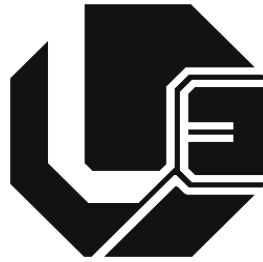


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



**Elaboração de Curvas de Suportabilidade
para Microcomputadores e Estudo de
Desempenho de Dispositivos Mitigadores
para Subsidiar os PID's**

Edélcio Antônio Martins

**Uberlândia
2012**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**ELABORAÇÃO DE CURVAS DE
SUPPORTABILIDADE PARA
MICROCOMPUTADORES E ESTUDOS DE
DESEMPENHO DE DISPOSITIVOS
MITIGADORES PARA SUBSIDIAR OS
PID'S**

Dissertação apresentada por Edécio
Antônio Martins à Universidade
Federal de Uberlândia para a obtenção
do título de Mestrado em Ciências.

BANCA EXAMINADORA:

Antônio Carlos Delaiba, Dr. (Orientador) - UFU

Jose Carlos de Oliveira, PhD - UFU

Arnulfo Barroso Vasconcelos, Dr. - UFMT

ELABORAÇÃO DE CURVAS DE
SUPPORTABILIDADE PARA
MICROCOMPUTADORES E ESTUDOS DE
DESEMPENHO DE DISPOSITIVOS
MITIGADORES PARA SUBSIDIAR OS
PID'S

Edélcio Antônio Martins

Dissertação apresentada por Edélcio Antônio Martins à
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestrado em Ciências.

Prof. Antonio Carlos Delaiba, Dr.
(Orientador) – UFU

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha querida mãe Dolarice e ao meu pai Eloi, aos meus irmãos Endersom e Edilson, à minha amada esposa Marilúcia, aos meus queridos filhos Carolina e Gustavo, aos meus amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para mais esta conquista. Todo apoio, compreensão, amor, força e incentivo foram essenciais para a realização desta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a **Deus** por mais um objetivo alcançado, pela concessão da vida e por me conduzir com seus maravilhosos dons, sobretudo nos momentos mais difíceis.

À minha querida esposa **Marilúcia** e aos meus filhos maravilhosos **Gustavo e Carolina** por tanta paciência, pela constante motivação, cumplicidade, compreensão, companheirismo e reconhecimento que, juntamente com seu amor, me fizeram persistir nesta caminhada com força para vencer, dia-a-dia, cada obstáculo encontrado.

Apresento meus sinceros agradecimentos especiais ao orientador Professor **Antonio Carlos Delaiba** por todo incentivo, colaboração, paciência, persistência, amizade, confiança e constantes ensinamentos, fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao professor **José Carlos de Oliveira**, pelo auxílio, amizade e consultorias concedidas de tão bom grado, possibilitando o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Qualidade da Energia **Carlos E. Tavares, Isaque N. Gondim, Marcus Vinícius B. Mendonça e João A. Ferreira Barbosa Jr.** pelo companheirismo, cumplicidade, competência, profissionalismo e, acima de tudo, pela grande amizade e consultoria em todos os momentos.

Aos amigos do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, **Claudinei J.de Avila e Jonmil M. Borges** pela amizade e apoio, sobretudo nos momentos mais difíceis em que “o fardo” se tornou muito pesado, considerando os outros compromissos com a família e o trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFU, através de seus professores, pela oportunidade deste aprendizado. À **Cinara** pela simpatia, compreensão e presteza nos encaminhamentos junto à secretaria da Pós-Graduação.

A Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, aos Superintendentes: **Francisco de A. Soares, Cesar Vaz, Marcelo Hugo e Maura Gallupo** e a diversos Gerentes pelo incentivo, empatia, compreensão e apoio logístico através de projeto de P&D firmado com a UFU, abrangendo o tema da pesquisa apresentada por esta dissertação.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta tese de mestrado.

RESUMO

A desregulamentação do setor elétrico, a evolução na legislação relacionada aos direitos do consumidor e o crescimento da economia com a inclusão de mais pessoas em classes sociais superiores, tem tido forte impacto no relacionamento entre concessionárias de distribuição de energia elétrica e os consumidores. A forte atuação das Agências Reguladoras, com aplicação frequente de penalidades, tem incentivado investigações científicas por parte das concessionárias e universidades no sentido de identificar as principais causas dos pontos de conflito envolvendo consumidor, regulador e concessionária. Neste contexto, um campo que tem gerado crescente importância se refere às solicitações de ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos. Se por um lado o volume de solicitações e montantes financeiros para cobrir as solicitações julgadas procedentes tem tido crescimento vertiginoso, por outro a inexistência de mecanismos eficientes para análise de nexos causal entre o dano e o motivador, tem impossibilitado análises consistentes e conclusivas, multiplicando as reclamações junto ao serviço de ouvidoria do agente regulador. Este trabalho tem como principais objetivos a construção de curvas de suportabilidade mais reais a partir de ensaios destrutivos e da metodologia proposta, a inclusão de tais curvas na nova versão do software APR (desenvolvida neste trabalho), a construção de uma interface mais amigável de importação de dados dos sistemas georreferenciados da Concessionária para o citado software, além da realização de ensaios para testar a eficiência dos dispositivos mitigadores conhecidos como DPS. Para nortear os estudos foram levantados dados junto à concessionária CEMIG D, que direcionaram a análise para microcomputadores, que tem tido utilização crescente e apresentado um grande volume/montante financeiro nas solicitações de ressarcimento de danos.

Palavras-Chave: Ressarcimento de danos, ensaios destrutivos, curvas de suportabilidade, DPS.

ABSTRACT

The deregulation of the electricity sector and the evolution in the legislation related to the consumers right and economy growth - with the inclusion of more people in higher classes - have had a strong impact on the relationship between energy distribution companies and electricity consumers. The Strong management of Regulatory Agencies, with frequent application of penalties, has stimulated scientific research by the distribution companies and universities to identify the main causes of the conflicting aspects involving the consumer, the regulator and the energy concessionaire. In this context, a field of study that has generated growing importance is regarding the increase in requests for damage compensation to electronic equipment. If in a way the volume of requests and financial amount to cover these requests have rose highly on another way the lack of efficient mechanisms for analyzing the causal relationship between damage and motivator, has prevented consistent and conclusive analysis, multiplying the claims next to the ombudsman service. This work has as its main objectives: the construction of more real supportability curves from destructive tests and the proposed methodology; the inclusion of such curves in the new version of the APR software (developed in this study); the construction of a friendlier interface for importing data from the georeferenced system of the Energy Concessionaire for the mentioned software, in addition to conducting trials to test the effectiveness of mitigation devices known as DPS. Studies to guide the data were collected by the concessionaire CEMIG D, which guided the analysis for microcomputers, which have been used increasingly and also have had a larger volume / amount of money in requests for damages.

Keywords: compensation for damages, destructive testing, supportability curves, DPS.

SUMÁRIO

Capítulo I

Introdução geral

1.1 – Considerações iniciais	16
1.2 – Estado da arte sobre o tema central desta tese.....	20
1.3 – Contribuições oferecidas por esta tese.....	29
1.4 – Estrutura da dissertação.....	32

Capítulo II

Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

2.1 – Considerações iniciais.....	34
2.2 – Levantamentos estatísticos e quantitativos.....	36
2.3 – Considerações finais.....	41

Capítulo III

Suportabilidade térmica e dielétrica de microcomputadores

3.1 – Considerações iniciais.....	43
3.2 – Metodologia utilizada para a composição de indicadores associados com os distúrbios elétricos.....	45
3.3 - Curvas de suportabilidade conhecidas e já publicadas.....	54
3.4 – Sistematização da metodologia e estrutura laboratorial para a realização de ensaios de suportabilidade.....	60
3.5 – Ensaio de sobretensões em baixa tensão na frequência industrial.....	70
3.6 – Ensaio de sobretensões em média tensão manifestadas nos circuitos de baixa tensão.....	78
3.7 – Ensaio de impulso de corrente com características similares às descargas atmosféricas.....	92
3.8 – Outros ensaios-condições não ideais fornecimento.....	111
3.9 – Curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de microcomputadores com e sem estabilizadores.....	112
3.10 – Considerações finais.....	119

Capítulo IV

Estudo de casos

4.1 – Considerações iniciais.....	124
4.2 – Análises de pedidos de ressarcimento – APR.....	125
4.3 – Análises de um caso de pedido de ressarcimento – versão anterior do APR	128
4.4 – Estudos de caso utilizando a nova versão do APR.....	129
4.5 - Considerações finais.....	161

Capítulo V

Conclusões.....	163
-----------------	-----

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
----------------------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Quantidade anual de equipamento ressarcidos.....	36
Figura 2.2 – Quantidade total de equipamentos ressarcidos por tipo.....	39
Figura 2.3 – Valor do reparo de equipamentos ressarcidos por tipo.....	40
Figura 3.1 – Transitório oscilatório na tensão de suprimento.....	46
Figura 3.2 - Modelagem da curva de Suportabilidade dielétrica.....	48
Figura 3.3 – Definição da Integral de Joule.....	52
Figura 3.4 – Curva típica de Suportabilidade térmica.....	53
Figura 3.5 – Curva de Suportabilidade - ITIC.....	56
Figura 3.6 – Curva de Suportabilidade para aparelhos eletrônicos.....	57
Figura 3.7 - Curva de Suportabilidade dielétrica para TV's	58
Figura 3.8 – Curva de Suportabilidade térmica da ponte retificadora.....	59
Figura 3.9 – Estrutura laboratorial montada - Ensaios utilizando fonte HP.....	64
Figura 3.10 - Diagrama esquemático da montagem laboratorial - Ensaio de sobretensão até 2pu.....	65
Figura 3.11 – Detalhes da montagem laboratorial - Ensaio de sobretensão até 2 pu.....	65
Figura 3.12 – Foto ilustrativa de um microcomputador danificado nos ensaios.....	66
Figura 3.13- Elementos funcionais da fonte AC.....	67
Figura 3.14 (a) – Forma de onda da tensão aplicada -Ensaio de sobretensão até 2 pu.....	71
Figura 3.14 (b) – Forma de onda da corrente obtida -Ensaio de sobretensão até 2 pu.....	72
Figura 3.14 (c) – Formas de onda da tensão/corrente obtidas no ensaio.....	72
Figura 3.15 – Estabilizador danificado - Ensaio - sobretensão até 2 pu.....	73
Figura 3.16 - Atividades na oficina credenciada CEMIG.....	74
Figura 3.17 (a) – Formas de onda da tensão aplicada -Ensaio de sobretensão até 2 pu.....	75
Figura 3.17 (b)– Formas de onda da corrente obtida - Ensaio de sobretensão até 2 pu.....	75
Figura 3.17(c) – Formas de onda da tensão/corrente - Ensaio de sobretensão de até 2 pu.	76
Figura 3.18 - Fonte danificada no ensaio - sobretensão até 2 pu.....	77
Figura 3.19(a) – Diagrama esquemático da montagem laboratorial - Ensaio de sobretensão em MT na BT.....	80
Figura 3.19(b) – Montagem laboratorial - Sobretensão em MT na BT.....	80
Figura 3.20 – Formas de onda das tensões e correntes medidas - Ensaio a vazio.....	82
Figura 3.21 – Caso 1 - Formas de onda das tensões/correntes - Ensaio de sobretensão em MT na BT - microcomputador (com estabilizador).....	84
Figura 3.22 – Caso 1 - Estabilizador danificado - Sobretensão em MT na BT.....	85
Figura 3.23 – Caso 2 - Formas de onda das tensões/correntes - Ensaio de sobretensão de MT na BT - Micro (com estabilizador).....	86
Figura 3.24 - Caso 2 - Estabilizador danificado - Sobretensão em MT na BT	87
Figura 3.25 – Formas de onda das tensões/correntes - ensaio de sobretensão em MT na BT - Micro (com estabilizador e DPS -QD).....	88
Figura 3.26 – Detalhe da montagem laboratorial - Ensaio de sobretensão em MT na BT- Micro (com estabilizador e com DPS-QD).....	89
Figura 3.27 – Formas de onda das tensões/correntes - Ensaio de sobretensão em MT na BT - Micro (com estabilizador e DPS- tomada).....	90
Figura 3.28 – Detalhe da montagem laboratorial - Ensaio de sobretensão em MT na BT- Micro (com estabilizador e com DPS - tomada).....	91

Figura 3.29 - DPS de tomada danificado - Ensaio de sobretensão em MT na BT (micro com estabilizador)	92
Figura 3.30 – Forma de onda típica de impulso de corrente.....	94
Figura 3.31 - Montagem laboratorial do gerador de impulso de corrente.....	95
Figura 3.32 – Diagrama esquemático da montagem laboratorial - Teste de impulso de corrente - Micro/estabilizador sem DPS.....	96
Figura 3.33 – Diagrama esquemático da montagem laboratorial - Teste de impulso de corrente - Micro/estabilizador com DPS.....	96
Figura 3.34 – Ensaio 1 - Formas de onda da tensão/corrente - Ensaio de impulso de corrente - Micro (com estabilizador, com e sem DPS).....	99
Figura 3.35 – Ensaio 1 - Estabilizador danificado.....	100
Figura 3.36 – Ensaio 2 - Formas de onda da tensão/corrente - Ensaio de impulso de corrente - Micro (com estabilizador e sem DPS)	101
Figura 3.37 - Ensaio 2 - Estabilizador danificado.....	102
Figura 3.38 – Ensaio 3 - Formas de onda da tensão/corrente - Ensaio de impulso de corrente - Micro (com estabilizador e sem DPS).....	103
Figura 3.39 – Ensaio 3 – Estabilizador danificado.....	104
Figura 3.40 – Ensaio 4 - Formas de onda da tensão/corrente - Ensaio de impulso de corrente - Micro sem estabilizador	107
Figura 3.41 – Ensaio 4 – Fonte de alimentação danificada.....	108
Figura 3.42 – Ensaio 5 - Formas de onda da corrente/tensão - Ensaio de impulso de corrente - Micro sem estabilizador.....	109
Figura 3.43 – Ensaio 5 – Fonte de alimentação danificada.....	110
Figura 3.44 - Curva de Suportabilidade dielétrica do micro sem estabilizador.....	113
Figura 3.45 - Curva de Suportabilidade dielétrica do micro com estabilizador.....	113
Figura 3.46 - Ensaio 1 - Curva de Suportabilidade térmica - Micro c/ estabilizador.....	116
Figura 3.47 - Ensaio 2 - Curva de Suportabilidade térmica - Micro c/ estabilizador.....	117
Figura 3.48 - Ensaio 3 - Curva de Suportabilidade térmica - Micro c/ estabilizador.....	117
Figura 3.49 - Ensaio 4 - Curva de Suportabilidade térmica - Micro s/ estabilizador.....	117
Figura 3.50 - Ensaio 5 - Curva de Suportabilidade térmica - Micro s/ estabilizador.....	119
Figura 4.1 - Estrutura do aplicativo APR.....	125
Figura 4.2 - Inserção dos dados do equipamento sob análise no APR.....	127
Figura 4.3 – Modelo de curva de Suportabilidade térmica do APR.....	127
Figura 4.4 - Representação de rede de distribuição - versão anterior do APR.....	128
Figura 4.5 – Resumo dos dados do alimentador.....	133
Figura 4.6 – Parametros da instalação consumidora e do equipamento– Caso I.....	133
Figura 4.7 – Forma de onda da tensão no micro – Caso I (nominal).....	134
Figura 4.8 – Forma de onda da corrente do micro – Caso I (nominal).....	135
Figura 4.9 – Parametrização da descarga atmosférica aplicada ao circuito- Caso I.....	136
Figura 4.10 – Forma de onda da tensão – Caso I – Micro sem DPS.....	137
Figura 4.11 – Forma de onda da corrente – Caso I – Micro sem DPS.....	137
Figura 4.12 – Suportabilidade dielétrica- Caso I - Micro sem DPS.....	138
Figura 4.13 – Suportabilidade térmica- Caso I- Micro sem DPS.....	138
Figura 4.14 – Inclusão do DPS no consumidor – Caso I – Micro.....	140
Figura 4.15 – Forma de onda da tensão – Caso I – Micro com DPS.....	140
Figura 4.16 – Forma de onda da corrente – Caso I – Micro com DPS.....	141
Figura 4.17 – Suportabilidade dielétrica – Caso I - Micro com DPS.....	141
Figura 4.18 – Suportabilidade térmica – Caso I – Micro com DPS.....	142
Figura 4.19 – Resumo dos dados do alimentador – Caso II.....	144
Figura 4.20 - Parametrização da unidade consumidora e do equipamento – Caso II.....	145

Figura 4.21 – Parametrização do ramal de ligação que atende ao cliente- Caso II.....	145
Figura 4.22 – Forma de onda da tensão no micro – Caso II.....	146
Figura 4.23 – Forma de onda da corrente no Micro – Caso II.....	147
Figura 4.24 – Parametrização do curto-circuito MT/BT – Caso II.....	147
Figura 4.25 - Forma de onda da tensão – Caso II – Micro sem DPS.....	148
Figura 4.26 - Forma de onda da corrente – Caso II- Micro sem DPS.....	148
Figura 4.27 – Suportabilidade dielétrica - Caso II.....	149
Figura 4.28 – Suportabilidade térmica – Caso II.....	149
Figura 4.29 – Dados do sistema elétrico – Caso III.....	151
Figura 4.30 – Parametros da instalação consumidora e do equipamento – Caso III.....	152
Figura 4.31– Forma de onda da tensão – Caso III (nominal).....	153
Figura 4.32 – Forma de onda da corrente – Caso III (nominal).....	153
Figura 4.33– Parametros para a aplicação do distúrbio – Caso III.....	154
Figura 4.34 – Forma de onda da tensão após distúrbio – Caso III.....	155
Figura 4.35 – Forma de onda da corrente após distúrbio – Caso III.....	155
Figura 4.36 – Suportabilidade dielétrica – Caso III.....	156
Figura 4.37 – Suportabilidade térmica – Caso III.....	156
Figura 4.38 – Inclusão do DPS no consumidor – Caso III – Micro.....	157
Figura 4.39 - Forma de onda da tensão – Caso III – Micro com DPS.....	158
Figura 4.40 - Forma de onda da corrente – Caso III- Micro com DPS.....	158
Figura 4.41 – Suportabilidade dielétrica - Caso III – Micro com DPS.....	159
Figura 4.42 - Suportabilidade térmica – Caso III – Micro com DPS	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Equipamentos ressarcidos – Custo por tipo de causa	38
Tabela 2.2 - Custos e quantidades de micros/periféricos.....	40
Tabela 2.3 – Microcomputadores/periféricos – Componentes danificados.....	41
Tabela 3.1 - Tabela para registro de dados obtidos - Ensaio nas condições nominais.....	63
Tabela 3.2 - Tabela para registro de dados obtidos - ensaios com sobretensões em 60 Hz.....	63
Tabela 3.3 - Ensaio de sobretensões na frequência industrial até 1,8 pu	71
Tabela 3.4 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial até 2 pu.....	74
Tabela 3.5(a) - Resultados dos ensaios de impulso de corrente - Micros com estabilizador - Suportabilidade térmica.....	98
Tabela 3.5(b) - Tensão medida nos ensaios de impulso de corrente - Micros com estabilizador - Suportabilidade dielétrica.....	98
Tabela 3.6(a)- Resultados dos ensaios de impulso de corrente - Micros sem estabilizador - Suportabilidade térmica	106
Tabela 3.6(b) - Tensão medida nos ensaios de impulso de corrente - Micros sem estabilizador - Suportabilidade dielétrica.....	106
Tabela 3.7- Suportabilidade dielétrica - Síntese dos testes dos itens 3.5 e 3.6.....	113
Tabela 3.8 – Suportabilidade dielétrica - Síntese dos resultados dos testes do item 3.7.....	113
Tabela 3.9 - Suportabilidade térmica - Síntese dos resultados dos testes do item 3.7 (com estabilizador	115
Tabela 3.10 – Suportabilidade térmica - Síntese dos resultados dos testes do item 3.7 (sem estabilizador.....	115
Tabela 4.1 – Resumo de dados da ocorrência - estudo de caso I	131
Tabela 4.2 - Resumo de dados da ocorrência - estudo de caso II.	143
Tabela 4.3 - Resumo de dados da ocorrência - estudo de caso III	150

LISTA DE SÍMBOLOS

QD	- Quadro de Distribuição
BT	- Baixa Tensão
MT	- Média Tensão
DHT	- Distorção harmônica total [%]
V	- Tensão
I	- Corrente
I_n %	- Corrente harmônica de ordem n em porcentagem da fundamental [%]
I_1	- Corrente fundamental [A]
$t_1, t_2,$	- Instantes de tempo [s]
Δt	- Passo de integração [s]
V_k	- Valor da solicitação dielétrica para um instante de tempo qualquer [V]
V_i	- Valor instantâneo da tensão para um instante de tempo qualquer [V]
N	- Número de amostras
I_k	- Valor da solicitação térmica para um instante de tempo qualquer [A]
$i(t)$	- Valor instantâneo da corrente para um instante de tempo qualquer [A]
$Y(t)$	- Valor da tensão ou da corrente admitida pelo equipamento durante um dado intervalo de tempo [V] ou [A]
α, β	- Constantes que definem o formato da curva de suportabilidade dielétrica e térmica dos equipamentos [V] ou [A];
J	Energia máxima admitida pelo equipamento, sendo constante para qualquer instante de tempo
P	- Potência ativa [w]
Q	- Potência reativa [var]
S	- Potência aparente [VA]
CA	- Corrente alternada [A]
CC	-Corrente contínua [A]
F	- Frequência [Hz]
DPS	- Dispositivo de proteção contra surtos
PID	- Pedido de Indenização por Dano

APR - Analisador de Pedidos de Ressarcimentos

UFU - Universidade Federal de Uberlândia

Cemig - Companhia Energética de Minas Gerais

CEB - Centrais Elétricas de Brasília

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

CAPÍTULO I

Introdução geral

1.1 – Considerações iniciais

Há alguns anos, quando se abordava o tema qualidade da energia elétrica, os dois parâmetros utilizados eram o DEC e o FEC. O primeiro associado com a duração dos desligamentos e o segundo com a frequência de ocorrência dos mesmos.

As mudanças ocorridas no setor elétrico nos últimos tempos, bem como a criação/melhorias na legislação associada à defesa dos consumidores têm ocasionado uma evolução significativa na busca por um relacionamento mais estreito entre prestadores de serviços e clientes, sobretudo após a criação do código de defesa do consumidor, lei 8078, de 11 de Setembro de 1990.

Diante deste cenário, as concessionárias de energia elétrica estão investindo mais em estudos para melhorar a qualidade no fornecimento de energia elétrica, bem como a análise das solicitações de ressarcimento, visando evitar a aplicação de multas e mitigar o crescimento das despesas associadas a ressarcimentos. Em 09 de Setembro de 2010, foi publicada a Resolução Normativa 414, que em seus artigos 204 a 208 estabelece condições, procedimentos e prazos para as análises de ressarcimento de danos.

É de vital importância, então, se dispor de ferramentas tecnológicas de última geração para responder com agilidade, qualidade e produtividade às demandas de um mercado cada vez mais exigente. Aliado a isto em 1996, foi criada pela Lei 9.427 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Esta tem como principais atribuições : regular e fiscalizar a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização da energia elétrica, tendo dentre outros objetivos, buscar o equilíbrio entre os interesses do consumidor e da concessionária.

A utilização maciça de dispositivos mais sensíveis à qualidade da energia elétrica de suprimento denotam, na atualidade, que a área relacionada à análise das solicitações de danos em aparelhos eletroeletrônicos vem, cada vez mais, crescendo em importância. Isto pode ser evidenciado, dentre outras, pela publicação da Resolução ANEEL – 360/2009, aperfeiçoando a Resolução Normativa- 061/2004, que estabelece as disposições relativas ao ressarcimento de danos em equipamentos elétricos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbações ocorridas no sistema elétrico.

Hoje em dia a maioria dos equipamentos eletroeletrônicos é provida de fontes chaveadas, sendo eles alimentados diretamente na rede elétrica de corrente alternada, onde no seu interior normalmente a corrente e a tensão são convertidas em contínuas. Reconhecidamente, estes aparelhos, por utilizarem cada vez mais circuitos eletrônicos sensíveis, aliados à ocorrência de fenômenos advindos da natureza e outros, somados a ação de dispositivos de proteção e/ou manobra, tem ocasionado impactos que podem ser determinantes na operação dos mais diversos equipamentos que compõem os segmentos industriais, comerciais e residenciais de consumidores [1]. Sob a ação destes fenômenos, os aparelhos elétricos podem vir a operar de maneira inadequada ou, em casos extremos, os mesmos podem até mesmo sofrer danos físicos que exigem uma pronta manutenção ou reposição [2,3,4].

Diante desta realidade, muitas vezes, estão os consumidores e as concessionárias em permanente conflito. Os primeiros, cada vez mais cientes dos seus direitos, solicitando ressarcimentos pelos prejuízos físicos e operacionais apresentados por seus equipamentos, supostamente devido aos distúrbios oriundos da rede de suprimento, e os outros, buscando a identificação da real correlação entre os distúrbios e os danos para que o processo de ressarcimento seja focado à luz de critérios mais coerentes e justos [5].

O agravante desta situação é que, muitas das concessionárias de energia elétrica não possuem registros de grandezas elétricas associadas com a maioria das ocorrências e, tampouco, processos sistematizados que permitam correlacionar os fenômenos com os padrões de suportabilidade dos produtos.

Consequentemente, a concordância ou contestação das solicitações encaminhadas para análise torna-se extremamente difícil, restando às concessionárias apenas a verificação do nexo causal e a suposição da severidade dos impactos, do evento ocorrido, nos equipamentos reclamados.

A busca de uma solução para estas questões tem ganhado cada vez mais importância visto que, nos últimos anos, verifica-se um crescente número das solicitações de ressarcimento de danos. Também o número de indeferimentos das solicitações de ressarcimentos tem sido cada vez maior.

Diante disso, em muitas situações, ocorre a discordância quanto à decisão da concessionária, levando o consumidor a recorrer aos órgãos responsáveis pela mediação de conflitos, fato este que tem gerando um crescente desgaste no relacionamento entre as partes envolvidas.

Neste cenário, os processamentos das solicitações de ressarcimentos de danos materiais necessitam cada vez mais de técnicas e métodos que permitam que a análise de cada requerimento sempre seja orientada por critérios justos, de modo a deixar evidente a responsabilidade ou não da concessionária.

Desta maneira, a simulação em ambiente computacional para avaliar o desempenho de um sistema de distribuição e, conseqüentemente, qualificar e quantificar as perturbações ocorridas nas redes elétricas e seus efeitos e impactos nos eletroeletrônicos conectados ao sistema apresenta-se como uma ferramenta fundamentada em princípios físicos e técnicos isentos de interesses de ambas as partes.

Seguindo esta filosofia, o Grupo de Pesquisadores da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, ao longo da última década, através de teses, dissertações, P&D's e artigos técnicos [6 ,7 ,8 , 9,14], concebeu, desenvolveu, implementou e realizou ensaios avaliativos em um aplicativo computacional destinado a cumprir as metas supracitadas. Diversas concessionárias foram envolvidas neste processo, o que foi fundamental para a validação do APR, em situações reais de PID's.

A ferramenta computacional foi denominada por Analisador de Pedidos de Ressarcimento-APR na sua versão 1.0, obtida com um P&D entre UFU/LIGHT-RJ [6,7]. Uma nova versão foi desenvolvida, denominada de APR-2.0, originada por outro projeto de P&D entre UFU/CEB [7,8].

Neste sentido, os desenvolvimentos técnicos atrelados com esta Dissertação de Mestrado mostram o aprimoramento do produto citado anteriormente, os quais resultaram em uma nova versão do pacote computacional, denominado por APR-3.0 - CEMIG, elaborado através de um projeto de P&D, entre UFU/CEMIG – Distribuição S.A. [10, 11, 12].

Durante os trabalhos referentes ao citado projeto de P&D, foi desenvolvida outra dissertação de mestrado, que também serviu de referência para a elaboração desta, envolvendo curvas de Suportabilidade Térmica e Dielétrica para Televisores [13].

1.2 – Estado da arte sobre o tema central desta tese

Obteve-se um conjunto de informações sobre os mais distintos trabalhos de pesquisa e avanços do conhecimento na área de análise das solicitações de ressarcimento de danos em equipamentos eletroeletrônicos, após pesquisas e estudos da bibliografia atual utilizando os meios tradicionais de acesso.

Os documentos associados ao tema, na bibliografia consultada, podem ser reunidos de acordo com as referências abaixo:

Referência [1]

Título: Understanding Power Quality Problems.

Autor (es): Bollen, Math H. J.

Origem: IEEE Press Series on Power Engineering, 2000.

Resumo: Apresenta uma análise detalhada das variações de tensão de curta duração e das interrupções, aplicando técnicas matemáticas na análise destes distúrbios. Também são comentados nesta publicação os métodos de mitigação, caracterização e comportamento de equipamentos sujeitos aos citados distúrbios.

Referência [2]

Título: Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos durante Ensaio de Sobretensões.

Autor (es): Hermes R. P. M. de Oliveira., Nelson C. de Jesus, Manuel L. B. Martinez.

Origem: XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba-PR, Outubro/2005.

Resumo: Apresenta os principais resultados de testes de sobretensões em equipamentos eletrônicos. Foram realizados ensaios de aplicação de sobretensões impulsivas, bem como na frequência industrial em vários equipamentos eletrodomésticos, para a verificação das suas condições de operação e suportabilidade. O estudo visa contribuir com as análises das solicitações de ressarcimento, fornecendo informações e um levantamento a título de critérios de desempenho, limites e procedimentos técnicos para análise de tais solicitações de ressarcimentos de danos elétricos em equipamentos. Sob este mesmo foco, torna-se fundamental o levantamento das curvas de suportabilidade para uma melhor compreensão sob os reais efeitos das sobretensões impulsivas e na frequência industrial, na operação dos equipamentos, podendo-se correlacionar as possíveis perturbações e ocorrências no sistema elétrico com as consequências na operação.

Referência [3]

Título: Valuation for Standard Power Quality Limits Acceptable to Avoid Damages in Appliances.

Autor (es): Mateus D. Teixeira, Ricardo L. Araújo, Nilton. R. Quorin, Leonardo M. Ardjomand, Alexandre R. Aoki, Pedro Sgobero e Ingo Wunderlich.

Origem: WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Issue 5, Vol. 4, May 2005.

Resumo: Neste artigo são investigados os principais distúrbios na qualidade da energia que podem causar danos em equipamentos eletroeletrônicos, estabelecendo-se os níveis aceitáveis de suportabilidade física dos mesmos, de acordo com as características dos distúrbios aplicados. Este trabalho está focado na identificação dos fenômenos de

qualidade da energia mais comuns de acontecerem na rede de distribuição da concessionária COPEL e na análise dos equipamentos mais afetados. Foi também elaborada e aplicada uma rotina de testes para a avaliação dos equipamentos sob estudo. O objetivo deste trabalho é obter os dados técnicos que possam subsidiar a análise das solicitações de ressarcimento de consumidores, em função de danos ocorridos em equipamentos eletroeletrônicos decorrentes dos distúrbios.

Referência [4]

Título: Surge Immunity of Electronic Equipment.

Autor (es): K. Ermeler, W. Pfeiffer, D. Schoen, M. Schocke.

Origem: IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, 1998.

Resumo: Este artigo mostra os resultados de testes laboratoriais realizados em aparelhos de vídeos-cassete, quanto à sua suportabilidade mediante a aplicação de sobretensões transitórias. O objetivo principal do experimento, realizado de acordo com as exigências da IEC, foi obter informações sobre o desempenho de um equipamento eletrônico comumente utilizado pelos consumidores, na ocasião em que os testes foram realizados. O estudo revelou que apenas sete aparelhos passaram no teste sem nenhum dano, e quase todas as falhas identificadas ocorreram nas fontes de alimentação.

Referência [5]

Título: Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação.

Autor (es): Anderson da Silva Jucá.

Origem: Tese de Doutorado - USP, 2003.

Resumo: Este trabalho analisa o agravamento das relações entre consumidores e concessionárias, relacionados aos PID's provocados por distúrbios da rede elétrica. A agência reguladora do Estado de São Paulo registra um número crescente de conflitos entre as citadas partes, e, atualmente, não dispõe de mecanismos eficientes e conclusivos para resolvê-los. A pesquisa cita a experiência internacional, estuda aspectos técnicos, econômicos e jurídicos relevantes para o tema, e conclui que a forma adequada de diminuir tais conflitos é reduzir a probabilidade de que os danos possam ocorrer. Propõem ações envolvendo concessionárias e sociedade para a proteção do sistema, equilibrando responsabilidades pela instalação de dispositivos protetores para diminuir a solicitação dos surtos transitórios motivadores dos conflitos, pela dificuldade de registro de ocorrência – sobre os aparelhos, e, por outro lado, buscando formas de se diminuir a susceptibilidade dos aparelhos.

