilidade da predição dos eventos de VTCD passíveis de ocorrência na unidade com a curva de suportabilidade dos ASDs.

A tabela 5.5 apresenta, área hachurada, a quantidade de disfunção ou desligamentos que a unidade em estudo estará sujeita ao longo de um ano distribuídos em função da depressão de tensão, caso seu processo contemple cargas suscetíveis as VTCDs (conforme equipamentos descritos anteriormente). Resultado obtido da análise de compatibilidade

Tabela 5.3: Eventos de VTCDs que causam desligamentos em contatores no ponto de observação (Eventos/ano).

Depressão	0 - 10%	10% - 20%	20% - 30%	30% - 50%	50% - 70%	70% - 90%
(0,0083 - 0,0333)s = (0,5 - 2)ciclos	0	0	0	0	0	0
(0,0333 - 0,0666)s = (2 - 4)ciclos	0	0	0	0	0	0
(0,0666 - 0,2)s = 4ciclos - 200ms	0	0	0	0	0	0
(0,2 - 1)s = 200ms - 1s	33	180	0	10	77	0
(1 - 20)s	25	146	2	0	18	0
(20 - 60)s	0	0	0	0	0	0
Acima de 60s	0	1	0	0	0	0
Total Eventos	58	327	2	10	95	0
Quantidade de "Sags" sem parada	397					
Parada / "Sags".ano	95 (17,89%)					
Parada / ano	134 (25,24%)					

Tabela 5.4: Eventos de VTCDs que causam desligamentos em ASDs no ponto de observação (Eventos/ano).

Depressão	0 - 10%	10% - 20%	20% - 30%	30% - 50%	50% - 70%	70% - 90%
(0,0083 - 0,0333)s = (0,5 - 2)ciclos	0	0	0	0	0	0
(0,0333 - 0,0666)s = (2 - 4)ciclos	0	0	0	0	0	0
(0,0666 - 0,2)s = 4ciclos - 200ms	0	0	0	0	0	0
(0,2 - 1)s = 200ms - 1s	33	180	0	10	77	0
(1 - 20)s	25	146	2	0	18	0
(20 - 60)s	0	0	0	0	0	0
Acima de 60s	0	1	0	0	0	0
Total Eventos	58	327	2	10	95	0
Quantidade de "Sags" sem parada	58					
Parada / "Sags".ano	434 (81,73%)					
Parada / ano	473 (89,08%)					

da predição dos eventos de VTCD passíveis de ocorrência na unidade com a curva de suportabilidade dos equipamentos descritos.

Tabela 5.5: Influência da VTCDs na unidade (Eventos/ano).

Depressão	0 - 10%	10% - 20%	20% - 30%	30% - 50%	50% - 70%	70% - 90%
(0,0083 - 0,0333)s = (0,5 - 2)ciclos	0	0	0	0	0	0
(0,0333 - 0,0666)s = (2 - 4)ciclos	0	0	0	0	0	0
(0,0666 - 0,2)s = 4ciclos - 200ms	0	0	0	0	0	0
(0,2 - 1)s = 200ms - 1s	33	180	0	10	77	0
(1 - 20)s	25	146	2	0	18	0
(20 - 60)s	0	0	0	0	0	0
Acima de 60s	0	1	0	0	0	0
Total Eventos	58	327	2	10	95	0
Quantidade de "Sags" sem parada	58					
Parada / "Sags".ano	434 (81,73%)					
Parada / ano	473 (89,08%)					

A figura 5.2 apresenta a quantidade de disfunção ou desligamentos que a unidade em estudo estará sujeita ao longo de um ano por tipo de equipamento suscetível as VTCDs que a unidade possui. Resultado obtido da análise de compatibilidade da predição dos

eventos de VTCDs passíveis de ocorrência na unidade com a curva de suportabilidade dos equipamentos. Observa-se a grande quantidade de desligamentos na unidade que possui em seu processo ASDs dada pela baixa imunidade deste frente aos distúrbios de VTCDs.

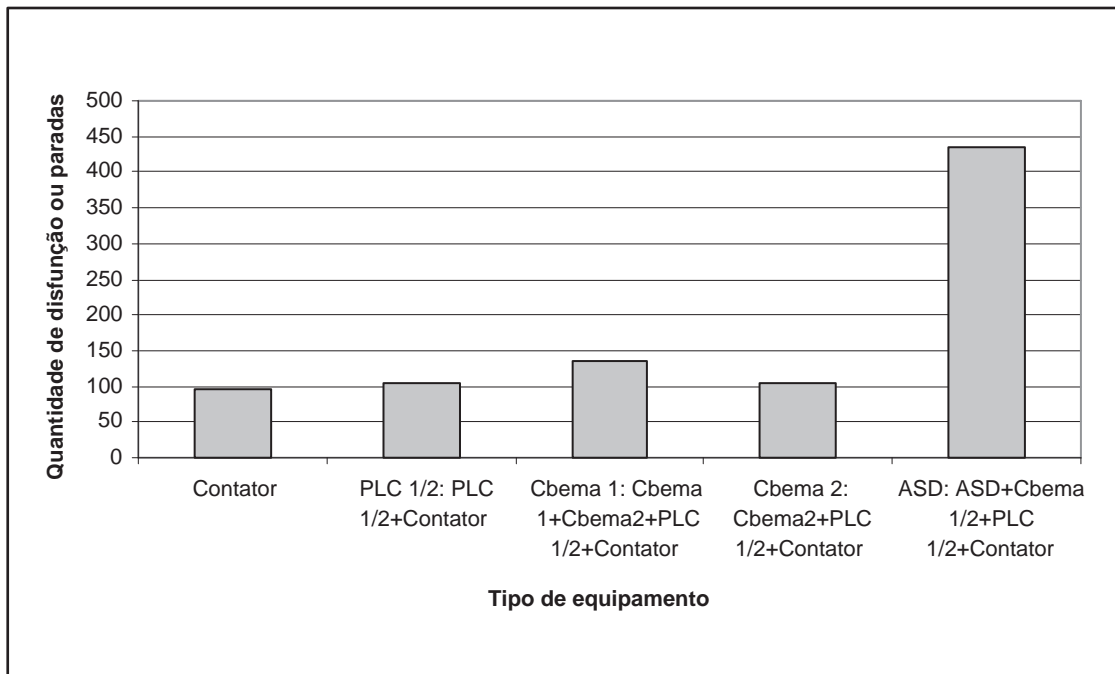


Figura 5.2: Disfunção ou desligamento de equipamento por VTCD. Referência 492 VTCDs/ano.

A figura 5.3 a seguir mostra a influência dos trechos de alimentadores sobre os equipamentos suscetíveis a VTCDs considerados. Percentual de trecho de rede do sistema que causam disfunção ou desligamentos nos equipamentos suscetíveis. Observar que uma falta para 85% dos trechos de redes do sistema provoca desligamento na unidade que possuem em seu processo ASDs.

A figura 5.4 a seguir, gráfico de coordenação, mostra a predição do desempenho de alguns equipamentos suscetíveis a VTCDs da unidade frente a estimativa das VTCDs passíveis de ocorrência na mesma. Dessa forma, a metodologia proposta torna possível quantificar os desligamentos ou disfunções de equipamentos que ocorrerão na unidade ao longo de um ano motivados pelas ocorrências de VTCDs no PAC.

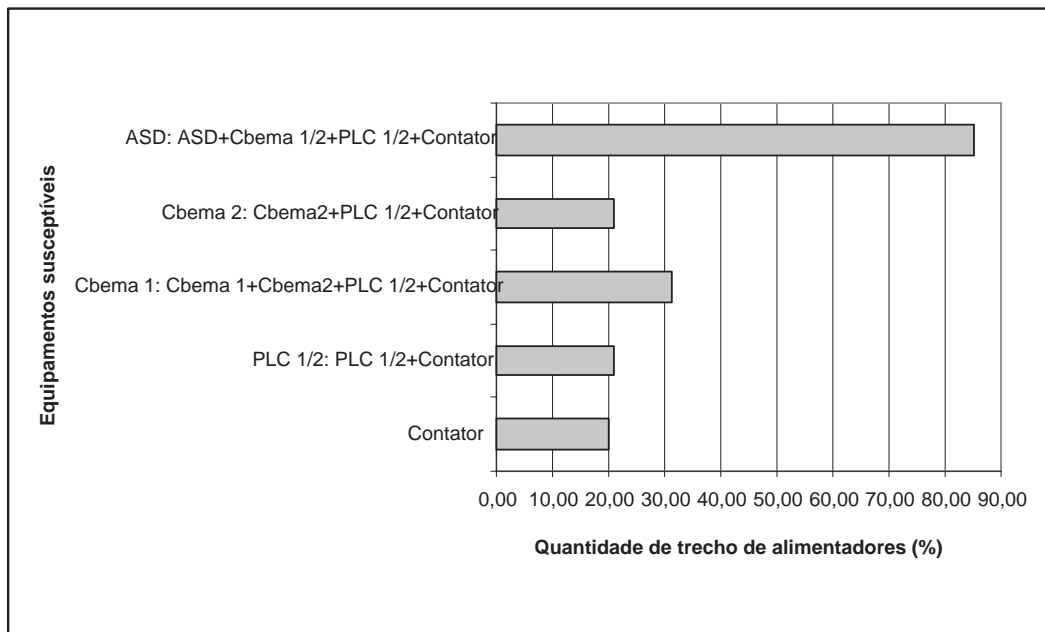


Figura 5.3: Trecho de alimentadores que provocam disfunção ou desligamentos em equipamentos suscetíveis a VTCD no ponto de observação quando da ocorrência de falta (%). Referência 492 VTCDs/ano.

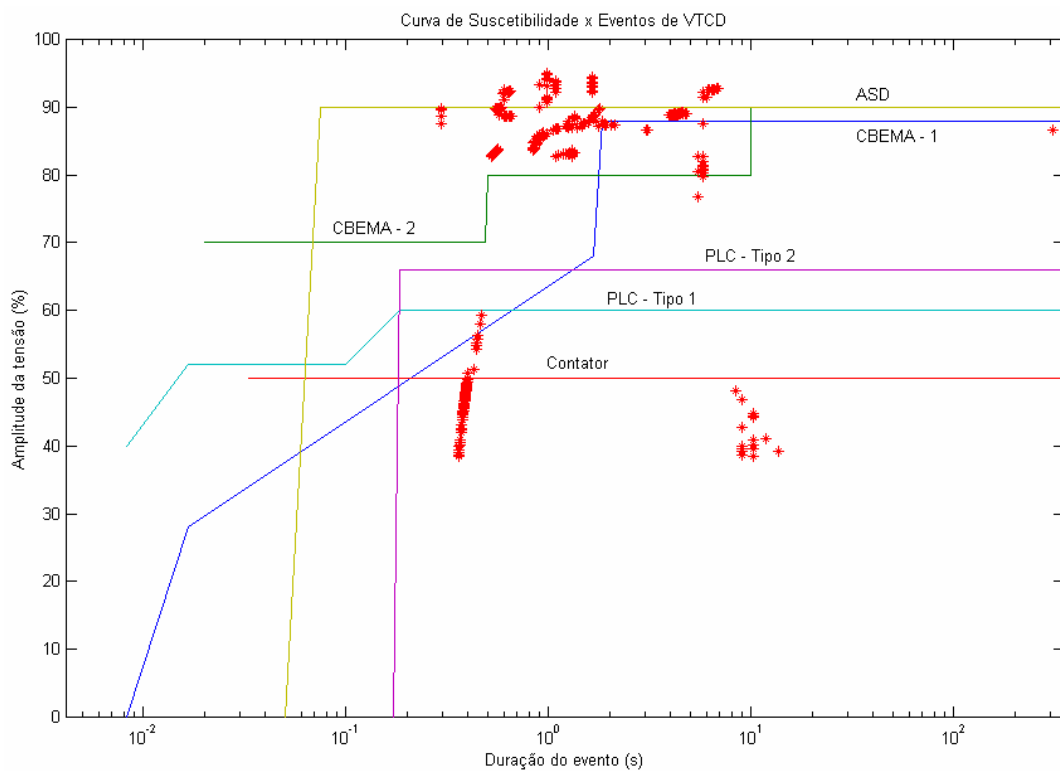


Figura 5.4: Diagrama de desempenho: Suscetibilidade versus eventos de VTCDs. Referência 492 VTCDs/ano.

5.4 Discussões

Neste trabalho considerou-se para efeito de defeito na rede distribuição, a falta assimétrica curto circuito fase à terra, para estimar as VTCDs no ponto de observação, tendo em vista que são as de maior ocorrência no sistema elétrico de distribuição, com cerca de 70% dos casos de defeitos acidentais por ano conforme estatística da concessionária local. Referência também adotada para o desenvolvimento deste trabalho.

A adoção de 13,33 como impedância de defeito é pelo fato de atribuir uma condição de contorno para determinação de baixas correntes de defeito, critério também adotado pela concessionária local.

Os defeitos que envolvem a terra são os que apresentam menores intensidades de corrente de curto circuito dada pela influência da impedância de seqüência zero da linha e de defeito. Com isso as estimativas das durações dos distúrbios conduziram a valores de tempo mais próximos da realidade.

Além disso, o curto circuito fase à terra pode produzir também sobretensões nas fases sãs que merecem avaliações específicas à parte.

6 Conclusão Geral

6.1 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo propor um modelo e metodologia para estimar de forma estatística estocástica as VTCDs que estará exposto um determinado ponto referencial de observação de uma área de abrangência elétrica durante o período de um ano, com determinação das durações dos distúrbios de VTCD baseados nas curvas de atuação dos dispositivos de proteção contra sobrecorrentes. Para contribuir com estudos de qualidade de energia na solução dos problemas causados por estes distúrbios na indústria.

No decorrer da pesquisa bibliográfica para realização do trabalho, observou-se o crescente desenvolvimento dos estudos sobre os fenômenos de VTCD no sentido de mitigar os efeitos e suas conseqüências à indústria. Um recurso muito utilizado nos dias de hoje é a simulação de circuitos em computador.

No capítulo 4 desenvolveu-se uma simulação com valores conhecidos, onde os resultados demonstraram o desempenho de uma unidade consumidora com cargas suscetíveis frente as VTCDs.

A metodologia proposta e implementada se mostrou eficiente com a abordagem estatística estocástica do processo, contribuindo consideravelmente para uma maior precisão dos resultados da estimativa.

A simulação realizada no trabalho teve como referência a estimativa da caracterização da VTCD através do cálculo de apenas um ano de ocorrências deste evento.

Cabe ressaltar a diferença no resultado de uma estimativa que tem como referência 1 ano e 100 anos de observações. O erro que se comete no primeiro caso é bem elevado se comparada ao segundo.

Para possibilitar a obtenção de estimativas mais confiáveis em relação às ocorrências das VTCD, a metodologia proposta de observação de mais anos de avaliação possibilitará resultados mais confiáveis permitindo tomadas de decisões mais seguras.

Observou-se que a análise da variação da amplitude da VTCD em função da distribuição aleatória das faltas ao longo da extensão do trecho de rede se mostrou relevante para uma estimativa que gere bons resultados.

De uma forma geral o trabalho trouxe grande oportunidade de aprendizado, principalmente por abranger boa parte da qualidade de energia elétrica, desde o princípio de funcionamento de equipamentos suscetíveis a VTCDs até os sistemas de condicionadores de energia que permitem a compensação, passando necessariamente pelo estudo de diversos artigos da área.

A validade do trabalho apoia-se não só na necessidade de termos uma ferramenta que possibilita determinar de forma preditiva as VTCD num ponto a ser observado, como também avaliar o desempenho do processo fabril frente a esta VTCD. As possibilidades de análise abertas pela ferramenta de cálculo são bastante grandes.

Os dados estimados obtidos através desta metodologia também podem ser confrontados com dados de medições. Assim teríamos a oportunidade de verificar a qualidade dos resultados estimados.

Dentro dos limites desta metodologia o modelo também permite outros estudos como a influência da localização dos pontos de defeito no desempenho das VTCD permitindo assim um mapeamento da área elétrica em que as VTCD apresentam-se mais severos, com a avaliação do perfil das VTCD nas diferentes barras do sistema. Com este levantamento pode-se determinar a área elétrica a ser priorizada quanto à manutenção preventiva a ser realizada na rede com objetivo de reduzir as ocorrências de defeitos acidentais de forma a minimizar os eventos de VTCDs nos pontos referenciais de observação.

Estudos que também pode servir de material de apoio para outros estudos da área de qualidade de energia elétrica, especificamente na linha de pesquisa de variação de tensão de curta duração.

A análise dos resultados obtidos indica que os objetivos traçados para o trabalho foram atingidos. A metodologia proposta e implementada se mostrou uma ferramenta eficiente na estimativa de VTCD e também abriu novas possibilidades para trabalhos futuros.