Referência [6]

Título: Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores.

Autor (es): Carlos Eduardo Tavares.

Origem: Tese de Doutorado - UFU, 2008.

Resumo: Esta tese de doutorado apresenta a concepção de uma metodologia computacional, com base em indicadores dos níveis de solicitações dielétricas e térmicas, os quais são impostos aos equipamentos eletroeletrônicos quando submetidos a distúrbios na rede elétrica. Tais indicadores são confrontados com os padrões de suportabilidade dos produtos sob análise, fornecendo uma orientação técnica que permita avaliar se os impactos dielétricos e térmicos provocados por distúrbios na rede de suprimento em cada dispositivo são

capazes de causar os danos reclamados. De forma a automatizar o processo de análise das solicitações de ressarcimento, todos os desenvolvimentos são inseridos em um software elaborado especificamente para o tema, denominado por APR – Analisador de Pedidos de Ressarcimento.

Referência [7]

Título: Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos diante de Distúrbios de Qualidade da Energia Elétrica. Enfoque: Televisores, VCR`s e Som.

Autor (es): Carlos Eduardo Tavares.

Origem: Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia - Maio, 2004.

Resumo: Esta dissertação dedica-se a investigar a relação existente entre a qualidade da energia elétrica de suprimento e o desempenho de Televisores, VCR e Aparelhos de Som. Para avaliar o desempenho dos equipamentos foram aplicados distúrbios típicos, tais como: distorções da forma de onda, elevações e afundamentos de tensão, oscilações, interrupções do suprimento de energia e transitórios oscilatórios. Os estudos são realizados pelos métodos experimentais e computacionais. Além das análises funcionais, obtêm-se as curvas representativas dos níveis de tolerância dos produtos frente aos distúrbios considerados.

Referência [8]

Título: Contribuições ao Processo Computacional para Análise de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos Elétricos.

Autor (es): Marcus Vinicius Borges Mendonça.

Origem: Tese de Doutorado - UFU, 2010.

Resumo: Esta tese de doutorado tem por objetivo propor meios para o aprimoramento de pesquisas anteriormente conduzidas visando o estabelecimento de um mecanismo computacional para a análise e emissão de parecer final a respeito dos pedidos de ressarcimento. Os assuntos principais focados neste trabalho estão centrados nas questões das novas orientações das normas brasileiras sobre a conexão de equipamentos à rede, melhorias de modelos de equipamentos, implementação computacional dos sistemas de aterramento no aplicativo e validação de todo processo através de casos reais.

Referência [9]

Título: Metodologia Para Subsidiar a Análise de Solicitações de Ressarcimento por Danos, utilizando-se Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS).

Autor (es): Orlando Adolfo da Silva.

Origem: Tese de Mestrado - UFU, outubro de 2010.

Resumo: Esta tese de mestrado concentra seus esforços no aperfeiçoamento de trabalhos anteriores desenvolvidos nesta área de pesquisa. Os principais aspectos abordados no presente trabalho dizem respeito ao conhecimento das características dos pedidos de ressarcimento formulados às concessionárias de distribuição de energia, estudo, elaboração e implementação computacional de dispositivos mitigadores, bem como a avaliação da consistência da modelagem proposta através de estudo de casos reais.

Referência [10]

Título: Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores" CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 01 / ano 02, Agosto de 2009.

Autor (es): Delaiba A. C., Oliveira J. C., Tavares C. E., Mendonça M. V. B., Gondim I. N., Barbosa Jr. J. A. F., Borges J. M., Martins E. A., Ávila C. J.

Origem: CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relat. Técnicos, 2009 e 2010.

Resumo: Os relatórios técnicos fazem parte dos produtos do P&D 238, os quais propõem uma metodologia para análise das solicitações de ressarcimento de danos em equipamentos eletroeletrônicos, associados aos distúrbios da rede elétrica da CEMIG. O novo produto apresenta melhorias na disponibilização de uma nova biblioteca contendo curvas de suportabilidade térmicas e dielétricas que foram obtidas a partir de testes destrutivos conduzidos em: televisores, aparelhos de som e micros, utilizando-se das estruturas laboratoriais da UFU e UNIFEI.

Referência [11]

Título: Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores" CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 02 / ano 02, abril de 2010.

Autor (es): Delaiba A. C., Oliveira J. C., Tavares C. E., Mendonça M. V. B., Gondim I. N., Barbosa Jr. J. A. F., Borges J. M., Martins E. A., Ávila C. J.

Origem: CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatórios Técnicos, 2009 e 2010.

Resumo: Os relatórios técnicos fazem parte dos produtos do P&D 238, os quais propõem uma metodologia para análise das solicitações de ressarcimento de danos em equipamentos eletroeletrônicos, associados aos distúrbios da rede elétrica da CEMIG. O novo produto apresenta melhorias na disponibilização de uma nova biblioteca contendo curvas de suportabilidade térmicas e dielétricas que foram obtidas a partir de testes destrutivos conduzidos em: televisores, aparelhos de som e micros, utilizando-se das estruturas laboratoriais da UFU e UNIFEI.

Referência [12]

Título: Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores" CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatório Técnico 04 / ano 01, abril de 2009.

Autor (es): Delaiba A. C., Oliveira J. C., Tavares C. E., Mendonça M. V. B., Gondim I. N., Barbosa Jr. J. A. F., Borges J. M., Martins E. A., Ávila C. J.

Origem: CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatórios Técnicos, 2009 e 2010.

Resumo: Os relatórios técnicos fazem parte dos produtos do P&D 238, os quais propõem uma metodologia para análise das solicitações de ressarcimento de danos em equipamentos eletroeletrônicos, associados

aos distúrbios da rede elétrica da CEMIG. O novo produto apresenta melhorias na disponibilização de uma nova biblioteca contendo curvas de suportabilidade térmicas e dielétricas que foram obtidas a partir de testes destrutivos conduzidos em: televisores, aparelhos de som e micros, utilizando-se das estruturas laboratoriais da UFU e UNIFEI.

Referência [13]

Título: Curvas de Suportabilidade Dielétrica e Térmica para Televisores Integradas ao APR e ao Banco de Dados da CEMIG Distribuição S.A.

Autor (es): Claudinei Jeremias de Avila.

Origem: Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia - Dezembro, 2011.

Resumo: Esta dissertação de mestrado, propõe -se a estabelecer uma metodologia para a elaboração das curvas de Suportabilidade Dielétrica e Térmica para Televisores novos e usados, associados aos distúrbios da rede elétrica da CEMIG. As curvas elaboradas, a partir de ensaios destrutivos, foram integradas ao APR-3.0.

Referência [14]

Título: Uma Proposta para a Inserção do Tempo de Uso dos Equipamentos no aplicativo APR e estudos avaliativos de Casos Reais de PID's.

Autor (es): Fernando Gadenz

Origem: Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia – Novembro/2010.

Resumo: Esta dissertação de mestrado, propõe-se à incorporação no APR dos efeitos associados com o tempo de uso dos equipamentos, bem

como a realização de estudos investigatórios visando à validação do software, a partir de estudos de casos reais de PID's ocorridos na área de Concessão da CEMAT.

1.3 - Contribuições oferecidas por esta tese

Procurando contribuir para o avanço, aperfeiçoamentos e consolidação do mecanismo computacional contemplado nas discussões anteriores, a saber, o Aplicativo APR, os trabalhos realizados pela presente pesquisa encontram-se centrados em cinco pontos focais, quais sejam:

- *Levantamento das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de microcomputadores com e sem estabilizadores [13,14].*

Foram realizados diversos ensaios para a obtenção de curvas típicas de suportabilidade térmica e dielétrica para os microcomputadores com e sem estabilizadores, os quais foram iniciados através do estabelecimento de uma estrutura laboratorial e consequente realização de ensaios de sobretensões na frequência industrial. Posteriormente, para os mesmos dispositivos, foram elaborados e conduzidos ensaios experimentais destrutivos, com aplicações de impulso de corrente com características similares às perturbações associadas com as descargas atmosféricas. Para tanto, utilizou-se das instalações do laboratório da alta tensão da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Complementando os aspectos laboratoriais foram realizados diversos ensaios de sobretensões associados à queda de cabos de média na baixa tensão.

Deve-se salientar que, em relação às curvas de suportabilidade térmica utilizou-se do conceito da energia térmica, ou seja, da integral de Joule, energia máxima dissipada pelos componentes que compõem as partes mais sensíveis dos dispositivos.

- ***Dispositivos mitigadores [9,13]***

Outro avanço alcançado pelo presente trabalho foi à avaliação dos dispositivos mitigadores empregados para minimizar ou eliminar os efeitos atrelados com os distúrbios com maior ocorrência nas redes de distribuição de energia elétrica. Constatou-se, tanto em estudos computacionais, quanto em ensaios destrutivos, que a utilização dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS) reduz substancialmente a possibilidade de danos a equipamentos eletroeletrônicos, principalmente quando de ocorrências associadas às descargas atmosféricas.

Dentro deste contexto, a pesquisa ratificou a eficácia desta estratégia para a diminuição da quantidade das solicitações de ressarcimento de danos em equipamentos eletroeletrônicos.

- ***Sistematização de uma metodologia e montagem da estrutura laboratorial para a realização dos ensaios destrutivos [13,14]***

Uma das contribuições desta dissertação está alicerçada no desenvolvimento de uma metodologia laboratorial para a realização de ensaios destrutivos, quais sejam: ensaios de sobretensões na frequência industrial, ensaios de sobretensões associadas com a queda de cabos da média tensão na baixa tensão e ensaios atrelados com as descargas atmosféricas. Estes testes

foram realizados para a o levantamento das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica de microcomputadores com e sem estabilizadores.

Deve-se destacar que, após os ensaios destrutivos, os microcomputadores/estabilizadores foram encaminhados para uma oficina eletrônica credenciada da CEMIG D, com o objetivo de verificar os componentes danificados, consertá-los e apresentar os custos do reparo.

- ***Estudos de casos reais [13,14]***

Este item está associado com um processo de validação da ferramenta computacional através da seleção de algumas situações reais ocorridas em campo e, vinculadas com a concessionária CEMIG D, proceder a estudos investigativos com vistas à validação dos procedimentos sistematizados através do aplicativo em pauta (APR-3.0), confrontando-os com os pareceres e providências tomadas pela citada empresa.

- ***Melhoria da qualidade do serviço prestado***

Deve-se ressaltar que a nova versão do software de análise de solicitação de ressarcimento de danos, contribuirá decisivamente para: a sistematização do processo de análise, a agilização dos processos internos, a melhoria da qualidade do serviço e da imagem da empresa, a otimização dos gastos atrelados com ressarcimentos a consumidores, estabelecendo uma melhor análise visando à redução dos dispêndios financeiros com as questões sob foco, etc.

1.4 - Estruturas da dissertação

Em consonância com o exposto, além do presente capítulo introdutório, esta dissertação é desenvolvida obedecendo à seguinte estrutura:

Capítulo II Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

Este capítulo tem por objetivo abordar, de forma geral, algumas informações coletadas a partir das solicitações de ressarcimento, bem como os principais distúrbios elétricos e os principais componentes danificados que originaram as solicitações de ressarcimento de danos em equipamentos eletroeletrônicos. Estas constatações foram fornecidas pela concessionária de energia CEMIG Distribuição S.A, referente à área geográfica do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no período de 01/2008 a 09/2010.

Capítulo III Suportabilidade térmica e dielétrica de microcomputadores [6,13,14]

Este capítulo tem por objetivo propor uma estratégia e uma estrutura laboratorial com vistas à obtenção de curvas típicas de suportabilidade dielétrica e térmica para microcomputadores com e sem estabilizadores. As curvas

assim obtidas e que refletem os limites de suportabilidade são aquelas inseridas e disponibilizadas na nova versão do aplicativo computacional APR-3.0 - CEMIG.

Adicionalmente, esta seção apresenta a possibilidade da avaliação dos impactos térmicos e dielétricos nos equipamentos com e sem a presença de dispositivos mitigadores (DPS's), os quais foram estudados, modelados, ensaiados e implementados computacionalmente.

Capítulo IV Estudo de casos [13,14]

Esta seção destina-se a utilizar o aplicativo computacional versão APR-3.0 - CEMIG para simulação de casos reais de PID's. Os resultados obtidos pelo programa foram comparados com as decisões tomadas pela concessionária, através de seus procedimentos atuais, de forma a verificar se a solicitação de ressarcimento é procedente ou não, considerando a metodologia proposta por esta dissertação.

Capítulo V Conclusões Gerais

Este capítulo destina-se a sintetizar as análises e discussões sobre os principais resultados e constatações feitas durante o desenvolvimento desta dissertação.

CAPÍTULO II

Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

2.1 – Considerações iniciais

As concessionárias do setor elétrico se depararam com um crescimento vertiginoso das solicitações de ressarcimento de danos em aparelhos eletroeletrônicos nas últimas décadas, sobretudo devido à:

- Criação do código de defesa do consumidor na década de 80 e maior conhecimento dos consumidores quanto aos seus direitos;
- Desregulamentação do setor elétrico e criação das agências reguladoras na década de 90;
- Publicação de resoluções normativas, associadas à ressarcimentos de danos;
- Melhoria do poder aquisitivo e por conseguinte maior utilização de equipamentos eletroeletrônicos;
- Utilização maciça de dispositivos mais sensíveis à qualidade da energia elétrica de suprimento;
- Maior utilização de equipamentos que provocam distorções harmônicas;

CAPITULO II – Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

Diante deste cenário, as concessionárias de energia elétrica estão investindo cada vez mais em estudos para a qualidade no fornecimento de energia elétrica, bem como a análise das solicitações de ressarcimento, visando evitar a aplicação de multas e o crescimento nas despesas decorrentes das indenizações de ressarcimentos.

O levantamento estatístico das solicitações de ressarcimentos de danos, visando identificar os equipamentos com maior incidência de PID's, suas principais características e os principais componentes danificados, é de fundamental importância para as concessionárias avaliarem os efeitos dos principais distúrbios na rede elétrica em tais equipamentos, sua suportabilidade e a eficiência dos principais dispositivos mitigadores existentes no mercado.

Este capítulo apresenta o levantamento estatístico e quantitativo fornecido pela concessionária de energia CEMIG Distribuição S.A., abrangendo a área geográfica do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no período de 01/2008 à 09/2010, focando as solicitações que geraram ressarcimentos decorrentes de distúrbios no sistema elétrico supridor.

Conforme banco de dados obtido junto à citada concessionária utilizando os critérios atuais, em torno de 50% das solicitações de ressarcimento foram consideradas procedentes após a análise de nexos causal, conforme critérios atuais da concessionária, gerando portanto o ressarcimento de danos.

Na figura 2.1, verifica-se a evolução na quantidade total de equipamentos ressarcidos, haja vista que em 2010 estão representados os equipamentos ressarcidos até o mês de Setembro.

Observa-se também que nos últimos três anos foi registrado um maior crescimento percentual da quantidade de micros/periféricos em relação ao total de equipamentos ressarcidos.

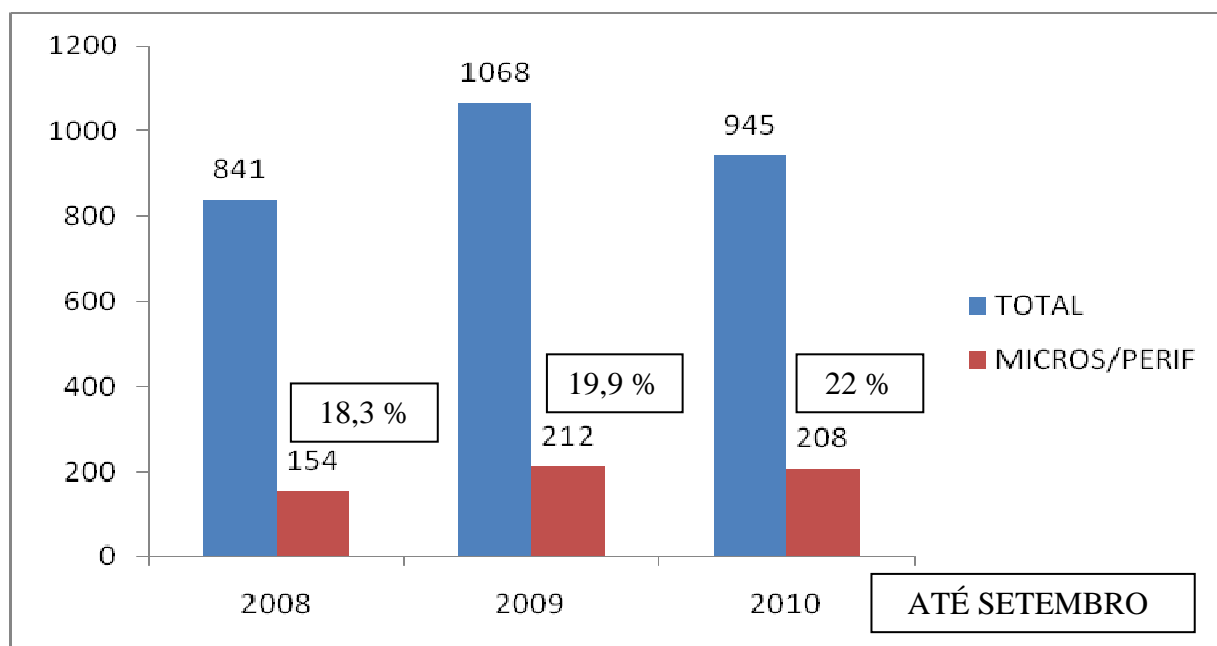


Figura 2.1 – Quantidade de equipamentos ressarcidos.

Os citados levantamentos foram realizados também com o objetivo de permitir uma comparação entre o custo financeiro e a quantidade indenizada de cada produto, visando focar os estudos de suportabilidade nos eletroeletrônicos com maior impacto nas solicitações de ressarcimento de danos, conforme demonstrado nas figuras 2.2 e 2.3.

2.2 – Levantamentos estatísticos e quantitativos [13]

As tabelas e gráficos na sequência representam as informações coletadas à partir das solicitações de ressarcimento, os equipamentos eletroeletrônicos envolvidos, bem como os principais distúrbios que deram origem à tais solicitações. Além das quantidades de equipamentos por tipo, focou-se também nos montantes financeiros desembolsados nas solicitações de ressarcimentos, pela

CAPITULO II – Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

CEMIG Distribuição S.A. na região geográfica do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, para indenizar os pedidos julgados procedentes.

2.2.1 - Quantidade de bens indenizados e custos para cada tipo de distúrbio

A tabela 2.1 relaciona para cada tipo de causa, a quantidade de bens que foram indenizados, o custo total envolvido e o custo médio associado à cada causa. As descargas atmosféricas, os religamentos automáticos (geralmente associados a outras causas primárias), as manobras emergenciais, e as falhas em equipamentos, representaram as principais causas das solicitações de ressarcimento feitas pelos consumidores à CEMIG D na região geográfica já citada.

No período e regiões já citados identificou-se 2854 bens indenizados, envolvendo um montante financeiro total de R\$ 712, 5 mil reais.

CAUSA	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL	CUSTO MÉDIO
FENOMENOS NATURAIS – DESC. ATM.	704	R\$ 172.063,64	R\$ 244,41
OPERACIONAIS - RELIGAMENTO AUT.	550	R\$ 137.639,13	R\$ 250,25
OPERACIONAIS – EMERGÊNCIAS	470	R\$ 99.391,69	R\$ 211,47
INDETERMINADA	309	R\$ 89.490,98	R\$ 289,61
FE- CONECTORES	137	R\$ 28.251,29	R\$ 206,21
MEIO AMBIENTE – ARVORE	102	R\$ 26.364,80	R\$ 258,48
MEIO AMBIENTE – PÁSSARO	76	R\$ 17.879,67	R\$ 235,26
FE – ISOLADORES	29	R\$ 13.594,00	R\$ 468,76
FE – TRANSFORMADOR	59	R\$ 11.108,40	R\$ 188,28
PROGRAMADA – CONSTRUÇÃO	44	R\$ 10.225,49	R\$ 232,40
FE - FALHAS EM EQUIPAMENTO	31	R\$ 10.121,80	R\$ 326,51
FE – CRUZETAS	17	R\$ 9.987,00	R\$ 587,47
PROGRAMADA – MANUTENÇÃO	35	R\$ 8.663,80	R\$ 247,54
PROGRAMADA – MANUTENÇÃO	35	R\$ 8.663,80	R\$ 247,54
MEIO AMBIENTE - ABALROAMENTO	37	R\$ 8.184,07	R\$ 221,19
FENOMENOS NATURAIS – TEMPORAL	23	R\$ 6.765,80	R\$ 294,17
FE- DISJUNTOR	25	R\$ 6.172,00	R\$ 246,88

CAPITULO II – Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

CAUSA	QUANTIDADE	CUSTO TOTAL	CUSTO MÉDIO
ACORDO PROCON	14	R\$ 4.558,90	R\$ 325,64
FENOMENOS NATURAIS – VENTO	17	R\$ 4.268,40	R\$ 251,08
FE- CHAVE SECCIONADORA	14	R\$ 4.128,48	R\$ 294,89
MEIO AMBIENTE – VANDALISMO	13	R\$ 3.857,00	R\$ 296,69
OPERACIONAIS – OUTRAS	12	R\$ 3.825,60	R\$ 318,80
FE - REGULADOR DE TENSAO	5	R\$ 2.700,00	R\$ 540,00
OPERACIONAIS – SOBRECARGAS	8	R\$ 2.648,20	R\$ 331,03
OPERACIONAIS – DESEQUILIBRIO	6	R\$ 2.614,36	R\$ 435,73
MEIO AMBIENTE – PIPA	12	R\$ 2.029,50	R\$ 169,13
FH EMPREIT – CONSTRUÇÃO	6	R\$ 1.988,00	R\$ 331,33
FE- EMENDA	8	R\$ 1.845,80	R\$ 230,73
FE - VAZAMENTO OLEO EQUIPTOS	1	R\$ 1.660,00	R\$ 1.660,00
FE - CHAVE FUSIVEL	8	R\$ 1.582,50	R\$ 197,81
APAGÃO	6	R\$ 1.541,00	R\$ 256,83
FH EMPREIT. – MANUTENÇÃO	7	R\$ 1.536,90	R\$ 219,56
MEIO AMBIENTE – ANIMAL	7	R\$ 1.512,90	R\$ 216,13
DIA CRÍTICO	2	R\$ 1.435,00	R\$ 717,50
MEIO AMBIENTE - OUTROS OBJETOS	5	R\$ 1.434,00	R\$ 286,80
FH EMPREIT – OPERACAO	3	R\$ 1.244,00	R\$ 414,67
PROGRAMADA	7	R\$ 1.214,50	R\$ 173,50
ACORDO COMERCIAL	5	R\$ 1.121,00	R\$ 224,20
FE – AUTOTRANSFORMADOR	1	R\$ 1.041,00	R\$ 1.041,00
FE - RAMAL CONSUMIDOR	2	R\$ 971,00	R\$ 485,50
FH PROPRIA- MANUTENÇÃO	2	R\$ 970,00	R\$ 485,00
ESTUDO P & D	6	R\$ 779,50	R\$ 129,92
FE – RELIGADOR	5	R\$ 613,00	R\$ 122,60
FE – POSTE	1	R\$ 550,00	R\$ 550,00
FH PROPRIA – CONSTRUÇÃO	2	R\$ 497,00	R\$ 248,50
OPERACIONAIS – SOBREC. CONDUTOR	2	R\$ 458,00	R\$ 229,00
PROJETO PILOTO (DESC.ATM.)	5	R\$ 453,00	R\$ 90,60
ROMPIMENTO DE CABOS	5	R\$ 389,00	R\$ 77,80
FH PROPRIA- OPERAÇÃO	3	R\$ 381,30	R\$ 127,10
FENOMENOS NATURAIS - OUTROS	1	R\$ 262,00	R\$ 262,00
OPERACIONAIS – COORD. PROTECAO	2	R\$ 195,00	R\$ 97,50
FE – SECCIONALIZADOR	1	R\$ 146,00	R\$ 146,00
FH EMPREIT. – CONSTRUCAO	1	R\$ 74,00	R\$ 74,00
FH EMPREIT- OUTRAS	1	R\$ 52,50	R\$ 52,50
TOTAL	2854	R\$ 712.481,90	R\$ 249,64

Tabela 2.1 – Equipamentos ressarcidos - Custo por tipo de causa.

2.2.2 - Quantidade de equipamentos ressarcidos e custos para cada tipo de equipamento

A figura 2.2 ilustra a quantidade de equipamentos que foram indenizados devido a distúrbios na rede elétrica da CEMIG Distribuição S.A. no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, com destaque para televisores e microcomputadores/periféricos.

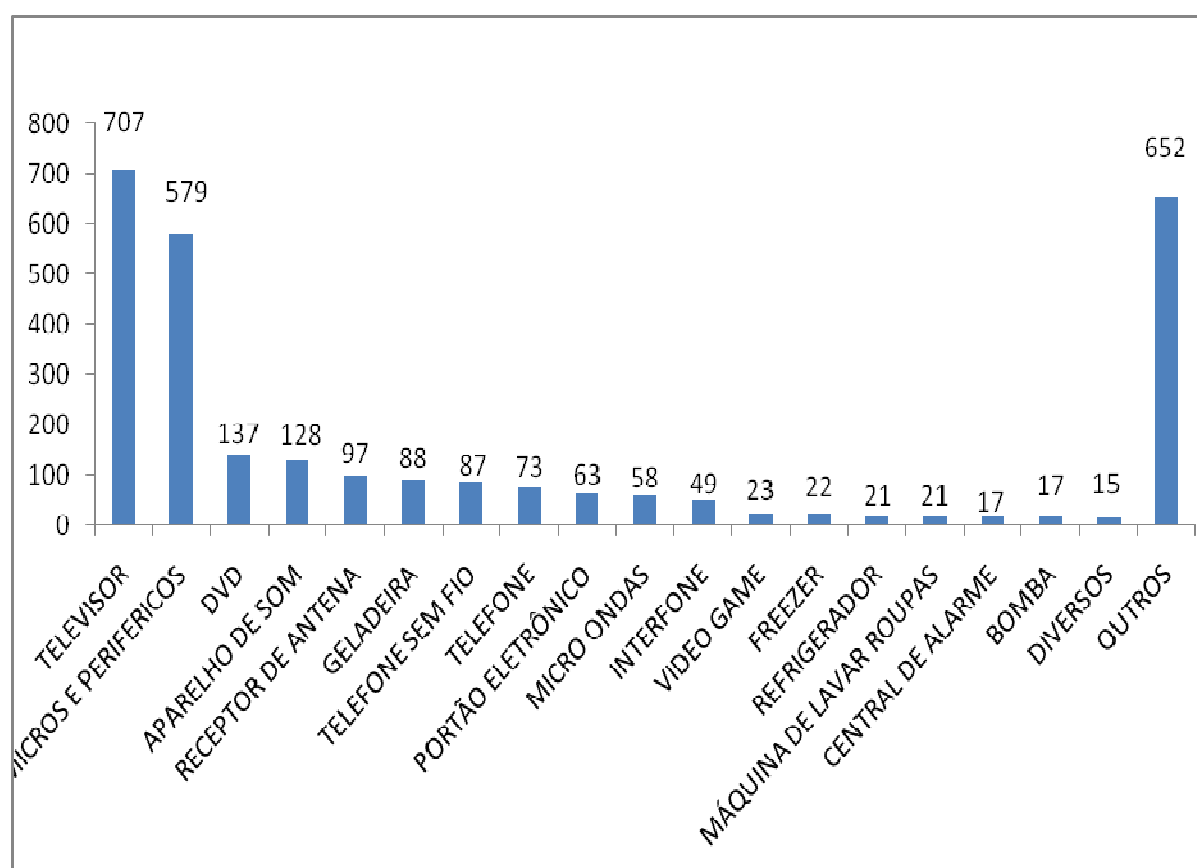


Figura 2.2 – Quantidade de equipamentos ressarcidos por tipo.

A figura 2.3 demonstra o custo total das solicitações de ressarcimento para cada tipo de equipamento mencionado.

CAPITULO II – Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

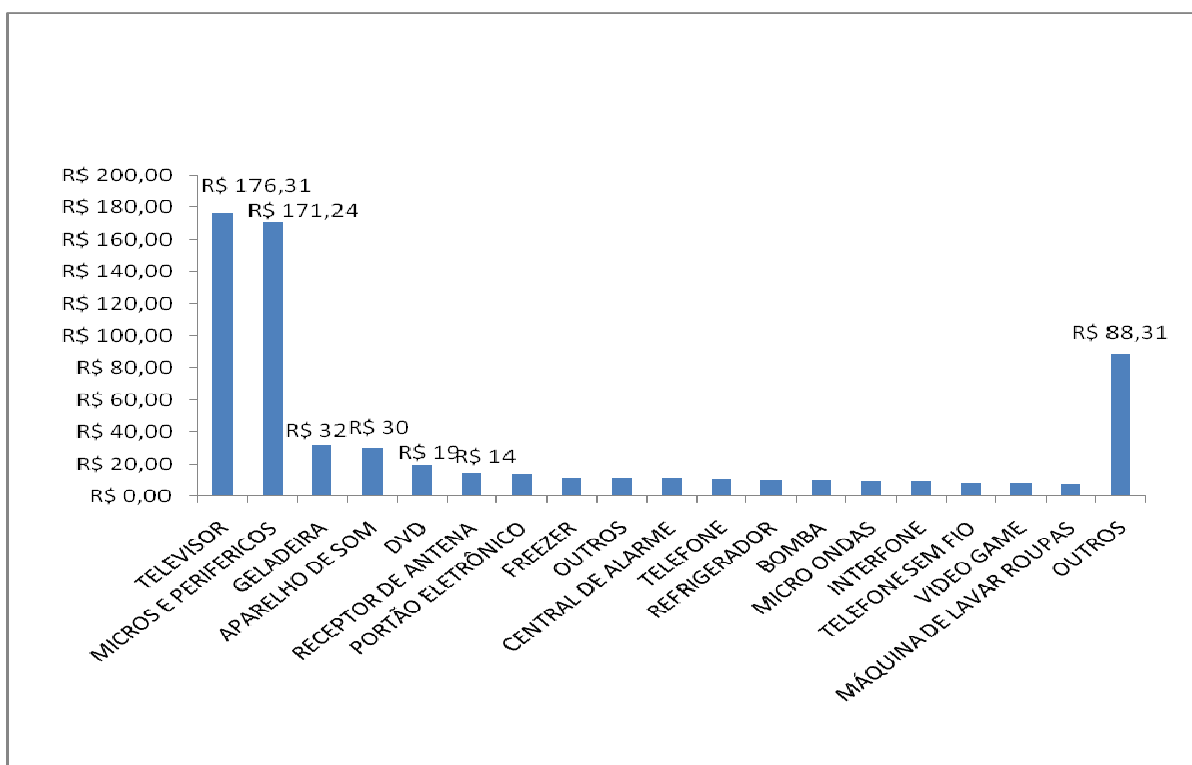


Figura 2.3 – Valor de reparo de equipamentos ressarcidos por tipo.

2.2.3 - Dados referentes às solicitações de ressarcimento associadas a microcomputadores/periféricos:

A tabela 2.2 representa a quantidade de microcomputadores/periféricos danificados e ressarcidos, o custo total e o custo médio por reparo.

Quantidade	Custo Total	Custo Médio
579	R\$ 171.240,02	R\$ 295,75

Tabela 2.2 – Custos e quantidade de micros/periféricos.

Na tabela 2.3, estão relacionados os principais componentes danificados para os microcomputadores/periféricos ressarcidos, a partir dos dados disponíveis nos arquivos da concessionária referente as solicitações de ressarcimento.

CAPITULO II – Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

Componente Danificado	Quantidade	Custo Total	Custo Médio
COMPONENTES INTERNOS DIVERSOS	297	R\$ 110.279,28	R\$ 371,31
FONTE DE ALIMENTAÇÃO	26	R\$ 1.645,00	R\$ 63,27
ESTABILIZADOR	33	R\$ 1.950,80	R\$ 59,12
PERIFERICOS	223	R\$ 57.366,94	R\$ 257,25

Tabela 2.3 – Microcomputadores/periféricos - Componentes danificados.

2.3– Considerações finais

A utilização de levantamentos estatísticos das solicitações de ressarcimento disponíveis nos bancos de dados da concessionária, detalhando os equipamentos e os custos envolvidos é de fundamental para focar os estudos de suportabilidade em determinados equipamentos diante dos distúrbios mais frequentes nas redes de suprimento de energia elétrica.

A análise dos dados contidos nas tabelas e gráficos apresentados demonstra que os equipamentos presentes na maior parte das solicitações de ressarcimento e que geraram indenização foram os aparelhos de TV e microcomputadores/periféricos representando 45% da quantidade de equipamentos ressarcidos e 49% do montante financeiro desembolsado pela CEMIG.

Verificou-se também que micros/periféricos representaram mais de 24% do volume financeiro envolvido nas citadas indenizações e mais de 20% da quantidade de equipamentos ressarcidos, com crescimento percentual em relação ao total de equipamentos, nos últimos anos.

Estes números chamam muito a atenção, pois são muito próximos aos valores verificados para os televisores, sendo que a quantidade deste tipo de aparelho é bem superior ao de micros/periféricos, pois enquanto existem

CAPITULO II – Levantamento estatístico sobre ressarcimento de danos a equipamentos eletroeletrônicos

televisores em 96% dos lares mineiros, há micros em apenas 25% das residências, conforme dados disponibilizados no último senso populacional.

Embora os dados constantes no banco de dados da concessionária não contenham informações precisas e detalhadas sobre todos os componentes danificados, foi possível verificar que das solicitações de ressarcimento envolvendo micros/periféricos, mais de 60% da quantidade/custo envolvidos estão associados a danos nos componentes internos do computador e nos estabilizadores.

Considerando a grande gama de fabricantes/montadores de microcomputadores e que em grande parte tais equipamentos são montados com componentes de diversos fabricantes visando atender a disponibilidade financeira dos consumidores, bem como a especificação requerida por eles, neste estudo não focou-se o aspecto fabricante e sim equipamentos com as especificações mais frequentemente utilizadas.

CAPÍTULO III

Suportabilidade térmica e dielétrica de microcomputadores

3.1 – Considerações iniciais

A evolução tecnológica das últimas décadas, sobretudo dos países em desenvolvimento, tem possibilitado a fabricação de microcomputadores mais compactos, com melhor especificação e com menor custo, devido principalmente ao aperfeiçoamento dos circuitos microeletrônicos e os processadores.

Para garantir o bom funcionamento de tais equipamentos, é necessário que haja níveis de tensão e corrente adequados, cabendo às fontes do tipo chaveada, a interface entre a rede de energia elétrica da concessionária e os circuitos internos dos microcomputadores.

Sendo assim, a investigação da suportabilidade das citadas fontes, quando submetidas aos distúrbios mais frequentes no fornecimento de energia elétrica é de fundamental importância. Para tal é necessário se utilizar modelos computacionais, cuja validação já foi amplamente explorada [6, 7, 8, 9, 13,14].

O presente capítulo encontra-se direcionado ao estabelecimento de procedimentos experimentais destinados a obtenção das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica para microcomputadores, com e sem estabilizadores, a partir dos distúrbios ocorridos no sistema elétrico que estão associados às principais causas primárias das solicitações de ressarcimento de danos em equipamentos eletroeletrônicos, conforme apresentado na tabela 2.1.

Dentre as atividades desenvolvidas, pode-se destacar a metodologia empregada para se obter as curvas de suportabilidade física, com destaque às bases matemáticas, físicas e experimentais para se atingir os propósitos delineados neste capítulo.

Diante destes objetivos, a estratégia empregada para a obtenção das curvas de suportabilidade do equipamento em questão, foi a realização de ensaios destrutivos com a aplicação de situações operacionais típicas que determinam, para os distintos valores de duração dos eventos, seus respectivos níveis de tolerância para as tensões e correntes.

No que tange ao processo para obter-se os limites atrelados com as tensões aplicadas, em que pese os fenômenos de 60 Hz e os de natureza impulsiva, os trabalhos compreenderam o uso de:

- Sobretensões em baixa tensão destinadas a avaliação de desempenho dos equipamentos face aos níveis de tensão representativos de distúrbios típicos à frequência industrial;
- Sobretensões nas redes de BT atreladas à ocorrência de fenômenos oriundos de defeitos que poderiam impor, momentaneamente, níveis de tensão muito acima dos anteriores, a exemplo da queda de cabos da média tensão sobre os condutores da baixa tensão;

- Sobrecorrentes impulsivas (transitórios) e consequentes sobretensões, geradas pela incidência de distúrbios associados com as descargas atmosféricas.

Para a aplicação dos dois primeiros tipos de distúrbios utilizou-se a estrutura laboratorial da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Os testes associados com o fenômeno de aplicação de impulso de corrente foram realizados na Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI.

Após a aplicação dos testes destrutivos, os equipamentos danificados foram encaminhados para uma oficina credenciada da CEMIG D, visando identificar todos os componentes eletrônicos danificados, bem como os custos financeiros necessários para os reparos dos microcomputadores/estabilizadores.

Finalmente, complementando os aspectos anteriores, também se efetuou os diversos ensaios laboratoriais nos citados equipamentos, só que desta vez com a presença de dispositivos mitigadores utilizados comercialmente, conhecidos como dispositivo de proteção contra surtos (DPS), com o objetivo de se verificar a eficácia de tais dispositivos quanto à limitação das tensões impostas aos microcomputadores/estabilizadores.

3.2 – Metodologia para a composição de indicadores associados aos distúrbios elétricos [6,13,14]

A fundamentação física e matemática da metodologia aqui proposta está alicerçada na determinação de duas grandezas básicas vinculadas ao funcionamento dos micros/estabilizadores. Uma delas tem por propósito expressar as exigências dielétricas impostas ao citado equipamento, e a outra, as condições térmicas relacionadas com o distúrbio verificado na rede elétrica.

Uma vez obtidas tais informações, estas são confrontadas com os níveis de suportabilidade dos microcomputadores/estabilizadores, contemplados nesta análise.

Deste modo, os impactos de tensão devem ser avaliados à luz da suportabilidade dielétrica do produto e os relacionados com a corrente devem ser comparados com a suportabilidade térmica correspondente.

Obedecendo esta estratégia, apresentam-se, na sequência, os procedimentos para os cálculos dos indicadores dielétricos e térmicos associados com os fenômenos ocorridos no ponto de conexão dos equipamentos focados na análise das solicitações de ressarcimento.

a) – Solicitação Dielétrica [6]

Um distúrbio elétrico na forma de um transitório oscilatório está representado na figura 3.1, persistindo durante um intervalo de tempo compreendido entre os instantes t_1 e t_2 .

Durante o citado intervalo de tempo, os valores apresentam variações bastante acentuadas quanto à amplitude, no intervalo de tempo considerado.

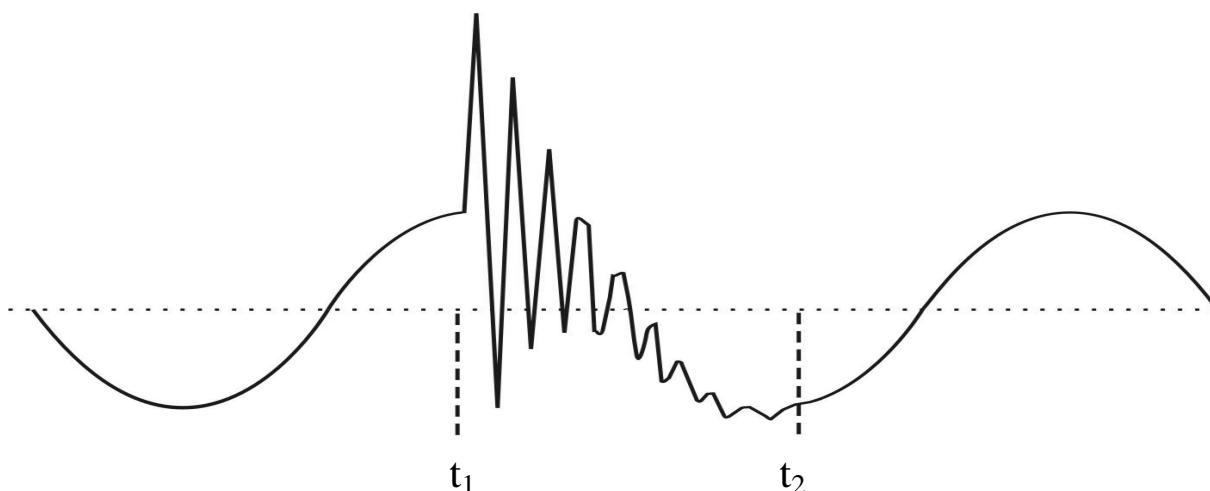


Figura 3.1 – Transitório oscilatório na tensão de suprimento.

O procedimento adotado para a conversão do citado fenômeno em uma curva indicativa do comportamento da tensão ao longo do tempo, consiste em discretizar o período de duração do distúrbio, calculando um indicador que represente o efeito cumulativo da tensão, para cada instante.

O citado indicador pode ser calculado através da equação 3.1[6], a qual possui, intrinsecamente, um significado físico similar ao do valor eficaz ao longo do tempo. Há, todavia, uma grande diferença em relação ao cálculo convencional do valor eficaz, visto que este exigiria um intervalo de integração correspondente a um período completo da onda senoidal em 60 Hz.

Na equação 3.1, o intervalo de tempo é crescente, iniciando pelo instante em que o distúrbio se manifesta e sofrendo incrementos definidos pelo passo (Δt) escolhido [6].

$$V_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n V_i^2}{n}} \quad (3.1)$$

sendo:

- V_k - valor da solicitação dielétrica para um instante de tempo qualquer;
- V_i - valor instantâneo da tensão para um instante de tempo qualquer;
- n - número de amostras.

As informações necessárias à transformação das tensões impostas em curvas de solicitações dielétricas são obtidas através da equação 3.1. Estas curvas, uma vez comparadas com os níveis de suportabilidade dos equipamentos, oferecem subsídios para um parecer mais conclusivo sobre a

consistência dos danos em microcomputadores/estabilizadores, nos termos almejados por este trabalho.

Esta metodologia pode ser diretamente aplicada a qualquer distúrbio na tensão de suprimento.

As curvas de suportabilidade dielétrica estão geralmente atreladas aos valores de tensão verificados nos terminais de um componente elétrico, que ficam submetidos às variações desta grandeza durante a ocorrência de distúrbios no fornecimento da energia elétrica de suprimento.

Para fins deste trabalho, as curvas de suportabilidade dielétrica são modeladas através da composição de três funções que delimitam as regiões de suportabilidade física do equipamento, sendo duas funções logarítmicas e uma reta, como destacado na figura 3.2.

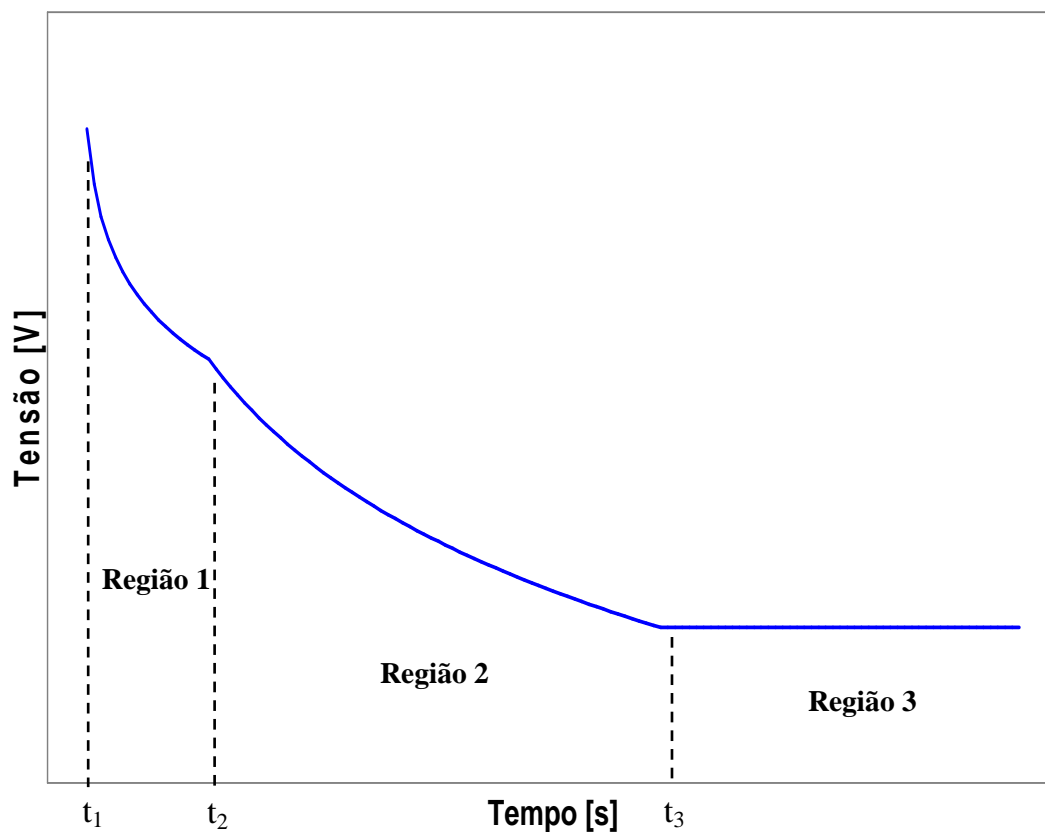


Figura 3.2 - Modelagem da curva de Suportabilidade dielétrica.

A seguir é feito o detalhamento das regiões que compõem a curva de Suportabilidade dielétrica, sendo:

- **Região 1:**

Esta região está relacionada aos transitórios impulsivos de alta frequência que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas em um sistema elétrico, caracterizada pela amplitude do fenômeno e pela sua duração.

A região 1 que compõe a curva caracterizada na figura 3.2 é matematicamente descrita como [6]:

$$V(t) = \alpha_1 \cdot \log t + \beta_1 \quad (3.2)$$

onde:

$$\alpha_1 = \frac{V(t_2) - V(t_1)}{\log t_2 - \log t_1} \quad (3.3)$$

e:

$$\beta_1 = V(t_1) - \alpha_1 \cdot \log t_1 \quad \text{ou} \quad \beta_1 = V(t_2) - \alpha_1 \cdot \log t_2 \quad (3.4)$$

sendo:

$V(t_1)$ - valor da tensão admitida pelo equipamento durante um intervalo de tempo t_1 ;

$V(t_2)$ - valor da tensão admitida pelo equipamento durante um intervalo de tempo t_2 .

- **Região 2:**

Esta região descreve a característica de suportabilidade de eventos que vão desde os transitórios oscilatórios de baixa frequência (duração característica de aproximadamente ¼ ciclo), até os eventos de elevações de tensão com amplitudes de até 100% acima da tensão nominal RMS com duração do distúrbio de 30 ciclos.

A região 2 que compõe a curva caracterizada na figura 3.2 é matematicamente descrita como [6]:

$$V(t) = \alpha_2 \cdot \log t + \beta_2 \quad (3.5)$$

sendo:

$$\alpha_2 = \frac{V(t_3) - V(t_2)}{\log t_3 - \log t_2} \quad (3.6)$$

e;

$$\beta_2 = V(t_2) - \alpha_2 \cdot \log t_2 \text{ ou } \beta_2 = V(t_3) - \alpha_2 \cdot \log t_3 \quad (3.7)$$

sendo:

$V(t_2)$ - valor da tensão admitida pelo equipamento durante um intervalo de tempo t_2 .

$V(t_3)$ -valor da tensão admitida pelo equipamento durante um intervalo de tempo t_3 .

- **Região 3:**

Esta região caracteriza as tolerâncias em regime permanente, com aplicação de uma tensão eficaz constante máxima de 10% acima do valor nominal por um período indefinido de tempo.

A região 3 que compõe a curva caracterizada na figura 3.2 é matematicamente descrita como [6]:

$$V(t) = \beta_3 \quad (3.8)$$

Onde β_3 tem por significado o valor da tensão admitida pelo equipamento em regime permanente de operação.

b) – Solicitação Térmica

Para a obtenção da curva de suportabilidade térmica utilizou-se o conceito da integral de joule (I^2t), que representa os esforços térmicos reais impostos a um componente submetido a uma situação de sobrecorrente. A grandeza I^2t tem sido amplamente empregada em estudos de efeitos térmicos associados à circulação de corrente de valores elevados que provocam o aquecimento de condutores, componentes e atuação das proteções.

Por este conceito I^2t corresponde à máxima energia admissível suportável pelo equipamento e é constante em cada instante de tempo, conforme indica a equação 3.9 [10, 11, 12,13].

$$\int_0^t [i(t)]^2 \cdot dt = I^2t = J = cte \quad (3.9)$$

sendo:

$i(t)$ – Valor instantâneo da corrente durante um intervalo de tempo t ;

J – Energia máxima admitida pelo equipamento, sendo constante para qualquer instante de tempo.

A figura 3.3 ilustra que esta grandeza é proporcional à área compreendida entre a curva $I^2 = f(t)$ e o eixo das abscissas, podendo ser calculável ou mensurável para vários tipos de casos.

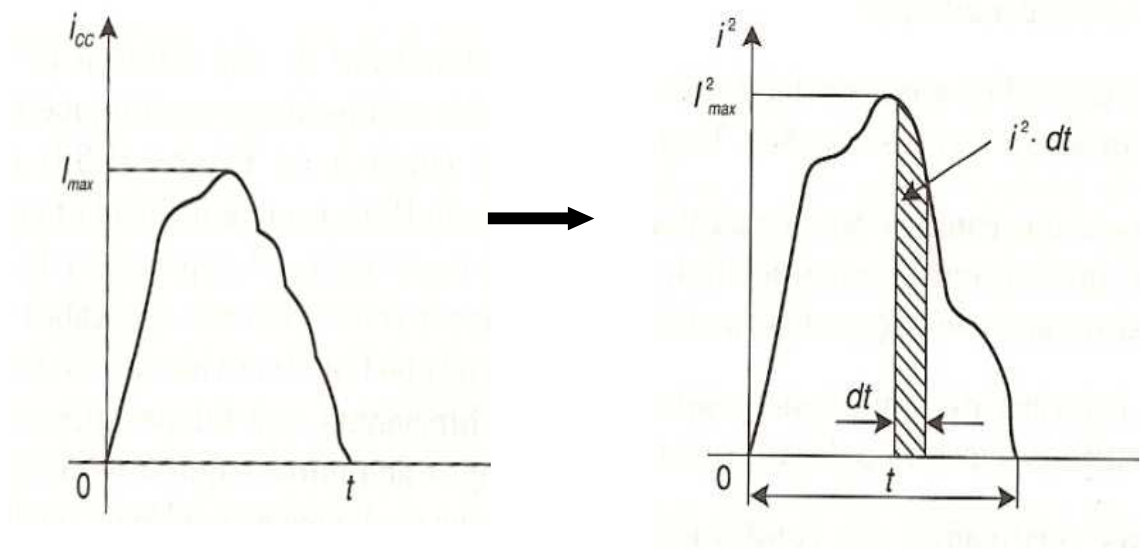


Figura 3.3 – Definição da integral de Joule.

Após a determinação do valor da energia máxima admissível pelo equipamento, a curva de suportabilidade térmica é obtida pela equação 3.9 e reescrita conforme equações 3.10 e 3.11 [10, 11, 12,13].

$$J = I^2 t \quad (3.10)$$

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \quad (3.11)$$

Então a equação 3.11 permite traçar a curva de suportabilidade térmica com os correspondentes parâmetros de corrente e tempo ($I \times t$), sendo esta representada na figura 3.4.

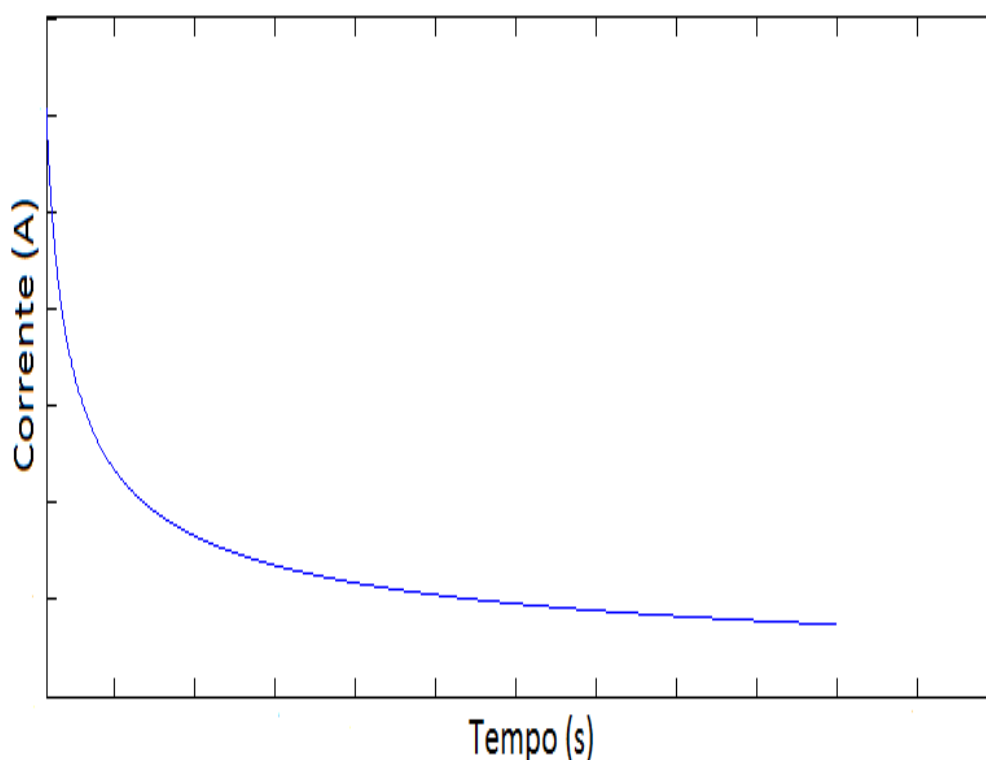


Figura 3.4 – Curva Típica de Suportabilidade térmica.

As figuras 3.2 e 3.4 representam respectivamente as curvas típicas de suportabilidade dielétrica e térmica. Com base na interpretação dessas curvas, conclui-se que:

- As citadas curvas estabelecem os níveis de tensão ou corrente que, estatisticamente, apresentam alta probabilidade de ocasionar danos físicos nos aparelhos eletroeletrônicos;
- Se os distúrbios ocorridos na rede conduzirem a valores de tensão ou corrente abaixo das citadas curvas, conforme metodologia proposta, os equipamentos não sofrerão danos em decorrência de tais distúrbios;

- Por outro lado, se os citados distúrbios conduzirem a valores acima da curva, poderá ocorrer danos a equipamentos submetidos a estes, caracterizando a procedência das solicitações de ressarcimento.

3.3 - Curvas de suportabilidade conhecidas e já publicadas

O conceito de curva de suportabilidade surgiu no final da década de 70, a partir de estudos feitos por Thomas Key, sobre a confiabilidade de suprimento de energia para as instalações militares. A curva CBEMA fornece os limites de tolerância para computadores face aos distúrbios de tensão no sistema elétrico.

A partir daí diversos artigos técnicos foram publicados em respeitáveis veículos de divulgação apresentando curvas de suportabilidade, que são por tal motivo, considerados confiáveis, sendo mostradas a seguir, bem como as suas contribuições/restrições para os fins deste trabalho.

Sabe-se que durante o processo de fabricação de microcomputadores/estabilizadores são realizados testes de funcionamento, além da existência de orientações gerais que determinam padrões mínimos a serem atendidos pelos citados equipamentos, entretanto não existe procedimento normatizado que regulamente os ensaios para a determinação das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica.

3.3.1– Curvas de suportabilidade – solicitação dielétrica

As curvas de suportabilidade dielétrica estão associadas aos valores de tensão verificados nos terminais de um componente elétrico, que ficam submetidos às variações desta grandeza durante a ocorrência de distúrbios no fornecimento de energia elétrica no sistema de suprimento.

Os documentos e referências encontrados permitiram relacionar as seguintes curvas de suportabilidade dielétrica:

a)– Curva ITIC [6]

A maioria das publicações relacionadas ao tema utiliza como referência a curva ITIC, publicada pelo Comitê Técnico 3 (TC3) do Information Technology Industry Council, anteriormente conhecido como Computer & Business Equipment Manufacturers Association. Esta curva surgiu da revisão da curva CBEMA, que estava sendo usada para análise da suportabilidade de diversos equipamentos, embora tivesse sido concebida para computadores.

Esta curva estabelece uma região limítrofe dos níveis mínimos e máximos de tolerância física e operacional para os produtos, contemplando tanto as condições transitórias quanto as de regime permanente, associadas à suportabilidade de equipamentos frente a surtos de tensão e sobretensões, e também relacionadas à sensibilidade destes dispositivos aos afundamentos e interrupções de tensão.

A figura 3.5 apresenta a curva ITIC relacionada com os níveis de suportabilidade física para equipamentos, que pode ser dividida em 4 (quatro) regiões de acordo com a duração do fenômeno:

- ***Região 1:*** Transitórios impulsivos de alta frequência que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas;
- ***Região 2:*** Transitórios oscilatórios de baixa frequência, os quais possuem uma duração característica de aproximadamente $\frac{1}{4}$ ciclo;

- **Região 3:** Elevações de tensão com amplitudes de até 120% da tensão nominal RMS com duração do distúrbio de 0,5 segundos;
- **Região 4:** Regime permanente de forma a descrever uma tensão eficaz constante máxima de 10% do valor nominal por um período indefinido de tempo.

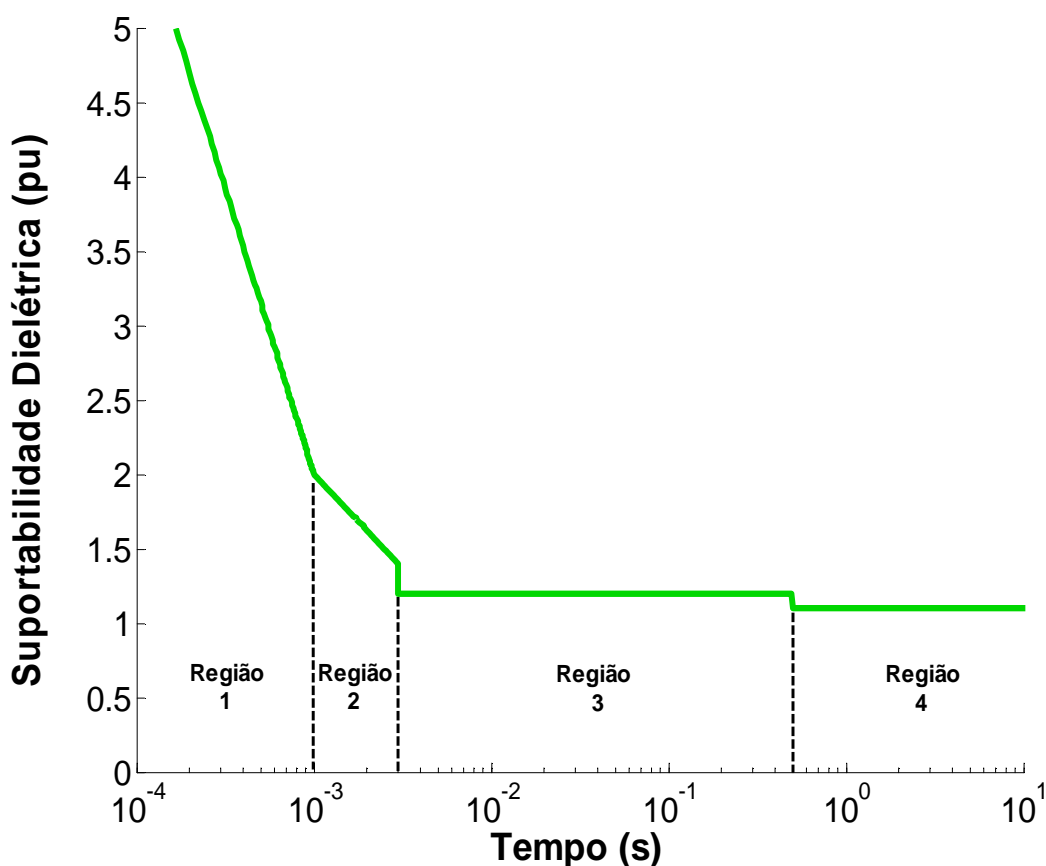


Figura 3.5 – Curva de Suportabilidade – ITIC.

Embora a curva anterior seja amplamente utilizada, devido ao fato de ser originalmente elaborada para equipamentos da área de tecnologia da informação, a crescente necessidade de procedimentos técnicos específicos para a análise de solicitações de ressarcimento tem incentivado a busca de limites de suportabilidade a partir de testes destrutivos, tanto para microcomputadores quanto para estabilizadores.

b) – Curvas de Suportabilidade da Referência [2]

Para verificação das condições de operação e suportabilidade dos equipamentos eletrônicos, foram conduzidos ensaios de sobretensões somente na frequência industrial. A partir do resultado destes experimentos, estabelece-se a curva de suportabilidade dielétrica evidenciada na figura 3.6.

A curva em questão representa na verdade degraus limites de suportabilidade em função de níveis específicos de sobretensão aplicados na frequência industrial.

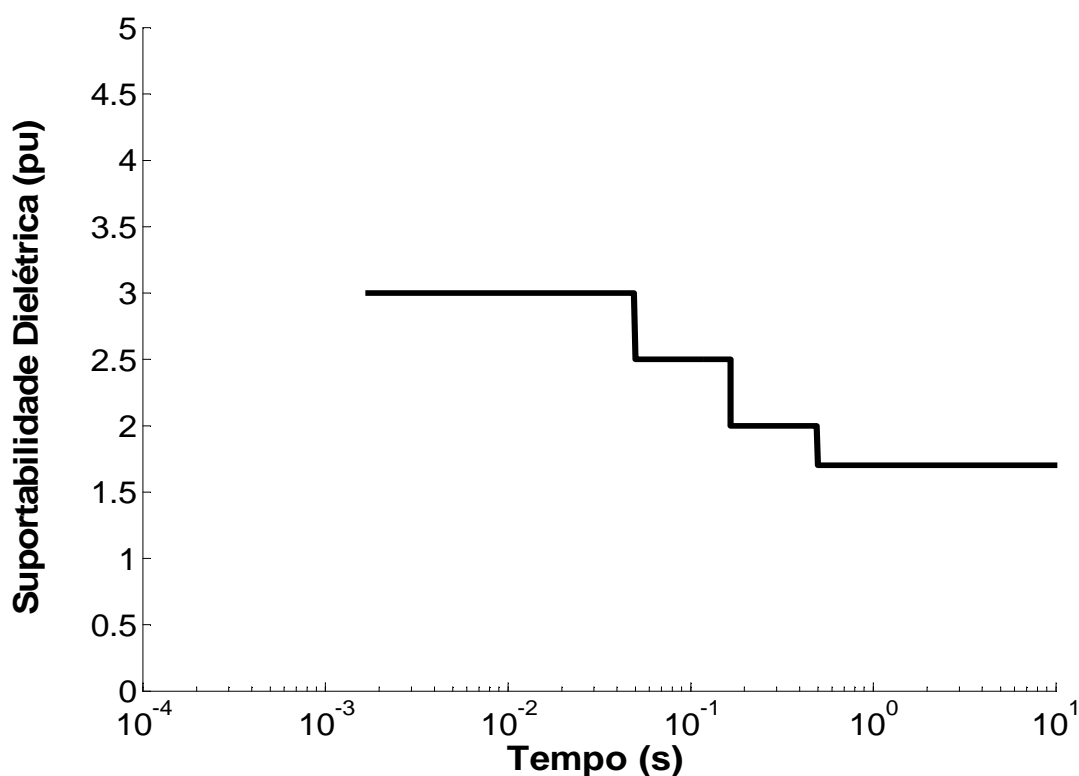


Figura 3.6 – Curva de Suportabilidade para aparelhos eletrônicos.

Entretanto a curva obtida nesta referência não especifica o tipo de equipamento utilizado e se limita a aplicações de sobretensões na frequência industrial.

c) – Curvas de Suportabilidade da Referência [2]

Esta curva apresenta a tolerância a eventos de sobretensão, obtida experimentalmente, via ensaios de impulsos e de variações de tensão em televisores em consonância com os procedimentos estabelecidos nos documentos IEC 61000-4-5 e IEC 61000-4-11. Este estudo focou em investigar quais os principais distúrbios de qualidade da energia elétrica seriam os causadores de danos em equipamentos, bem como os níveis aceitáveis para prevenir a violação dos seus limites dielétricos.