6.2 Sugestão para Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou uma metodologia para estimar VTCDs em um ponto do sistema de distribuição. Apesar das limitações, modelagem simples e dos resultados obtidos,

permitiu esboçar um estudo que gostaríamos de aperfeiçoar através da experiência adquirida no seu desenvolvimento. Como sugestão para trabalhos futuros, o aperfeiçoamento deste modelo pela importância da ferramenta; a predição do desempenho da rede de distribuição frente às variações de tensões de curta duração quando de defeitos acidentais na rede para os estudos de qualidade de energia.

Como sugestão para trabalhos futuros:

- Desenvolvimento da sistematização deste modelo através da elaboração de um programa computacional de forma integrada das ferramentas computacionais utilizadas neste trabalho em um programa único para análise da VTCD pode ser uma alternativa viável a ser desenvolvida;
- Estudo mais detalhado da influência da impedância de defeito na caracterização da VTCD;
- Estudo do impacto das VTCD, dando mais ênfase e profundidade nos estudos de VTCD de características desequilibradas e salto de ângulo de fase, nos acionamentos de motores.

Anexo A – Condutores Elétricos de Redes de Distribuição

Tabela A.1: Impedância dos Condutores em Montagem de Redes Aéreas Tipo NÚ - 13,8 kV. Fonte: COPEL

Tabela de cabos para redes aéreas montagem padrão COPEL								
Impedância em Ohms/km - Base 100 MVA/13,8kV								
Condutor	Código	Corrente	R1	X1	Z1	R0	X0	Z0
477CAA	472	670	0,12426	0,36337	0,38403	0,30201	1,86997	1,89421
397CAA	392	590	0,16092	0,37021	0,40367	0,33867	1,87681	1,90713
336,4CAA	332	530	0,1902	0,37642	0,42174	0,36795	1,88302	1,91864
266,8CAA	262	460	0,23924	0,38512	0,45338	0,41699	1,89172	1,93714
40CAA	402	340	0,3579	0,4572	0,58062	0,53565	1,9638	2,03555
30CAA	302	300	0,44932	0,48207	0,659	0,62707	1,98867	2,0852
20CAA	202	270	0,5562	0,49451	0,74424	0,73395	2,00111	2,13146
10CAA	102	230	0,69605	0,50382	0,85926	0,8738	2,01042	2,19211
02CAA	22	180	1,05039	0,50942	1,1674	1,22814	2,01602	2,36065
04CAA	42	140	1,59731	0,50569	1,67545	1,77506	2,01229	2,68331
05CAA	52	120	1,97639	0,51439	2,04223	2,15414	2,02099	2,95377
06CAA	62	100	2,47356	0,51439	2,52648	2,65131	2,02099	3,33375
477CA	470	646	1,34426	0,3743	0,39765	0,31201	1,8809	1,90661
397CA	390	579	0,16092	0,3812	0,41377	0,33867	1,8878	1,91794
336,4CA	330	514	0,19079	0,38748	0,4319	0,36854	1,89408	1,92961
266,8CA	260	441	0,23995	0,40034	0,46674	0,4177	1,90694	1,95216
40CA	400	380	0,30208	0,40912	0,50856	0,47983	1,91572	1,9749
30CA	300	327	0,38099	0,41788	0,56549	0,55874	1,92448	2,00395
20CA	200	282	0,47909	0,42658	0,64148	0,65684	1,93318	2,04172
10CA	100	242	0,60476	0,43384	0,74428	0,78251	1,94044	2,09228
02CA	20	180	0,96338	0,42658	1,0536	1,14113	1,93318	2,24486
04CA	40	134	1,52887	0,48152	1,60291	1,70662	1,98812	2,62015
06CA	60	100	2,43013	0,48773	2,47859	2,60788	1,99433	3,28305
40Cobre	401	480	0,18827	0,40874	0,45002	0,36602	1,91534	1,95
20Cobre	201	360	0,29899	0,42675	0,52107	0,47674	1,93335	1,99127
10Cobre	101	310	0,3773	0,43546	0,57618	0,55505	1,94206	2,01983
02Cobre	21	230	0,59917	0,45286	0,75106	0,77692	1,95946	2,10787
03Cobre	31	200	0,75568	0,46156	0,88549	0,93343	1,96816	2,17829
04Cobre	41	170	0,9341	0,47461	1,04776	1,11185	1,98121	2,27188
05Cobre	51	150	1,18956	0,48101	1,28313	1,36731	1,98761	2,4125
06Cobre	61	120	1,48543	0,49202	1,5648	1,66318	1,99862	2,60013
08Cobre	81	90	2,36169	0,50942	2,41601	2,53944	2,01602	3,24239
3,10Aço	103	60	5,5213	0,579	5,55158	5,69905	2,0856	6,06868
3,225Aço	223	60	11,9329	0,9973	11,9745	12,11065	2,5039	12,36679
309Aço	303	60	16,1715	6,0395	17,26247	16,34925	7,5461	18,00671
336,4XLPE	334	440	0,20768	0,38744	0,43959	0,38543	1,89404	1,93286
20XLPE	204	242	0,52264	0,42655	0,67461	0,70039	1,93315	2,05612
02XLPE	24	157	1,04823	0,4528	1,14185	1,22598	1,9594	2,31134

Tabela A.2: Impedância de Condutores de Redes em Montagem Aéreas Tipo NÚ - 34,5 kV. Fonte: COPEL

Tabela de cabos para redes aéreas montagem padrão COPEL								
Impedância em Ohms/km - Base 100 MVA/34,5kV								
Condutor	Código	Corrente	R1	X1	Z1	R0	X0	Z0
477CAA	472	670	0,12426	0,38507	0,40462	0,30201	1,82657	1,85137
397CAA	392	590	0,16092	0,39191	0,42366	0,33867	1,83341	1,86443
336,4CAA	332	530	0,1902	0,39812	0,44122	0,36795	1,83962	1,87606
266,8CAA	262	460	0,23924	0,40682	0,47195	0,41699	1,84832	1,89478
40CAA	402	340	0,3579	0,4789	0,59786	0,53565	1,9204	1,99371
30CAA	302	300	0,44932	0,50377	0,67504	0,62707	1,94527	2,04385
20CAA	202	270	0,5562	0,51621	0,75884	0,73395	1,95771	2,09077
10CAA	102	230	0,69605	0,52552	0,87216	0,8738	1,96702	2,15237
02CAA	22	180	1,05039	0,53112	1,17703	1,22814	1,97262	2,3237
04CAA	42	140	1,59731	0,52739	1,68212	1,77506	1,96889	2,65092
05CAA	52	120	1,97639	0,53609	2,04781	2,15414	1,97759	2,92424
06CAA	62	100	2,47356	0,53609	2,53099	2,65131	1,97759	3,30762
477CA	470	646	1,34426	0,396	0,41814	0,31201	1,8375	1,86381
397CA	390	579	0,16092	0,4029	0,43385	0,33867	1,8444	1,87524
336,4CA	330	514	0,19079	0,40918	0,45147	0,36854	1,85068	1,88702
266,8CA	260	441	0,23995	0,42204	0,48548	0,4177	1,86354	1,90978
40CA	400	380	0,30208	0,43082	0,52617	0,47983	1,87232	1,93283
30CA	300	327	0,38099	0,43958	0,58171	0,55874	1,88108	1,96231
20CA	200	282	0,47909	0,44828	0,65611	0,65684	1,83978	2,00068
10CA	100	242	0,60476	0,45554	0,75713	0,78251	1,89704	2,0521
02CA	20	180	0,96338	0,44828	1,06257	1,14113	1,88978	2,20759
04CA	40	134	1,52887	0,50322	1,60956	1,70662	1,94472	2,58737
06CA	60	100	2,43013	0,50943	2,48295	2,60788	1,95093	3,25687
40Cobre	401	480	0,18827	0,43044	0,46981	0,36602	1,87194	1,90739
20Cobre	201	360	0,29899	0,44845	0,53898	0,47674	1,88995	1,94916
10Cobre	101	310	0,3773	0,45716	0,59275	0,55505	1,89866	1,97813
02Cobre	21	230	0,59917	0,47456	0,76434	0,77692	1,91606	2,06758
03Cobre	31	200	0,75568	0,48326	0,89699	0,93343	1,92476	2,13916
04Cobre	41	170	0,9341	0,49631	1,05776	1,11185	1,93781	2,23413
05Cobre	51	150	1,18956	0,50271	1,29142	1,36731	1,94421	2,37687
06Cobre	61	120	1,48543	0,51372	1,57175	1,66318	1,95522	2,56692
08Cobre	81	90	2,36169	0,53112	2,42068	2,53944	1,97262	3,21559
3,10Aço	103	60	5,5213	0,6007	5,55388	5,69905	2,0422	6,05391
3,225Aço	223	60	11,9329	1,019	11,97633	12,11065	2,4605	12,35807
309Aço	303	60	16,1715	6,0612	17,27008	16,34925	7,5027	17,98857
336,4XLPE	334	440	0,20768	0,40914	0,45883	0,38543	1,85064	1,89035
20XLPE	204	242	0,52264	0,44825	0,68854	0,70039	1,88975	2,01537
02XLPE	24	157	1,04823	0,4745	1,15062	1,22598	1,916	2,27466

Anexo B – Dado das Subestações e Alimentadores

Tabela B.1: Dados das Subestações e Alimentadores.

Subestação de Bela Vista do Paraíso: Transformador 138/34,5/13,8kV - Primário: 20,83MVA - 10,78%, Secundário: 20,83MVA – 18,59% e Terciário: 10,42MVA - 6,31%.

Alimentadores 34,5kV:

- Primeiro de Maio – 28,2 km (Alimentador da subestação de Primeiro de Maio);
- Warta – 85,3 km (Alimentador da subestação de Warta);
- Sertanópolis – 36,1 km (Alimentador da subestação de Sertanópolis);
- Itaúna – 108,4 km + Barra bonita - 101,6 km + Itimura – 72,4 km (Desconsiderado no modelo simulado).

Alimentadores de 13,8kV:

- Santa Margarida - 78,4 km;
- Água do Meio – 51,1 km (Desconsiderado no modelo simulado);
- Vila Ghandi – 83,7 km (Desconsiderado no modelo simulado).

Subestação Primeiro de Maio: Transformador 34,5/13,8kV - 3,75 MVA - 4,30%

Alimentadores 13,8kV:

- Ibiaci – 114,6 km;
- Volta Grande – 29,1 km(Desconsiderado no modelo simulado).

Subestação Warta: Transformador 34,5/13,8kV - 2,5 MVA - 7,5%

Alimentadores 13,8kV:

- Heimtal – 49,1 km (Desconsiderado no modelo simulado);
- Buenos Aires – 73,8 km.

Subestação Sertanópolis: Transformador 34,5/13,8kV - (5,0 MVA - 4,36%) // (5,0 MVA - 4,72%)

Alimentadores 13,8kV:

- Amazonas – 98,9 km;
- Taboca – 9,1 km;
- Couro do Boi - 112,4 km (Desconsiderado no modelo simulado).

Subestação Alvorada do Sul: Transformador 34,5/13,8kV - 4,2 MVA - 4,3% (Desconsiderado no modelo simulado)

Alimentadores 13,8kV:

- Esperança – 107,2 km(Desconsiderado no modelo simulado);
- Safira – 24,5 km (Desconsiderado no modelo simulado)

Caracterização dos Alimentadores:

Redes de distribuição em média tensão padronizados tipo convencional nú em arranjo normal.

Anexo C – Ajustes do sistema de Proteção e Curvas de Elos Fusíveis

Tabela C.1: Dados da Ordem de Proteção do Circuito - Primeiro de Maio.

<p>Unidade: SE Bela Vista do Paraíso Circuito: Primeiro de Maio -34,5 kV Equipamento: Religador Westinghouse com controle RESCO – Tipo ESV 3810 Carga liberada pelo equipamento de proteção: 11,35 MVA</p> <p>Ajustes Sensores de fase Corrente de disparo: 190A Relação dos TC's de fase: X1-X3</p> <p>Sensor de neutro Corrente de disparo: 21A Modulador calibrador: 10A Módulo contador: 10A Relação dos TC auxiliar: H1-H4</p>							
Curvas de fase				Curvas de neutro			
Rápida: C				Rápida: K			
Lenta: H				Lenta: Q			
<p>Número de operações: Rápida de fase: 0 Rápida de neutro: 0 Para bloqueio: 3</p> <p>Tempos de religamento (seg) Primeiro: 0,6 Segundo: 5,0 Terceiro: 5,0</p> <p>Rearme Tempo de rearme: 80s Sequência de zona:</p> <p>Posição da alavanca externa (Operação manual) Religamento: Com religamento Proteção de Neutro: Normal</p>							
Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Primeiro de Maio							
Neutro (21A)				Fase (190A)			
Rápida Curva – K		Rápida Lenta – Q		Rápida Curva – C		Rápida Lenta – H	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,22	21	9	22,05	0,7	190	32	190
0,15	25,2	6	29,4	0,3	228	11	247
0,072	37,8	3,1	48,3	0,2	247	6	285
0,05	52,5	1,3	105	0,12	285	3	323
0,033	73,5	1,0	147	0,052	380	1,8	399
0,02	142,8	0,8	231	0,03	494	0,8	570
0,016	241,5	0,76	420	0,024	646	0,4	855
0,015	315			0,02	950	0,26	1292
				0,017	1520	0,20	2280
				0,013	3230	0,18	3800

Tabela C.2: Dados da ordem de proteção do circuito - Warta.

<p>Unidade: SE Bela Vista do Paraíso Circuito: Warta - 34,5 kV Equipamento: Religador Westinghouse com controle RESCO – Tipo ESV 3810 Carga liberada pelo equipamento de proteção: 11,35 MVA</p> <p>Ajustes Sensores de fase Corrente de disparo: 190A Relação dos TC's de fase: X1-X3</p> <p>Sensor de neutro Corrente de disparo: 27A Modulador calibrador: 9A Módulo contador: 9A Relação dos TC auxiliar: H1-H4</p>							
Curvas de fase				Curvas de neutro			
Rápida: C				Rápida: K			
Lenta: H				Lenta: Q			
<p>Número de operações: Rápida de fase: 0 Rápida de neutro: 0 Para bloqueio: 3</p> <p>Tempos de religamento (seg) Primeiro: 0,6 Segundo: 5,0 Terceiro: 5,0</p> <p>Rearme Tempo de rearme: 40s Sequência de zona:</p> <p>Posição da alavanca externa (Operação manual) Religamento: Com religamento Proteção de Neutro: Normal</p>							
Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Warta							
Neutro (27A)				Fase (190A)			
Rápida Curva – K		Rápida Lenta – Q		Rápida Curva – C		Rápida Lenta – H	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,22	27	9,9	27	0,7	190	32	190
0,15	32,4	6	37,8	0,3	228	11	247
0,1	40,5	4	51,3	0,2	247	6	285
0,056	62,1	2,2	86,4	0,12	285	3	323
0,045	72,9	1,3	135	0,052	380	1,8	399
0,033	94,5	1	189	0,03	494	0,8	570
0,028	118,8	0,86	243	0,024	646	0,4	855
0,022	145,8	0,8	297	0,02	950	0,26	1292
0,016	310,5	0,76	540	0,017	1520	0,2	2280
0,0145	540			0,013	3230	0,18	3800

Tabela C.3: Dados da ordem de proteção do circuito - Sertanópolis.

<p>Unidade: SE Bela Vista do Paraíso Circuito: Sertanópolis - 34,5 kV Equipamento: Religador Westinghouse com controle RESCO – Tipo ESV 3810 Carga liberada pelo equipamento de proteção: 17,92 MVA</p> <p>Ajustes Sensores de fase Corrente de disparo: 300A Relação dos TC's de fase: X4-X5</p> <p>Sensor de neutro Corrente de disparo: 27A Modulador calibrador: 11A Módulo contador: 11A Relação dos TC auxiliar: H1-H4</p>							
Curvas de fase				Curvas de neutro			
Rápida: C				Rápida: K			
Lenta: H				Lenta: Q			
<p>Número de operações: Rápida de fase: 0 Rápida de neutro: 0 Para bloqueio: 3</p> <p>Tempos de religamento (seg) Primeiro: 0,6 Segundo: 5,0 Terceiro: 5,0</p> <p>Rearme Tempo de rearme: 80s Sequência de zona:</p> <p>Posição da alavanca externa (Operação manual) Religamento: Com religamento Proteção de Neutro: Normal</p>							
Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Sertanópolis							
Neutro (27A)				Fase (300A)			
Rápida Curva – K		Rápida Lenta – Q		Rápida Curva – C		Rápida Lenta – H	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,22	27	9,9	27	0,7	300	32	300
0,15	32,4	6	37,8	0,3	360	11	390
0,1	40,5	4	51,3	0,2	390	6	450
0,056	62,1	2,2	86,4	0,12	450	3	510
0,045	72,9	1,3	135	0,052	600	1,8	630
0,033	94,5	1	189	0,03	780	0,8	900
0,028	118,8	0,86	243	0,024	1020	0,4	1350
0,022	145,8	0,8	297	0,02	1500	0,26	2040
0,016	310,5	0,76	540	0,017	2400	0,2	3600
0,0145	540			0,013	5100	0,18	6000

Tabela C.4: Dados da ordem de proteção do circuito - Santa Margarida.

<p>Unidade: SE Bela Vista do Paraíso Circuito: Santa Margarida - 13,8 kV Equipamento: Religador Westinghouse com controle RESCO – Tipo ESV 1512 Carga liberada pelo equipamento de proteção: 4,54 MVA</p> <p>Ajustes Sensores de fase Corrente de disparo: 190A Relação dos TC's de fase: X1-X3</p> <p>Sensor de neutro Corrente de disparo: 21A Modulador calibrador: 10A Módulo contador: 10A Relação dos TC auxiliar: H1-H4</p>							
Curvas de fase				Curvas de neutro			
Rápida: C				Rápida: 0,2F			
Lenta: G				Lenta: 4D			
<p>Número de operações: Rápida de fase: 0 Rápida de neutro: 0 Para bloqueio: 2</p> <p>Tempos de religamento (seg) Primeiro: 2,5 Segundo: 5,0 Terceiro: 5,0</p> <p>Rearme Tempo de rearme: 40s Sequência de zona: off</p> <p>Posição da alavanca externa (Operação manual) Religamento: Com religamento Proteção de Neutro: Normal</p>							
Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Santa Margarida							
Neutro (21A)				Fase (190A)			
Rápida Curva – 0,2F		Rápida Lenta – 4D		Rápida Curva – C		Rápida Lenta – G	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,20	21	4,0	21	0,68	190	11	190
0,20	30	4,0	30	0,3	228	5	266
0,20	40	4,0	40	0,12	285	1,8	475
0,20	50	4,0	50	0,052	380	1,3	627
0,20	100	4,0	100	0,026	570	0,66	1140
0,20	200	4,0	200	0,02	950	0,51	1520
0,20	300	4,0	300	0,017	1520	0,31	3325
0,20	500	4,0	500	0,013	3230		
0,20	750	4,0	750				
0,20	1000	4,0	1000				

Tabela C.5: Dados da ordem de proteção do circuito - Ramal Santa Margarida (Trecho).

Unidade: SE Bela Vista do Paraíso
Circuito: Ramal Santa Margarida (Trecho) - 13,8 kV
Equipamento: Religador Mc Graw Edison Hidráulico Tipo KF
Carga liberada pelo equipamento de proteção: 1,19 MVA

Ajustes
Bobina série (Disparo por fase)
Corrente ajuste (Ia): 50A
Corrente disparo (200% Ia): 100A

Resistor de minimum trip
Disparo por Neutro: 10A

Number of fast operation-phase: 1
Number of operation to lockout: 3
Number of fast operation-ground: 1

Delay time Characteristics

Phase	Ground
Rápida: A	Rápida: 1
Lenta: C	Lenta: 5

Posição das chaves
Ground trip: Ligada (on)
Non-reclosing: Com religamento

Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Ramal Santa Margarida – Trecho

Neutro (10A)				Fase (50A)			
Rápida Curva – 1,0		Rápida Lenta – 5,0		Rápida Curva – A		Rápida Lenta – C	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,51	10	2,9	10	0,45	100	21	100
0,38	15	2,5	15	0,22	125	6	145
0,27	25	2,3	20	0,15	160	3,5	175
0,22	35	2,1	35	0,11	245	1,8	225
0,19	45	2,1	100	0,064	450	0,8	330
0,15	75	2,1	200	0,06	650	0,5	440
0,13	105	2,1	500	0,045	900	0,31	650
0,11	250	2,1	1000	0,04	1500	0,21	1000
0,11	500	2,1	5000			0,16	1500
0,11	1000	2,1				0,12	3000
0,11	2500						

Tabela C.6: Dados da ordem de proteção do circuito - Ibiaci.

Unidade: SE Primeiro de Maio
Circuito: Ibiaci - 13,8 kV
Equipamento: Religador Mc Graw Edison Hidráulico Tipo KF
Carga liberada pelo equipamento de proteção: 3,82 MVA

Ajustes
Bobina série (Disparo por fase)
Corrente ajuste (Ia): 160A
Corrente disparo (200% Ia): 320A

Resistor de minimum trip
Disparo por Neutro: 20A

Number of fast operation-phase: 0
Number of operation to lockout: 3
Number of fast operation-ground: 0

Delay time Characteristics

Phase	Ground
Rápida: A	Rápida: 1
Lenta: B	Lenta: 7

Posição das chaves
Ground trip: Ligada (on)
Non-reclosing: Com religamento

Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Ibiaci

Neutro (20A)				Fase (160A)			
Rápida Curva – 1,0		Rápida Lenta – 7,0		Rápida Curva – A		Rápida Lenta – B	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,51	20	5,4	20	0,45	320	7	320
0,38	30	5,4	50	0,22	400	1,5	544
0,27	50	5,4	100	0,15	496	0,7	800
0,22	70	5,4	200	0,11	624	0,5	992
0,19	90	5,4	100	0,064	1280	0,4	1184
0,15	150	5,4	500	0,06	1440	0,3	1520
0,13	210	5,4	1000	0,045	2880	0,21	2240
0,11	500	5,4	2000	0,04	4800	0,16	3200
0,11	1000	5,4	5000	0,039	6400	0,13	4800
0,11	2000					0,11	7200
0,11	5000						

Tabela C.7: Dados da ordem de proteção do circuito - Ramal Ibiaci (Trecho).

Unidade: SE Primeiro de Maio
Circuito: Ramal Ibiaci (Trecho) - 13,8 kV
Equipamento: Religador Mc Graw Edison Hidráulico Tipo KF
Carga liberada pelo equipamento de proteção: 0,83 MVA

Ajustes
Bobina série (Disparo por fase)
Corrente ajuste (Ia): 35A
Corrente disparo (200% Ia): 70A

Resistor de minimum trip
Disparo por Neutro: 10A

Number of fast operation-phase: 1
Number of operation to lockout: 3
Number of fast operation-ground: 1

Delay time Characteristics

Phase	Ground
Rápida: A	Rápida: 1
Lenta: C	Lenta: 5

Posição das chaves
Ground trip: Ligada (on)
Non-reclosing: Com religamento

Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Ramal Ibiaci – Trecho

Neutro (10A)				Fase (35A)			
Rápida Curva – 1,0		Rápida Lenta – 5,0		Rápida Curva – A		Rápida Lenta – C	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,51	10	2,9	10	0,45	70	21	70
0,38	15	1,5	15	0,22	87,5	6	101,5
0,27	25	2,3	20	0,14	112	3,5	122,5
0,22	35	2,1	35	0,11	140	1,8	157,5
0,19	45	2,1	100	0,08	196	0,8	231
0,15	75	2,1	200	0,06	315	0,5	308
0,13	105	2,1	500	0,05	455	0,31	455
0,11	250	2,1	1000	0,045	630	0,21	700
0,11	500	2,1	5000	0,04	1400	0,16	1050
0,11	1000					0,12	2100
0,11	2500						

Tabela C.8: Dados da ordem de proteção do circuito - Buenos Aires.

<p>Unidade: SE Warta Circuito: Buenos Aires - 34,5 kV Equipamento: Religador Mc Graw Edison com controle “ME” – Tipo WE Carga liberada pelo equipamento de proteção: 3,34 MVA</p> <p>Ajustes Relação dos TC’s: 1000/1 Minimum trip resistor Ground Trip: 25A Phases A - B - C: 140A</p> <p>Number of Operations Selectors Ground Trip Socket <1>: 1 Lockout: 3 Phases Trip Socket <1>: 1</p> <p>Reclosing Interval Delays (seg) Plug 1st: Inst Plug 2nd: 5 Plug 3rd: 5</p> <p>Groud Trip Timing Plug <1>: 1 Plug <2>: 9</p> <p>Phase Trip Timing Plug <1>: A Plug <2>: C</p> <p>Reset Delay: 60</p> <p>Posição das Chaves Disparo por Neutro: Normal De Religamento: Normal Reclosing</p>							
<p align="center">Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Buenos Aires</p>							
<p align="center">Neutro (25A)</p>				<p align="center">Fase (140A)</p>			
<p>Rápida Curva – 1,0</p>		<p>Rápida Lenta – 9,0</p>		<p>Rápida Curva – A</p>		<p>Rápida Lenta – C</p>	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,33	25	11,2	25	0,15	140	14	140
0,25	27,5	8,5	37,5	0,11	196	4	259
0,2	30	7	60	0,08	308	1,5	420
0,15	35	6	112,5	0,074	350	0,6	700
0,10	47,5	5,6	200	0,06	525	0,3	1134
0,07	75	5,4	500	0,058	560	0,23	1400
0,06	100	5,4	1250	0,052	840	0,13	2520
0,052	155	5,4	2500	0,05	1120	0,105	3500
0,05	250	5,4	5000	0,05	1400	0,094	4200
0,05	1250			0,05	2800		
0,05	2500			0,05	4200		

Tabela C.9: Dados da ordem de proteção do circuito - Amazonas.

<p>Unidade: SE Sertanópolis Circuito: Amazonas - 13,8 kV Equipamento: Religador Mc Graw Edison com controle “ME” – Tipo WE Carga liberada pelo equipamento de proteção: 5,73 MVA</p> <p>Ajustes Relação dos TC’s: 1000/1 Minimum trip resistor Ground Trip: 25A Phases A - B - C: 240A</p> <p>Number of Operations Selectors Ground Trip Socket <1>: 0 Lockout: 2 Phases Trip Socket <1>: 0</p> <p>Reclosing Interval Delays (seg) Plug 1st: 2 Plug 2nd: 5 Plug 3rd: 5</p> <p>Groud Trip Timing Plug <1>: 1 Plug <2>: 3</p> <p>Phase Trip Timing Plug <1>: A Plug <2>: B</p> <p>Reset Delay: 45</p> <p>Posição das Chaves Disparo por Neutro: Normal De Religamento: Non Reclosing</p>							
Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Amazonas							
Neutro (25A)				Fase (240A)			
Rápida Curva – 1,0		Rápida Lenta – 3,0		Rápida Curva – A		Rápida Lenta – B	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,32	25,0	25	25	0,15	240	6	240
0,25	27,5	11	37,5	0,1	384	1,5	480
0,17	32,5	4,5	62,5	0,08	528	0,7	720
0,12	41,25	2,4	100	0,07	648	0,25	1392
0,07	75,0	1,5	175	0,06	888	0,17	1920
0,06	100	1,2	275	0,054	1200	0,11	3120
0,05	250	1,1	337,5	0,05	1920	0,078	5520
0,05	750	1,0	625	0,05	2400	0,069	7200
0,05	2500	1,0	2500	0,05	4800		
0,05	6250	1,0	6250	0,05	7200		

Tabela C.10: Dados da ordem de proteção do circuito - Ramal Amazonas (Trecho).

Unidade: SE Sertanópolis
Circuito: Ramal Amazonas (Trecho) - 13,8 kV
Equipamento: Religador Mc Graw Edison Hidráulico Tipo KF
Carga liberada pelo equipamento de proteção: 0,83 MVA

Ajustes
Bobina série (Disparo por fase)
Corrente ajuste (Ia): 35A
Corrente disparo (200% Ia): 70A

Resistor de minimum trip
Disparo por Neutro: 10A

Number of fast operation-phase: 1
Number of operation to lockout: 3
Number of fast operation-ground: 1

Delay time Characteristics
Phase
Rápida: A
Lenta: B

Ground
Rápida: 1
Lenta: 4

Posição das chaves
Ground trip: Ligada (on)
Non-reclosing: Com religamento

Curva de atuação do dispositivo de proteção - Circuito: Ramal Amazonas – Trecho							
Neutro (10^A)				Fase (35A)			
Rápida Curva – 1,0		Rápida Lenta – 4,0		Rápida Curva – A		Rápida Lenta – B	
Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)	Tempo (s)	Corrente(A)
0,9	10	1,9	10	0,45	70	7	70
0,58	17	1,7	12	0,3	7,7	5	77
0,4	28	1,5	15	0,15	108,5	3,4	87,5
0,21	78	1,2	35	0,1	150,5	1,9	108,5
0,18	100	1,1	90	0,06	315	0,68	175
0,13	210	1,1	500	0,05	455	0,32	315
0,11	500	1,1	1000	0,042	770	0,21	490
0,11	1000	1,1	2000	0,039	1050	0,15	770
0,11	2000	1,1	5000	0,039	1400	0,12	1225
0,11	5000			0,039	1750	0,10	2100
				0,039	2100		

Tabela C.11: Dados da ordem de proteção do circuito - Taboca.

<p>Unidade: SE Sertanópolis Circuito: Taboca - 13,8 kV Equipamento: Religador Westinghouse Eletromecânico Tipo ES 560 com relé de sobrecorrente eletromecânico modelo CO-11 Carga liberada pelo equipamento de proteção: 5,97 MVA</p>			
<p>Ajustes do relé 50/51</p>			
<p>De fase</p>			
<p> Instantâneo: 13,0 TAP: 5,0 Curva: 2,0</p>			
<p>De neutro</p>			
<p> Instantâneo: 7,0 TAP: 0,5 Curva: 10,0</p>			
<p>Ajuste do relé de religamento tipo RCS II</p>			
<p> Número de disparos para bloqueio: 2 Número de disparos instantâneos:0 Tempo de rearme: 40</p>			
<p>Posição das chaves</p>			
<p> De proteção de neutro: Ligada De religamento: Com religamento</p>			
<p>Curva de atuação do dispositivo de proteção – Circuito: Taboca</p>			
<p>Neutro (25A)</p>		<p>Fase (250A)</p>	
Tempo (s)	Corrente (A)	Tempo (s)	Corrente (A)
50,0	37,5	9,0	375
15,0	57,5	4,0	500
4,0	100	2,0 (Inst)	650 (Inst)
2,0	145	1,4	750
1,4	180	0,35	1500
1,0	225	0,19	2250
0,68	300	0,15	2750
0,58 (Inst)	350 (Inst)	0,11	3750
0,4	525	0,08	6000
0,3	875	0,066	10000
0,285	1000		

Tabela C.12: Habilitação de Curvas Rápidas ou Instantâneas.

<p>Sistema de proteção</p> <p>1. SUBESTAÇÃO DE BELA VISTA DO PARAÍSO Alimentadores 34,5kV</p> <ul style="list-style-type: none">• Primeiro de Maio com religador automático de linha;• Warta com religador automático de linha;• Sertanópolis com religador automático de linha. <p>Alimentadores de 13,8kV</p> <ul style="list-style-type: none">• Santa Mar garida com religador automático de linha e de trecho com a curva rápida ativada. <p>2. SUBESTAÇÃO DE PRIMEIRO DE MAIO Alimentadores 13,8kV</p> <ul style="list-style-type: none">• Ibiaci com religador automático de linha e de trecho com a curva rápida ativada. <p>3. SUBESTAÇÃO DE WARTA Alimentadores 13,8kV</p> <ul style="list-style-type: none">• Buenos Aires com religador automático de linha. <p>4. SUBESTAÇÃO DE SERTANÓPOLIS Alimentadores 13,8kV</p> <ul style="list-style-type: none">• Amazonas com religador automático de linha e de trecho com a curva rápida ativada;• Taboca com religador automático de linha.