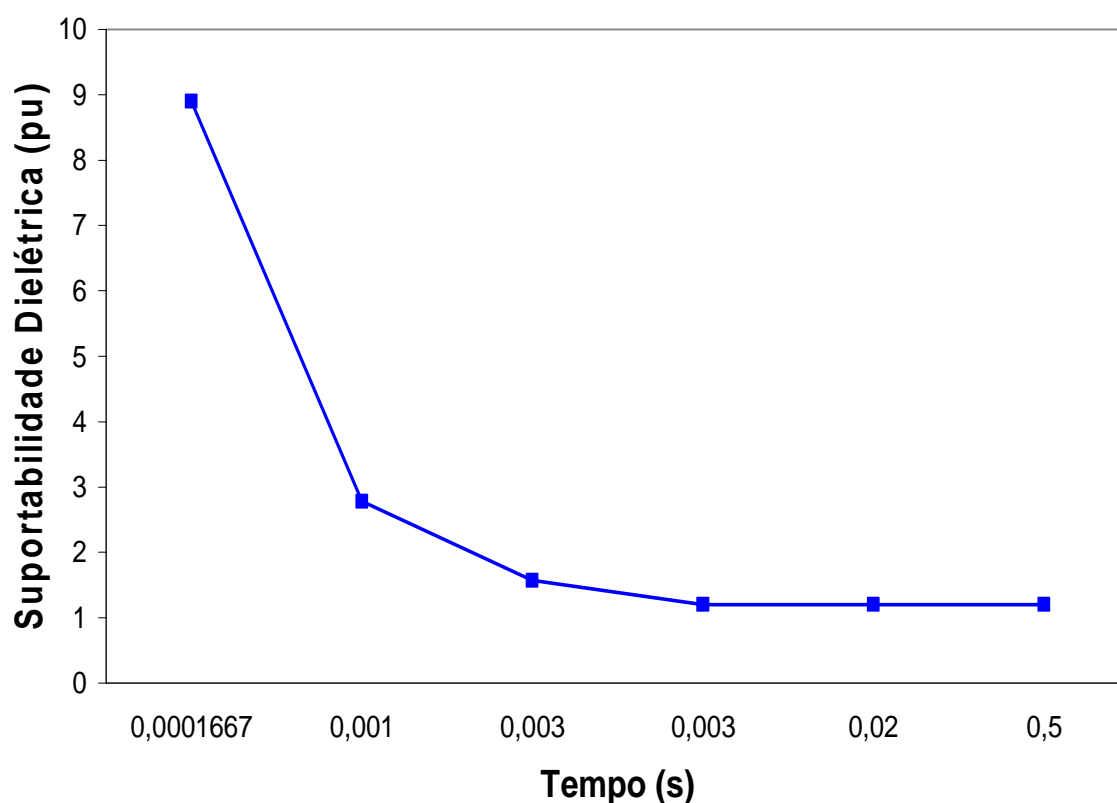


Figura 3.7 – Curva de Suportabilidade dielétrica para TV's.

A curva obtida nesta referência foi elaborada a partir ensaios de impulso e variações de tensão em televisores, entretanto esta dissertação tem por objetivo a obtenção de curvas de suportabilidade para microcomputadores/estabilizadores.

3.3.2 – Curvas de Suportabilidade – solicitação térmica

Quanto aos níveis de suportabilidade térmica, não se encontrou nenhum documento que fizesse referência a esta questão.

Desta forma, considerando que os equipamentos, com destaque aos eletroeletrônicos, possuem normalmente, uma entrada caracterizada por uma fonte eletrônica, os problemas térmicos, quando manifestados, ocorrem sobretudo nos diodos e /ou nos elementos fusíveis.

Por este motivo, para os fins aqui almejados adotou-se como componente limitante os diodos semicondutores. Através de dados de fabricantes (datasheet) das pontes retificadoras, a curva indicada na figura 3.8 expressa os níveis de suportabilidade térmica necessários à aplicação da metodologia.

Como a questão térmica também pode impactar nos elementos fusíveis, as características destes podem, alternativamente, substituir a característica sugerida.

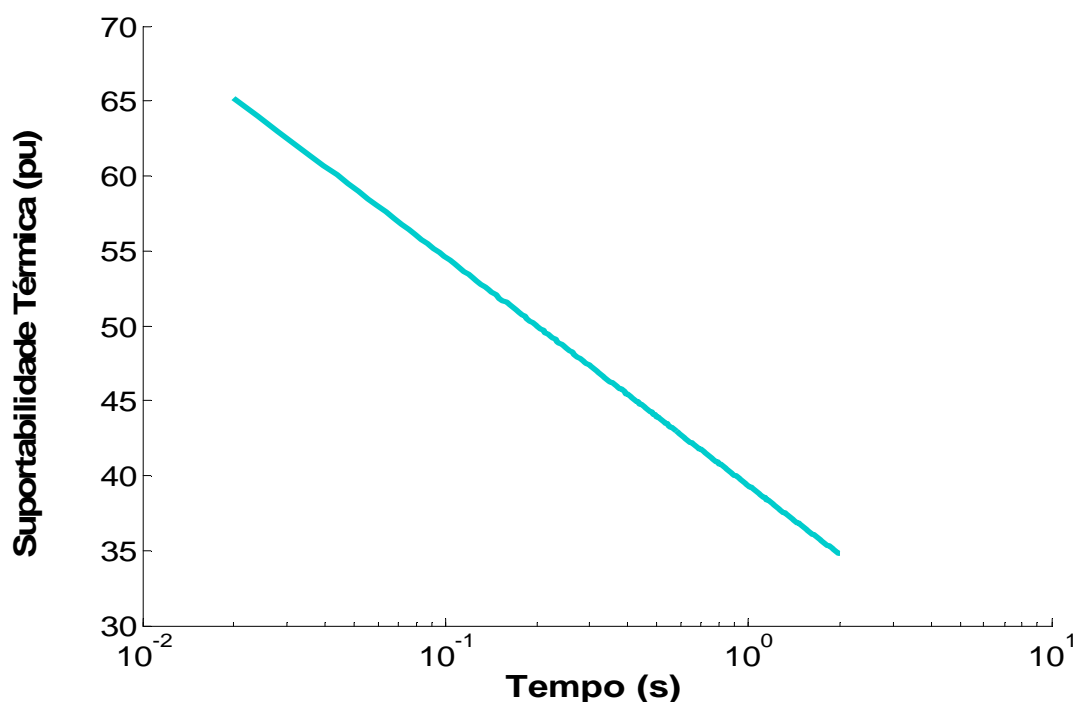


Figura 3.8 – Curva de Suportabilidade térmica da ponte retificadora.

3.4 – Sistematização da metodologia e estrutura laboratorial para a realização de ensaios de Suportabilidade

Conforme mencionado anteriormente, dificilmente se consegue, na atualidade, obter os limites reais de suportabilidade dielétrica e térmica para os diferentes equipamentos eletrônicos existentes no mercado.

Em particular, são recorrentes os trabalhos que se utilizam das curvas citadas no item 3.3 para análise de suportabilidade física dos equipamentos eletrodomésticos.

À luz destes fatos, a obtenção de curvas representativas dos padrões de suportabilidade deve ser feita através de meios laboratoriais que ofereçam a confiabilidade almejada.

A realização dos ensaios de performance é de fundamental importância para o conhecimento dos mais distintos equipamentos quando estes se encontram submetidos a suprimentos elétricos não ideais. Estes trabalhos laboratoriais permitem obter, dentre outras características, os níveis de suportabilidade dos equipamentos eletroeletrônicos para os mais diversos tipos de distúrbios. Dois aspectos devem ser considerados para se atingir tais metas. Primeiramente, há de se reconhecer a inexistência de procedimentos normalizados que definam qualitativamente e quantitativamente os testes a serem realizados para a obtenção das curvas de suportabilidade. Este fato, por si só, representa um grande desafio a ser vencido.

Na sequência, estão as questões vinculadas com uma estrutura laboratorial que sistematize os procedimentos de ensaios então definidos. Nesta etapa, além dos recursos materiais que se fazem necessários, destaca-se sobremaneira a obtenção de aplicativos destinados a representar os mais distintos fenômenos de qualidade classicamente conhecidos.

Dentro deste contexto, as metas dos ensaios podem ser resumidas em dois pontos principais:

- Estabelecimento de uma metodologia que defina qualitativa e quantitativamente os testes destinados à avaliação de desempenho dos microcomputadores/estabilizadores, observando os níveis de suportabilidade quando estes se encontram submetidos a distúrbios associados à maioria das solicitações de ressarcimento;
- Consolidação de uma estrutura laboratorial apropriada, composta de recursos de hardware e software, destinada a sistematizar a proposta acima referida.

3.4.1 – Metodologia para sistematização de testes de Suportabilidade

Conforme já citado as recomendações e/ou normas nacionais e internacionais não apresentam metodologias específicas para a realização de testes sob o enfoque desta dissertação, tampouco padronizam os patamares a serem considerados.

A grande parte dos trabalhos técnico/científicos conduzidos, tanto no Brasil quanto no exterior, apesar de valer-se de algumas das propostas contidas nos documentos normativos ou de níveis encontrados em sistemas reais, procuram elaborar suas próprias rotinas de ensaios.

Assim, devido às necessidades impostas pela falta de padrões, aliadas às dificuldades existentes quanto à geração dos diversos fenômenos de qualidade, esta pesquisa aprofunda e contribuiu nesta direção.

Os ensaios a serem enfocados ao longo do trabalho visam levantar as curvas de suportabilidade dos microcomputadores/estabilizadores tendo por alvo

distúrbios envolvendo impulsos de corrente oriundos das descargas atmosféricas e as sobretensões associadas com a frequência industrial.

3.4.1.1 – Proposta para realização de testes de suportabilidade dielétrica

Procede-se neste item a uma proposição para a realização de diversos ensaios com o objetivo de obter pontos da curva de suportabilidade dielétrica. Esta sugestão encontra sustentação nos seguintes pontos:

- Nos documentos para a execução de testes descritos anteriormente;
- Nos limites estabelecidos, nacional e internacionalmente, pelas normas e recomendações existentes;
- Para alguns dos ensaios de sobretensão a norma utilizada foi a IEC61000-4-11, entretanto não há norma que sistematiza os ensaios para a obtenção das curvas de suportabilidade;
- Na experiência e bom senso que devem sustentar qualquer avanço da ciência e tecnologia que não possuam base matemática estabelecida.

Baseado nestes critérios, os valores obtidos nos ensaios foram lançados em tabelas, conforme modelo das tabelas 3.1 e 3.2, gerando os pontos das curvas de suportabilidade dielétrica, conforme metodologia do item 3.2.

Isto posto, os valores obtidos quando os aparelhos estavam operando nas suas condições nominais, foram lançados em uma tabela conforme modelo da tabela 3.1. Este ensaio teve por objetivo verificar se os mesmos estavam nas suas condições normais de funcionamento. Por outro lado, este teste foi necessário para que os eletroeletrônicos atingissem a sua temperatura nominal de trabalho, ou seja, os seus componentes estavam em equilíbrio térmico [10, 11,12].

Estes testes, aliados as informações dos fabricantes, ajudaram a definir os pontos da região 3 da figura 3.2 vinculados com a curva de suportabilidade dielétrica.

Tensão Nominal	Corrente Nominal	Forma de Onda

Tabela 3.1 - Tabela para registro de dados - Ensaios nas condições nominais.

Os resultados dos ensaios relacionados à sobretensões na frequência industrial foram registrados em uma tabela conforme modelo da tabela 3.2. Estes testes destrutivos tiveram por objetivo obter outro ponto da curva de suportabilidade dielétrica dos microcomputadores.

Tensão Aplicada	Tempo de duração do evento	Forma de Onda

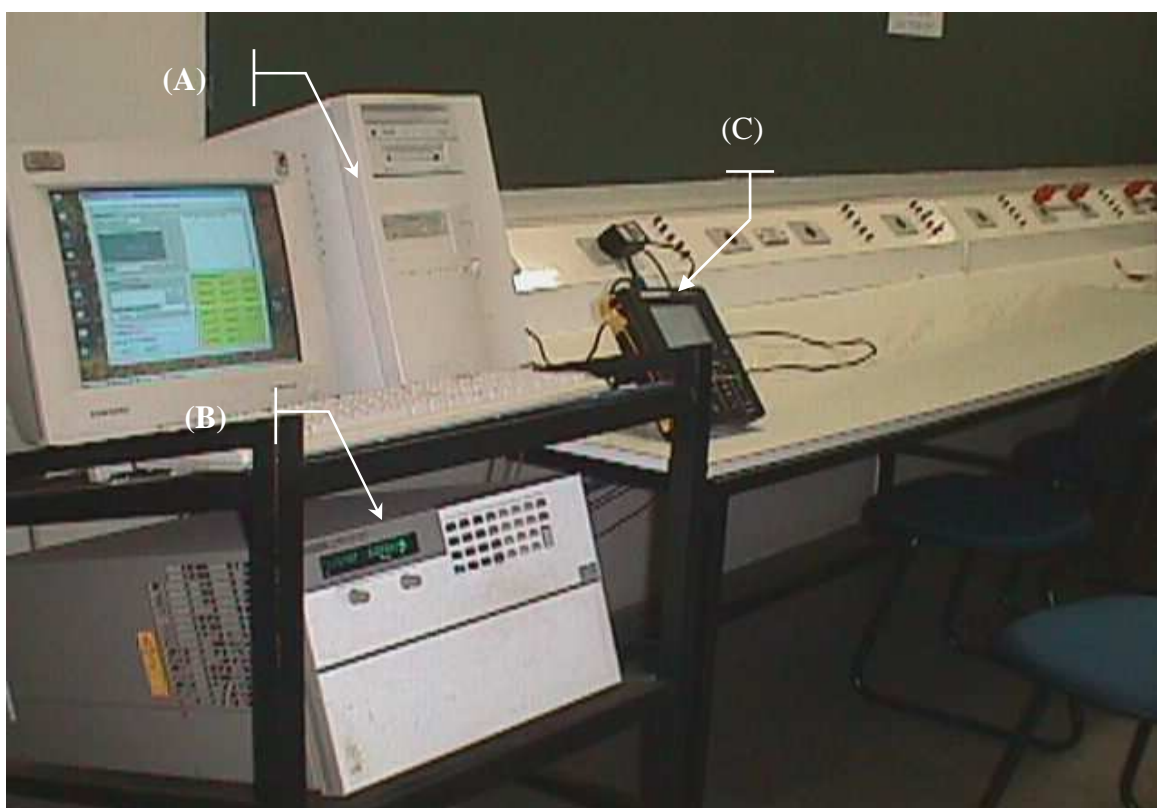
Tabela 3.2 – Tabela para registro de dados - Ensaios de sobretensões em 60 Hz.

Os resultados dos testes foram utilizados para a obtenção de pontos da região 2 da curva de suportabilidade dielétrica da figura 3.2.

Para a definição do ponto associado à região 1 da figura 3.2 da curva de suportabilidade dielétrica, a qual está associada ao fenômeno das descargas atmosféricas, fez-se necessário a realização de testes destrutivos vinculados aos impulsos de corrente típicos das descargas atmosféricas. Por ser outra metodologia de ensaio, este assunto foi apresentado na sequência deste trabalho.

3.4.1.2 – Estrutura laboratorial para a realização de ensaios de sobretensões na frequência industrial

Definidas as diretrizes qualitativas e quantitativas para a realização dos testes, estes devem ser implementados no laboratório. As figuras 3.9 a 3.12 mostram a estrutura laboratorial implementada no laboratório da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, onde foram realizadas todas as montagens e os detalhes para a realização dos testes experimentais de aplicação de sobretensão na frequência industrial até 2 pu. A seguir, mostra-se resumidamente, a especificação dos principais equipamentos utilizados na montagem laboratorial mencionada.



(A)- Microcomputador destinado ao controle da fonte;
(B)- Unidade geradora de testes de Qualidade de Energia HP Series 6800;
(C)- Osciloscópio Digital.

Figura 3.9 – Estrutura laboratorial montada - Ensaios utilizando a fonte HP.

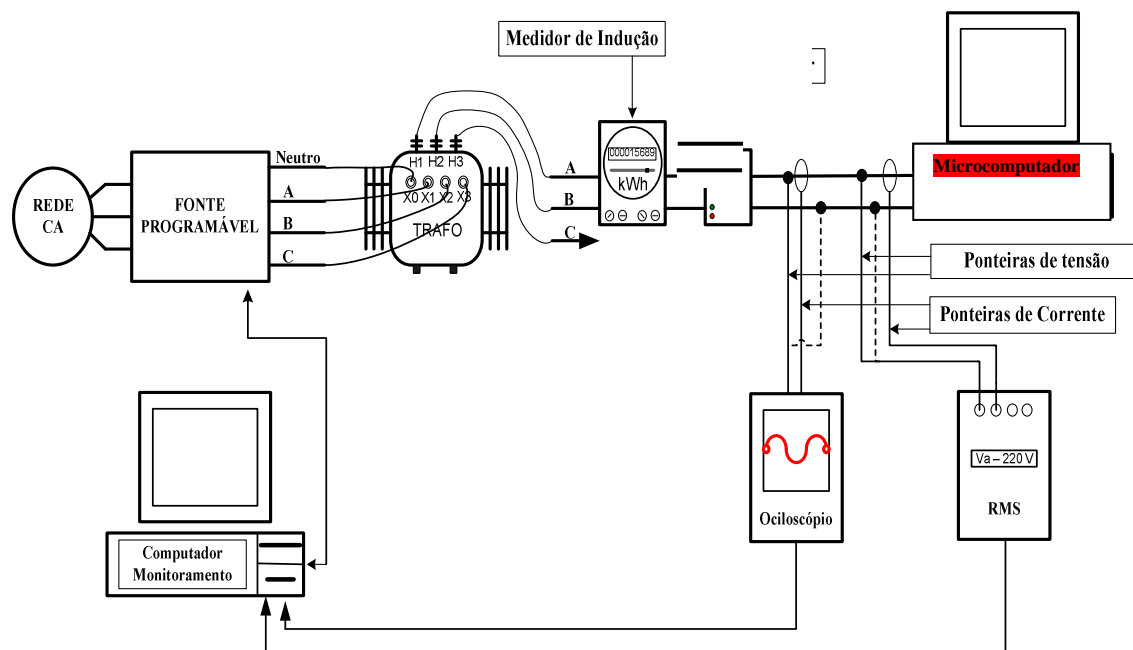


Figura 3.10 – Diagrama esquemático da montagem laboratorial – Ensaio de sobretensão até 2,0 pu.



Figura 3.11 – Detalhes da montagem laboratorial – Ensaio de sobretensão até 2,0 pu.



Figura 3.12 – Foto ilustrativa de um microcomputador danificado nos ensaios.

a) - Fonte de tensão da HP Series 6800A

A HP Series 6800A, permite somente programação dos sinais de tensão, uma vez que as correntes providas são determinadas pelas características das cargas conectadas em seus terminais de saída, respeitando os limites impostos pela construção e/ou configuração da fonte.

i) Descrição geral

A Fonte HP Série 6800A – “AC Power Source/Analyzers” – modelo HP6834A é um aparelho que combina três diferentes instrumentos em uma única unidade. Isto é mostrado na figura 3.13.

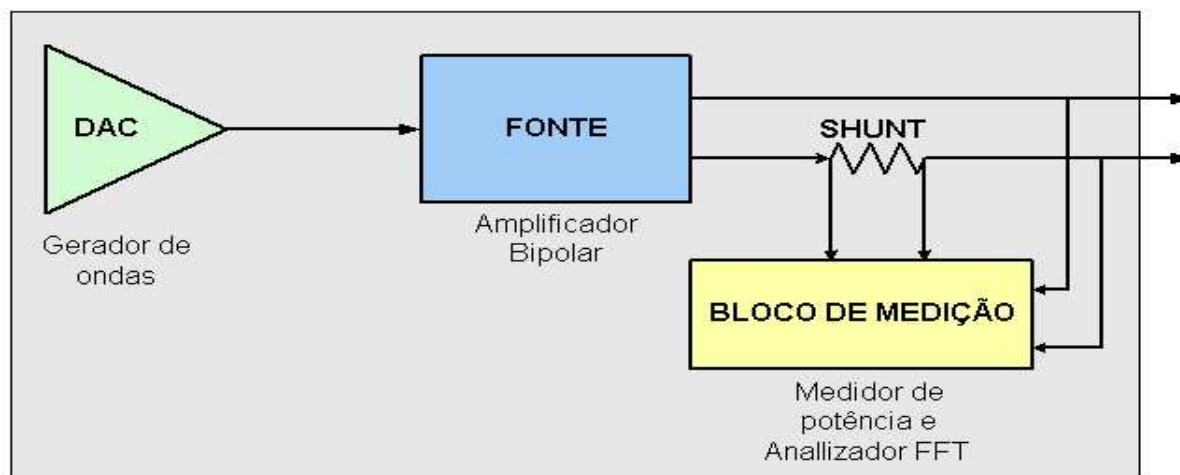


Figura 3.13 – Elementos funcionais da fonte AC.

Na Figura 3.13, tem-se que:

- DAC: gerador de funções onde são produzidas as formas de onda de tensão através da programação da amplitude, frequência e forma;
- FONTE: módulo amplificador que eleva o nível do sinal do gerador de funções para as aplicações que demandam potência;
- BLOCO DE MEDIÇÃO: realiza todas as funções de medições, desde uma simples leitura de valores rms de tensão e corrente, até análises sofisticadas da forma de onda.

ii) *Principais Características*

A HP 6834A apresenta uma variada capacidade de recursos. Listam-se abaixo algumas das suas principais características:

- Modelo: HP6834A / 4500 VA Three-Phase;
- Programação de tensão c.a. frequência, fase e limite de corrente;
- Formas de onda senoidal, quadradas, etc., e definidas pelo usuário;
- Controle da taxa de crescimento/decrescimento de frequência e tensão;

- Capacidade de gerar transitórios como surtos VTCD's e outros distúrbios de rede;
- Ampla capacidade de medição, dentre as quais se cita, valores eficazes e de pico de tensões e correntes CA e CC, potências, etc...;
- Análise harmônica de tensão e corrente fornecendo amplitude, ângulo de fase e THD's até a 50ª ordem;
- Medições adicionais de potência total e de corrente de neutro no modo trifásico;
- Painel frontal com display fluorescente de 14 caracteres, possibilitando diversas programações;
- Auto teste, indicação de status e software para calibração.

iii) Características de Saída

- **Faixas de tensão**

Com relação à saída de tensão da fonte HP, esta pode ser ajustada em diversos valores, levando-se em consideração os limites da unidade de potência. Neste caso é possível fazer tal ajuste de forma independente para cada fase.

- **Potência de saída**

A capacidade de saída de cada fase é limitada por valores de potência aparente (VA) e não por potência ativa (Watts).

Uma vez descritas as principais características da Fonte HP Série 6800A, fica reconhecido que esta se adapta aos propósitos delineados para este trabalho, quais sejam, sistematizar testes de suportabilidade em microcomputadores/estabilizadores.

b) - Transformador de Potência

As principais características típicas do transformador utilizado são:

- Potência: 15 kVA;
- Tensões nominais: 7.967/240-120 V;
- Impedância: 5%.

c) – Registrador Marh 21 (Medidor de Qualidade da Energia Elétrica)

As principais características do registrador de tensão e corrente estão apresentadas na sequência:

- Portátil, mostrador de cristal líquido alfanumérico;
- Memória de 4 Mb;
- Tensão alimentação: CA - 70 a 600 V, frequência: 50Hz ou 60Hz; CC - 11 a 600V;
- Avaliação de perturbações na rede elétrica (conteúdo harmônico de tensão/corrente, variações momentâneas de tensão, sag e swell);
- Obtenção da forma de onda de tensão e corrente;
- Amostragem das formas de onda e espectro harmônico;
- Transferência das informações para microcomputador;
- Gráficos com as variações das grandezas medidas.

d) – Osciloscópio digital

As principais características do osciloscópio digital são:

- Fabricante: Tektronix;
- Modelo: THS720P;

- Número de canais: 2 (isolados);
- 2500 amostras para cada canal.

3.5 – Ensaio de sobretensões em baixa tensão na frequência industrial

Estes testes, a nível destrutivo, foram realizados visando à determinação de informações pertinentes a uma das regiões da almejada curva de suportabilidade. Os valores de tensão aplicados ficaram restritos a um máximo de 2 pu do valor nominal, em 60 Hz. Quanto aos limites de corrente, as informações foram advindas dos padrões de energia dissipada quando da manifestação das sobretensões impostas aos microcomputadores com e sem estabilizadores.

Para se cumprir estas metas, utilizou-se da estrutura laboratorial e de uma fonte programável de tensões, através da qual se elevou a tensão de suprimento até que a suportabilidade dielétrica do aparelho fosse ultrapassada, ocasionando, por consequência, danos físicos no produto ensaiado.

Dentro deste contexto e em consonância com as estruturas físicas montadas e utilizadas, foram então realizados diversos experimentos até se atingir os limites de suportabilidade.

a)- Computador com estabilizador - sobretensão de 2 pu

Dentro do exposto, a tabela 3.3 evidencia o limite dielétrico obtido durante o ensaio de sobretensão na frequência industrial até 2 pu aplicada no microcomputador com estabilizador.

Tensão Aplicada (pu)	Tempo de duração do evento (s)	Forma de Onda/Comentários
1,0	3600	Este ensaio foi realizado para: ✓ Verificar se o computador/estabilizador estavam funcionando nas condições nominais; ✓ Garantir que o aparelho atingiu seu equilíbrio térmico.
1,2	60	Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.
1,5	60	Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.
2,0	0,5	Houve a danificação do estabilizador.

Tabela 3.3 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial até 2 pu.

As figuras 3.14 (a, b e c) ilustram as formas de onda da tensão e da corrente, tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual se aplicou uma tensão de 2 pu nos terminais de alimentação do micro com estabilizador.

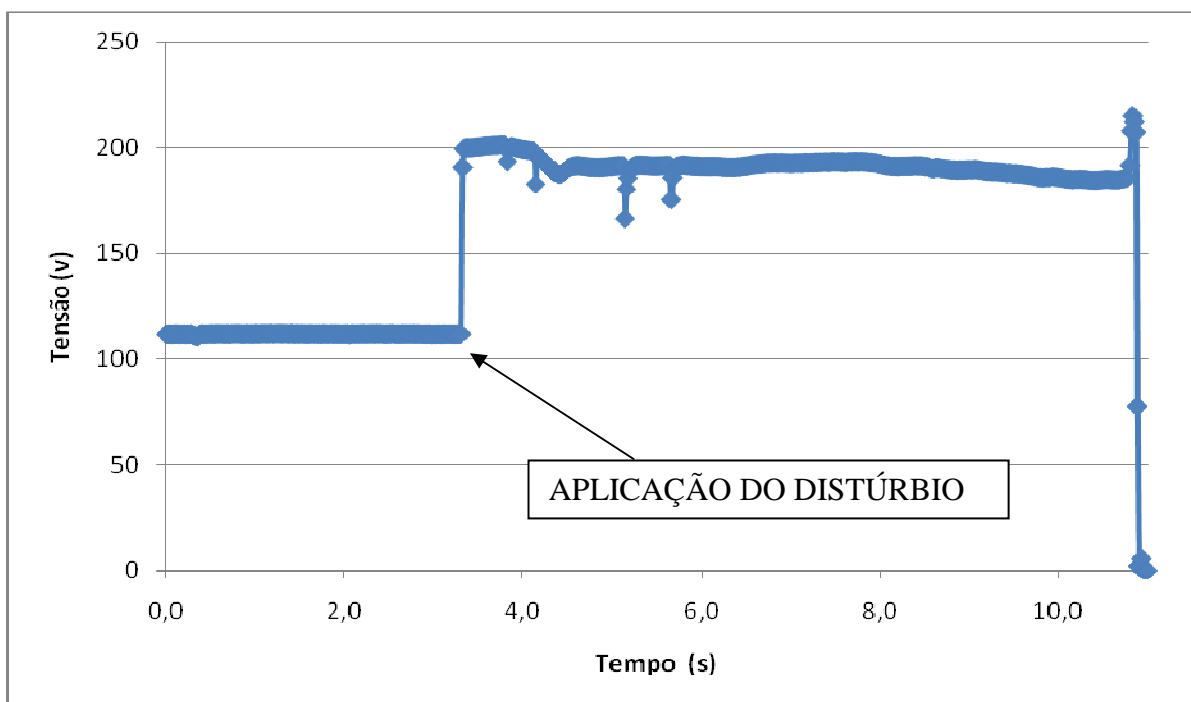


Figura 3.14 (a)– Forma de onda da tensão aplicada – Ensaio de sobretensão até 2 pu.

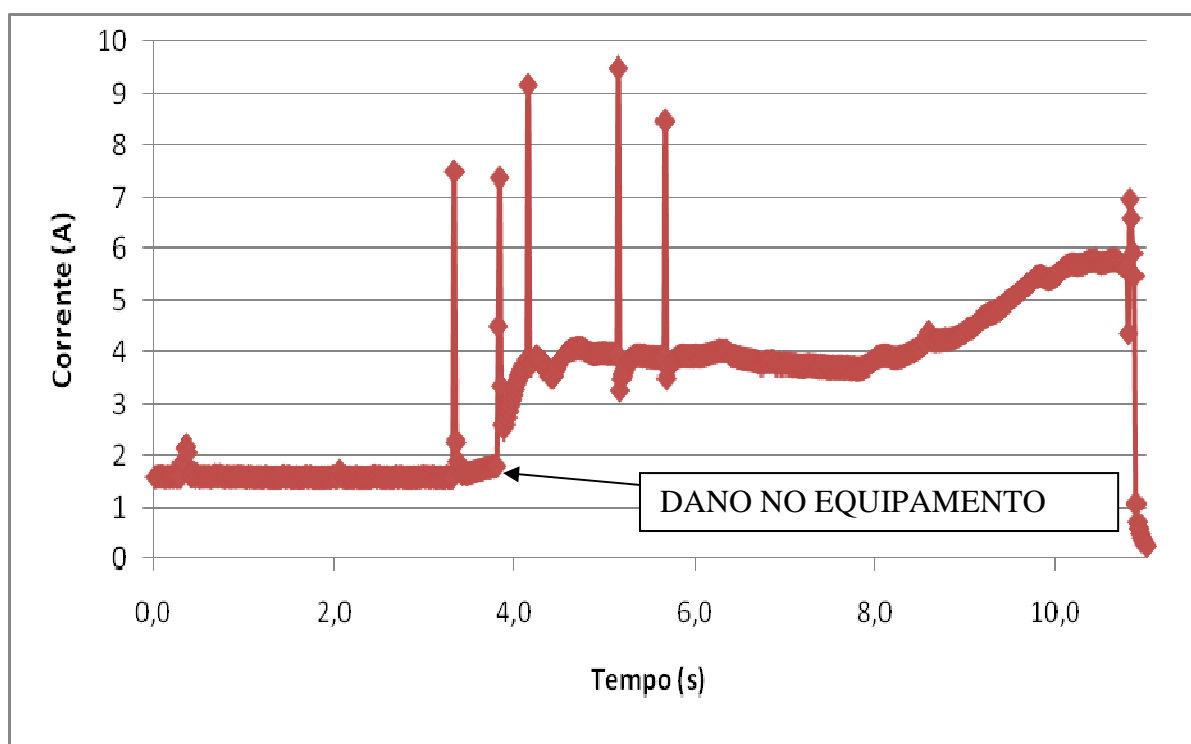


Figura 3.14 (b) – Forma de onda da corrente obtida – Ensaio de sobretensão até 2 pu.