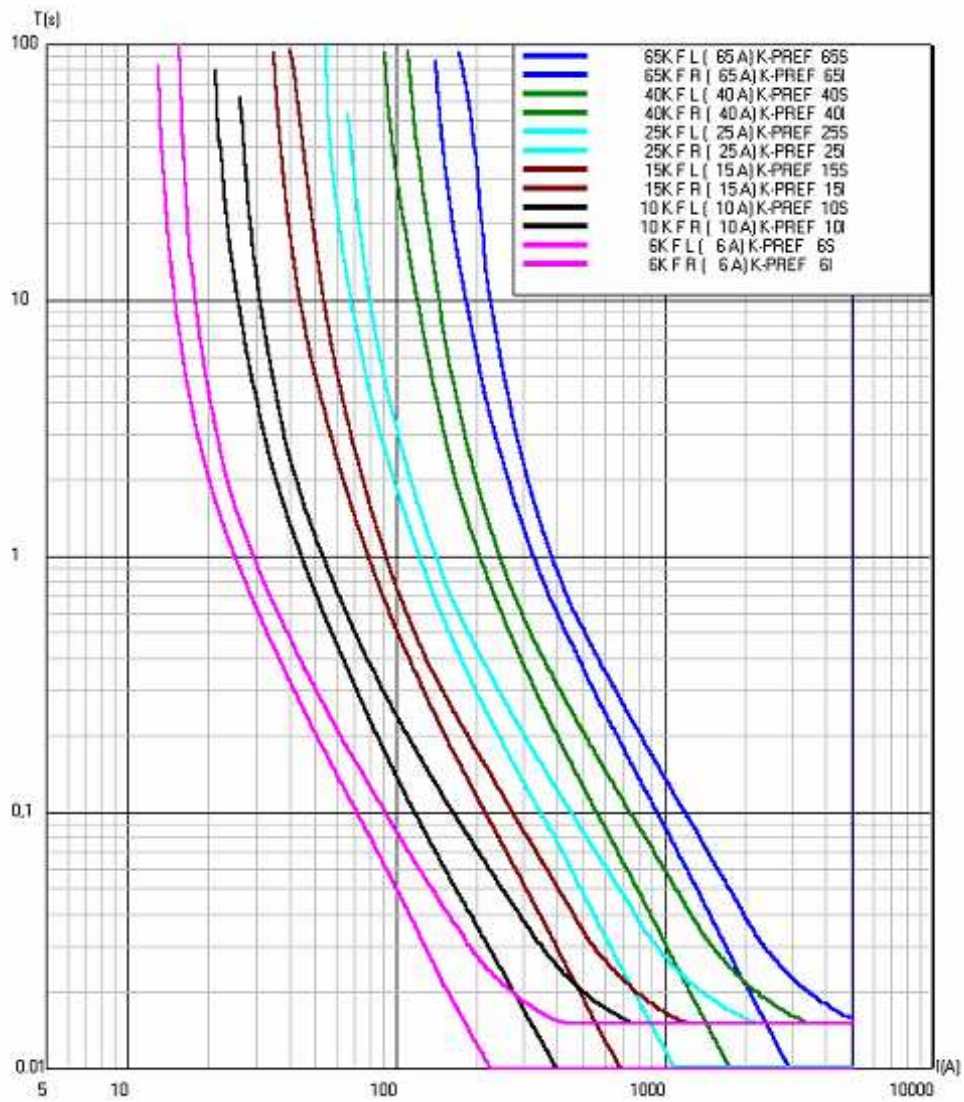


Figura C.1: Curva de fusão de elos fusíveis tipo k: 6k, 10k, 15k, 25k, 40k e 65k.

Anexo D – Taxa de Falha do Sistema Elétrico

Tabela D.1: Taxa de falha da área elétrica de abrangência simplificada.

Alimentador	Tipo de interrupção	Ano		Falha/ano	
				Real	Usado na simulação
Primeiro de Maio	FM	19,875	20		
	Interrupção	10,875	11	31	31
Warta	FM	57,375	57		
	Interrupção	104,625	105	162	*100
Sertanópolis	FM	20,25	20		
	Interrupção	56,25	56	56	56
Santa Margarida	FM	6,375	6		
	Interrupção	63	63	69	69
Ibiaci	FM – Ra trecho	91,875	92	69(A)+92(V)	69(A)+*60(V)
	FM	198,375	198		
Buenos Aires	Interrupção		165	363	*100
	FM – Ra trecho	103,125	103	363(A)+103(V)	*100(A)+*70(V)
Amazonas	FM	73,5	74		
	Interrupção	76,5	77	151	*100
Taboca	FM	2,23	2		
	Interrupção	147,63	148	150	*100
Taboca	FM – Ra trecho	60	60	150(A)+60(V)	*100(A)+*50(V)
	FM	13	13		
	Interrupção	21	21	21	21

Obs.:

- Interrupção (I): Proporcionalizado entre o alimentador
- FM: Proporcionalizado entre o alimentador

Ramal: Soma de (I+FM) x percentual do ramal

- FM Trecho: Proporcionalizado entre os ramais a jusante do respectivo alimentador

RA de trecho: Soma de (I+FM) x percentual do ramal (Azul) + FM trecho x percentual do ramal vermelho

Valores utilizados na simulação:

Primeiro de Maio: 31 falhas/ano (20 FM's + I:11)

Warta: FM: 100 Falhas/ano

Sertanópolis: 56 Falhas/ano (I:56) - 20 FM's a ser computado como interrupção)

Santa Margarida: 69 Falhas/ano + Trecho com religador: 60 Falhas/ano)

Ibiaci: 100 Falhas/ano + Trecho com religador: 70 Falhas/ano)

Buenos Aires: 151 falhas/ano (74 FM's + I:77)

Amazonas: 100 Falhas/ano + Trecho com religador: 50 Falhas/ano

Taboca: 21 Falhas/ano (I:21) + Trecho com religador: 13 FM's a ser computado como interrupção

*Valor considerado na simulação (limitação do valor)

Anexo E - VTCD - Resultado da Simulação

Tabela E.1: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB.

Resultado da simulação – Saída de dados do MATLAB													
Def	g	h	Loop	NdefFT (g,h)	Vftmin Barra34	Vftmax Barra34	Vftmin Barra13	Vftmax Barra13	Vftmin Observacao	Vftmax Observacao	TftFinal(s)	IpckF(A)	IpckN(A)
1	4	7	1	22	0,8676	0,9893	0,8734	0,9834	0,8734	0,9834	2,1365	231,7946	68,1026
2	10	11	1	1	0,9966	1,0035	0,8273	1,2962	0,8273	1,2962	5,4961	32,7774	1,5475
3	11	12	1	1	0,9966	1,0035	0,8276	1,2948	0,8276	1,2948	1,0643	39,0591	33,5534
4	10	13	1	1	0,9956	1,0037	0,7676	1,3477	0,7677	1,3477	5,4961	39,129	1,8625
5	12	14	1	5	0,9968	1,0033	0,8314	1,281,1	0,8314	1,2811	1,2496	37,1934	31,8983
6	13	15	1	2	0,9966	1,0035	0,8275	1,2954	0,8275	1,2954	5,4961	32,6943	1,5430
7	15	16	1	7	0,9968	1,0033	0,8328	1,2789	0,8328	1,2789	72,5364	39,4399	41,9290
8	16	17	1	3	0,9969	1,0031	0,8363	1,2691	0,8363	1,2691	1,1199	38,4502	41,9117
9	12	18	1	1	0,9966	1,0034	0,8281	1,2930	0,8281	1,2930	1,0865	38,8104	33,3301
10	18	19	1	2	0,9966	1,0019	0,8729	1,2604	0,8729	1,2604	0,8880	41,3581	40,2552
11	13	20	1	1	0,9965	1,0038	0,8053	1,3115	0,8053	1,3115	5,4961	34,6305	1,6387
12	20	21	1	5	0,9966	1,0034	0,8271	1,2935	0,8271	1,2935	0,5177	37,1554	25,8548
13	14	22	1	1	0,9968	1,0032	0,8325	1,2776	0,8325	1,2776	1,3049	36,7156	31,4775
14	22	23	1	1	0,9968	1,0032	0,8334	1,2750	0,8334	1,2750	1,3459	36,3798	31,1848
15	23	24	1	3	0,9969	1,0024	0,8863	1,2471	0,8863	1,2471	1,2094	37,5619	37,9192
16	21	25	1	3	0,9966	1,0034	0,8276	1,2910	0,8276	1,2910	0,5212	36,8137	25,5993
17	26	27	1	3	0,9970	1,0018	0,8793	1,2307	0,8793	1,2307	1,8397	33,2546	25,9161
18	21	28	1	5	0,9967	1,0034	0,8280	1,2905	0,8280	1,2905	0,5215	36,7667	25,5750
19	28	29	1	5	0,9967	1,0034	0,8295	1,2860	0,8295	1,2860	0,5271	36,2097	25,1816
20	25	30	1	5	0,9967	1,0033	0,8295	1,2849	0,8295	1,2849	0,5289	36,044	25,0511
21	30	31	1	3	0,9967	1,0033	0,8306	1,2819	0,8306	1,2819	0,5329	35,6606	24,7808
22	25	32	1	8	0,9967	1,0033	0,8298	1,2828	0,8298	1,2828	0,5326	35,7225	24,8024
23	32	33	1	6	0,9968	1,0032	0,8325	1,2739	0,8325	1,2739	0,5453	34,5702	23,9706
24	32	34	1	19	0,9968	1,0032	0,8323	1,2754	0,8323	1,2754	0,5425	34,7954	24,1454
25	33	35	1	2	0,9968	1,0032	0,8331	1,2723	0,8331	1,2723	0,5476	34,3631	23,8238
26	35	36	1	9	0,9969	1,0031	0,8365	1,2631	0,8365	1,2631	0,5611	33,2205	23,0184
27	36	37	1	9	0,9971	1,0017	0,8867	1,2205	0,8867	1,2205	0,6474	29,7125	19,0134
28	33	38	1	1	0,9968	1,0032	0,8328	1,2731	0,8328	1,2731	0,5465	34,4622	23,8947
29	38	39	1	7	0,9968	1,0032	0,8334	1,2713	0,8335	1,2713	0,5489	34,2463	23,7429
30	4	40	1	7	0,8249	0,9976	0,8455	0,9671	0,8455	0,9671	0,8753	331,9633	313,3780
31	40	41	1	6	0,8295	1,0032	0,8506	0,9749	0,8506	0,9749	0,8904	319,2251	295,4861
32	40	42	1	1	0,8710	1,0427	0,9005	1,0230	0,9005	1,0230	0,1827	331,5274	374,8661
33	42	43	1	2	0,8838	1,0421	0,9116	1,0244	0,9116	1,0244	0,0941	310,7318	351,3446
34	43	44	1	5	0,9419	1,0288	0,9411	1,0352	0,9411	1,0352	0,0674	288,3648	292,3993
35	41	45	1	2	0,9201	1,0349	0,9334	1,0340	0,9334	1,0340	0,0921	316,2191	329,4487
36	45	46	1	2	0,9466	1,0261	0,9423	1,0341	0,9423	1,0341	0,0680	284,7355	286,4089
37	41	47	1	3	0,8424	1,0019	0,8606	0,9799	0,8606	0,9799	0,9748	291,2006	235,7970
38	47	48	1	2	0,8951	1,0337	0,9149	1,0216	0,9149	1,021,6	0,1026	290,7187	328,7171
39	48	49	1	1	0,9027	1,0335	0,9217	1,0224	0,9217	1,0224	0,0503	277,6196	313,9112
40	47	50	1	4	0,8527	0,9998	0,8681	0,9828	0,8680	0,9828	1,1073	26,9738	188,3318
41	50	51	1	4	0,9113	1,0335	0,9280	1,0278	0,9280	1,0278	0,0993	297,8787	323,5828
42	50	53	1	8	0,8581	0,9983	0,8717	0,9840	0,8717	0,9840	1,2265	258,5424	162,5720
43	53	54	1	2	0,8664	0,9954	0,8770	0,9852	0,8770	0,9852	1,5620	241,4012	121,6847
44	54	55	1	1	0,8708	0,9969	0,8813	0,9872	0,8813	0,9872	1,6020	234,9301	118,4107
45	56	57	1	6	0,9207	1,0248	0,9311	1,0198	0,9311	1,0198	0,0528	243,6725	275,5356
46	55	58	1	9	0,8747	0,9982	0,8851	0,9888	0,8851	0,9888	1,6399	229,205	115,5196
47	55	59	1	1	0,9282	1,0256	0,9365	1,0273	0,9365	1,0273	1,6449	235,249	115,1451
48	59	60	1	2	0,9445	1,0237	0,9444	1,0288	0,9444	1,0288	0,0506	272,9256	274,5496
49	62	63	1	1	0,9973	1,0024	0,8657	1,2226	0,8657	1,2226	309,0229	24,4574	1,6908
50	63	64	1	2	0,9973	1,0024	0,8657	1,2225	0,8657	1,2225	3,0466	24,4461	1,6894

Tabela E.2: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 48 a 97).

48	59	60	1	2	0,9445	1,0237	0,9444	1,0288	0,9444	1,0288	0,0506	272,9256	274,5496
49	62	63	1	1	0,9973	1,0024	0,8657	1,2226	0,8657	1,2226	309,0229	24,4574	1,6908
50	63	64	1	2	0,9973	1,0024	0,8657	1,2225	0,8657	1,2225	3,0466	24,4461	1,6894
51	63	65	1	2	0,9978	1,0024	0,8885	1,1998	0,8885	1,1998	3,9477	21,9569	1,5017
52	65	66	1	6	0,9979	1,0023	0,8895	1,1956	0,8895	1,1956	4,1657	21,4865	1,4679
53	64	67	1	3	0,9973	1,0024	0,8654	1,2216	0,8654	1,2216	3,0811	24,3296	1,6772
54	66	68	1	7	0,9979	1,0023	0,8907	1,1913	0,8907	1,1913	4,4031	21,0166	1,4348
55	66	69	1	4	0,9979	1,0023	0,8903	1,1924	0,8903	1,1924	4,3381	21,1413	1,4434
56	69	70	1	2	0,9979	1,0023	0,8913	1,1890	0,8913	1,1890	4,5344	20,7734	1,4176
57	64	71	1	3	0,9978	1,0024	0,8887	1,1983	0,8887	1,1983	4,0200	21,7965	1,4892
58	67	72	1	5	0,9978	1,0024	0,8876	1,2007	0,8876	1,2007	3,9118	22,0383	1,5035
59	72	73	1	1	0,9979	1,0023	0,8889	1,1959	0,8889	1,1959	4,1500	21,5192	1,4671
60	67	74	1	2	0,9978	1,0024	0,8876	1,2003	0,8876	1,2003	3,9311	21,9943	1,5000
61	74	75	1	3	0,9978	1,0024	0,8877	1,1994	0,8877	1,1994	3,9788	21,8874	1,4918
62	75	76	1	4	0,9979	1,0023	0,8888	1,1940	0,8888	1,1940	4,2765	21,2622	1,4454
63	75	77	1	4	0,9979	1,0023	0,8889	1,1945	0,8889	1,1945	4,2418	21,3315	1,4514
64	76	78	1	4	0,9979	1,0023	0,8897	1,1911	0,8897	1,1911	4,4442	20,9394	1,4226
65	76	79	1	8	0,9979	1,0022	0,8906	1,1871	0,8906	1,1871	4,6980	20,4855	1,3897
66	79	80	1	2	0,9979	1,0022	0,8910	1,1857	0,8910	1,1857	4,7871	20,3351	1,3791
67	80	81	1	2	0,9978	1,0012	0,9151	1,1730	0,9151	1,1730	5,9985	18,6458	1,2771
68	79	82	1	7	0,9978	1,0015	0,9257	1,1704	0,9257	1,1704	6,1592	18,461	1,2549
69	4	83	1	3	0,8226	0,9828	0,8387	0,9803	0,8387	0,9803	0,8525	366,5185	353,4983
70	83	84	1	12	0,8316	0,9774	0,8072	0,9835	0,8072	0,9835	0,0911	318,9771	233,2023
71	84	86	1	3	0,9596	1,0288	0,9223	1,0392	0,9223	1,0392	0,1139	269,9487	271,5354
72	85	87	1	10	0,8394	0,9719	0,7846	0,9871	0,7847	0,9871	1,2773	290,4227	154,1440
73	85	88	1	1	0,8798	1,0351	0,8297	1,0125	0,8297	1,0125	1,1114	284,4389	187,2570
74	88	89	1	3	0,9376	1,0340	0,8953	1,0425	0,8953	1,0425	0,1761	338,3594	341,3273
75	87	90	1	2	0,8943	1,0260	0,7909	1,0054	0,7910	1,0054	0,2035	312,956	353,9039
76	87	91	1	6	0,8461	0,9702	0,7649	0,9923	0,7649	0,9923	2,2233	268,3941	85,9265
77	93	94	1	1	0,9924	1,0043	0,4803	1,8790	0,4812	1,8775	8,4169	72,6522	42,6610
78	94	95	1	1	0,9943	1,0055	0,4086	1,7155	0,4100	1,7143	11,7926	58,1197	35,6984
79	95	96	1	3	0,9949	1,0048	0,3943	1,6062	0,3958	1,6053	8,4772	59,9516	64,5150
80	96	97	1	2	0,9949	1,0046	0,3939	1,5889	0,3954	1,5881	1,3666	59,6703	64,8734
81	97	98	1	1	0,9947	1,0047	0,4260	1,6289	0,4275	1,6279	0,3094	60,9807	68,4980
82	94	99	1	1	0,9927	1,0049	0,4672	1,8486	0,4681	1,8472	8,9515	69,3168	41,2396
83	99	100	1	1	0,9947	1,0051	0,3903	1,6499	0,3918	1,6489	13,5492	54,9978	33,3310
84	100	101	1	3	0,9949	1,0047	0,3939	1,5912	0,3954	1,5903	8,7273	59,5707	63,6234
85	101	102	1	2	0,9952	1,0043	0,4065	1,5401	0,4080	1,5393	1,5910	57,0417	61,1775
86	102	103	1	2	0,9947	1,0046	0,4424	1,6271	0,4438	1,6261	0,3144	60,5613	68,0444
87	99	104	1	1	0,9935	1,0054	0,4462	1,7850	0,4474	1,7837	10,2250	63,2422	38,4108
88	104	105	1	10	0,9948	1,0047	0,3896	1,5999	0,3912	1,5990	0,3607	56,7473	48,9651
89	105	106	1	1	0,9951	1,0045	0,4243	1,5611	0,4258	1,5603	0,3707	53,5356	46,0674
90	106	107	1	6	0,9952	1,0044	0,4374	1,5463	0,4388	1,5455	0,3749	52,2651	44,9405
91	105	108	1	1	0,9951	1,0045	0,4229	1,5626	0,4244	1,5617	0,3703	53,6533	46,1746
92	108	109	1	7	0,9951	1,0044	0,4301	1,5539	0,4316	1,5531	0,3727	52,8855	45,5064
93	109	110	1	12	0,9956	1,0040	0,4816	1,4943	0,4830	1,4936	0,3920	47,5467	40,8730
94	107	111	1	3	0,9953	1,0043	0,4496	1,5326	0,4511	1,5318	0,3790	51,0907	43,8997
95	107	112	1	4	0,9953	1,0042	0,4582	1,5228	0,4596	1,5220	0,3821	50,2186	43,1399
96	112	113	1	1	0,9954	1,0041	0,4655	1,5143	0,4669	1,5136	0,3849	4,9465	42,4844
97	113	114	1	4	0,9955	1,0041	0,4718	1,5071	0,4732	1,5064	0,3873	48,8147	41,9214

Tabela E.3: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 98 a 147).