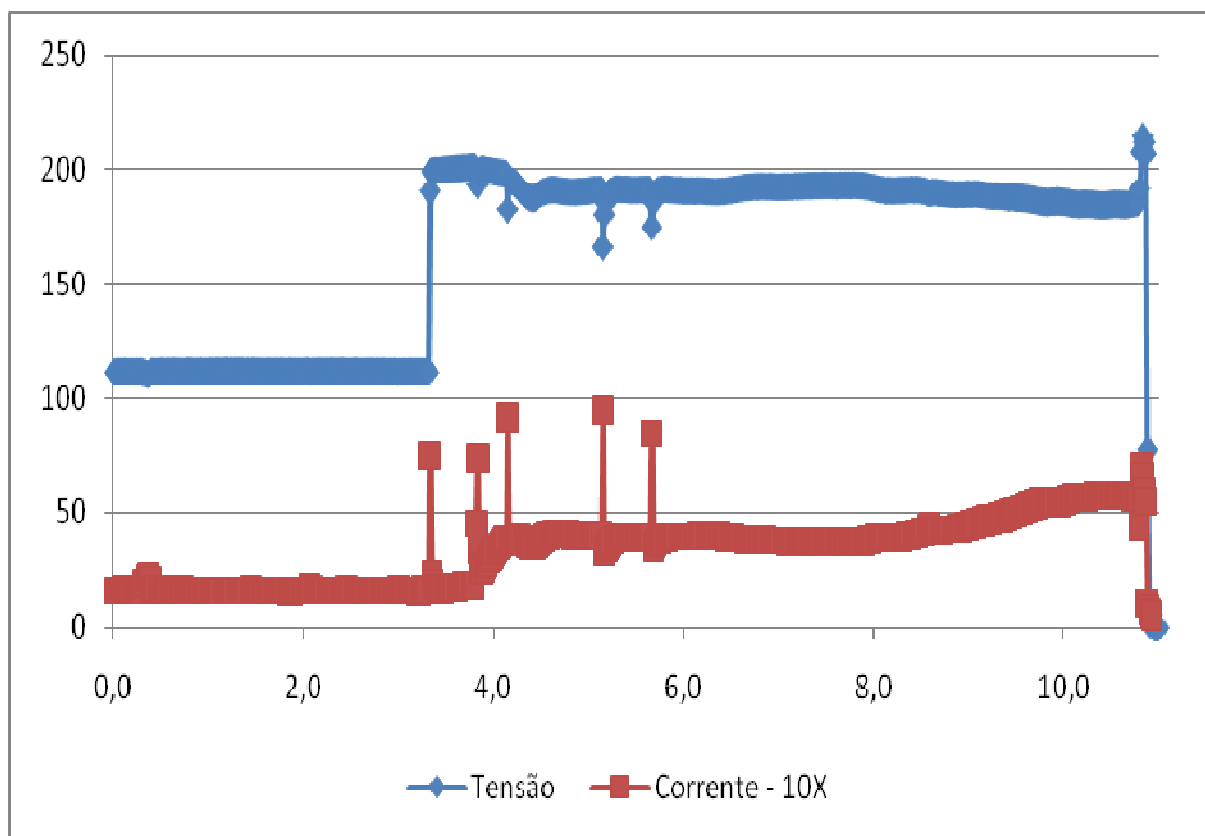


Figura 3.14 (c) – Formas de onda da tensão/corrente –Ensaio de sobretensão até 2 pu.

Tomando-se como base as figuras 3.14 (a, b e c), observa-se que a tensão foi elevada até 2 pu em relação ao seu valor nominal no instante de 3,3 segundos. Nestas condições, a corrente começou a aumentar no instante de 3,8 segundos, indicando o dano ao equipamento. Desta forma, obteve-se um ponto da curva de suportabilidade dielétrica.

- Tensão: 2 pu
- Tempo: 0,5 segundo

A figura 3.15 mostra o estabilizador foi danificado, durante o citado ensaio.

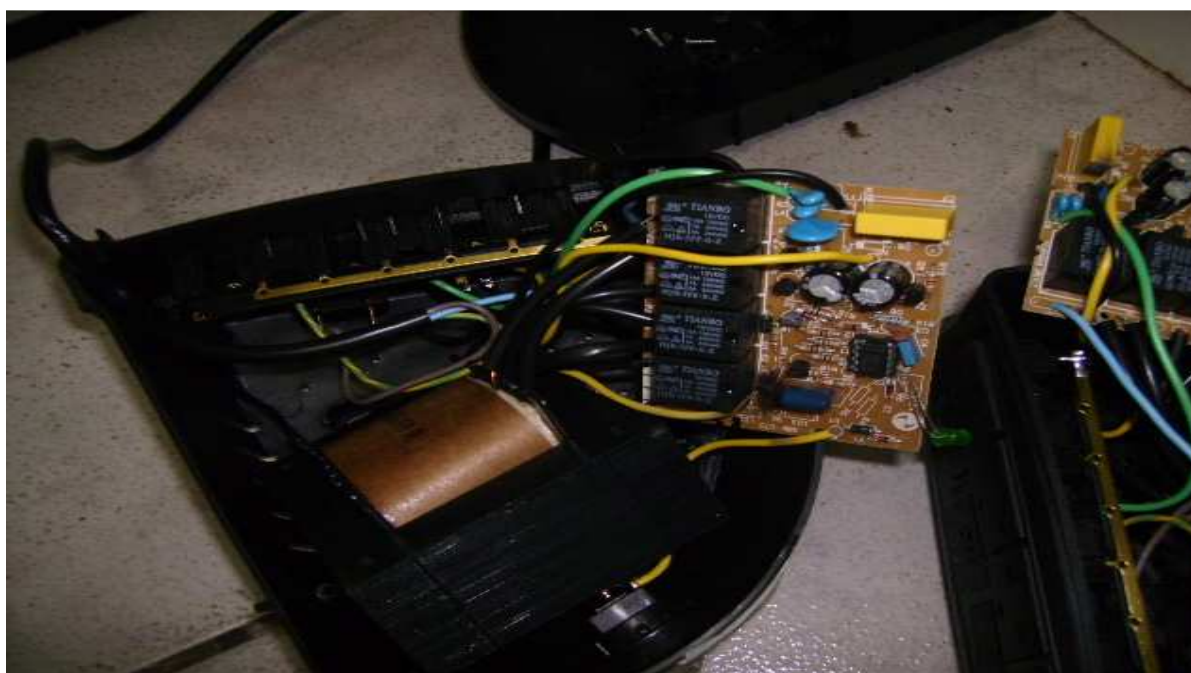


Figura 3.15 – Estabilizador danificado - Sobretensão de até 2 pu.

Posteriormente, o estabilizador foi encaminhado a uma oficina credenciada da CEMIG D e, verificou-se que os principais componentes danificados foram os capacitores.

Entretanto devido ao custo de reposição do estabilizador por um equipamento novo, em torno de R\$ 60,00, não foi viável a substituição dos componentes danificados. O estabilizador foi substituído e o microcomputador voltou a funcionar normalmente.

A figura 3.16 mostra equipamentos sendo manipulados na oficina credenciada da CEMIG visando identificar os componentes danificados.



Figura 3.16 – Atividades na oficina credenciada da CEMIG.

b)– Computador sem estabilizador – Sobretensão de 1,8 pu

Analogamente ao ensaio anterior, a tabela 3.4 mostra os valores obtidos durante os ensaios de sobretensões aplicadas no microcomputador sem estabilizador, na frequência industrial até 1,8 pu.

Tensão Aplicada (pu)	Tempo de duração do evento (s)	Forma de Onda/Comentários
1,0	3600	Este ensaio foi realizado para: ✓ Verificar se o computador estava funcionando nas condições nominais; ✓ Garantir que o aparelho atingiu seu equilíbrio térmico.
1,2	60	Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.
1,5	60	Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.
1,8	4,8	Houve danos na fonte de alimentação.

Tabela 3.4 - Ensaio de sobretensões na frequência industrial até 1,8 pu.

As figuras 3.17 (a, b e c) ilustram as formas de onda da tensão e da corrente, tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual se aplica uma sobretensão de 1,8 pu.

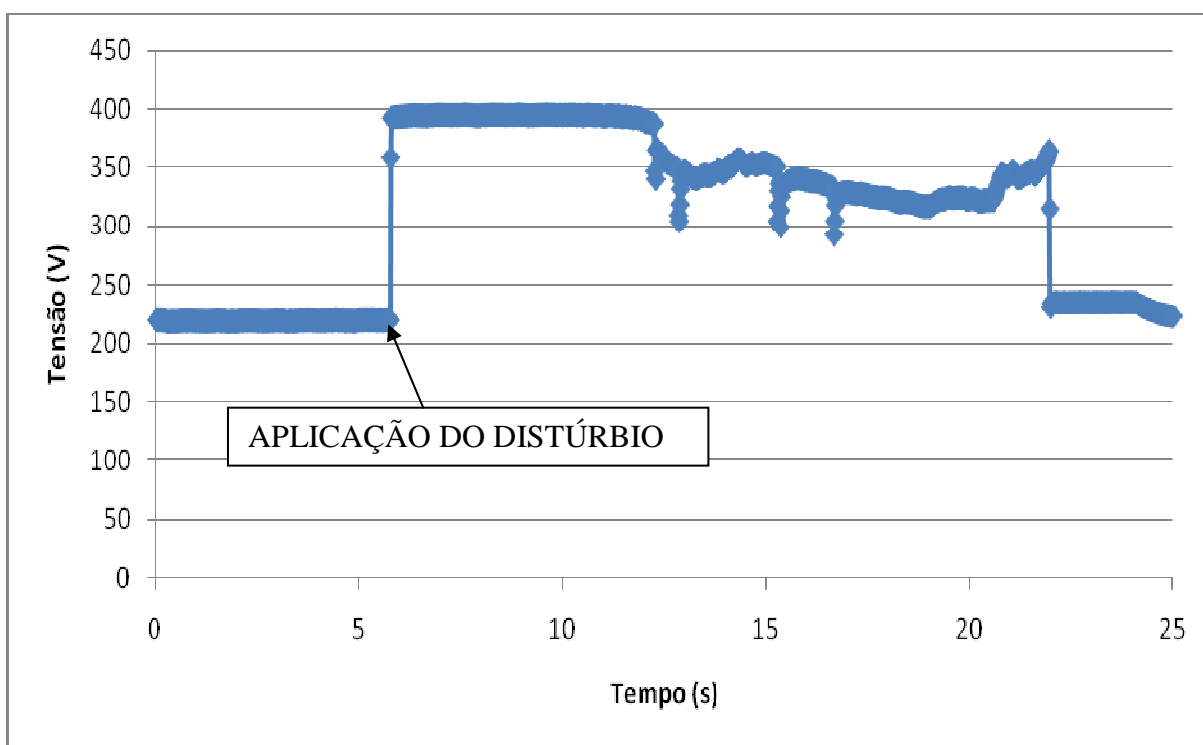


Figura 3.17 (a) – Forma de onda da tensão aplicada – Ensaio de sobretensão 1,8 pu.

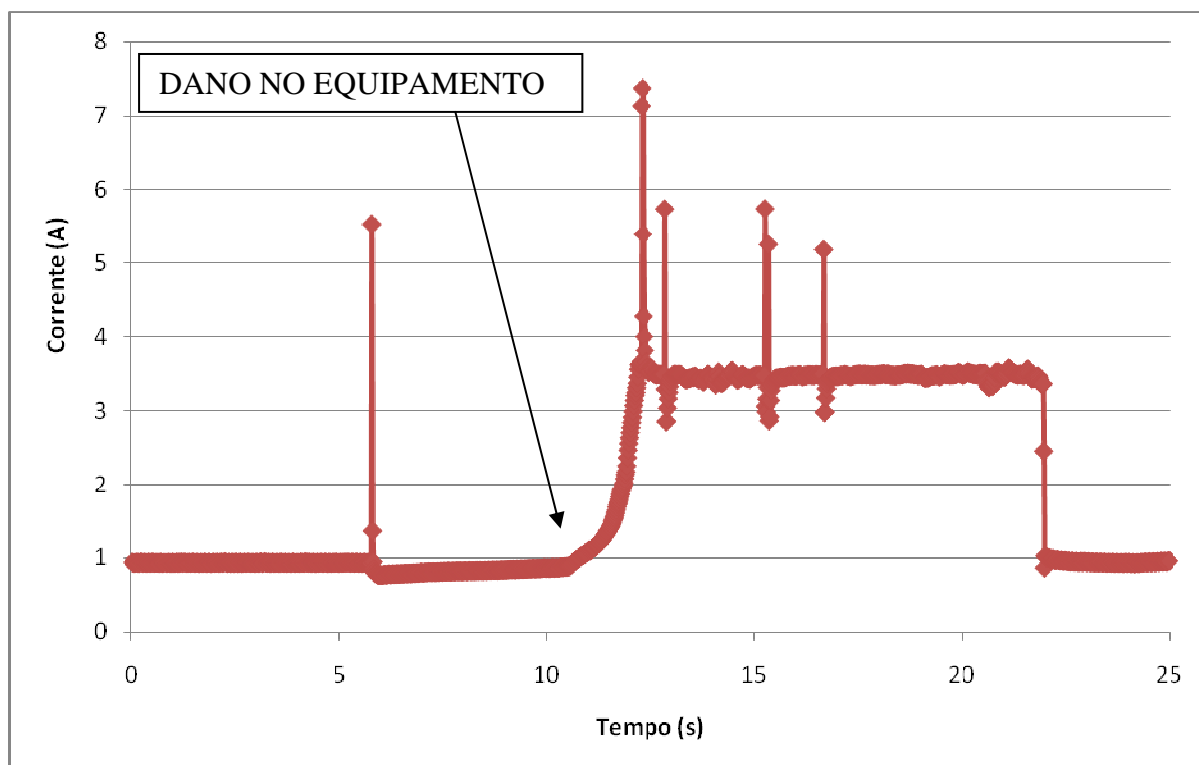


Figura 3.17 (b) – Forma de onda da corrente obtida – Ensaio de sobretensão até 1,8 pu.

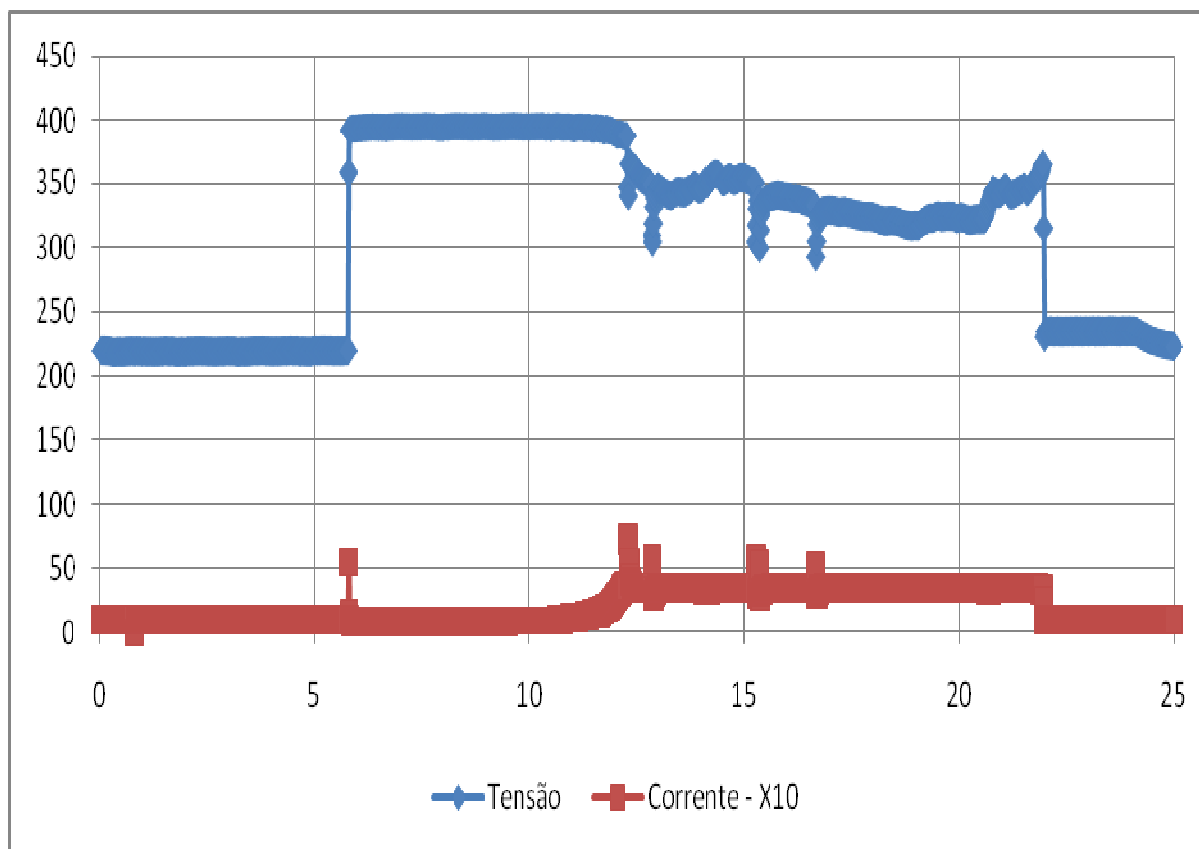


Figura 3.17(c)–Formas de onda da tensão/corrente – Ensaio de sobretensão até 1,8 pu.

Tomando-se como base as figuras acima, observa-se que a tensão foi elevada até 1,8 pu em relação ao seu valor nominal no instante de 5,8 segundos. Nestas condições, a corrente começou a aumentar no instante de 10,6 segundos, indicando o dano ao equipamento. Desta forma, obteve-se um ponto da curva de suportabilidade dielétrica.

- Tensão: 1,8 pu
- Tempo: 4,8 segundos

Afigura 3.18 mostra o momento em que o microcomputador danificado.



(a) Momento da danificação.



(b) Fonte de alimentação danificada.

Figura 3.18 – Fonte danificada - Ensaio de sobretensão até 1,8 pu.

Constatou-se que o único componente danificado foi à fonte de alimentação, a qual foi substituída no local, e o microcomputador voltou a funcionar normalmente.

Posteriormente, a fonte de alimentação foi encaminhada a uma oficina credenciada da CEMIG D e, verificou-se que os principais componentes danificados na fonte foram: capacitores e diodos.

Entretanto devido ao custo de reposição da fonte por um equipamento novo, em torno de R\$ 100,00, não foi viável a substituição dos componentes danificados.

3.6 – Ensaios de sobretensões em média tensão manifestadas nos circuitos de baixa tensão

Almejando outra escala de valores de tensão, atrelada com, por exemplo, a ocorrência da ruptura de um condutor de média tensão e sua queda sobre o suprimento em baixa tensão, situações representativas destas particularidades, responsáveis por níveis de tensão bastante superiores às anteriores, em 60 Hz, foram também consideradas para os trabalhos de levantamento dos padrões de suportabilidade.

Durante os dias chuvosos e com ventos ocorrem com certa frequência o rompimento de cabos de média tensão sobre a baixa tensão, provocado principalmente pela incidência de descargas atmosféricas, fadiga e lançamento de objetos sobre os cabos, causando sobretensões nas instalações dos clientes e sujeitando os equipamentos a danos decorrentes deste distúrbio.

3.6.1 – Estrutura laboratorial montada para a realização dos ensaios

Para simular tais situações, sem se esquecer de que tais manifestações são sempre alvo da atuação dos dispositivos de proteção, foi empregada a estrutura laboratorial apresentada nas figuras 3.19 (a e b).

Para a realização do ensaio, foi utilizado um transformador monofásico, com potência nominal de 5 kVA, com uma relação de transformação de 7.967/240-120 V (33,2).

Além do transformador, também foram utilizados um contator, uma botoeira, um divisor resistivo e disjuntores de proteção, comumente disponíveis nas lojas de materiais elétricos.

As grandezas elétricas foram monitoradas através de um osciloscópio de 4 (quatro) canais. Os canais de tensão e corrente na MT e BT são citados nos comentários referentes aos ensaios, haja vista que ocorreram algumas inversões.

A obtenção das leituras de tensão do lado de MT do trafo foi feita utilizando-se um divisor resistivo, devido às limitações das ponteiros do osciloscópio, sendo que para cada 1 volt medido, a medida real para aquele canal (lado da média tensão do transformador) equivale a 28,3 volts, sendo portanto, este o fator de multiplicação da grandeza medida no divisor resistivo.

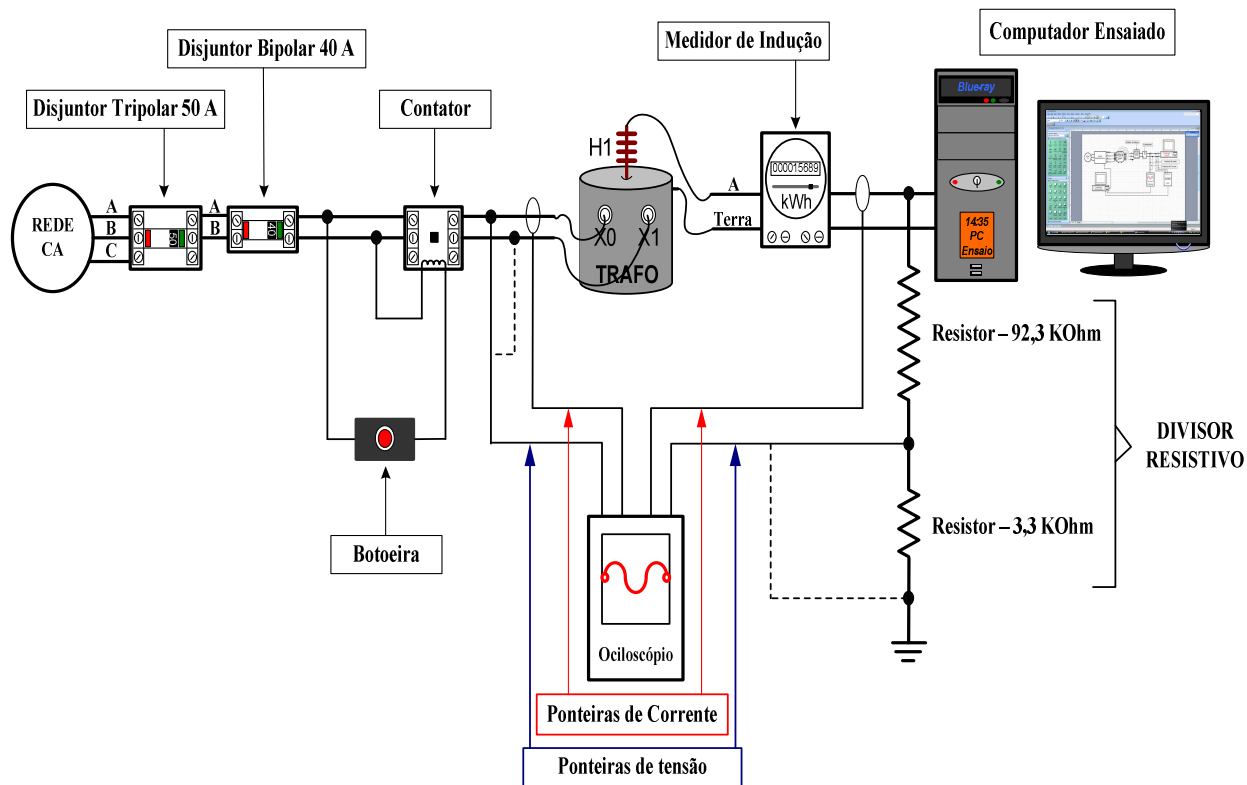


Figura 3.19(a)- Diagrama esquemático da montagem laboratorial - Ensaio de sobretensão em MT na BT.



(i) Montagem do equipamento.



(ii) Osciloscópio digital utilizado neste ensaio.

Figura 3.19 (b) – Montagem Laboratorial - Sobretensão em MT na BT.

Inicialmente foi realizado um ensaio a vazio, a fim de se verificar se o nível da tensão disponibilizado para a alimentação do equipamento eletroeletrônico.

Como pode ser observado na montagem laboratorial uma vez acionada a botoeira e enquanto esta permaneça com o contato selado, a bobina do contator estará alimentada, e conseqüentemente, o circuito que representa o consumidor residencial estará energizado com uma tensão de magnitude bem superior aquela disponibilizada normalmente pela concessionária.

Posteriormente, realizaram-se novos ensaios, considerando a presença de microcomputadores, bem como a eficiência na atuação dos dispositivos mitigadores conhecidos como DPS [9].

Além dos equipamentos utilizados nos ensaios descritos no item 3.5, também foram utilizados um contator, uma botoeira, um divisor resistivo e disjuntores de proteção, com características típicas encontradas comumente em lojas de material elétrico.

3.6.2 – Sobretensões em média tensão manifestadas nos circuitos de baixa tensão – condição a vazio

a) Objetivo do ensaio

Este ensaio de sobretensão a vazio tem por objetivo determinar, durante os testes, se com a tensão de alimentação (220 volts) aplicada nos equipamentos eletroeletrônicos obtém-se o valor esperado de 7.303 V, confirmando a relação de transformação (240/7967 V).

b) Caracterização do ensaio

Através de um transformador monofásico, aplica-se por um curto espaço de tempo (botoeira), uma tensão fase-neutro (60 Hz) no lado da baixa tensão do transformador, obtendo-se o valor de tensão no lado de MT. Neste teste em vazio não há nenhum equipamento conectado no lado de média tensão do transformador.

c) Resultados

A figura 3.20 ilustra as formas de onda da tensão e da corrente, obtidas no lado de média e baixa tensão do transformador.

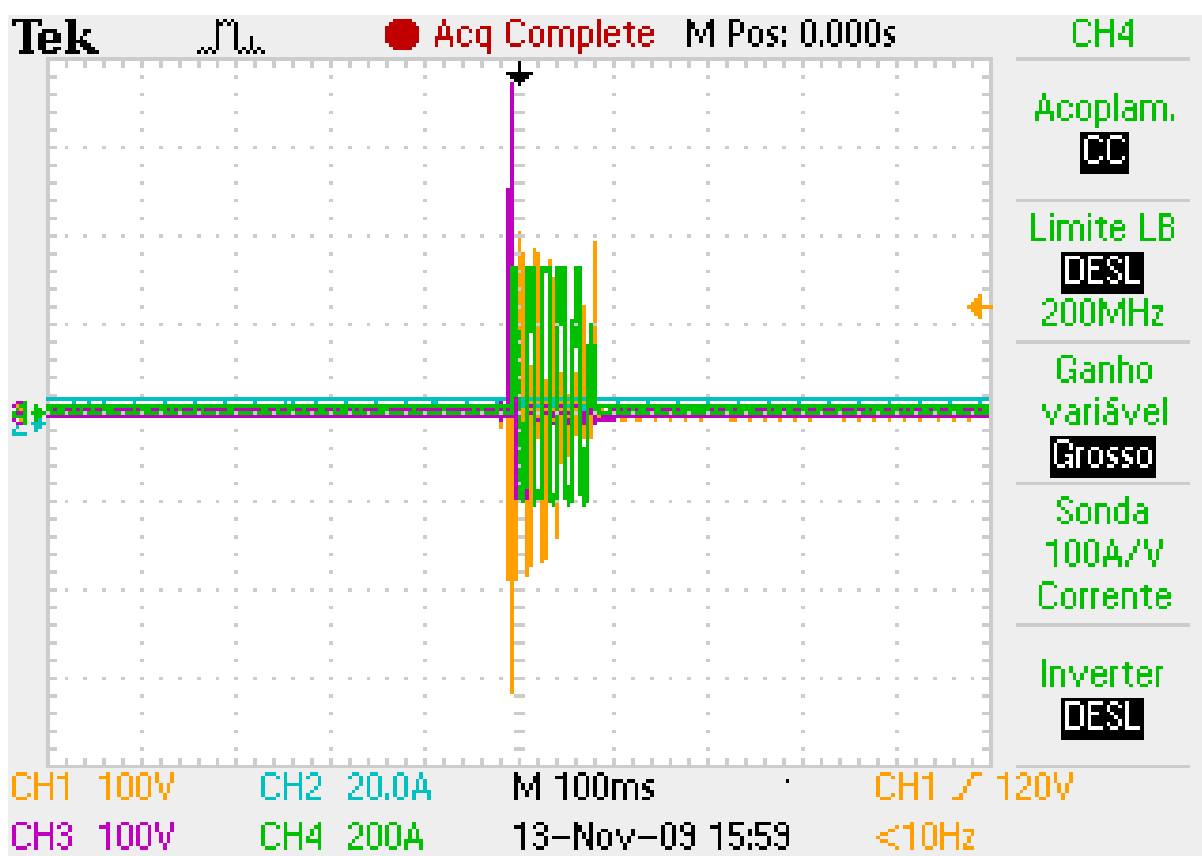


Figura 3.20 – Formas de onda das tensões e correntes medidas - Ensaio a vazio.

d) Conclusões

Observa-se que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de BT do transformador foi de 200 V (2x100), obtendo-se um valor de 6972 V no lado de média tensão (2,4x100x28,3). A relação de transformação do trafo em vazio foi de 33,9, confirmando praticamente os dados de placa (33,2).

A corrente de inrush no lado de baixa do transformador atingiu um valor em torno de 320 A (1,6 x 200), enquanto que no enrolamento de MT do transformador, foi nulo, pois o trafo foi energizado em vazio.

As tensões do lado da BT e MT foram registradas respectivamente nos canais 1 e 3, sendo que a corrente no lado da BT foi registrada no canal 4. As escalas constam no rodapé da figura 3.20.

3.6.3 — Sobretensões em média tensão manifestadas nos circuitos de baixa tensão – microcomputador com estabilizador

a) Caso 1:

A figura 3.21 ilustra as formas de onda da tensão e da corrente, sendo que tais grandezas foram medidas no lado de média tensão (lado em que os equipamentos eletroeletrônicos foram conectados) e baixa tensão do transformador (onde foi feita a conexão do esquema laboratorial, mostrado anteriormente, à rede de alimentação da concessionária CEMIG).

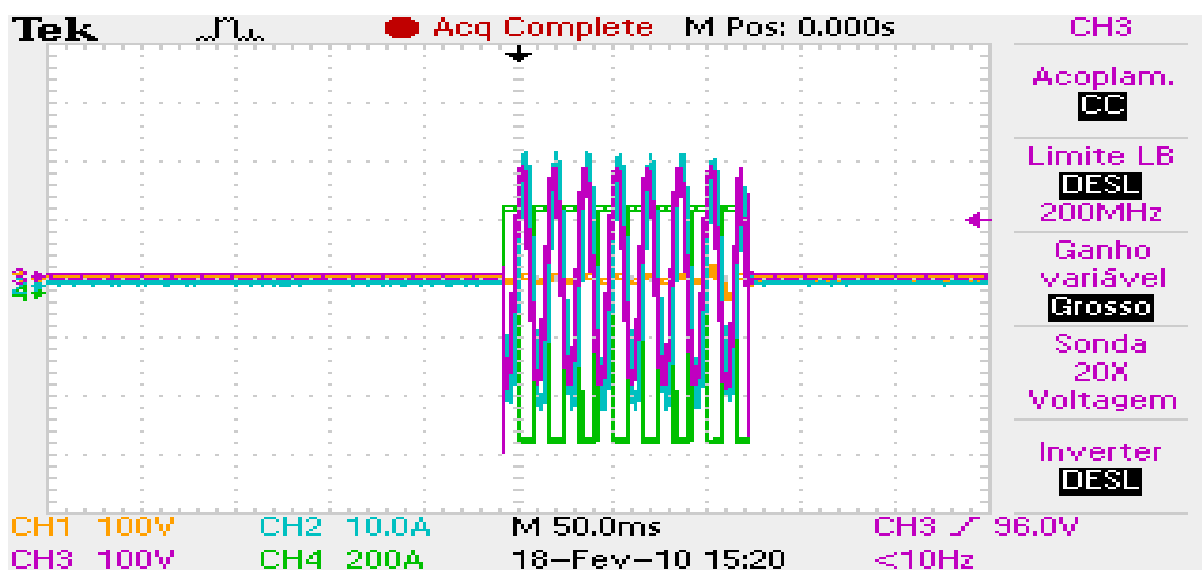


Figura 3.21 – Caso 1 - Formas de onda das tensões/correntes – Ensaio de sobretensão em MT na BT - Micro (com estabilizador).

Observa-se que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 140 V (canal 3 = $1,4 \times 100$), obtendo-se um valor de 2000 V no lado de média tensão (canal 1 = $0,71 \times 100 \times 28,3$), durante 120 ms. Quanto às correntes, no lado de baixa, o valor foi de 280 A (canal 4 = $1,4 \times 200$), enquanto que no lado da média tensão do transformador, a corrente atingiu um valor de 22 A (canal 2 = $2,2 \times 10$). Tanto para as tensões quanto para as correntes, o transformador não conseguiu manter a sua relação de transformação. As escalas constam no rodapé da Figura 3.21.