98	111	115	1	15	0,9954	1,0041	0,4646	1,5156	0,4660	1,5148	0,3844	49,5831	42,5839
99	115	116	1	8	0,9965	1,0021	0,5915	1,2933	0,5922	1,2923	0,4657	37,9983	29,4655
100	111	117	1	15	0,9955	1,0040	0,4756	1,5029	0,4769	1,5022	0,3888	48,44	41,5954
101	93	118	1	1	0,9874	1,0016	0,5194	1,9567	0,5197	1,9551	14,9343	86,0416	57,6699
102	118	119	1	1	0,9910	1,0034	0,4963	1,9133	0,4950	1,9136	17,0380	79,7046	54,8396
103	118	120	1	1	0,9943	1,0055	0,4056	1,7181	0,4043	1,7184	30,6496	59,7673	44,3047
104	119	121	1	1	0,9943	1,0055	0,4071	1,7171	0,4030	1,7189	30,7912	59,6846	44,2334
105	119	122	1	1	0,9926	1,0048	0,4685	1,8547	0,4650	1,8566	20,3437	72,1041	51,3256
106	123	124	1	1	0,9927	1,0048	0,4669	1,8464	0,4626	1,8488	20,8629	71,2768	50,8516
107	120	127	1	1	0,9943	1,0055	0,4081	1,7132	0,4068	1,7135	31,2451	5,9373	44,0081
108	124	129	1	1	0,9943	1,0055	0,4111	1,7124	0,4060	1,7147	31,3820	59,3172	43,9411
109	128	130	1	1	0,9944	1,0054	0,4120	1,7110	0,4070	1,7134	31,5651	59,1974	43,8521
110	128	131	1	1	0,9927	1,0048	0,4674	1,8437	0,4631	1,8462	21,0354	71,0703	50,6980
111	129	132	1	1	0,9946	1,0053	0,4003	1,6779	0,3952	1,6801	34,8846	57,5291	42,3606
112	129	133	1	1	0,9944	1,0054	0,4120	1,7107	0,4069	1,71,3	31,5989	59,1767	43,8358
113	131	135	1	1	0,9944	1,0054	0,4135	1,7089	0,4085	1,7112	31,8464	59,0187	43,7169
114	131	136	1	1	0,9928	1,0048	0,4677	1,8410	0,4634	1,8435	21,2208	70,8458	50,5350
115	6	137	1	1	0,9980	1,0019	0,8764	1,2142	0,8764	1,2142	0,2960	23,4434	1,7055
116	137	138	1	1	0,9984	1,0019	0,8963	1,1922	0,8963	1,1922	0,2960	21,1579	1,5166
117	138	139	1	21	0,9984	1,0018	0,8969	1,1872	0,8969	1,1872	0,5550	22,4052	11,6885
118	137	140	1	2	0,9984	1,0019	0,8965	1,1917	0,8965	1,1917	0,2960	21,1077	1,5133
119	139	141	1	3	0,9984	1,0018	0,8968	1,1852	0,8968	1,1852	0,5609	22,1126	11,5154
120	140	142	1	3	0,9984	1,0019	0,8972	1,1902	0,8972	1,1902	0,2960	2,0964	1,5020
121	140	143	1	1	0,9984	1,0020	0,8868	1,1993	0,8868	1,1993	0,2960	21,8269	1,5746
122	143	144	1	1	0,9983	1,0019	0,8878	1,1974	0,8878	1,1974	823,0085	26,8335	27,7357
123	144	145	1	2	0,9983	1,0019	0,8880	1,1957	0,8880	1,1957	40,0488	26,9714	29,0522
124	141	146	1	8	0,9984	1,0018	0,8970	1,1840	0,8970	1,1840	0,5639	21,9579	11,4286
125	146	147	1	2	0,9984	1,0018	0,8977	1,1808	0,8977	1,1808	0,5717	21,5619	11,2118
126	147	148	1	7	0,9984	1,0017	0,8981	1,1792	0,8981	1,1792	0,5758	21,3613	11,1034
127	148	149	1	3	0,9984	1,0017	0,8987	1,1769	0,8987	1,1769	0,5814	2,1085	10,9549
128	149	150	1	1	0,9984	1,0015	0,9107	1,1698	0,9107	1,1698	0,6013	20,5983	10,4697
129	141	151	1	5	0,9984	1,0018	0,8976	1,1819	0,8976	1,1819	0,5685	21,7161	11,3006
130	151	152	1	16	0,9982	1,0011	0,9208	1,1734	0,9208	1,1734	0,5910	21,6793	10,7135
131	139	153	1	3	0,9984	1,0018	0,8969	1,1850	0,8969	1,1850	0,5611	22,0993	11,5095
132	153	154	1	9	0,9984	1,0018	0,8977	1,1817	0,8977	1,1817	0,5686	21,7035	11,2977
133	154	155	1	2	0,9983	1,0012	0,9250	1,1697	0,9250	1,1697	0,6010	21,1131	10,4762
134	4	7	2	22	0,8298	1,0024	0,8501	0,9750	0,8501	0,9750	0,8508	315,6624	281,7120
135	12	14	2	5	0,9967	1,0033	0,8301	1,2855	0,8301	1,2855	1,1850	37,7935	32,4296
136	13	15	2	2	0,9966	1,0035	0,8271	1,2968	0,8271	1,2968	5,4961	32,8539	1,5507
137	15	16	2	7	0,9967	1,0033	0,8309	1,2846	0,8309	1,2846	64,6812	40,2423	42,7922
138	16	17	2	3	0,9969	1,0032	0,8352	1,2721	0,8352	1,2721	1,0813	38,8679	42,3711
139	18	19	2	2	0,9968	1,0018	0,8732	1,2445	0,8732	1,2445	1,0837	38,8418	37,8028
140	20	21	2	5	0,9966	1,0035	0,8270	1,2947	0,8270	1,2947	0,5160	37,3321	25,9888
141	23	24	2	3	0,9968	1,0024	0,8847	1,2505	0,8847	1,2505	1,1548	38,0916	38,4563
142	21	25	2	3	0,9967	1,0034	0,8277	1,2905	0,8277	1,2905	0,5219	36,7491	25,5513
143	26	27	2	3	0,9969	1,0018	0,8789	1,2354	0,8789	1,2354	1,7130	33,9285	26,4426
144	21	28	2	5	0,9967	1,0034	0,8279	1,2908	0,8279	1,2908	0,5211	36,8108	25,6061
145	28	29	2	5	0,9968	1,0033	0,8317	1,2796	0,8317	1,2796	0,5353	35,4104	24,6196
146	25	30	2	5	0,9967	1,0034	0,8291	1,2861	0,8291	1,2861	0,5275	36,1836	25,1497
147	30	31	2	3	0,9967	1,0033	0,8308	1,2812	0,8308	1,2812	0,5337	35,5824	24,7259

Tabela E.4: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 148 a 197).

148	25	32	2	8	0,9967	1,0033	0,8302	1,2813	0,8302	1,2813	0,5346	35,5334	24,6647
149	32	33	2	6	0,9968	1,0032	0,8316	1,2768	0,8316	1,2768	0,5411	34,9391	24,2363
150	32	34	2	19	0,9969	1,0031	0,8354	1,2672	0,8354	1,2672	0,5542	33,7696	23,4255
151	33	35	2	2	0,9968	1,0032	0,8332	1,2719	0,8332	1,2719	0,5482	34,3118	23,7874
152	35	36	2	9	0,9969	1,0031	0,8351	1,2669	0,8351	1,2669	0,5554	3,3693	23,3513
153	36	37	2	9	0,9969	1,0018	0,8857	1,2373	0,8857	1,2373	0,6116	31,9836	20,4721
154	38	39	2	7	0,9969	1,0031	0,8347	1,2680	0,8347	1,2680	0,5536	3,3838	23,4566
155	4	40	2	7	0,8149	0,9970	0,8364	0,9640	0,8364	0,9640	0,8442	363,3668	378,6054
156	40	41	2	6	0,8333	1,0029	0,8537	0,9766	0,8537	0,9766	0,9099	310,5923	277,2728
157	42	43	2	2	0,8783	1,0424	0,9068	1,0239	0,9068	1,0239	0,0908	319,8141	361,6214
158	43	44	2	5	0,9525	1,0263	0,9482	1,0327	0,9481	1,0327	0,0747	255,2046	258,7707
159	41	45	2	2	0,9200	1,0349	0,9333	1,0340	0,9333	1,0340	0,0920	316,3773	329,6136
160	45	46	2	2	0,9463	1,0262	0,9421	1,0342	0,9421	1,0342	0,0679	285,6292	287,3080
161	41	47	2	3	0,8424	1,0019	0,8606	0,9799	0,8606	0,9799	0,9749	291,1927	235,7797
162	47	48	2	2	0,8931	1,0338	0,9132	1,0214	0,9132	1,0214	0,1011	293,9272	332,3479
163	47	50	2	4	0,8528	0,9998	0,8682	0,9828	0,8681	0,9828	1,1099	269,4412	187,6592
164	50	51	2	4	0,9173	1,0331	0,9332	1,0280	0,9332	1,0280	0,1049	286,1344	310,8182
165	50	53	2	8	0,8579	0,9984	0,8716	0,9839	0,8716	0,9839	1,2205	259,0091	163,6636
166	53	54	2	2	0,8665	0,9954	0,8771	0,9852	0,8771	0,9852	1,5628	241,2593	121,6128
167	56	57	2	6	0,9122	1,0245	0,9233	1,01,88	0,9233	1,0188	0,0515	258,6448	292,4771
168	55	58	2	9	0,8853	1,0011	0,8952	0,9928	0,8952	0,9928	1,7537	213,8892	107,7911
169	59	60	2	2	0,9413	1,0239	0,9427	1,0290	0,9427	1,0290	0,0501	281,3275	283,0023
170	63	64	2	2	0,9973	1,0024	0,8656	1,2224	0,8656	1,2224	3,0524	24,4265	1,6871
171	63	65	2	2	0,9978	1,0024	0,8884	1,2004	0,8884	1,2004	3,9193	22,0211	1,5064
172	65	66	2	6	0,9979	1,0023	0,8894	1,1958	0,8894	1,1958	4,1515	21,516	1,4700
173	64	67	2	3	0,9973	1,0024	0,8655	1,2223	0,8655	1,2223	3,0576	24,4087	1,6850
174	66	68	2	7	0,9979	1,0023	0,8916	1,1884	0,8916	1,1884	4,5697	20,7101	1,4135
175	66	69	2	4	0,9979	1,0023	0,8909	1,1905	0,8909	1,1905	4,4502	20,9282	1,4284
176	69	70	2	2	0,9979	1,0023	0,8914	1,1889	0,8914	1,1889	4,5451	20,7541	1,4163
177	64	71	2	3	0,9978	1,0024	0,8883	1,1998	0,8883	1,1998	3,9491	21,9537	1,5001
178	67	72	2	5	0,9978	1,0024	0,8884	1,1976	0,8884	1,1976	4,0623	21,7046	1,4801
179	67	74	2	2	0,9978	1,0024	0,8876	1,2006	0,8876	1,2006	3,9157	22,0294	1,5027
180	74	75	2	3	0,9978	1,0024	0,8879	1,1984	0,8879	1,1984	4,0365	21,7605	1,4823
181	75	76	2	4	0,9979	1,0023	0,8889	1,1936	0,8889	1,1936	4,3019	21,2121	1,4417
182	75	77	2	4	0,9979	1,0023	0,8890	1,1941	0,8890	1,1941	4,2639	21,2873	1,4484
183	76	78	2	4	0,9979	1,0023	0,8897	1,1908	0,8897	1,1908	4,4582	20,9133	1,4208
184	76	79	2	8	0,9979	1,0023	0,8895	1,1910	0,8895	1,1910	4,4519	20,925	1,4211
185	79	80	2	2	0,9979	1,0022	0,8911	1,1854	0,8911	1,1854	4,8040	20,307	1,3772
186	80	81	2	2	0,9977	1,0012	0,9151	1,1755	0,9151	1,1755	5,7777	18,9125	1,2955
187	79	82	2	7	0,9978	1,0015	0,9261	1,1695	0,9261	1,1695	6,2512	18,3585	1,2479
188	4	83	2	3	0,8224	0,9830	0,8402	0,9802	0,8402	0,9802	0,8500	369,0814	359,7883
189	83	84	2	12	0,8350	0,9751	0,7973	0,9849	0,7974	0,9849	0,0959	305,9859	198,2056
190	84	86	2	3	0,9587	1,0291	0,9213	1,0395	0,9213	1,0395	0,1118	273,44	275,0476
191	85	87	2	10	0,8413	0,9703	0,7791	0,9883	0,7791	0,9883	1,4234	283,9908	135,0557
192	88	89	2	3	0,9436	1,0328	0,9041	1,0416	0,9041	1,041,6	0,1962	318,9852	321,7814
193	87	90	2	2	0,8954	1,0261	0,7928	1,0059	0,7928	1,0059	0,2058	311,1063	351,8110
194	87	91	2	6	0,8502	0,9732	0,7524	0,9974	0,7525	0,9974	5,6716	255,1988	40,4425
195	95	96	2	3	0,9948	1,0049	0,3843	1,61,91	0,3859	1,6182	7,7483	61,1539	65,8228
196	96	97	2	2	0,9950	1,0046	0,3980	1,5839	0,3995	1,5830	1,4040	59,1895	64,3464
197	100	101	2	3	0,9948	1,0048	0,3826	1,6053	0,3842	1,6044	7,8985	60,894	65,0513

Tabela E.5: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 198 a 247).