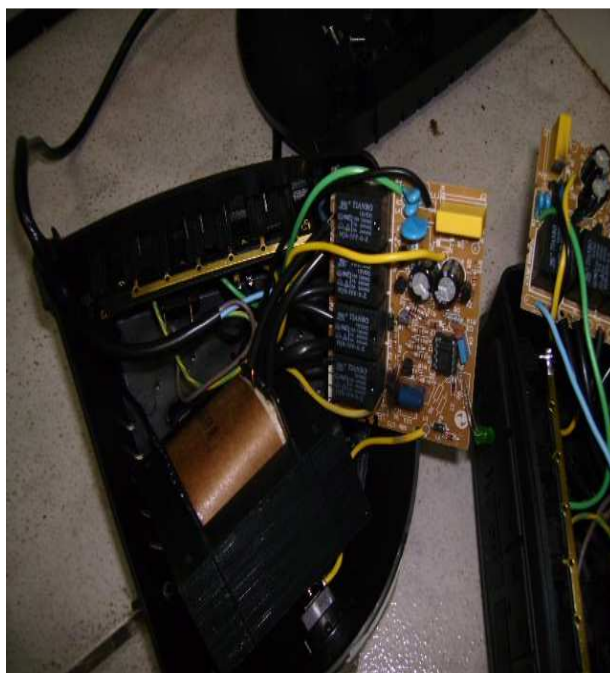
A figura 3.22 (a) ilustra parte da montagem laboratorial no instante da ocorrência do evento. Como era de se esperar, durante a realização do ensaio, houve a queima dos componentes internos do estabilizador. O microcomputador foi testado após o ensaio, e funcionou perfeitamente, não sendo verificado nenhum dano ao mesmo.

O estabilizador foi levado à oficina credenciada junto à CEMIG D para avaliação e conserto. Assim, pode-se constatar que os componentes eletrônicos

danificados do estabilizador sob teste foram: a placa de circuito impresso, cabos internos e varistor.



(a) Momento da danificação do micro.



(b) Componentes danificados do estabilizador.

Figura 3.22 – Caso 1 - Estabilizador danificado – Sobretensão em MT na BT.

Os custos estimados para substituir os componentes eletrônicos danificados e a mão de obra do serviço, são aproximadamente iguais ao valor de um produto novo (R\$ 60,00), inviabilizando assim o conserto do mesmo. A figura 3.22 (b) ilustra o circuito elétrico do estabilizador danificado.

b) Caso 2:

A figura 3.23 ilustra as formas de onda da tensão e da corrente, sendo que tais grandezas foram medidas no lado de média tensão (lado em que os equipamentos eletroeletrônicos foram conectados) e baixa tensão do transformador (onde foi feita a conexão do esquema laboratorial, mostrado anteriormente, à rede de alimentação da concessionária CEMIG).

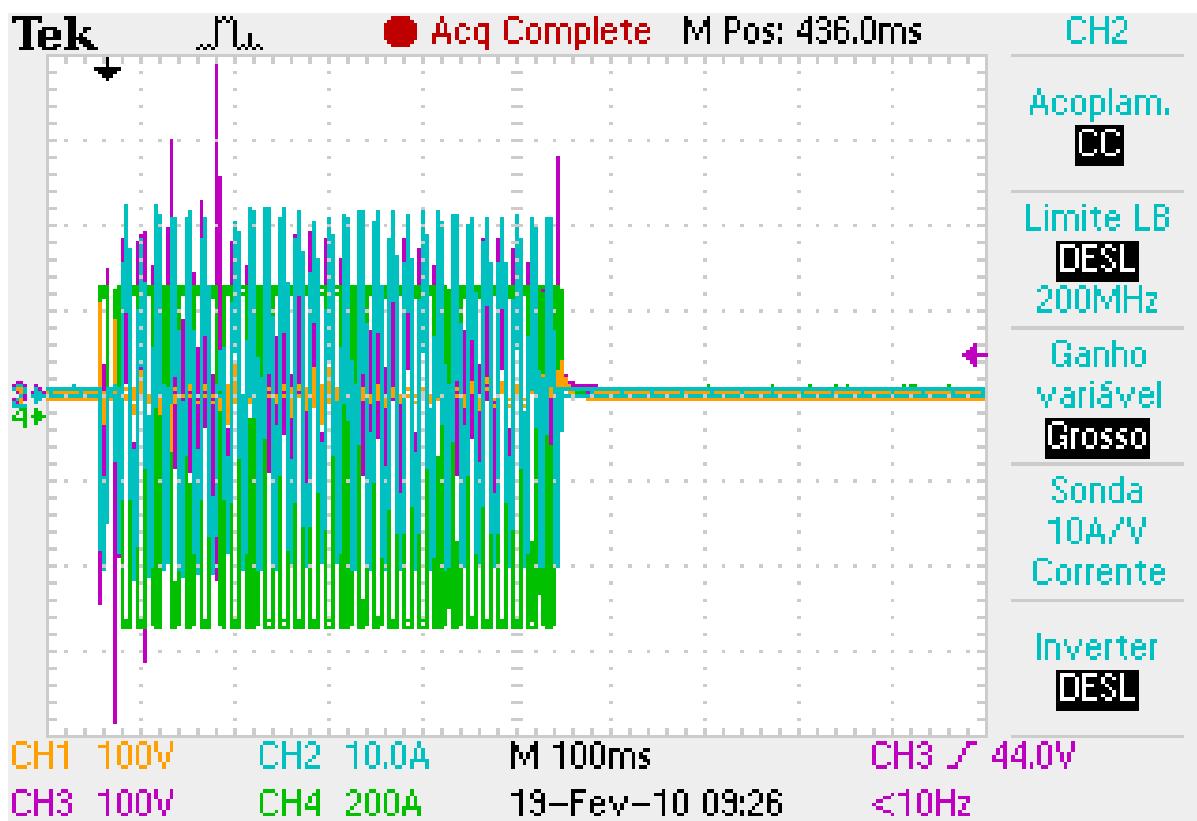


Figura 3.23 – Caso 2 - Formas de onda das tensões /correntes – Ensaio de sobretensão em MT na BT - Micro (com estabilizador).

Observa-se que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 127 V (canal 3 = $1,27 \times 100$). O valor eficaz da tensão medida no lado de média tensão do trafo foi de 1.600 V (canal 1 = $0,56 \times 100 \times 28,3$), durante 250 ms . No que tange as correntes, no lado de baixa do transformador, o valor de pico apresentado por esta ficou em torno de 285 A (canal 4 = $1,42 \times 200$), enquanto que no lado da MT do transformador, esta foi de 25 A (canal 2 = $2,25 \times 10$). Sendo assim tanto para as correntes como para as tensões, o transformador não conseguiu manter a relação de transformação para as correntes, durante a realização do ensaio. As escalas constam no rodapé da Figura 3.23.

A figura 3.24(a) ilustra a montagem laboratorial no instante da ocorrência do evento que simula a queda dos cabos da média tensão no circuito

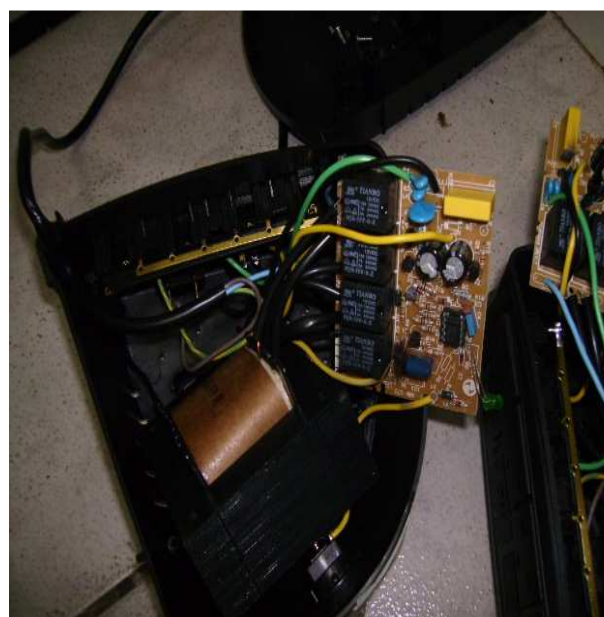
de BT. Conforme já mencionado, nesta configuração o computador foi interligado a rede elétrica por meio de um estabilizador. Em função disso, durante a realização do ensaio, houve a danificação apenas do estabilizador, ou seja, a queima de componentes eletrônicos internos. O microcomputador foi testado após o ensaio, e funcionou perfeitamente, não sendo verificado nenhum dano ao mesmo.

O equipamento danificado, neste caso o estabilizador, foi levado a uma oficina credenciada junto à CEMIG D para avaliação e conserto, sendo esta realizada por um técnico especializado. Assim, pode se observar que o componente eletrônico danificado do estabilizador sob teste foi a placa de circuito impresso e varistor.

Os custos estimados para substituir os componentes eletrônicos danificados e a mão de obra por este serviço superam o valor comercial do aparelho, tornando inviável o conserto do mesmo. A figura 3.24 (b) ilustra o circuito elétrico danificado.



(a) Momento da danificação do micro.



(b) Componentes danificados.

Figura 3.24 – Caso 2 - Estabilizador danificado – Sobretensão em MT na BT.

3.6.4 – Sobretensões em MT manifestadas nos circuitos de BT – micro com estabilizador e com DPS (para QD)

A figura 3.25 apresenta as formas de onda da tensão e da corrente, sendo que tais grandezas foram medidas no lado de MT e BT do transformador.

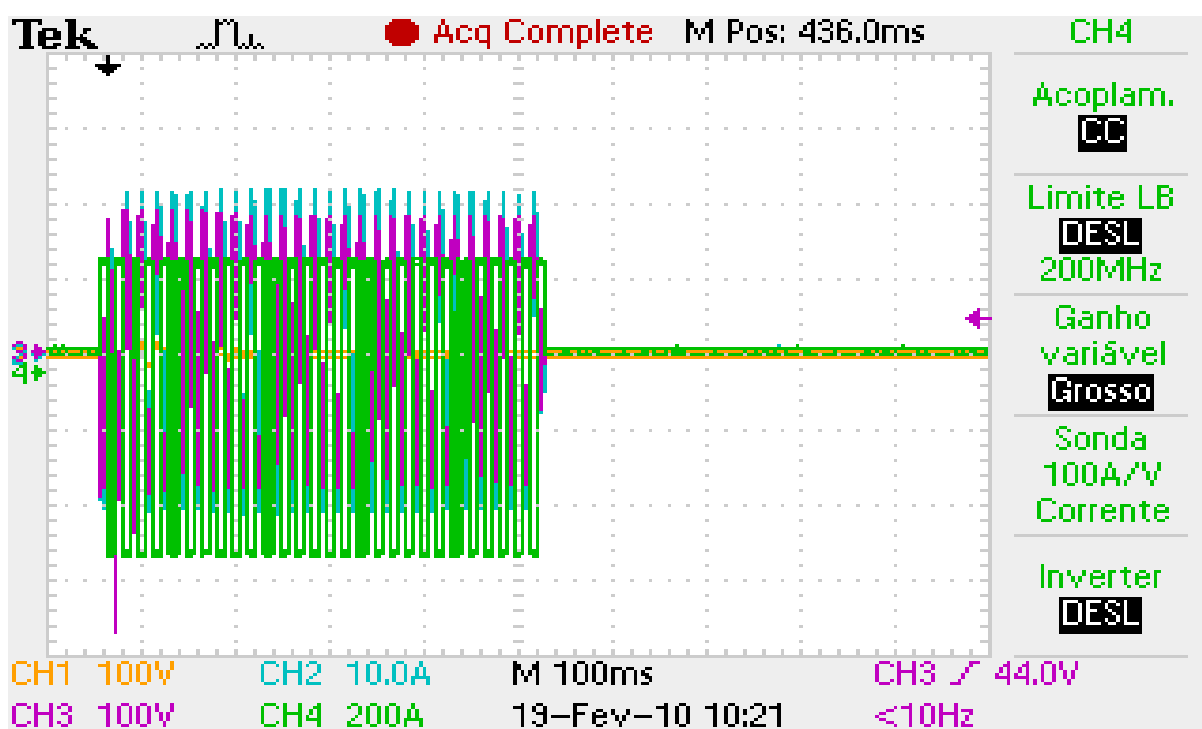


Figura 3.25 – Formas de onda das tensões /correntes - Ensaio de sobretensão em MT na BT - Micro (com estabilizador e DPS - QD)

Observa-se na figura 3.25, que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 127 V (canal 3 = $1,27 \times 100$), obtendo-se um valor de 400 V no lado da MT (canal 1 = $0,14 \times 100 \times 28,3$), representando uma atenuação de 75% na tensão aplicada no equipamento em relação ao ensaio anterior. Quanto às correntes, no lado de BT do trafo, o valor de pico foi de 260 A (canal 4 = $1,3 \times 200$), enquanto que no lado da MT do transformador, esta foi de 22 A. As escalas constam no rodapé da Figura 3.25.

A figura 3.26 ilustra parte da montagem laboratorial para o teste. Neste caso, além do estabilizador, foi acrescentado à configuração um DPS, utilizado para instalação no quadro geral. Em função disso, como era de se esperar, durante a realização do ensaio, não houve a danificação do microcomputador testado, tampouco do estabilizador. Logo, pode-se concluir que o dispositivo DPS, atuou protegendo o microcomputador/estabilizador durante o ensaio. Posteriormente a este ensaio, foi realizado um novo teste, e os resultados foram idênticos a este, sendo que o DPS embora tenha atuado não sofreu danos, sendo rearmado normalmente.



Figura 3.26 – Montagem laboratorial - Ensaio de sobretensões em MT na BT - Micro (com estabilizador e com DPS – QD).

3.6.5 - Sobretensões em MT manifestadas nos circuitos de BT – microcomputador com estabilizador e com DPS (tomada)

Novamente, de acordo com os procedimentos realizados anteriormente, tem-se que a figura 3.27 apresenta as formas de onda da tensão e da corrente no lado de média e baixa tensão do transformador.

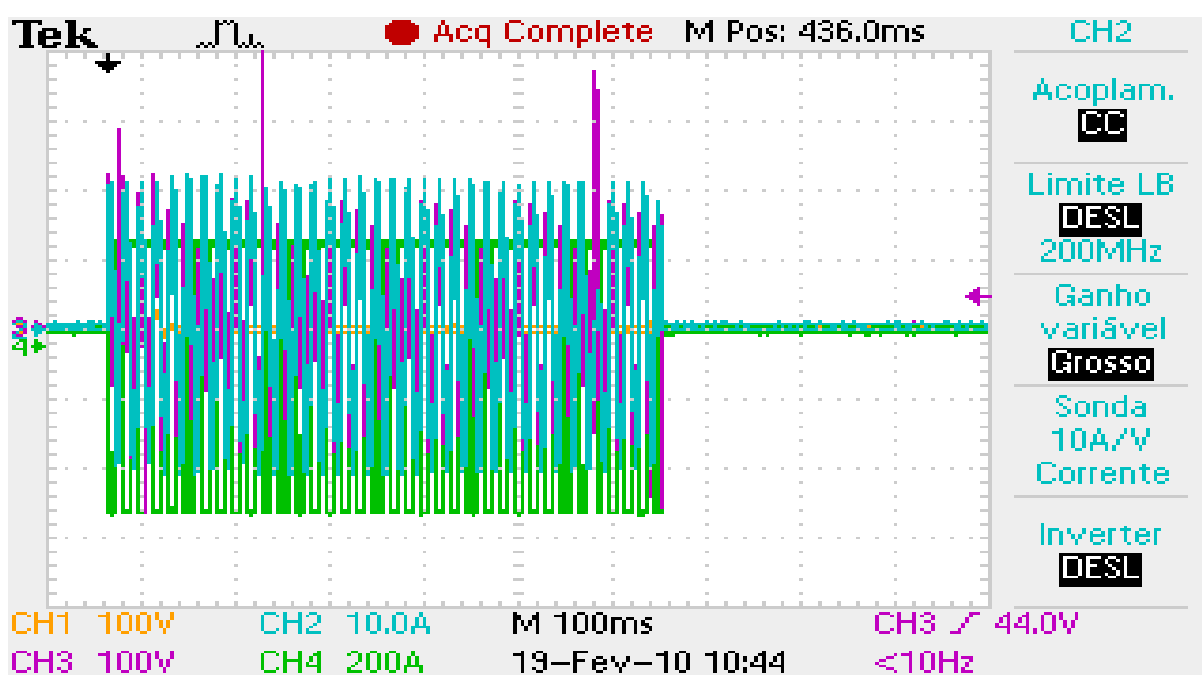


Figura 3.27 – Formas de onda das tensões /correntes – Ensaio de sobretensão em MT na BT-Micro (com estabilizador e DPS - tomada).

Observa-se na figura 3.27, que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 130 V (canal 3 = $1,3 \times 100$), obtendo-se um valor de 410 V (canal 1 = $0,145 \times 100 \times 28,3$) no lado da MT (atenuação igual ao caso anterior). Quanto as correntes os valores foram muito próximos dos obtidos no teste anterior. Tanto para as tensões quanto para as correntes, o transformador não conseguiu manter a sua relação de transformação. As escalas constam no rodapé da Figura 3.27.

A figura 3.28 ilustra parte da montagem laboratorial para a realização do teste. Além do estabilizador, utilizado para interligar o computador a rede elétrica, foi acrescentada a configuração um dispositivo mitigador (DPS), tipicamente utilizado para instalação em tomadas. Em função disso, como era de se esperar, durante a realização do ensaio, não houve a danificação do microcomputador/estabilizador, porém houve a queima do dispositivo mitigador. Assim, apesar do DPS ter sido danificado durante o ensaio, pode-se concluir que tal dispositivo atuou protegendo os equipamentos eletroeletrônicos durante o ensaio. Este tipo de DPS é mais susceptível a danos do que o que foi testado no ensaio descrito no item 3.6.4.



Figura 3.28 – Detalhe da montagem laboratorial – Ensaio de sobretensão em MT na BT – Micro (com estabilizador e DPS – tomada).

A figura 3.29 ilustra o DPS de tomada danificado durante o referido ensaio descrito anteriormente.

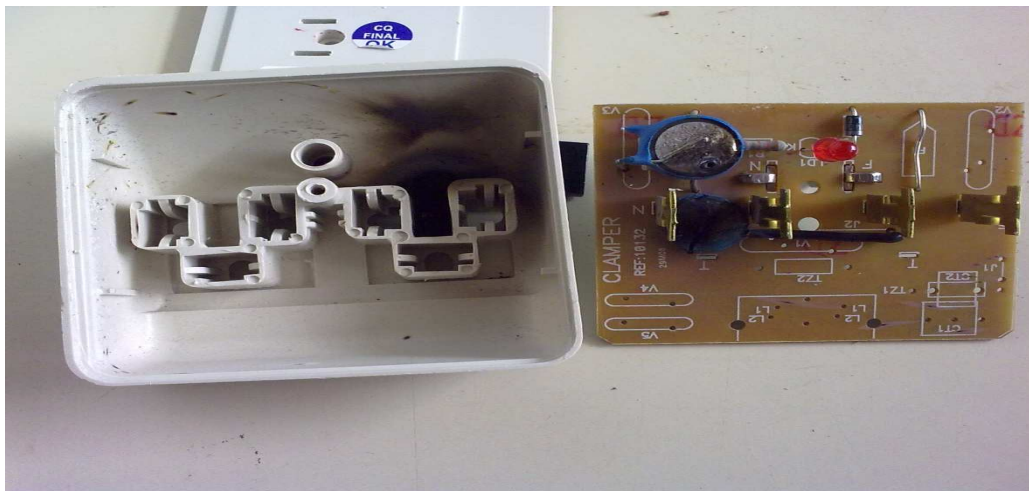


Figura 3.29 – DPS de tomada danificado - Ensaio de sobretensão em MT na BT – Micro (com estabilizador).

3.7 – Ensaios de impulso de corrente com características similares à descargas atmosféricas

Conforme tabela 2.1, deste trabalho, as descargas atmosféricas representaram a principal causa das solicitações de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos, julgadas procedentes, pois apresentam um alto poder destrutivo, dada a intensidade da corrente da descarga (2 a 200 kA), apesar do seu reduzido tempo de duração, cujo período crítico está na faixa de dezenas de microsegundos.

Tais descargas produzem sobretensões que podem atingir as unidades consumidoras fundamentalmente através das diferentes ocorrências:

- **Descargas diretas:** podem ocorrer sobre as redes de média e baixa tensão, bem como sobre edificações, sendo mais comuns em redes de média tensão rurais ou em regiões periféricas de cidades. No

entanto, são mais raras em áreas urbanas em decorrência da existência de edificações elevadas. Os efeitos da incidência de descargas diretas em redes de distribuição possuem elevada severidade, podendo provocar diversos danos ao sistema.

- **Descargas indiretas** : incidem em regiões circunvizinhas às redes de média e baixa tensão podendo originar sobretensões induzidas nas mesmas. O grau de severidade dos fenômenos associados a este tipo de ocorrência é menor que os originados por descargas diretas, mas sua frequência de ocorrência é muito superior àquela das descargas diretas, o que torna as sobretensões induzidas o elemento crítico de desempenho das redes de distribuição.
- **Disseminação do surto da MT para a BT**: se estende até a rede de baixa tensão através do transformador de distribuição. A intensidade e a forma das solicitações associadas a este processo são dependentes de inúmeros fatores. Seu grau de severidade pode alcançar níveis críticos, tanto do ponto de vista dos equipamentos instalados na rede de baixa tensão, quanto para os consumidores.

Estudos efetuados por instituições de pesquisa e desenvolvimento indicam que nas áreas urbanas, com relação à definição dos valores de corrente que finalmente atingem uma unidade consumidora em baixa tensão, o valor mediano da corrente de surto é de 1,2 kA e que em apenas 15% dos casos, as correntes excederiam 5 kA, segundo informações de catálogos de fabricantes de dispositivos de proteção.

A caracterização da onda de corrente junto ao consumidor em termos de sua forma de onda, representando a ocorrência dos inúmeros fenômenos observados na rede elétrica, é internacionalmente padronizada (IEEE C6241, IEEE C6234, IEEE C6245, IEC 61643-1, IEC 61000-4-5 e etc.), como uma

onda que necessita de 8 microsegundos para atingir o valor máximo diminuindo em 20 microsegundos à metade para a corrente, conforme figura 3.30.

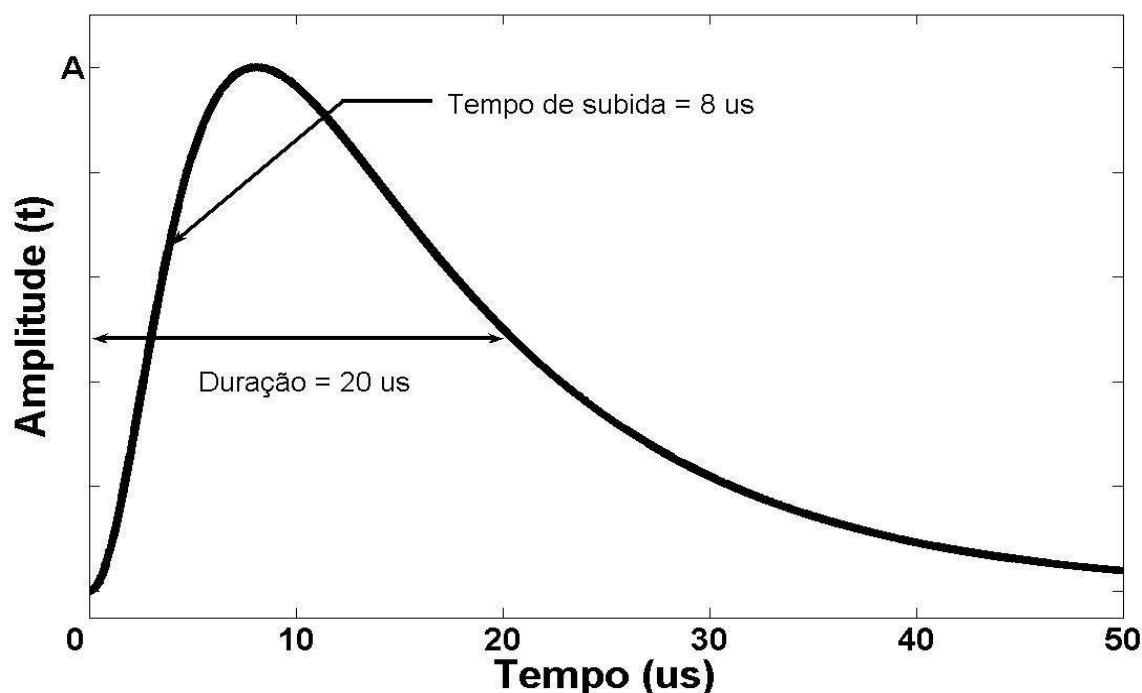


Figura 3.30 – Forma de onda típica de impulso de corrente.

3.7.1 – Estrutura laboratorial montada para a realização de ensaios de impulso de corrente em microcomputadores

Foi utilizado o gerador de impulso de corrente de curta duração do laboratório de alta tensão da Universidade Federal de Itajubá, para aplicar os transitórios impulsivos de alta frequência no período de 13 a 15 de Outubro de 2010. Os oscilogramas foram registrados com o osciloscópio Tektronix, sendo o canal 1 o sinal de impulso de corrente e o canal 2 a tensão resultante. As figuras 3.31 (a, b, c e d) ilustram a montagem laboratorial com o gerador de corrente e a bancada de comando e registro dos resultados (osciloscópio digital).



(a) Montagem e ajustes no gerador.



(b) Microcomputador sendo testado.



(c) Participação nos ensaios.



(d) Bancada de comando/registro de dados.

Figura 3.31 – Montagem laboratorial do gerador de impulso de corrente.

3.7.2 – Ensaios de impulso de corrente aplicados em microcomputadores

Foram realizados ao todo 10 ensaios de aplicação de impulso de corrente em microcomputadores, com e sem estabilizadores e com e sem DPS, visando testar a performance de tal dispositivo mitigador .

As figuras 3.32 e 3.33 ilustram as montagens laboratoriais necessárias para o levantamento de pontos das curvas de suportabilidade de microcomputadores/estabilizadores com e sem DPS.

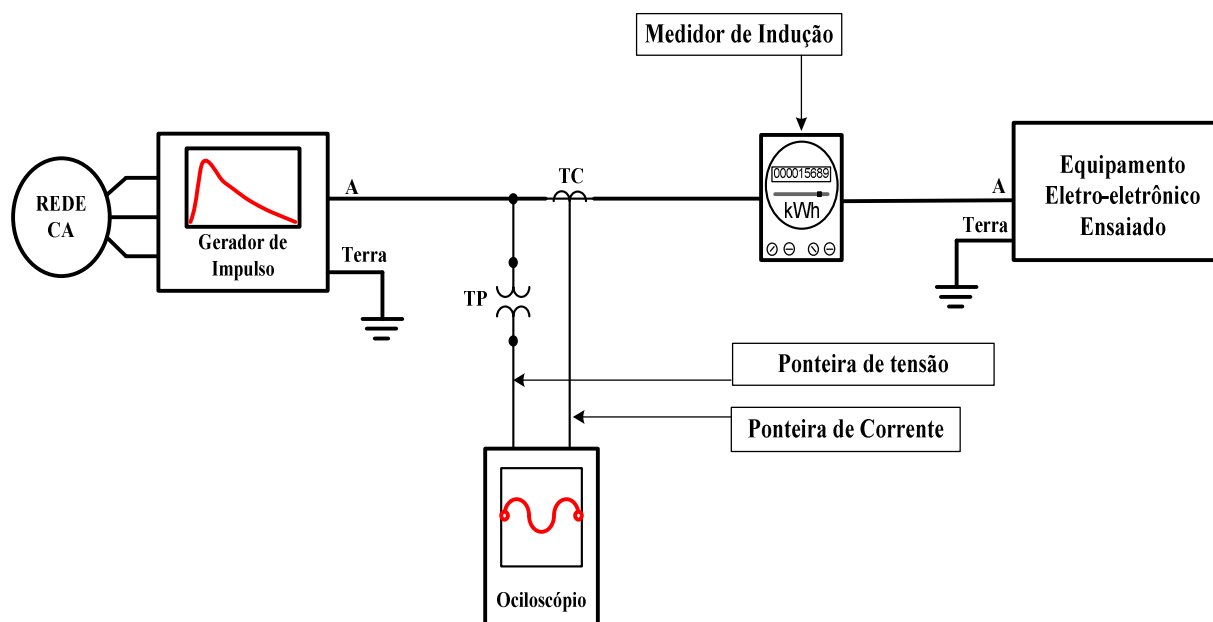


Figura 3.32 – Diagrama esquemático da montagem laboratorial - Teste de impulso de corrente – Micro/estabilizador sem DPS.

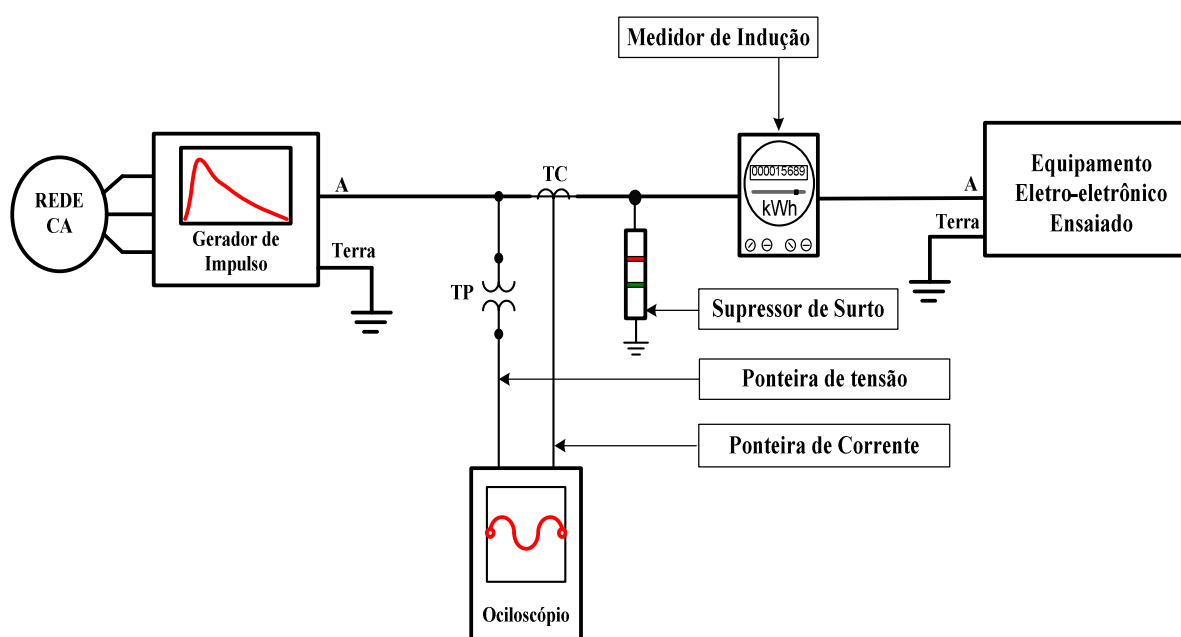


Figura 3.33 – Diagrama esquemático da montagem laboratorial - teste de impulso de corrente – Micro/estabilizador com DPS.

Os ensaios de impulso de corrente aplicados a microcomputadores, com e sem estabilizadores e com e sem DPS, tiveram como objetivo e caracterização o descrito a seguir:

- ***Objetivo dos ensaios***

Determinar um ponto da curva de suportabilidade térmica e dielétrica dos microcomputadores com e sem estabilizadores, assim como analisar o comportamento de dispositivos mitigadores (DPS). Finalmente, podem-se observar os principais componentes eletrônicos danificados do microcomputador mencionado, quando submetido a uma descarga atmosférica.

- ***Caracterização dos ensaios***

Através do gerador de Impulso, aplicou-se nos testes destrutivos impulsos de corrente com característica típica de descargas atmosféricas, conforme figura 3.30, em microcomputadores, com e sem estabilizador e com e sem DPS.

3.7.2.1 – Ensaios realizados no microcomputador com estabilizadores, com e sem DPS

Foram realizados três ensaios em microcomputadores com estabilizador, para a obtenção da máxima energia dissipada (J), visando apurar a suportabilidade térmica, conforme metodologia estabelecida no item 3.2 (integral de Joule), sendo que os dados estão tabulados na tabela 3.5(a). No que se refere à suportabilidade dielétrica, foram considerados os valores de tensão

resultantes da aplicação dos impulsos de corrente e suportados pelos equipamentos submetidos aos ensaios.

Foram realizados também mais três ensaios em microcomputadores com estabilizador e com DPS para ser instalado no quadro de distribuição, visando avaliar a performance deste dispositivo mitigador.

Micro	Duração t(μs)	Energia J(A²·s)	Corrente (A)
Com estab. 01	15,38	100,13	2914
Com estab. 02	15,0	108,52	3276
Com estab. 03	18,0	120,15	3276

Tabela 3.5 (a) – Resultados dos ensaios de impulso de corrente - Micros com estabilizador– Suportabilidade térmica.