198	101	102	2	2	0,9952	1,0043	0,4071	1,5394	0,4086	1,5387	1,5968	56,9819	61,1129
199	102	103	2	2	0,9947	1,0046	0,4412	1,6290	0,4426	1,6280	0,3123	60,7372	68,2435
200	104	105	2	10	0,9948	1,0047	0,3926	1,5965	0,3942	1,5956	0,3615	56,4686	48,7134
201	106	107	2	6	0,9952	1,0043	0,4401	1,5432	0,4416	1,5424	0,3758	52,0006	44,7061
202	108	109	2	7	0,9953	1,0043	0,4470	1,5339	0,4485	1,5331	0,3787	51,1055	43,9588
203	109	110	2	12	0,9955	1,0041	0,4691	1,5085	0,4705	1,5077	0,3870	48,8221	41,9785
204	107	111	2	3	0,9954	1,0042	0,4588	1,5222	0,4602	1,5214	0,3823	50,1715	43,0962
205	107	112	2	4	0,9953	1,0043	0,4505	1,5316	0,4519	1,5308	0,3793	51,0042	43,8245
206	113	114	2	4	0,9955	1,0040	0,4774	1,5008	0,4788	1,5000	0,3895	48,2435	41,4269
207	111	115	2	15	0,9955	1,0040	0,4767	1,5018	0,4780	1,5011	0,3891	48,3499	41,5130
208	115	116	2	8	0,9959	1,0023	0,5118	1,3351	0,5126	1,3340	0,4262	44,664	34,6477
209	111	117	2	15	0,9956	1,0040	0,4809	1,4968	0,4823	1,4961	0,3909	47,8903	41,1195
210	138	139	2	21	0,9984	1,0019	0,8970	1,1900	0,8970	1,1900	0,5466	22,8317	11,9436
211	137	140	2	2	0,9984	1,0019	0,8966	1,1910	0,8966	1,1910	0,2960	21,033	1,5079
212	139	141	2	3	0,9984	1,0018	0,8968	1,1851	0,8968	1,1851	0,5610	22,1039	11,5105
213	140	142	2	3	0,9984	1,0018	0,8976	1,1884	0,8976	1,1884	0,2960	20,7687	1,4871
214	144	145	2	2	0,9983	1,0019	0,8883	1,1943	0,8883	1,1943	41,5232	26,7867	28,8497
215	141	146	2	8	0,9984	1,0018	0,8975	1,1818	0,8975	1,1818	0,5693	21,6814	11,2771
216	146	147	2	2	0,9984	1,0018	0,8977	1,1806	0,8977	1,1806	0,5723	21,5306	11,1949
217	147	148	2	7	0,9984	1,0017	0,8984	1,1779	0,8984	1,1779	0,5788	21,2129	11,0238
218	148	149	2	3	0,9984	1,0017	0,8988	1,1766	0,8988	1,1765	0,5823	21,0438	10,9326
219	141	151	2	5	0,9984	1,0018	0,8970	1,1841	0,8970	1,1841	0,5636	21,9747	11,4384
220	151	152	2	16	0,9984	1,0010	0,9234	1,1547	0,9234	1,1546	0,6466	19,282	9,5225
221	139	153	2	3	0,9984	1,0018	0,8968	1,1854	0,8968	1,1854	0,5601	22,149	11,5363
222	153	154	2	9	0,9984	1,0018	0,8978	1,1814	0,8978	1,1813	0,5695	21,6589	11,2739
223	154	155	2	2	0,9982	1,0012	0,9250	1,1703	0,9250	1,1703	0,5994	21,1874	10,5133
224	4	7	3	22	0,8533	0,9969	0,8661	0,9822	0,8661	0,9822	1,0475	263,9143	159,1053
225	12	14	3	5	0,9967	1,0034	0,8288	1,2901	0,8288	1,2901	1,1232	38,4161	32,9809
226	15	16	3	7	0,9967	1,0034	0,8301	1,2873	0,8301	1,2873	61,4593	40,6079	43,1856
227	16	17	3	3	0,9969	1,0031	0,8367	1,2679	0,8367	1,2679	1,1357	38,2857	41,7309
228	20	21	3	5	0,9966	1,0035	0,8269	1,2952	0,8269	1,2952	0,5153	37,3985	26,0391
229	23	24	3	3	0,9968	1,0025	0,8835	1,2531	0,8835	1,2531	1,1163	38,4882	38,8584
230	21	25	3	3	0,9966	1,0034	0,8276	1,2910	0,8276	1,2910	0,5213	36,8079	25,5950
231	26	27	3	3	0,9966	1,0019	0,8785	1,2579	0,8785	1,2579	1,2520	37,1724	28,9774
232	21	28	3	5	0,9967	1,0034	0,8280	1,2905	0,8280	1,2905	0,5215	36,7675	25,5756
233	28	29	3	5	0,9967	1,0033	0,8299	1,2846	0,8299	1,2846	0,5288	3,6037	25,0601
234	25	30	3	5	0,9967	1,0034	0,8289	1,2868	0,8289	1,2868	0,5266	36,2751	25,2143
235	30	31	3	3	0,9967	1,0033	0,8303	1,2826	0,8303	1,2826	0,5319	35,7536	24,8462
236	25	32	3	8	0,9967	1,0033	0,8291	1,2852	0,8291	1,2852	0,5291	36,0452	25,0376
237	32	33	3	6	0,9968	1,0032	0,8312	1,2779	0,8312	1,2779	0,5395	35,0862	24,3422
238	32	34	3	19	0,9969	1,0031	0,8370	1,2631	0,8370	1,2631	0,5601	33,2692	23,0743
239	35	36	3	9	0,9969	1,0031	0,8353	1,2663	0,8353	1,2662	0,5564	33,6114	23,2938
240	36	37	3	9	0,9970	1,0018	0,8859	1,2310	0,8859	1,2310	0,6244	31,1278	19,9224
241	38	39	3	7	0,9969	1,0031	0,8348	1,2678	0,8348	1,2678	0,5539	33,8153	23,4406
242	4	40	3	7	0,8163	0,9972	0,8378	0,9632	0,8378	0,9632	0,8473	358,1085	367,6627
243	40	41	3	6	0,8293	1,0032	0,8504	0,9748	0,8504	0,9748	0,8895	319,6683	296,4186
244	43	44	3	5	0,9553	1,0256	0,9501	1,0319	0,9501	1,0319	0,0773	245,8938	249,3284
245	41	47	3	3	0,8435	1,0017	0,8614	0,9803	0,8614	0,9803	0,9853	288,8787	230,7574
246	47	50	3	4	0,8530	0,9997	0,8683	0,9829	0,8683	0,9829	1,1130	269,0858	186,8532
247	50	51	3	4	0,9217	1,0327	0,9370	1,0280	0,9370	1,0280	0,1096	277,2373	301,1484

Tabela E.6: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 248 a 297).

248	50	53	3	8	0,8648	0,9959	0,8760	0,9850	0,8760	0,9850	1,4818	244,546	128,9868
249	56	57	3	6	0,9106	1,0245	0,9218	1,0186	0,9218	1,0186	0,0513	261,3768	295,5685
250	55	58	3	9	0,8744	0,9981	0,8848	0,9887	0,8848	0,9887	1,6370	229,6212	115,7296
251	65	66	3	6	0,9978	1,0024	0,8890	1,1977	0,8890	1,1977	4,0509	21,7292	1,4854
252	64	67	3	3	0,9973	1,0024	0,8655	1,2222	0,8655	1,2222	3,0611	24,3971	1,6839
253	66	68	3	7	0,9979	1,0023	0,8908	1,1908	0,8908	1,1908	4,4289	20,9681	1,4315
254	66	69	3	4	0,9979	1,0023	0,8899	1,1941	0,8899	1,1941	4,2467	21,3217	1,4561
255	64	71	3	3	0,9978	1,0024	0,8888	1,1981	0,8888	1,1981	4,0331	21,7678	1,4872
256	67	72	3	5	0,9978	1,0024	0,8884	1,1978	0,8884	1,1978	4,0521	21,7267	1,4816
257	74	75	3	3	0,9978	1,0024	0,8881	1,1975	0,8881	1,1975	4,0839	21,6584	1,4746
258	75	76	3	4	0,9979	1,0023	0,8888	1,1939	0,8888	1,1939	4,2867	21,2421	1,4439
259	75	77	3	4	0,9979	1,0023	0,8884	1,1961	0,8884	1,1961	4,1572	21,5043	1,4634
260	76	78	3	4	0,9979	1,0023	0,8892	1,1924	0,8892	1,1924	4,3697	21,0805	1,4324
261	76	79	3	8	0,9979	1,0023	0,8901	1,1889	0,8901	1,1889	4,5828	20,6867	1,4041
262	79	82	3	7	0,9979	1,0014	0,9264	1,1666	0,9264	1,1666	6,5489	18,0417	1,2262
263	4	83	3	3	0,8236	0,9822	0,8341	0,9808	0,8341	0,9808	0,8613	358,991	334,9561
264	83	84	3	12	0,8329	0,9766	0,8035	0,9840	0,8035	0,9840	0,0929	313,9784	219,8945
265	84	86	3	3	0,9236	1,0366	0,8754	1,0457	0,8754	1,0457	0,0727	392,3718	394,6893
266	85	87	3	10	0,8384	0,9727	0,7876	0,9865	0,7876	0,9865	1,2171	293,9146	164,2719
267	88	89	3	3	0,9348	1,0345	0,8913	1,0428	0,8913	1,0428	0,1684	347,0735	350,1185
268	87	91	3	6	0,8500	0,9731	0,7528	0,9972	0,7529	0,9972	5,3969	255,6241	41,9631
269	95	96	3	3	0,9948	1,0048	0,3909	1,61,05	0,3925	1,6096	8,2221	60,3559	64,9547
270	100	101	3	3	0,9950	1,0046	0,4001	1,5835	0,4016	1,5827	9,2247	58,8552	62,8512
271	104	105	3	10	0,9949	1,0046	0,4068	1,5805	0,4084	1,5796	0,3655	55,1417	47,5148
272	106	107	3	6	0,9951	1,0044	0,4300	1,5547	0,4315	1,5538	0,3725	52,9823	45,5764
273	108	109	3	7	0,9953	1,0043	0,4472	1,5338	0,4486	1,5330	0,3788	51,0916	43,9467
274	109	110	3	12	0,9956	1,0040	0,4760	1,5007	0,4773	1,4999	0,3898	48,1217	41,3714
275	107	111	3	3	0,9953	1,0042	0,4564	1,5248	0,4579	1,5241	0,3814	50,4052	43,3004
276	107	112	3	4	0,9953	1,0042	0,4547	1,5268	0,4561	1,5260	0,3808	50,5723	43,4482
277	113	114	3	4	0,9955	1,0041	0,4715	1,5074	0,4729	1,5067	0,3872	48,8449	41,9474
278	111	115	3	15	0,9956	1,0039	0,4908	1,4861	0,4921	1,4853	0,3948	46,9383	40,2872
279	115	116	3	8	0,9961	1,0022	0,5421	1,3197	0,5429	1,3186	0,4396	42,1411	32,6863
280	111	117	3	15	0,9956	1,0039	0,4863	1,4908	0,4876	1,4901	0,3931	47,3492	40,6512
281	138	139	3	21	0,9984	1,0018	0,8969	1,1887	0,8969	1,1887	0,5504	22,6349	11,8261
282	139	141	3	3	0,9984	1,0018	0,8969	1,1845	0,8969	1,1845	0,5625	22,0286	11,4677
283	140	142	3	3	0,9984	1,0019	0,8973	1,1900	0,8973	1,1900	0,2960	20,9369	1,5004
284	141	146	3	8	0,9984	1,0018	0,8972	1,1831	0,8972	1,1831	0,5660	21,8478	11,3685
285	147	148	3	7	0,9984	1,0017	0,8987	1,1770	0,8987	1,1770	0,5811	21,1034	10,9650
286	148	149	3	3	0,9984	1,0017	0,8990	1,1759	0,8990	1,1759	0,5839	20,9649	10,8911
287	141	151	3	5	0,9984	1,0018	0,8970	1,1842	0,8970	1,1842	0,5633	21,9866	11,4446
288	151	152	3	16	0,9983	1,0011	0,9226	1,1589	0,9226	1,1589	0,6327	19,8256	9,7921
289	139	153	3	3	0,9984	1,0018	0,8969	1,1853	0,8969	1,1853	0,5605	22,1279	11,5247
290	153	154	3	9	0,9984	1,0018	0,8979	1,1811	0,8979	1,1811	0,5701	21,6256	11,2560
291	4	7	4	22	0,8466	0,9991	0,8619	0,9807	0,8619	0,9807	0,9454	278,4371	195,3682
292	12	14	4	5	0,9967	1,0033	0,8307	1,2835	0,8307	1,2835	1,2142	37,5164	32,1843
293	15	16	4	7	0,9967	1,0034	0,8293	1,2897	0,8293	1,2897	58,6097	40,9523	43,5561
294	20	21	4	5	0,9966	1,0034	0,8272	1,2933	0,8272	1,2933	0,5181	37,1245	25,8312
295	21	28	4	5	0,9967	1,0034	0,8284	1,2892	0,8284	1,2892	0,5231	36,6055	25,4611
296	28	29	4	5	0,9967	1,0033	0,8302	1,2839	0,8302	1,2839	0,5297	35,9458	24,9960
297	25	30	4	5	0,9967	1,0033	0,8295	1,2850	0,8295	1,2850	0,5289	36,0512	25,0562

Tabela E.7: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 298 a 347).

298	25	32	4	8	0,9967	1,0033	0,8300	1,2820	0,8300	1,2820	0,5336	35,6227	24,7297
299	32	33	4	6	0,9968	1,0032	0,8314	1,2772	0,8314	1,2772	0,5404	35,0009	24,2808
300	32	34	4	19	0,9969	1,0031	0,8350	1,2683	0,8350	1,2683	0,5525	33,9108	23,5245
301	35	36	4	9	0,9969	1,0031	0,8341	1,2694	0,8341	1,2694	0,5518	34,0033	23,5700
302	36	37	4	9	0,9972	1,0017	0,8874	1,2144	0,8874	1,2144	0,6619	28,8946	18,4881
303	38	39	4	7	0,9969	1,0031	0,8340	1,2700	0,8340	1,2699	0,5509	34,0784	23,6252
304	4	40	4	7	0,8170	0,9973	0,8385	0,9629	0,8385	0,9629	0,8491	355,532	362,3088
305	40	41	4	6	0,8343	1,0028	0,8544	0,9770	0,8544	0,9770	0,9153	308,4979	272,8356
306	43	44	4	5	0,9545	1,0258	0,9496	1,0322	0,9496	1,0322	0,0766	248,5235	251,9952
307	47	50	4	4	0,8515	1,0001	0,8672	0,9825	0,8672	0,9825	1,0866	272,2522	194,0084
308	50	51	4	4	0,9244	1,0325	0,9394	1,0280	0,9394	1,0280	0,1129	271,5554	294,9730
309	50	53	4	8	0,8576	0,9985	0,8714	0,9839	0,8714	0,9839	1,2132	259,5827	165,0029
310	56	57	4	6	0,9184	1,0247	0,9290	1,0195	0,9290	1,0195	0,0524	247,7526	280,1523
311	55	58	4	9	0,8744	0,9981	0,8848	0,9887	0,8847	0,9887	1,6365	229,6974	115,7680
312	65	66	4	6	0,9978	1,0024	0,8888	1,1988	0,8888	1,1988	3,9986	21,8435	1,4936
313	66	68	4	7	0,9979	1,0023	0,8915	1,1887	0,8915	1,1887	4,5541	20,738	1,4154
314	66	69	4	4	0,9979	1,0023	0,8902	1,1929	0,8902	1,1929	4,3122	21,1919	1,4469
315	67	72	4	5	0,9979	1,0024	0,8888	1,1963	0,8888	1,1963	4,1315	21,5578	1,4698
316	75	76	4	4	0,9979	1,0023	0,8884	1,1955	0,8884	1,1955	4,1915	21,4335	1,4579
317	75	77	4	4	0,9979	1,0023	0,8892	1,1935	0,8892	1,1935	4,2988	21,2181	1,4436
318	76	78	4	4	0,9979	1,0023	0,8896	1,1912	0,8896	1,1912	4,4396	20,9479	1,4232
319	76	79	4	8	0,9979	1,0023	0,8896	1,1906	0,8896	1,1906	4,4748	20,8824	1,4181
320	79	82	4	7	0,9979	1,0014	0,9264	1,1671	0,9264	1,1671	6,4973	18,095	1,2298
321	83	84	4	12	0,8317	0,9773	0,8071	0,9836	0,8071	0,9836	0,0911	318,8368	232,8316
322	85	87	4	10	0,8418	0,9698	0,7777	0,9886	0,7777	0,9886	1,47	282,3717	130,1541
323	87	91	4	6	0,8486	0,9720	0,7572	0,9952	0,7573	0,9952	3,5147	260,2623	58,3419
324	104	105	4	10	0,9949	1,0046	0,4033	1,5845	0,4048	1,5836	0,3645	55,4714	47,8127
325	106	107	4	6	0,9952	1,0043	0,4454	1,5373	0,4469	1,5365	0,3775	51,4921	44,2552
326	108	109	4	7	0,9952	1,0043	0,4374	1,5452	0,4389	1,5444	0,3753	52,1086	44,8309
327	109	110	4	12	0,9957	1,0039	0,4885	1,4867	0,4898	1,4860	0,3948	46,8607	40,2784
328	107	112	4	4	0,9953	1,0042	0,4541	1,5275	0,4555	1,5267	0,3806	50,636	43,5036
329	113	114	4	4	0,9955	1,0040	0,4761	1,5022	0,4775	1,5015	0,3890	48,3731	41,5390
330	111	115	4	15	0,9955	1,0041	0,4698	1,5096	0,4712	1,5088	0,3864	49,0486	42,1198
331	115	116	4	8	0,9963	1,0022	0,5576	1,3116	0,5583	1,3105	0,4472	40,8478	31,6808
332	111	117	4	15	0,9957	1,0039	0,4967	1,4792	0,4980	1,4785	0,3974	46,2981	39,7413
333	138	139	4	21	0,9984	1,0019	0,8970	1,1903	0,8970	1,1903	0,5456	22,8817	11,9733
334	141	146	4	8	0,9984	1,0018	0,8975	1,1816	0,8975	1,1816	0,5698	21,6588	11,2648
335	147	148	4	7	0,9984	1,0017	0,8985	1,1776	0,8985	1,1776	0,5795	21,1766	11,0041
336	141	151	4	5	0,9984	1,0018	0,8971	1,1837	0,8971	1,1837	0,5644	21,9306	11,4148
337	151	152	4	16	0,9983	1,0011	0,9224	1,1603	0,9224	1,1603	0,6284	19,9989	9,8786
338	153	154	4	9	0,9984	1,0018	0,8979	1,1811	0,8979	1,1811	0,5700	21,6302	11,2585
339	4	7	5	22	0,8656	0,9907	0,8726	0,9835	0,8726	0,9835	1,7515	236,4529	82,5931
340	12	14	5	5	0,9968	1,0033	0,8314	1,2812	0,8314	1,2812	1,2479	37,2083	31,9114
341	15	16	5	7	0,9967	1,0034	0,8293	1,2896	0,8293	1,2896	58,7003	40,941	43,5439
342	20	21	5	5	0,9966	1,0034	0,8271	1,2936	0,8271	1,2936	0,5175	37,1771	25,8712
343	21	28	5	5	0,9967	1,0034	0,8288	1,2879	0,8288	1,2879	0,5247	36,4453	25,3479
344	28	29	5	5	0,9967	1,0033	0,8311	1,2813	0,8311	1,2813	0,5331	35,6176	24,7653
345	25	30	5	5	0,9967	1,0033	0,8293	1,2855	0,8293	1,2855	0,5282	36,1167	25,1024
346	25	32	5	8	0,9967	1,0034	0,8282	1,2884	0,8282	1,2884	0,5247	36,468	25,3456
347	32	33	5	6	0,9968	1,0033	0,8310	1,2785	0,8310	1,2785	0,5386	35,1695	24,4021

Tabela E.8: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 348 a 397).

348	32	34	5	19	0,9969	1,0031	0,8359	1,2658	0,8359	1,2658	0,5562	33,5998	23,3063
349	35	36	5	9	0,9969	1,0031	0,8359	1,2647	0,8359	1,2647	0,5587	33,4151	23,1555
350	36	37	5	9	0,9971	1,0017	0,8865	1,2225	0,8865	1,2225	0,6428	29,9872	19,1898
351	38	39	5	7	0,9969	1,0031	0,8346	1,2683	0,8346	1,2683	0,5533	33,8704	23,4793
352	4	40	5	7	0,8170	0,9973	0,8385	0,9629	0,8385	0,9629	0,8490	355,6945	362,6464
353	40	41	5	6	0,8382	1,0024	0,8575	0,9785	0,8575	0,9785	0,9411	299,9749	254,6829
354	43	44	5	5	0,9256	1,0317	0,9315	1,0379	0,9315	1,0379	0,0608	334,2018	338,8838
355	50	53	5	8	0,8642	0,9962	0,8756	0,9849	0,8756	0,9849	1,4492	245,8876	132,2825
356	56	57	5	6	0,9252	1,0248	0,9352	1,0201	0,9352	1,0201	0,0536	235,4667	266,2507
357	55	58	5	9	0,8876	1,0017	0,8974	0,9936	0,8974	0,9936	1,7814	210,5517	106,1071
358	65	66	5	6	0,9978	1,0024	0,8887	1,1988	0,8887	1,1988	3,9956	21,8501	1,4940
359	66	68	5	7	0,9979	1,0023	0,8908	1,1910	0,8908	1,1910	4,4177	20,9892	1,4329
360	67	72	5	5	0,9978	1,0024	0,8883	1,1983	0,8883	1,1983	4,0291	21,7766	1,4851
361	76	79	5	8	0,9979	1,0023	0,8901	1,1891	0,8901	1,1891	4,5712	20,7074	1,4056
362	79	82	5	7	0,9979	1,0014	0,9267	1,1647	0,9267	1,1647	6,7701	17,8204	1,2110
363	83	84	5	12	0,8291	0,9789	0,8148	0,9827	0,8148	0,9827	0,0876	329,5872	260,9023
364	85	87	5	10	0,8362	0,9743	0,7940	0,9854	0,7940	0,9854	1,1145	301,7439	186,4537
365	87	91	5	6	0,8469	0,9708	0,7624	0,9932	0,7624	0,9932	2,5222	265,6634	76,8286
366	104	105	5	10	0,9948	1,0048	0,3838	1,6066	0,3854	1,6057	0,3591	57,3024	49,4663
367	106	107	5	6	0,9953	1,0043	0,4483	1,5341	0,4498	1,5333	0,3785	51,2191	44,0132
368	108	109	5	7	0,9953	1,0042	0,4501	1,5304	0,4515	1,5296	0,3798	50,7897	43,6841
369	109	110	5	12	0,9956	1,0040	0,4767	1,4998	0,4781	1,4991	0,3901	48,0461	41,3058
370	111	115	5	15	0,9956	1,0039	0,4913	1,4854	0,4927	1,4847	0,3950	46,8792	40,2358
371	115	116	5	8	0,9964	1,0022	0,5799	1,2996	0,5806	1,2986	0,4590	38,9781	30,2272
372	111	117	5	15	0,9955	1,0040	0,4766	1,5018	0,4779	1,5010	0,3892	48,3361	41,5055
373	138	139	5	21	0,9984	1,0018	0,8968	1,1857	0,8968	1,1857	0,5594	22,1877	11,5587
374	141	146	5	8	0,9984	1,0018	0,8970	1,1842	0,8970	1,1842	0,5633	21,9882	11,4452
375	147	148	5	7	0,9984	1,0017	0,8984	1,1780	0,8984	1,1780	0,5787	21,2155	11,0250
376	141	151	5	5	0,9984	1,0018	0,8976	1,1818	0,8976	1,1818	0,5688	21,7018	11,2927
377	151	152	5	16	0,9983	1,0011	0,9214	1,1677	0,9214	1,1677	0,6065	20,9458	10,3489
378	153	154	5	9	0,9984	1,0018	0,8981	1,1802	0,8981	1,1802	0,5721	21,5251	11,2026
379	4	7	6	22	0,8606	0,9938	0,8702	0,9833	0,8702	0,9833	1,2980	247,8511	115,9841
380	15	16	6	7	0,9968	1,0033	0,8326	1,2795	0,8326	1,2795	71,7367	39,5165	42,0114
381	25	32	6	8	0,9967	1,0033	0,8302	1,2811	0,8302	1,2811	0,5349	35,5068	24,6452
382	32	33	6	6	0,9968	1,0032	0,8312	1,2778	0,8312	1,2778	0,5396	35,0774	24,3358
383	32	34	6	19	0,9968	1,0032	0,8321	1,2758	0,8321	1,2758	0,5420	34,8458	24,1807
384	35	36	6	9	0,9969	1,0031	0,8346	1,2682	0,8346	1,2682	0,5535	33,8562	23,4664
385	36	37	6	9	0,9969	1,0018	0,8857	1,2394	0,8857	1,2394	0,6075	32,2687	20,6552
386	38	39	6	7	0,9969	1,0031	0,8342	1,2693	0,8342	1,2693	0,5518	33,9959	23,5673
387	4	40	6	7	0,8221	0,9976	0,8431	0,9653	0,8431	0,9653	0,8643	339,8172	329,6968
388	40	41	6	6	0,8304	1,0032	0,8513	0,9753	0,8513	0,9753	0,8946	317,2053	291,2345
389	50	53	6	8	0,8653	0,9958	0,8763	0,9850	0,8763	0,9850	1,5058	243,613	126,6843
390	56	57	6	6	0,9261	1,0248	0,9361	1,0202	0,9361	1,0202	0,0538	233,6322	264,1750
391	55	58	6	9	0,8788	0,9994	0,8891	0,9904	0,8890	0,9904	1,6821	223,2091	112,4939
392	65	66	6	6	0,9978	1,0024	0,8888	1,1986	0,8888	1,1986	4,0059	21,8275	1,4924
393	66	68	6	7	0,9979	1,0023	0,8908	1,1910	0,8908	1,1910	4,4163	20,9917	1,4331
394	76	79	6	8	0,9979	1,0023	0,8902	1,1886	0,8902	1,1886	4,6008	20,6546	1,4018
395	79	82	6	7	0,9978	1,0014	0,9263	1,1680	0,9263	1,1680	6,4010	18,1962	1,2368
396	83	84	6	12	0,8252	0,9812	0,8279	0,9814	0,8279	0,9814	0,0820	349,1848	310,5832
397	85	87	6	10	0,8415	0,9701	0,7784	0,9885	0,7784	0,9885	1,4444	283,2408	132,7902

Tabela E.9: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 398 a 447).

398	87	91	6	6	0,8498	0,9729	0,7534	0,9969	0,7534	0,9969	5,0413	256,2396	44,1590
399	104	105	6	10	0,9948	1,0048	0,3850	1,6052	0,3866	1,6043	0,3594	57,1859	49,3612
400	106	107	6	6	0,9952	1,0043	0,4401	1,5432	0,4416	1,5424	0,3758	52,0046	44,7096
401	108	109	6	7	0,9951	1,0044	0,4296	1,5545	0,4311	1,5537	0,3726	52,9381	45,5521
402	109	110	6	12	0,9954	1,0041	0,4613	1,5174	0,4627	1,5167	0,3840	49,6281	42,6770
403	111	115	6	15	0,9955	1,0041	0,4733	1,5056	0,4747	1,5049	0,3878	48,6902	41,8085
404	115	116	6	8	0,9963	1,0022	0,5633	1,3086	0,5640	1,3075	0,4501	40,3736	31,3121
405	111	117	6	15	0,9954	1,0041	0,4667	1,5130	0,4681	1,5123	0,3853	49,3503	42,3834
406	138	139	6	21	0,9984	1,0018	0,8970	1,1892	0,8970	1,1892	0,5488	22,7177	11,8753
407	141	146	6	8	0,9984	1,0018	0,8974	1,1823	0,8974	1,1823	0,5679	21,7532	11,3164
408	147	148	6	7	0,9984	1,0017	0,8980	1,1797	0,8980	1,1797	0,5745	21,424	11,1372
409	151	152	6	16	0,9984	1,0010	0,9234	1,1546	0,9234	1,1546	0,6468	19,2748	9,5184
410	153	154	6	9	0,9984	1,0018	0,8971	1,1841	0,8971	1,1841	0,5632	21,9882	11,4498
411	4	7	7	22	0,8448	0,9995	0,8607	0,9802	0,8607	0,9802	0,9276	282,2751	204,6378
412	15	16	7	7	0,9967	1,0034	0,8300	1,2873	0,8300	1,2873	6,1412	40,6135	43,1916
413	25	32	7	8	0,9967	1,0034	0,8285	1,2875	0,8285	1,2875	0,5260	36,3479	25,2581
414	32	34	7	19	0,9968	1,0032	0,8336	1,2718	0,8336	1,2718	0,5476	34,3416	23,8269
415	35	36	7	9	0,9969	1,0030	0,8372	1,2613	0,8372	1,2613	0,5639	32,9941	22,8589
416	36	37	7	9	0,9972	1,0017	0,8870	1,2174	0,8870	1,2174	0,6547	2,9297	18,7465
417	38	39	7	7	0,9968	1,0032	0,8329	1,2727	0,8329	1,2727	0,5470	34,4154	23,8615
418	4	40	7	7	0,8179	0,9974	0,8393	0,9625	0,8393	0,9625	0,8512	352,7531	356,5384
419	50	53	7	8	0,8576	0,9985	0,8714	0,9839	0,8714	0,9839	1,2130	259,5944	165,0302
420	55	58	7	9	0,8772	0,9989	0,8875	0,9898	0,8875	0,9898	1,6650	225,5887	113,6947
421	66	68	7	7	0,9979	1,0023	0,8908	1,1911	0,8908	1,1911	4,4138	20,9964	1,4334
422	76	79	7	8	0,9979	1,0023	0,8897	1,1906	0,8897	1,1906	4,4770	20,8785	1,4178
423	79	82	7	7	0,9979	1,0014	0,9269	1,1637	0,9269	1,1637	6,8808	17,7137	1,2037
424	83	84	7	12	0,8312	0,9776	0,8085	0,9834	0,8085	0,9834	0,0905	320,6963	237,7387
425	85	87	7	10	0,8428	0,9689	0,7747	0,9894	0,7747	0,9894	1,5843	279,006	119,8288
426	104	105	7	10	0,9948	1,0047	0,3925	1,5966	0,3941	1,5957	0,3615	56,4755	48,7196
427	108	109	7	7	0,9953	1,0043	0,4480	1,5329	0,4494	1,5321	0,3791	51,0112	43,8767
428	109	110	7	12	0,9955	1,0041	0,4655	1,5126	0,4669	1,5118	0,3856	49,1932	42,3001
429	111	115	7	15	0,9956	1,0039	0,4898	1,4872	0,4911	1,4864	0,3944	47,0363	40,3723
430	115	116	7	8	0,9962	1,0022	0,5504	1,3154	0,5511	1,3143	0,4436	41,4495	32,1486
431	111	117	7	15	0,9956	1,0040	0,4833	1,4941	0,4847	1,4934	0,3919	47,6446	40,9068
432	138	139	7	21	0,9983	1,0019	0,8971	1,1911	0,8971	1,1911	0,5435	22,9932	12,0400
433	141	146	7	8	0,9984	1,0018	0,8976	1,1812	0,8976	1,1812	0,5708	21,6063	11,2359
434	147	148	7	7	0,9984	1,0017	0,8979	1,1798	0,8979	1,1798	0,5742	21,4379	11,1446
435	151	152	7	16	0,9983	1,0011	0,9215	1,1672	0,9215	1,1672	0,6078	2,0886	10,3192
436	153	154	7	9	0,9984	1,0018	0,8975	1,1828	0,8975	1,1828	0,5662	21,8264	11,3631
437	4	7	8	22	0,8147	1,0034	0,8379	0,9669	0,8379	0,9669	0,8427	353,9867	366,2353
438	25	32	8	8	0,9967	1,0034	0,8284	1,2877	0,8284	1,2877	0,5257	36,3712	25,2751
439	32	34	8	19	0,9969	1,0031	0,8372	1,2626	0,8372	1,2626	0,5609	33,2066	23,0303
440	35	36	8	9	0,9969	1,0031	0,8362	1,2638	0,8362	1,2638	0,5601	33,3035	23,0768
441	36	37	8	9	0,9971	1,0017	0,8864	1,2244	0,8864	1,2244	0,6386	30,2359	19,3496
442	50	53	8	8	0,8577	0,9985	0,8715	0,9839	0,8714	0,9839	1,2154	259,4042	164,5865
443	55	58	8	9	0,8768	0,9988	0,8871	0,9896	0,8871	0,9896	1,6606	226,21	114,0083
444	76	79	8	8	0,9979	1,0023	0,8897	1,1905	0,8897	1,1905	4,4837	20,8661	1,4169
445	83	84	8	12	0,8278	0,9797	0,8190	0,9822	0,8190	0,9822	0,0857	335,7261	276,6430
446	85	87	8	10	0,8453	0,9698	0,7673	0,991,5	0,7673	0,9915	2,0151	270,8952	94,1154
447	104	105	8	10	0,9949	1,0047	0,3981	1,5903	0,3997	1,5894	0,3630	55,95	48,2449

Tabela E.10: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 448 a 497).