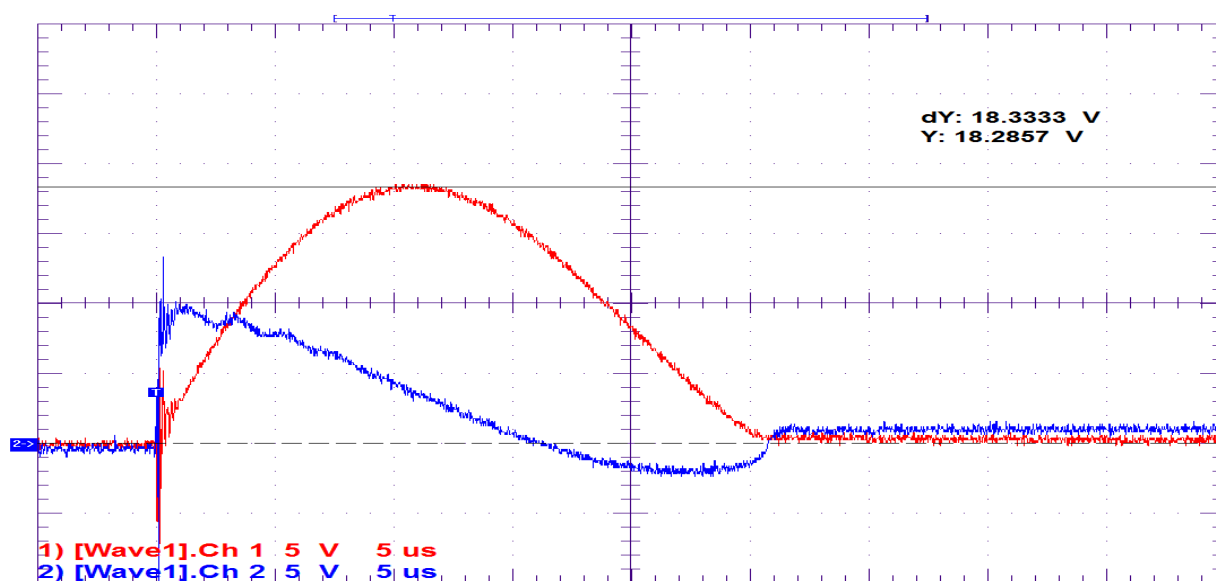
Micro	Duração t(μs)	Tensão (V)
Com estab. 01	15,38	4350
Com estab. 02	15,00	3750
Com estab. 03	18,00	4342

Tabela 3.5 (b) – Tensão medida nos ensaios de impulso de corrente - Micros com estabilizador - Suportabilidade dielétrica.

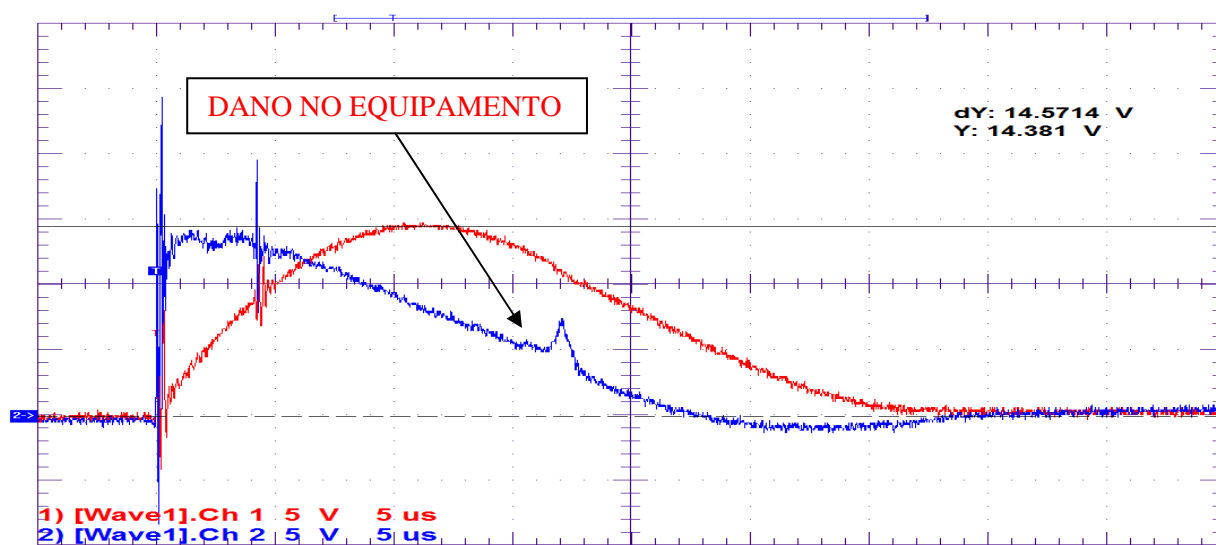
a) Ensaio 1 – Microcomputador com estabilizador, com e sem DPS

Uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.34 (a) ilustra o ensaio realizado com a presença do DPS, enquanto a figura 3.34 (b) ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, sem a presença do DPS, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e tensão. A escala da

corrente é dada por 200 A/Volts, ou seja, cada 1 Volt representa 200 A. Enquanto que a escala de tempo corresponde a 5 μ s/divisão. A fim de que se obtenha o valor real para corrente e tensão aplicado durante os ensaios, o valor de corrente deverá ser multiplicado por uma constante igual a 200, enquanto o valor de tensão deverá ser multiplicado por 311, sendo tais constantes válidas para todos os ensaios.



(a) - com DPS



(b) - sem DPS

Figura 3.34 – Ensaio 1 - Formas de onda da corrente/tensão - Ensaio de impulso de corrente - Micro (com estabilizador, com e sem DPS).

Os resultados apresentados pela figura 3.34 (a) demonstram que o impulso de corrente aplicado no primeiro ensaio, com a presença do DPS, não causou nenhum dano ao equipamento ensaiado. No segundo ensaio, sem a presença do DPS, o impulso de corrente obteve um valor de pico de 2914 A ($14,57 \times 200$), resultando em um valor de tensão de 4350 V. Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de $15,38\mu s$.

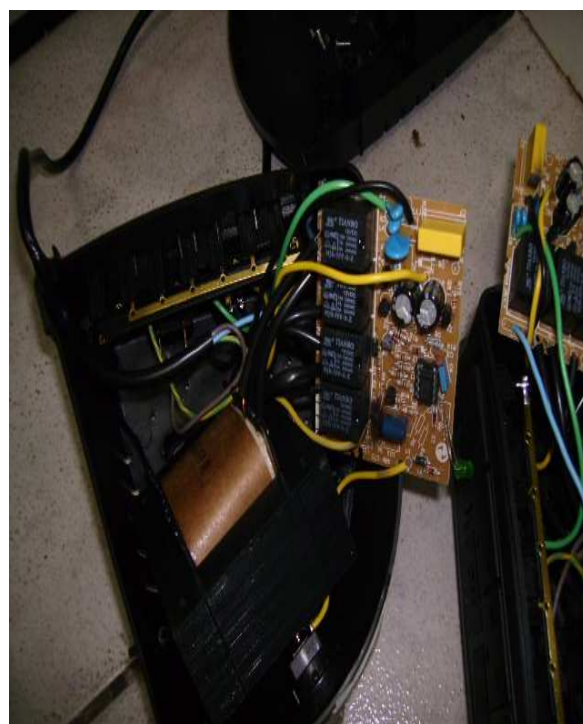
A aplicação do impulso de corrente, neste ensaio, resultou na danificação de vários componentes do estabilizador: fusível, trilhas e cabos internos.

Após a substituição do estabilizador queimado, o microcomputador voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar qualquer problema. A figura 3.35 ilustra o equipamento danificado.

No ensaio com o DPS não houve queima do estabilizador e sim atuação do citado dispositivo, atenuando a máxima tensão medida para 2954 volts (32%).



(a) Fusível danificado.



(b) Estabilizador aberto.

Figura 3.35 – Ensaio 1 - Estabilizador danificado.

b) - Ensaio 2 – Microcomputador com estabilizador e sem DPS

Uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.36 ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, sem a presença do DPS, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e tensão. A escala da corrente é dada por 200 A/Volts, ou seja, cada 1 Volt representa 200 A. Enquanto que a escala de tempo corresponde a 5 μ s/divisão. A fim de que se obtenha o valor real para corrente e tensão aplicado durante os ensaios, o valor de corrente deverá ser multiplicado por uma constante igual a 200, enquanto o valor de tensão deverá ser multiplicado por 311, sendo tais constantes válidas para todos os ensaios.

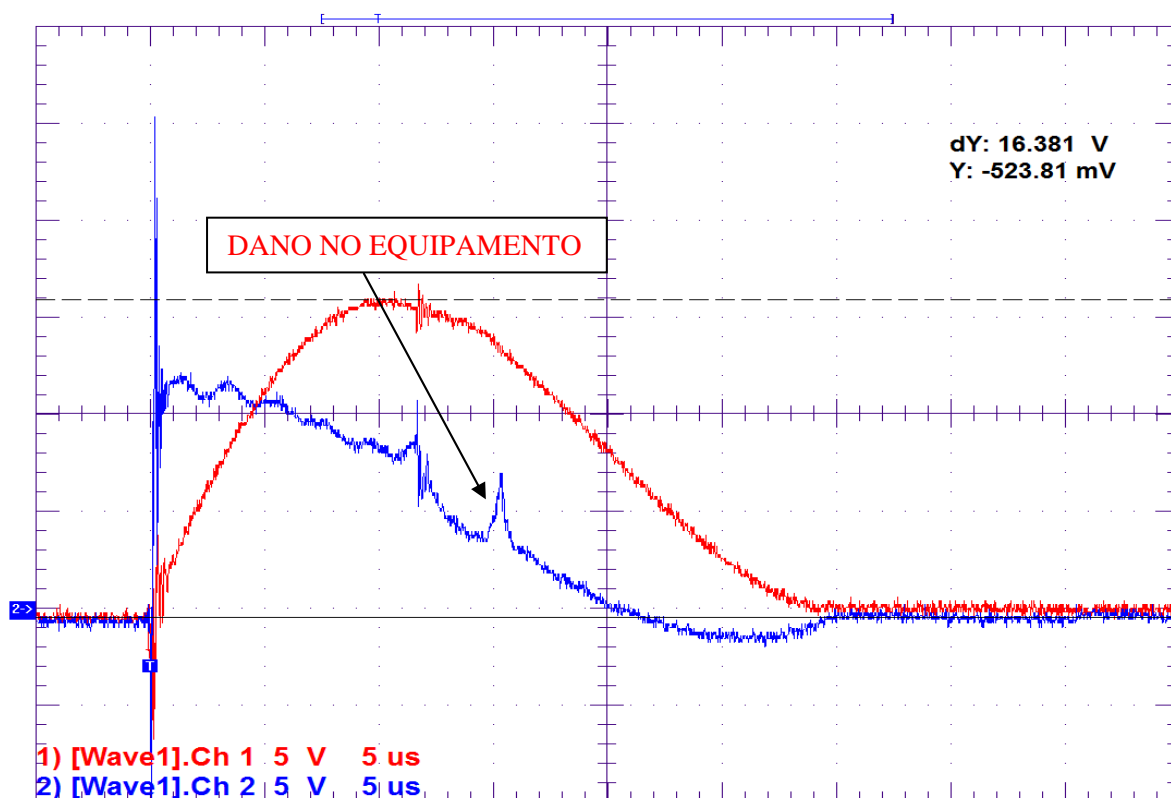


Figura 3.36 – Ensaio 2 - Formas de onda da corrente/tensão - Ensaio de impulso de corrente - Micro (com estabilizador e sem DPS).

Os resultados apresentados pela figura 3.36 demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico de 3276 A ($16,38 \times 200$), resultando em um valor de tensão de 3750 V. Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de $15\mu s$.

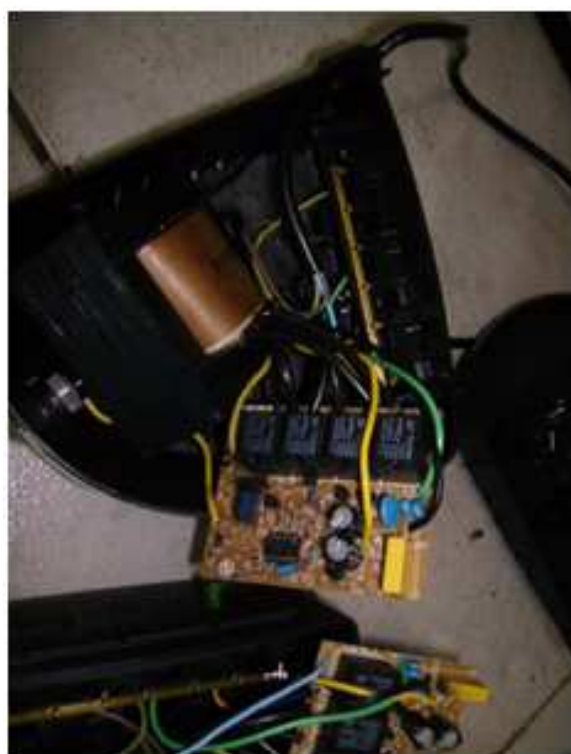
A aplicação do impulso de corrente, neste ensaio, resultou na queima apenas do estabilizador, com diversos componentes danificados: porta fusível, trilhas e cabos internos, sendo necessário à substituição deste por um novo, em função da inviabilidade financeira de sua recuperação.

Após a substituição do estabilizador queimado, o microcomputador voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar qualquer problema. A figura 3.37 ilustra o equipamento danificado.

Foi realizado também ensaio com DPS, com resultados similares aos obtidos no primeiro ensaio.



(a) Fusível/porta fusível danificados.



(b) Estabilizador aberto.

Figura 3.37 – Ensaio 2 - Estabilizador danificado.

c)- Ensaio 3 – Microcomputador com estabilizador e sem DPS

Uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.38 ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, sem a presença do DPS, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e tensão. A escala da corrente é dada por 200 A/Volts, ou seja, cada 1 Volt representa 200 A. Enquanto que a escala de tempo corresponde a 5 μ s/divisão. A fim de que se obtenha o valor real para corrente e tensão aplicado durante os ensaios, o valor de corrente deverá ser multiplicado por uma constante igual a 200, enquanto o valor de tensão deverá ser multiplicado por 311, sendo tais constantes válidas para todos os ensaios.

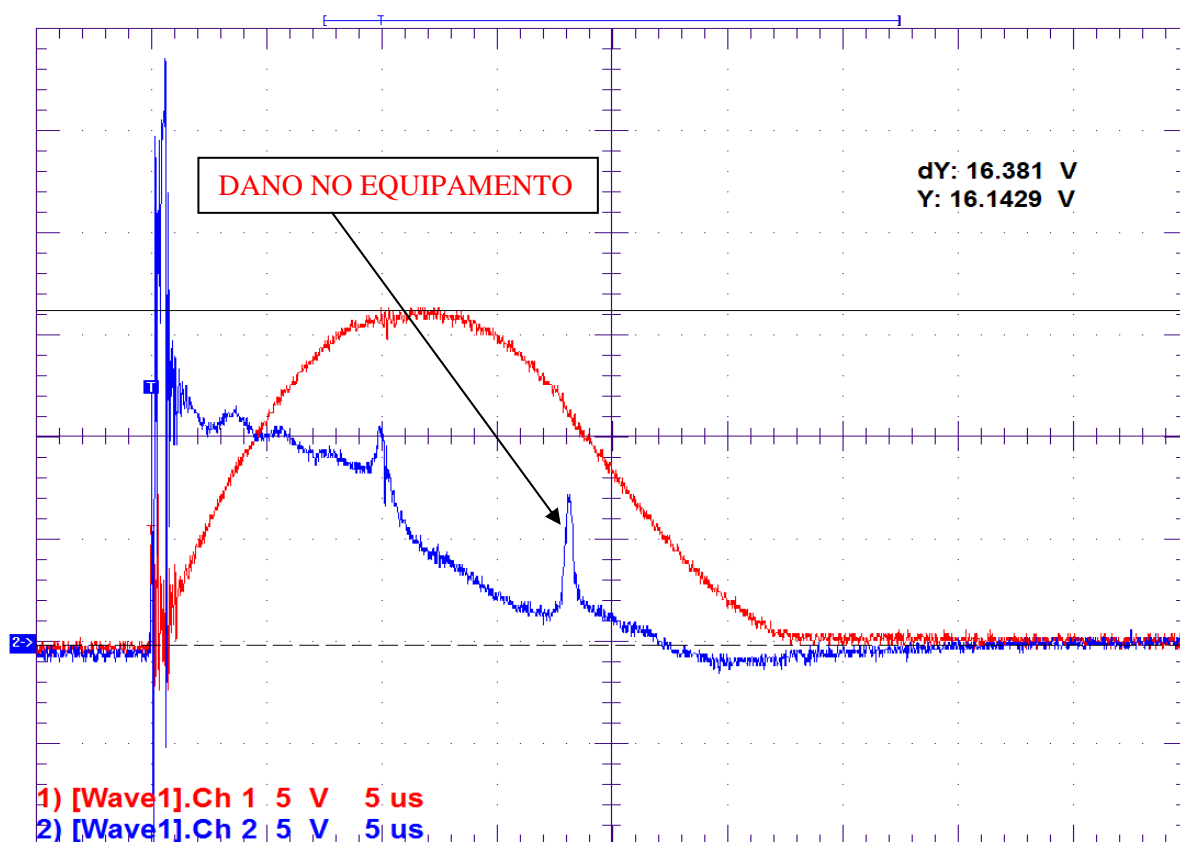


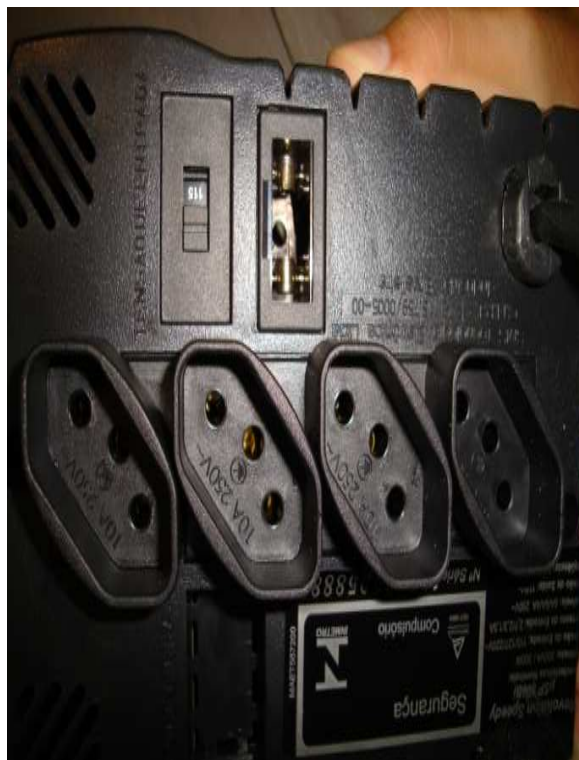
Figura 3.38 – Ensaio 3 - Formas de onda da corrente/tensão - Ensaio de impulso de corrente-Micro (com estabilizador sem DPS).

Os resultados apresentados pela figura 3.38 demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico de 3276 A ($16,381 \times 200$) resultando em um valor de tensão de 4342 V. Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de $18\mu s$.

A aplicação do impulso de corrente, neste ensaio, resultou na queima apenas do estabilizador, com danificação e diversos componentes internos: fusível, trilhas da placa de CI, cabos internos e varistor.

Após a substituição do estabilizador queimado, o microcomputador voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar qualquer problema. A figura 3.39 ilustra o equipamento danificado.

Foi realizado também ensaio com DPS, com resultados similares aos obtidos no primeiro ensaio.



(a) Fusível danificado.



(b) Estabilizador aberto.

Figura 3.39 – Ensaio 3 – Estabilizador danificado.

Nos ensaios com estabilizadores, a aplicação dos impulsos de corrente resultaram na queima apenas destes equipamentos, sendo que eles foram levados a uma oficina credenciada junto à CEMIG D para avaliação e conserto. Pode-se observar que vários componentes eletrônicos do estabilizador foram danificados, sendo mais viável economicamente a substituição do equipamento. Quanto ao microcomputador, não foi observado nenhum dano neste, sendo que o mesmo não apresentou nenhum problema de operação após a realização deste ensaio.

Nota-se que no primeiro ensaio obteve-se a curva de suportabilidade do microcomputador com estabilizador que apresentou a menor energia dissipada admissível (I^2t) durante os testes. Adotou-se, portanto este ponto para a obtenção da curva de suportabilidade. No que se refere à suportabilidade dielétrica, foram considerados os valores de tensão resultantes da aplicação dos impulsos de corrente e suportados pelos equipamentos submetidos aos ensaios.

3.7.2.2 – Ensaios realizados no microcomputador sem estabilizador

Foram realizados dois ensaios em microcomputadores sem estabilizador, para a obtenção da máxima energia dissipada (J), visando apurar a suportabilidade térmica, conforme metodologia estabelecida no item 3.2 (integral de Joule), sendo que os dados estão tabulados na tabela 3.5(a). No que se refere à suportabilidade dielétrica, foram considerados os valores de tensão resultantes da aplicação dos impulsos de corrente e suportados pelos equipamentos submetidos aos ensaios.

Foram realizados também mais 2 ensaios com microcomputadores sem estabilizador e com DPS, visando avaliar a performance deste dispositivo mitigador.

Micro	Duração t(μs)	Energia J(A²·s)	Corrente(A)
Sem estab. 04	12,67	73,11	2952
Sem estab. 05	16,0	73,42	2714

Tabela 3.6 (a) – Resultados dos ensaios de impulso de corrente - Micros sem estabilizador – Suportabilidade térmica.

Micro	Duração t(μs)	Tensão (V)
Sem estab. 04	12,67	3747
Sem estab. 05	16,0	4939

Tabela 3.6 (b) – Tensão medida nos ensaios de impulso - Micros sem estabilizador - suportabilidade dielétrica.

d) Ensaio 4 – Microcomputador sem estabilizador

Uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.40 ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, sem a presença do DPS, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e tensão. A escala da corrente é dada por 200 A/Volts, ou seja, cada 1 Volt representa 200 A. Enquanto que a escala de tempo corresponde a 5μs/divisão. A fim de que se obtenha o valor real para corrente e tensão aplicado durante os ensaios, o valor

de corrente deverá ser multiplicado por uma constante igual a 200, enquanto o valor de tensão deverá ser multiplicado por 311, sendo tais constantes válidas para todos os ensaios.

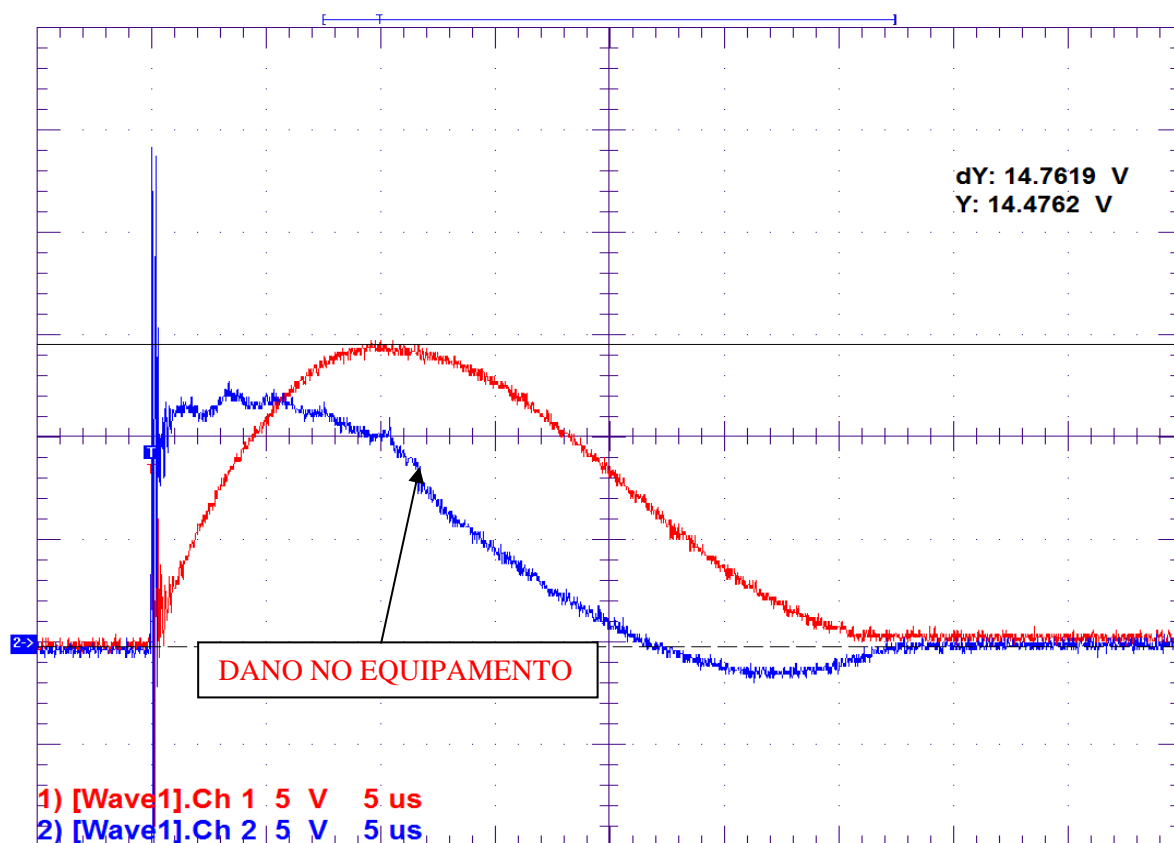


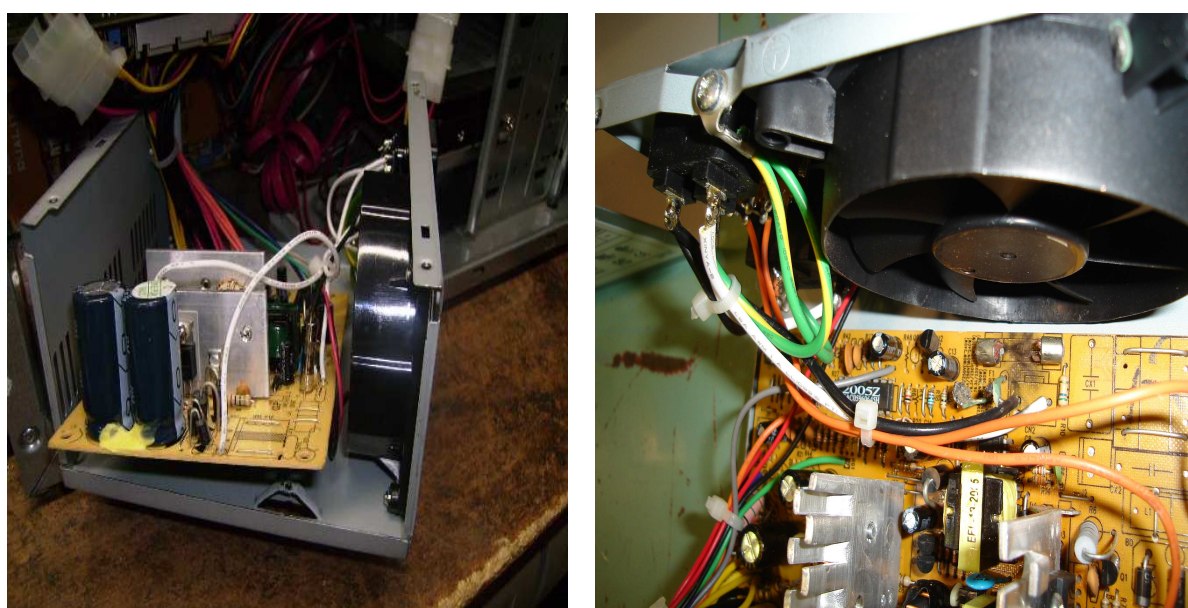
Figura 3.40 – Ensaio 4 - Formas de onda da corrente/tensão - Ensaio de impulso de corrente em Micro sem estabilizador.

Os resultados apresentados pela figura 3.40 demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico de 2952 A ($14,76 \times 200$) e a resultando em um valor de tensão de 3747 V. Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 12,67 μ s.

O impulso de corrente aplicado neste ensaio resultou na queima da fonte de alimentação de entrada do microcomputador. Notou-se, para o presente caso, que vários componentes eletrônicos da fonte de alimentação do microcomputador foram danificados, tais como: fusível, comprometimento de

trilhas, sendo necessário à substituição da mesma por uma fonte nova, por ser inviável economicamente a sua recuperação.

Após a substituição da fonte de alimentação queimada, o microcomputador voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar qualquer problema. A figura 3.41 ilustra parte dos componentes eletrônicos danificados da fonte de alimentação do microcomputador.



(a) Fonte retirada do micro.

(b) Detalhe de componente danificado.

Figura 3.41 – Ensaio 4 - Fonte de alimentação danificada.

e) - Ensaio 5 – Microcomputador sem estabilizador

Uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.42 ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, sem a presença do DPS, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e tensão. A escala da corrente é dada por 200 A/Volts, ou seja, cada 1 Volt representa 200 A. Enquanto que a escala de tempo corresponde a 5 μ s/divisão. A fim de que se

obtenha o valor real para corrente e tensão aplicado durante os ensaios, o valor de corrente deverá ser multiplicado por uma constante igual a 200, enquanto o valor de tensão deverá ser multiplicado por 311, sendo tais constantes válidas para todos os ensaios.

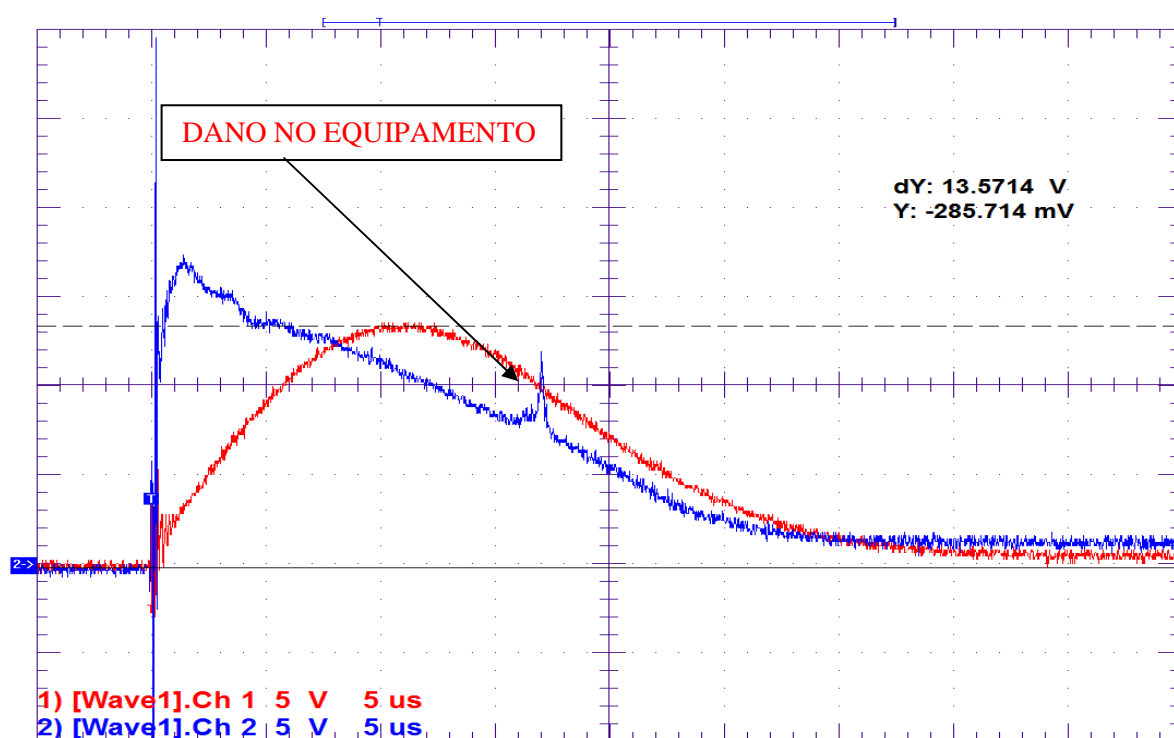


Figura 3.42 – Ensaio 5 - Formas de onda da corrente/tensão - ensaio de impulso de corrente – Micro sem estabilizador.

Os resultados apresentados pela figura 3.42 demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico de 2714 A ($13,57 \times 200$) resultando em um valor de tensão de 4939 V. Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 16 μ s.