448	109	110	8	12	0,9954	1,0042	0,4589	1,5202	0,4603	1,5194	0,3831	49,8771	42,8929
449	111	115	8	15	0,9956	1,0040	0,4859	1,4914	0,4873	1,4907	0,3928	47,4196	40,7052
450	115	116	8	8	0,9962	1,0022	0,5485	1,3164	0,5493	1,3153	0,4427	41,608	32,2718
451	111	117	8	15	0,9956	1,0040	0,4845	1,4928	0,4858	1,4921	0,3924	47,528	40,8059
452	138	139	8	21	0,9984	1,0018	0,8969	1,1869	0,8969	1,1869	0,5557	22,3694	11,6674
453	141	146	8	8	0,9984	1,0018	0,8971	1,1834	0,8971	1,1834	0,5653	21,8846	11,3885
454	151	152	8	16	0,9984	1,0010	0,9231	1,1561	0,9231	1,1561	0,6420	19,4589	9,6099
455	153	154	8	9	0,9984	1,0018	0,8980	1,1807	0,8980	1,1807	0,5711	21,5765	11,2300
456	4	7	9	22	0,8630	0,9924	0,8714	0,9834	0,8714	0,9834	1,4622	242,4113	100,3924
457	32	34	9	19	0,9969	1,0031	0,8363	1,2649	0,8363	1,2649	0,5575	33,4878	23,2277
458	35	36	9	9	0,9969	1,0031	0,8350	1,2672	0,8350	1,2672	0,5550	33,7296	23,3771
459	36	37	9	9	0,9968	1,0018	0,8857	1,2425	0,8857	1,2425	0,6017	32,6824	20,9209
460	55	58	9	9	0,8776	0,9991	0,8879	0,9900	0,8879	0,9900	1,6693	224,9887	113,3919
461	83	84	9	12	0,8254	0,981,09	0,8270	0,9814	0,8270	0,9814	0,0823	347,7842	307,0819
462	85	87	9	10	0,8433	0,9686	0,7732	0,9898	0,7733	0,9898	1,6482	277,4229	114,9054
463	104	105	9	10	0,9949	1,0046	0,4007	1,5873	0,4023	1,5864	0,3638	55,7055	48,0242
464	109	110	9	12	0,9955	1,0041	0,4709	1,5064	0,4723	1,5056	0,3878	48,6357	41,8169
465	111	115	9	15	0,9956	1,0040	0,4840	1,4936	0,4853	1,4929	0,3920	47,6169	40,8764
466	111	117	9	15	0,9954	1,0042	0,4617	1,5189	0,4631	1,5181	0,3833	49,8755	42,8381
467	138	139	9	21	0,9984	1,0018	0,8968	1,1861	0,8968	1,1861	0,5581	22,2503	11,5962
468	151	152	9	16	0,9984	1,0010	0,9228	1,1581	0,9228	1,1581	0,6353	19,7179	9,7389
469	153	154	9	9	0,9984	1,0018	0,8975	1,1828	0,8975	1,1828	0,5662	21,8282	11,3643
470	4	7	10	22	0,8441	0,9997	0,8602	0,9800	0,8602	0,9800	0,9211	283,8382	208,3813
471	32	34	10	19	0,9969	1,0032	0,8344	1,2699	0,8344	1,2699	0,5502	34,107	23,6622
472	83	84	10	12	0,8301	0,9783	0,8119	0,9830	0,8119	0,9830	0,0889	325,4928	250,2934
473	85	87	10	10	0,8432	0,9686	0,7735	0,9897	0,7736	0,9897	1,6341	277,7567	115,9473
474	104	105	10	10	0,9950	1,0045	0,4180	1,5682	0,4195	1,5673	0,3687	54,1239	46,5954
475	109	110	10	12	0,9955	1,0041	0,4677	1,5100	0,4691	1,5093	0,3865	48,9631	42,1006
476	111	115	10	15	0,9956	1,0039	0,4876	1,4896	0,4890	1,4888	0,3935	47,2525	40,5600
477	111	117	10	15	0,9957	1,0039	0,4940	1,4822	0,4953	1,4815	0,3963	46,5715	39,9779
478	138	139	10	21	0,9984	1,0019	0,8970	1,1896	0,8970	1,1896	0,5476	22,7798	11,9123
479	151	152	10	16	0,9982	1,0011	0,9213	1,1684	0,9213	1,1684	0,6045	21,04	10,3957
480	4	7	11	22	0,8537	0,9968	0,8663	0,9823	0,8663	0,9823	1,0571	262,9523	156,6241
481	32	34	11	19	0,9969	1,0031	0,8353	1,2674	0,8353	1,2674	0,5538	33,8034	23,4491
482	83	84	11	12	0,8331	0,9764	0,8029	0,9841	0,8029	0,9841	0,0931	313,2189	217,8565
483	109	110	11	12	0,9955	1,0041	0,4699	1,5076	0,4712	1,5069	0,3873	48,7443	41,9110
484	111	115	11	15	0,9958	1,0038	0,5060	1,4693	0,5073	1,4686	0,4013	45,4321	38,9792
485	111	117	11	15	0,9957	1,0039	0,4968	1,4791	0,4981	1,4784	0,3975	46,2884	39,7329
486	138	139	11	21	0,9984	1,0019	0,8970	1,1898	0,8970	1,1898	0,5470	22,8111	11,9315
487	151	152	11	16	0,9983	1,0011	0,9226	1,1593	0,9226	1,1593	0,6313	19,8794	9,8189
488	4	7	12	22	0,8618	0,9931	0,8708	0,9834	0,8708	0,9834	1,3736	245,0687	108,0828
489	32	34	12	19	0,9969	1,0031	0,8373	1,2624	0,8373	1,2624	0,5613	33,177	23,0095
490	83	84	12	12	0,8313	0,9776	0,8081	0,9834	0,8082	0,9834	0,0906	320,2579	236,5837
491	109	110	12	12	0,9955	1,0040	0,4756	1,5011	0,4770	1,5004	0,3896	48,1597	41,4043
492	111	115	12	15	0,9955	1,0040	0,4780	1,5003	0,4794	1,4996	0,3897	48,2145	41,3954
493	111	117	12	15	0,9955	1,0040	0,4753	1,5032	0,4767	1,5024	0,3887	48,462	41,6144
494	138	139	12	21	0,9984	1,0018	0,8968	1,1859	0,8968	1,1859	0,5588	22,2179	11,5765
495	151	152	12	16	0,9983	1,0011	0,9226	1,1593	0,9226	1,1593	0,6315	19,8713	9,8149
496	4	7	13	22	0,8666	0,9900	0,8731	0,9835	0,8730	0,9835	1,9293	233,9974	75,0184
497	32	34	13	19	0,9968	1,0033	0,8308	1,2795	0,8308	1,2795	0,5371	35,3005	24,4998

Tabela E.11: VTCD - Resultado da simulação - Saída de dados do MATLAB
(continuação - linhas 498 a 531).

498	111	115	13	15	0,9956	1,0040	0,4809	1,4970	0,4823	1,4963	0,3908	47,921	41,1405
499	111	117	13	15	0,9955	1,0041	0,4744	1,5043	0,4757	1,5035	0,3883	48,5643	41,7030
500	138	139	13	21	0,9983	1,0019	0,8971	1,1906	0,8971	1,1906	0,5449	22,9188	11,9954
501	151	152	13	16	0,9984	1,0010	0,9228	1,1581	0,9228	1,1581	0,6353	19,7182	9,7391
502	4	7	14	22	0,8595	0,9943	0,8696	0,9832	0,8696	0,9831	1,2458	250,1467	122,3948
503	32	34	14	19	0,9969	1,0031	0,8356	1,2666	0,8356	1,2666	0,5549	33,7048	23,3800
504	111	115	14	15	0,9955	1,0040	0,4764	1,5022	0,4777	1,5014	0,3890	48,3825	41,5413
505	111	117	14	15	0,9957	1,0039	0,4960	1,4799	0,4974	1,4792	0,3972	46,3616	39,7963
506	138	139	14	21	0,9984	1,0018	0,8968	1,1859	0,8968	1,1859	0,5589	22,2112	11,5728
507	151	152	14	16	0,9982	1,0011	0,9213	1,1692	0,9213	1,1692	0,6024	21,1374	10,4441
508	4	7	15	22	0,8259	1,0028	0,8471	0,9733	0,8471	0,9733	0,8438	324,929	302,3635
509	32	34	15	19	0,9968	1,0033	0,8307	1,2797	0,8307	1,2797	0,5368	35,3278	24,5190
510	111	115	15	15	0,9956	1,0040	0,4814	1,4965	0,4828	1,4958	0,3910	47,8735	41,0993
511	111	117	15	15	0,9957	1,0038	0,4996	1,4760	0,5009	1,4753	0,3987	46,0094	39,4914
512	138	139	15	21	0,9984	1,0018	0,8969	1,1872	0,8969	1,1872	0,5547	22,4154	11,6949
513	151	152	15	16	0,9983	1,0011	0,9227	1,1586	0,9227	1,1586	0,6337	19,7823	9,7708
514	4	7	16	22	0,8416	1,0003	0,8586	0,9793	0,8586	0,9793	0,9020	289,1571	220,9965
515	32	34	16	19	0,9968	1,0032	0,8340	1,2709	0,8340	1,2709	0,5487	34,2386	23,7546
516	138	139	16	21	0,9984	1,0018	0,8968	1,1864	0,8968	1,1864	0,5573	22,2905	11,6203
517	151	152	16	16	0,9982	1,0011	0,9212	1,1695	0,9212	1,1695	0,6015	21,1791	10,4648
518	4	7	17	22	0,8671	0,9896	0,8732	0,9835	0,8732	0,9835	2,0234	232,9262	71,6689
519	32	34	17	19	0,9968	1,0032	0,8330	1,2735	0,8330	1,2735	0,5451	34,5608	23,9807
520	138	139	17	21	0,9984	1,0019	0,8970	1,1901	0,8970	1,1901	0,5463	22,8485	11,9536
521	4	7	18	22	0,8665	0,9901	0,8730	0,9835	0,8730	0,9835	1,8979	234,3867	76,2286
522	32	34	18	19	0,9970	1,0030	0,8379	1,2606	0,8379	1,2606	0,5639	32,9607	22,8578
523	138	139	18	21	0,9984	1,0018	0,8969	1,1886	0,8969	1,1886	0,5505	22,6302	11,8231
524	4	7	19	22	0,8419	1,0002	0,8588	0,9794	0,8588	0,9794	0,9041	288,5234	219,5035
525	32	34	19	19	0,9967	1,0033	0,8304	1,2806	0,8304	1,2806	0,5356	35,4367	24,5954
526	138	139	19	21	0,9983	1,0019	0,8971	1,1909	0,8971	1,1909	0,5441	22,9638	12,0222
527	4	7	20	22	0,8657	0,9907	0,8726	0,9835	0,8726	0,9835	1,7638	236,2607	82,0053
528	138	139	20	21	0,9984	1,0018	0,8968	1,1864	0,8968	1,1864	0,5573	22,2876	11,6185
529	4	7	21	22	0,8174	1,0033	0,8402	0,9687	0,8402	0,9687	0,8405	346,4141	349,6599
530	138	139	21	21	0,9984	1,0018	0,8969	1,1880	0,8969	1,1880	0,5523	22,5365	11,7672
531	4	7	22	22	0,8382	1,0010	0,8562	0,9782	0,8562	0,9782	0,8811	296,7081	238,6164

Referências

- ALVES, M. F.; COSTA, J. G. Avaliação do impacto financeiro do afundamento de tensão na indústria. In: *XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2003.
- ANEEL, RESOLUÇÃO n.24. *Estabelece as disposições relativas à continuidade da distribuição de energia elétrica às unidades consumidoras*. Brasília: ANEEL, 2000.
- ANEEL, RESOLUÇÃO n.505. *Estabelece de forma atualizada e consolidada, as disposições relativas à conformidade dos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente*. Brasília: ANEEL, 2001.
- BOLLEN, M. H. J. Understanding power quality problems - voltage sags and interruptions. *IEEE Press Series on Power Engineering*, New York, p. 1377–1389, 2000.
- BRITO, J. A. S.; FRANCO, J. J. P.; GUARACY, C.; PINHEIRO, M.; PIMENTEL, F. C. Projeto piloto de um sistema integrado de telemedição para melhoria do serviço de atendimento a clientes especiais. In: *XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2002.
- CARVALHO, A. J. B.; MARCUS, M. V. A.; JUNIOR, G. C.; GARCEZ, J. N. Análise do comportamento das variações de tensão de curta duração (vtcds) utilizando comparação entre os programas atp e anafas. In: *VI Seminário Brasileiro Sobre Qualidade da Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2005.
- CLARKE, A. B.; RALPH, L. D. *Probabilidade e Processos Estocásticos*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- COPEL. *Curso de Proteção do Sistema de Distribuição. Apostila*. Curitiba: COPEL-DDI/SED/DPDS, 1989.
- CUNHA, C. C. M.; SILVA, S. R. Sensibilidade de acionamentos a velocidade variável (asds) frente a voltage sags: Análise. In: *XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2003.
- De ANDRADE Jr., K. R.; LEÃO, R. P. S. Resposta a afundamentos de tensão espontâneo em reguladores eletrônicos de tensão e fontes chaveadas. In: *XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2001.
- De OLIVEIRA, C. C. B.; KAGAN, N.; SCHMIDT, H. P.; ROBBA, E. J. *Introdução a Sistemas Elétricos de Potência*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.
- DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. *Electrical Power Systems Quality*. New York: McGraw Hill, 1996.

- FERREIRA, A. A.; CASTRO, G. P. B.; DECKMANN, S. M. Caracterização de variações de tensão de curta duração. In: *XIV Congresso Brasileiro de Automática*. [S.l.: s.n.], 2002.
- FONSECA, V. R. C. *Cálculo Estocástico do Afundamento de Tensão*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica, Minas Gerais, 1999.
- HEINE, P.; LEHTONEN, M. Voltage sag distributions caused by power system faults. *IEEE Transactions on Power Systems*, New York, v. 18, n. 4, 2003.
- IEC 61000-2-2 (2002-03) Ed. 2.0 Consolidated Edition. *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*. Maintenance Result Date: 2012. Geneve: IEC, 2002.
- IEC 61000-2-4 (2002-06) Ed. 2.0 Consolidated Edition. *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-4: Environment - Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*. Maintenance Result Date: 2010. Geneve: IEC, 2002.
- IEEE Std. 1159. *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. New York: IEEE, 1995.
- IEEE Std 1250. *IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances*. New York: IEEE, 1995.
- IEEE Std 1346. *IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility With Electronic Process Equipment*. New York: IEEE, 1998.
- IEEE Std 446. *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications*. New York: IEEE, 1995.
- IEEE Std 493. *IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems*. New York: IEEE, 1997.
- JESUS, N. C.; NETO, J. A. M.; SALE, R. F.; ORTIZ, A. L.; COGO, J. R. Análise da influência de variações momentâneas de tensão na operação de inversores de frequência. In: *XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2001.
- KAGAN, N.; MATSUO, N. M.; FERRARI, L. E.; DUARTE, S. X.; ROCCO, A.; ROSA, P.; ARANGO, T. P. L.; SANTOS, W. B.; MARINHO, S.; CAVARETTI, J. L.; TENÓRIO, A.; SOUZA, L. R. Estimadores de variações de tensão de curta duração para redes de distribuição e subtransmissão. In: *XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2002.
- KINDERMANN, G. *Curto Circuito*. Porto Alegre: Sagra - DC Luzzatto, 1992.
- LEBORGNE, R. C.; FILHO, J. M. C.; ABREU, J. P. G.; POSTAL, T. C. O. A. A.; ZAPAROLI, L. H. Proposição de uma metodologia para caracterização da sensibilidade de cargas e processos industriais frente a afundamentos de tensão. In: *XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2003.

LOURENÇO, A. C.; OLIVEIRA, L. C. O. Estudo experimental da sensibilidade das lâmpadas de descarga de alta pressão sujeitas a interrupções momentâneas e mergulhos de tensão. In: *XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2001.

MATSUMOTO, E. Y. *MATLAB 6.5 Fundamentos de Programação*. São Paulo: Érica, 2002.

OLIVEIRA, H. R. P. M.; FIGUEIREDO, C. E. C.; JESUS, N. C.; BATISTA, E. L.; LÍBANO, F. B.; DIAS, G. A. D.; NETO, J. A. M.; SALE, R. F.; ORTIZ, A. L.; COGO, J. R. Investigação e diagnóstico de subtenção de curta duração em circuito de baixa tensão. In: *XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2001.

PAPOULIS, A. *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

POMILIO, J. A. *Fontes Chaveadas. Apostila*. Campinas: UNICAMP-FEE, 1995.

POMILIO, J. A. *Eletrônica de Potência. Apostila*. Campinas: UNICAMP-FEEC/DSCE, 2003.

QADER, M. R.; *ET. AL.* Stochastic prediction of voltage sags in a large transmission system. *IEEE Transactions on Industry Applications*, New York, v. 35, n. 1, 1999.

SANTOS, R. F. S.; SILVA, S. R. Estudo de caso de sensibilidade de equipamentos eletrônicos industriais frente a afundamentos de tensão. In: *XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2003.

SANTOS, W. B.; FERREIRA, S. M.; COSTA, S. M.; Da SILVA, S.; De MELO, F. Monitoração e análise da qualidade da energia elétrica de fornecimento a clientes com cargas sensíveis - experiência da celpe. In: *XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. [S.l.: s.n.], 2001.

STEVENSON, W. D. *Elementos de Análise de Sistema de Potência*. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.

The Math Works Inc. *MATLAB - Guia do Usuário*. São Paulo: Makron Books, 1997.