O impulso de corrente aplicado neste ensaio resultou na queima da fonte de alimentação de entrada do microcomputador. Notou-se, para o presente caso, que vários componentes eletrônicos da fonte de alimentação do microcomputador foram danificados: fusível, comprometimento de trilhas e

isolamento do trafo, sendo necessário à substituição da mesma por uma fonte nova, por ser inviável a sua recuperação.

Após a substituição da fonte de alimentação queimada, o microcomputador voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar qualquer problema. A figura 3.43 ilustra parte dos componentes eletrônicos danificados da fonte de alimentação do microcomputador.

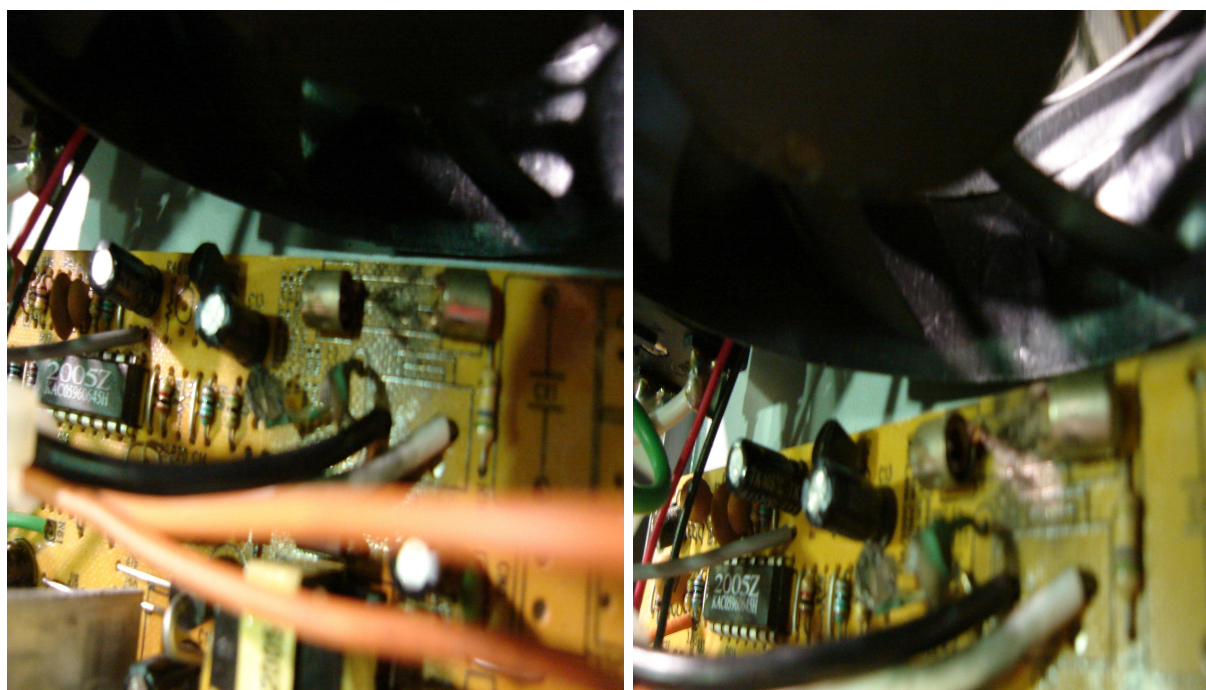


Figura 3.43 – Ensaio 5 - Fonte de alimentação danificada.

Embora com valores muito próximos, nota-se que no primeiro ensaio obteve-se a curva do microcomputador com estabilizador e no ensaio 4 sem estabilizador, que apresentaram a menor energia dissipada admissível (I^2t) durante os testes. Adotou-se, portanto estes pontos para a obtenção das curvas de suportabilidade. No que se refere à suportabilidade dielétrica, foram considerados os valores de tensão resultantes da aplicação dos impulsos de corrente e suportados pelos equipamentos submetidos aos ensaios.

Em todos os testes destrutivos de impulso de corrente aplicados aos microcomputadores sem estabilizadores e sem DPS, ocorreu danos em diversos

componentes internos das fontes de alimentação. Todas as fontes foram substituídas e levadas para uma oficina credenciada junto à CEMIG D, onde foi constatado que a recuperação das fontes era inviável, sendo mais compensador economicamente substituí-las por outras.

Devido à severidade do impulso aplicado nos dois ensaios, os principais componentes das fontes de alimentação danificadas foram: fusíveis, isolamento dos fios do transformador, comprometimento das trilhas, etc..

Foram realizados também dois ensaios em microcomputadores com DPS, visando atestar a eficiência destes como dispositivos mitigadores. Pois bem, da mesma forma que nos testes com estabilizador, os dispositivos operaram adequadamente, protegendo as fontes de alimentação dos microcomputadores.

3.8 – Outros ensaios - condições não ideais de suprimento

Além dos ensaios destrutivos já descritos, os microcomputadores/estabilizadores também foram submetidos aos distúrbios de variações de tensão de curta duração (VTCD), interrupções, transitórios, variações de tensão em regime permanente [6, 7, 12].

Esses testes basicamente foram realizados para se avaliar os seguintes aspectos:

- Os espectros harmônicos da corrente de alimentação com ênfase nas harmônicas de 3ª e 5ª ordem;
- Oscilogramas das tensões e correntes para um DHT de 20% da tensão fundamental;
- Flutuações de tensão responsável por um indicador de cintilação luminosa (Pst);

- Afundamento de tensão de curta duração para 60% da tensão nominal com duração de 10 ciclos;
- Interrupção de tensão por 10 ciclos;
- Elevação de tensão temporária para 120% da tensão nominal, com duração de 10 ciclos;
- Transitórios oscilatórios.

Os resultados desses testes contribuíram apenas para verificação da sensibilidade do equipamento e para os testes de modelagem, pois não houve superação do limite da suportabilidade física. Portanto a partir do resultado destes testes não foram obtidos pontos da curva de suportabilidade do microcomputador, motivo pelo qual estes não foram apresentados nesta dissertação.

3.9 – Curvas de suportabilidade dielétrica e térmica para microcomputadores, com e sem estabilizadores

A partir dos ensaios destrutivos realizados, de sobretensão na frequência industrial, sobretensão de MT nos circuitos de BT e tensão verificada nos ensaios de impulso de corrente, foram traçadas as curvas de suportabilidade, conforme metodologia proposta por esta dissertação.

Ao todo foram realizados 16 ensaios, sem considerar os ensaios em vazio (ensaios de sobretenção da MT na BT), visando à obtenção das curvas de suportabilidade de microcomputadores/estabilizadores, bem como testes de performance nos dispositivos DPS para quadro de distribuição e para tomadas.

3.9.1 – Curvas de suportabilidade dielétrica

De acordo com os testes realizados e descritos nos itens 3.5 e 3.6, os valores de tensão e de tempo (s) para a obtenção da suportabilidade dielétrica dos microcomputadores/estabilizadores contemplados nesta dissertação foram sintetizados na tabela 3.7.

Microcomputador	Tensão (V)	Duração t(s)
Sem estabilizador	396	4,8s
Com estabilizador	440	0,5s
Com estabilizador	2000	0,12s
Com estabilizador	1600	0,25s

Tabela 3.7 – Suportabilidade dielétrica - Síntese dos resultados dos testes dos itens 3.5 e 3.6.

Visando construir a curva de suportabilidade dielétrica dos microcomputadores/estabilizadores (figura 3.2 - região 1) foram realizados ensaios de transitório impulsivo de corrente, com características similares às descargas atmosféricas. Os valores de tensão registrados e tempo (μ s) obtidos para os ensaios estão descritos no item 3.7 e sintetizados na tabela 3.8.

Microcomputador	Tensão (V)	Duração t(μs)
Com estabilizador 1	4350	15,38
Com estabilizador 2	3750	15,00
Com estabilizador 3	4342	18,00
Sem estabilizador 4	3747	12,67
Sem estabilizador 5	4939	16,00

Tabela 3.8 – Suportabilidade dielétrica - Síntese dos resultados dos testes do item 3.7.

Com base nos dados apresentados nas tabelas 3.7 e 3.8, na sequência, são traçadas as curvas de suportabilidade dielétrica para microcomputadores sem e com estabilizador, figuras 3.44 e 3.45.

a) Microcomputador sem estabilizador

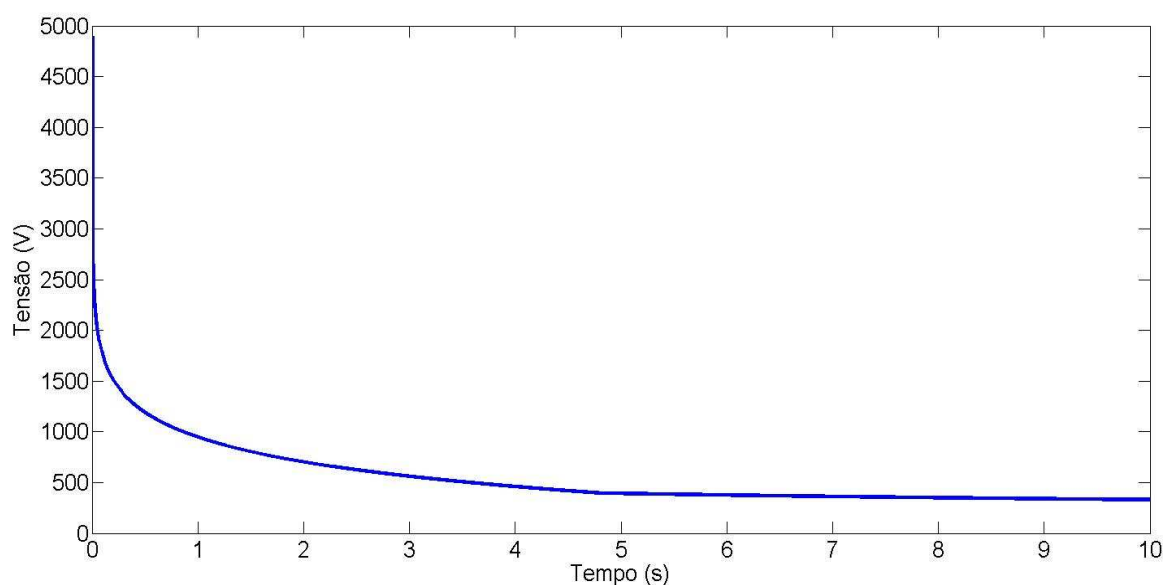


Figura 3.44 – Curva de Suportabilidade dielétrica do micro sem estabilizador.

b) Microcomputador com estabilizador

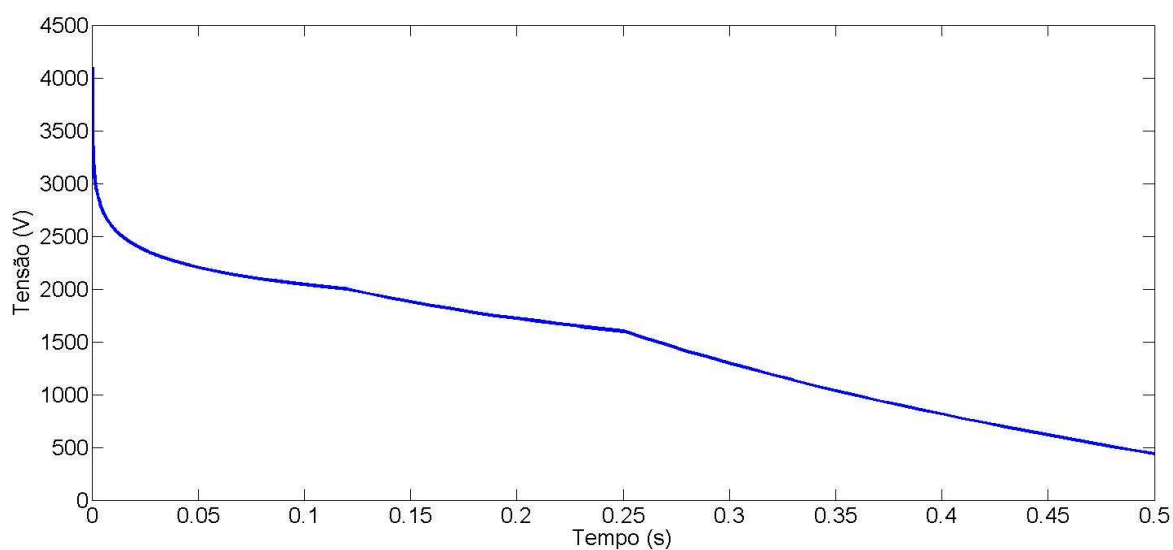


Figura 3.45 – Curva de Suportabilidade dielétrica do micro com estabilizador.

3.9.2 – Curvas de suportabilidade térmica

A partir dos testes destrutivos realizados e descritos nos item 3.7 obtém-se o tempo (t) de ocorrência de dano no equipamento, e conforme metodologia citada no item 3.2(b) calcula-se a máxima energia admissível dissipada pelos componentes internos do equipamento (integral de Joule), sendo os dados sintetizados nas tabelas 3.9 e 3.10.

Micro	Duração t(μs)	Energia J(A²·s)	Corrente (A)
Com estab. 01	15,38	100,13	2914
Com estab. 02	15,0	108,52	3276
Com estab. 03	18,0	120,15	3276

Tabela 3.9 – Suportabilidade térmica - Síntese dos resultados dos testes do item 3.7 (com estabilizador).

Micro	Duração t(μs)	Energia J(A²·s)	Corrente (A)
Sem estab. 04	12,67	73,11	2952
Sem estab. 05	16,0	73,42	2714

Tabela 3.10 – Suportabilidade térmica - Síntese dos resultados dos testes do item 3.7 (sem estabilizador).

Conforme mencionado, utilizando-se a equação (3) e a energia máxima admissível pelo equipamento indicado nas tabelas 3.9 e 3.10, foram traçadas as curvas de suportabilidade térmica para cada microcomputador/estabilizador.

3.9.2.1 – Curvas de suportabilidade térmica – Microcomputador com estabilizador

As curvas de suportabilidade térmica dos microcomputadores/estabilizadores são obtidas a partir do conceito de integral de Joule. De posse das curvas de corrente elétrica em função do tempo, conforme item 3.7, é feita a integração da função (I^2t) desde a aplicação do distúrbio até o momento em que ocorreu o dano no equipamento, obtendo-se a energia dissipada máxima admitida para cada equipamento submetido ao ensaio.

Obtido o valor da energia máxima admissível conforme metodologia já citada, para cada instante de tempo obtem-se o valor da máxima corrente, e com isto identificam-se os pontos da curva de suportabilidade térmica.

a) Microcomputador com estabilizador – ensaio 01

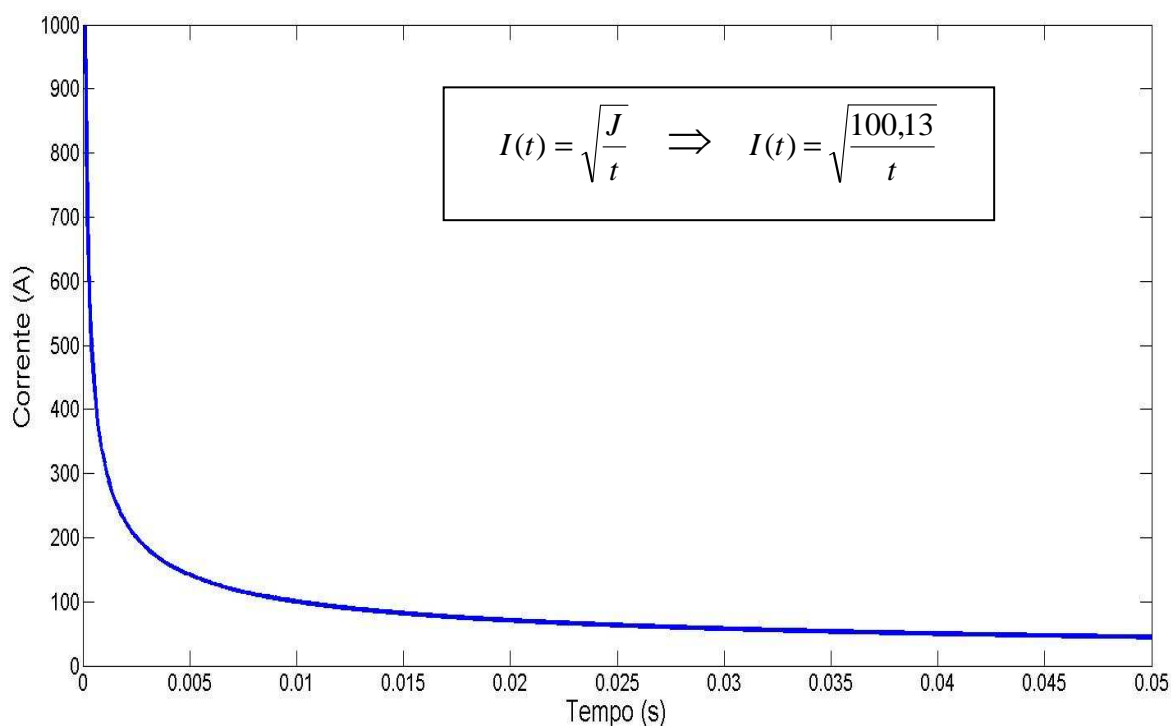


Figura 3.46 – Ensaio 1 - Curva de Suportabilidade térmica - Micro c/ estabilizador.

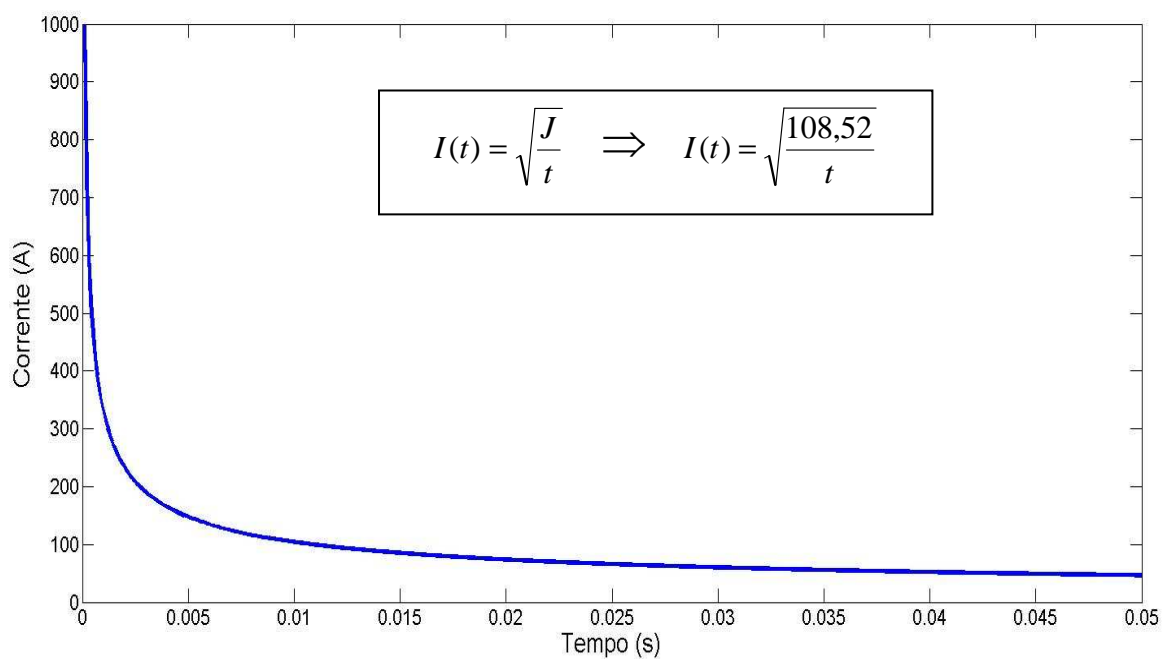
b) Microcomputador com estabilizador – ensaio 02

Figura 3.47 – Ensaio 2 - Curva de Suportabilidade térmica - Micro c/ estabilizador.

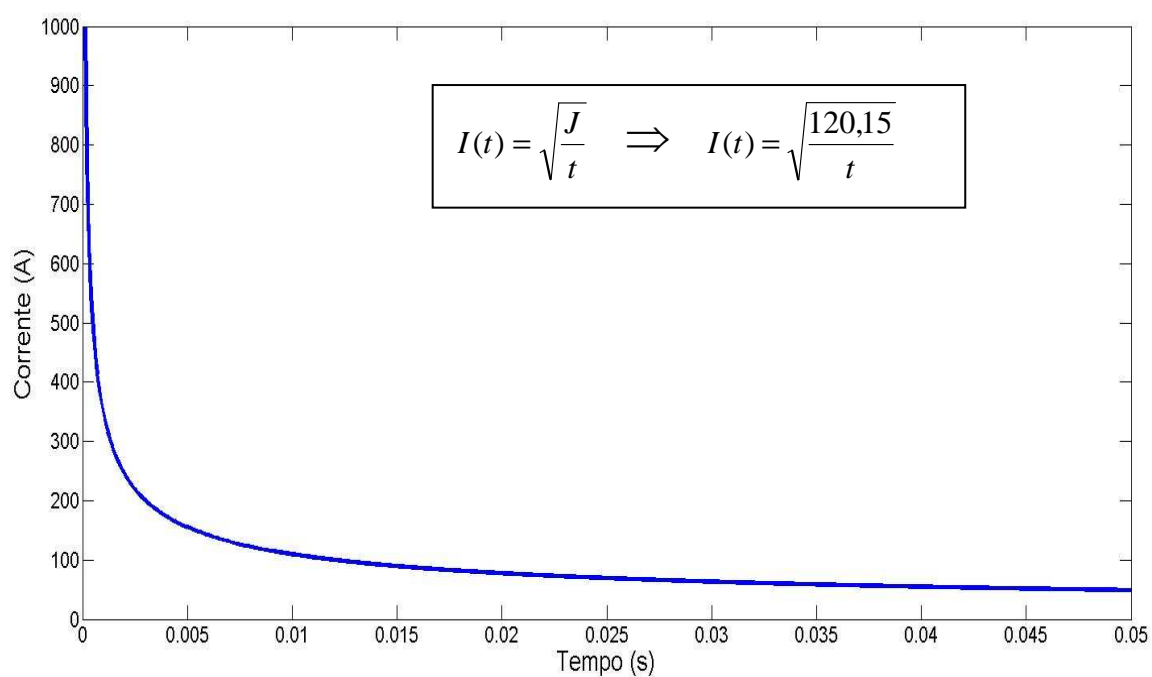
c) Microcomputador com estabilizador – ensaios 03

Figura 3.48 – Ensaio 3 - Curva de Suportabilidade térmica- Micro c/ estabilizador.

3.9.2.2 – Curvas de suportabilidade térmica - Microcomputador sem estabilizador

Da mesma forma que o subitem anterior, após obtido o valor da energia máxima admissível, para cada instante de tempo tem-se o valor da máxima corrente, e com isto identificam-se os pontos da curva de suportabilidade térmica para cada microcomputador submetido aos ensaios destrutivos.

d) Microcomputador sem estabilizador – ensaio 04

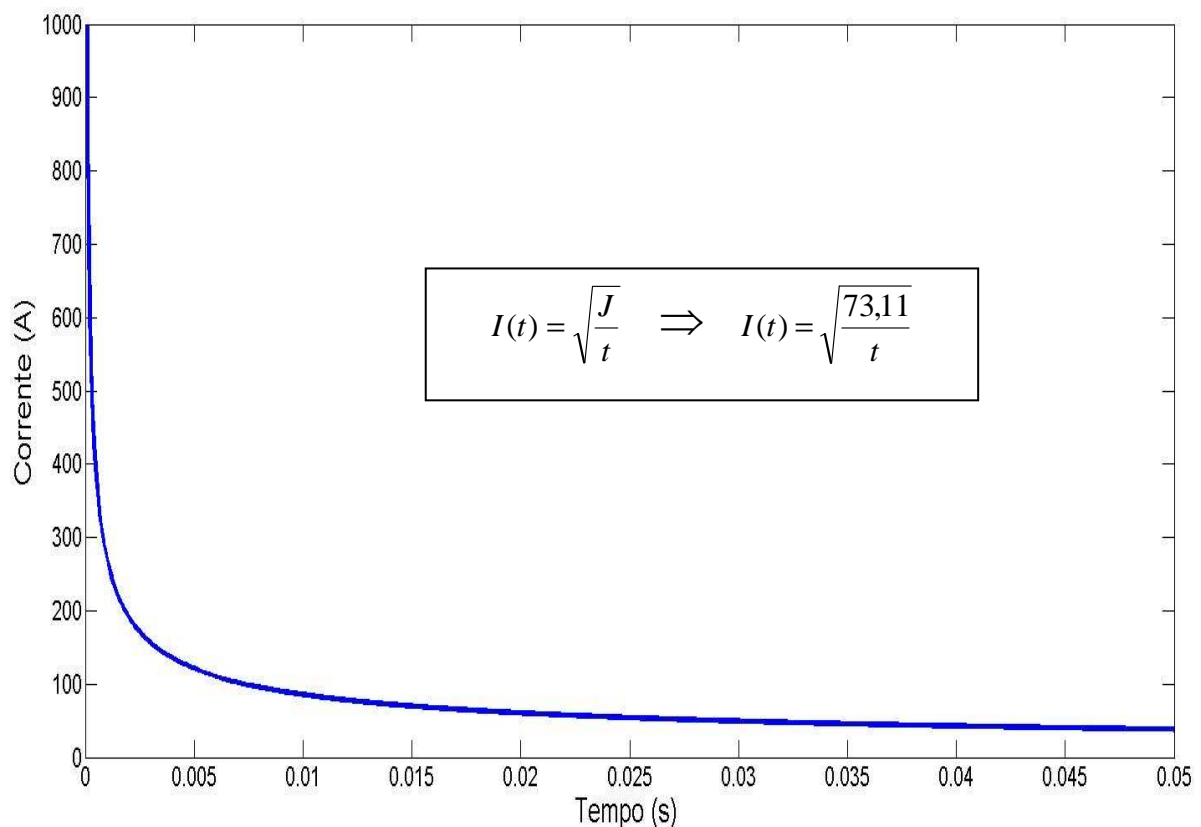


Figura 3.49 – Ensaio 4 - Curva de Suportabilidade térmica- Micro sem estabilizador.

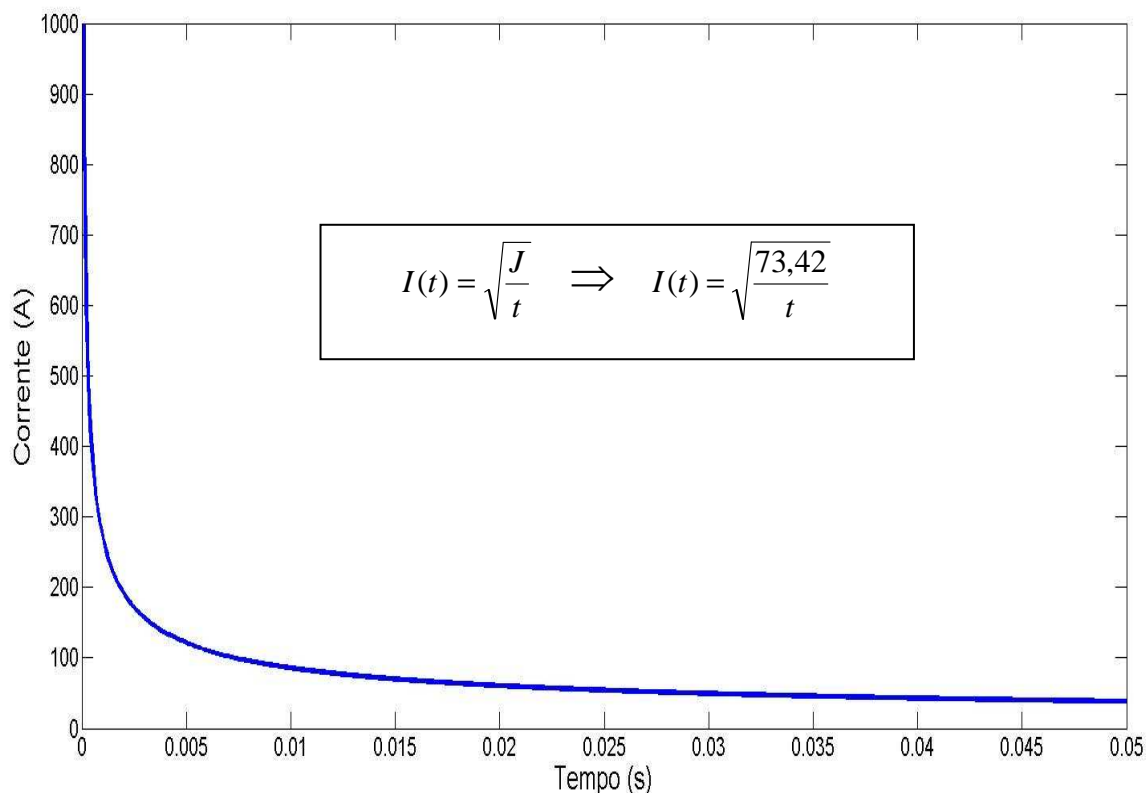
e) Microcomputador sem estabilizador – ensaio 05

Figura 3.50 – Ensaio 5 - Curva de Suportabilidade térmica - Micro sem estabilizador.

Conforme descrito nas tabelas e curvas acima descritas, nota-se que:

- No ensaio número 1 de microcomputadores com estabilizador obteve-se a curva do equipamento que apresentou a menor energia dissipada admissível (I^2t). Adotou-se, portanto este para construir a curva de suportabilidade térmica.
- No ensaio número 5 dos microcomputadores sem estabilizador obteve-se a curva do equipamento com a menor energia dissipada admitida admissível (I^2t). Adotou-se, portanto este para a construção da curva de suportabilidade térmica.

- As citadas curvas foram incluídas na nova versão do APR – 3.0, como curvas CEMIG.

3.10 – Considerações finais

Neste capítulo foram construídas as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica de microcomputadores com e sem estabilizadores, bem como foi testada a performance dos dispositivos mitigadores, que se destacam entre as maiores contribuições desta dissertação.

As curvas referentes às solicitações térmicas e dielétricas obtidas através de metodologia citada nesta dissertação [6,13], permitem confrontar o impacto, nos microcomputadores/estabilizadores, dos distúrbios no sistema elétrico, com as curvas de suportabilidade construídas, visando verificar a possibilidade de danos físicos nos equipamentos.

A seguir faz-se o resumo dos ensaios realizados e as principais conclusões obtidas.

Os resultados apresentados anteriormente nos itens 3.5 e 3.6, são relativos aos ensaios laboratoriais realizados, no Laboratório de Ensaio Elétricos da Universidade Federal de Uberlândia.

Na primeira etapa dos testes, onde foram aplicadas sobretensões de 1,8 a 2 pu, foi verificado que nos microcomputadores sem estabilizador houve danos às fontes de alimentação, tendo como principais componentes danificados os capacitores e diodos.

Na segunda etapa dos testes simulando a queda de cabos da média tensão na baixa tensão, mesmo com os tempos de aplicação dos distúrbios com duração

bem menor (milisegundos), os níveis de sobretensão aplicados foram bem mais elevados danificando os estabilizadores e neste caso ocorreram danos em diversos componentes, tais como: fusíveis, trilhas das placas de CI e fiação interna.

Quando foram utilizados os dispositivos de proteção de surto - DPS nos ensaios de curto-circuito MT/BT houve a atuação destes sem que os equipamentos fossem danificados.

Os resultados apresentados anteriormente no item 3.7 são relativos aos ensaios laboratoriais realizados, no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), entre os dias 13 e 15 de outubro de 2010. Foram realizados ao todo 10 ensaios, através da aplicação de impulsos de corrente em microcomputadores com e sem estabilizador e com e sem DPS, com o intuito de se obter pontos representativos da curva de suportabilidade dos equipamentos ensaiados. Os dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS) foram utilizados com o objetivo de se avaliar o seu desempenho e a eficácia da sua resposta face aos eventos de impulso de corrente.

A partir dos ensaios de impulso de corrente foram obtidas as seguintes conclusões:

- ***Quanto aos ensaios de impulso de corrente:*** Por meio da aplicação de formas de onda de corrente padronizadas (8/20 μ s), foi possível notar que, assim como nos primeiros testes, nos casos em que resultaram na queima dos equipamentos, embora o fusível fosse o componente mais danificado, em diversos testes houve também a queima de diversos componentes internos das fontes ou estabilizadores, devido à severidade dos distúrbios aplicados;
- ***Quanto aos ensaios nos microcomputadores:*** nos ensaios realizados nos microcomputadores que foram alimentados a partir do estabilizador de tensão, houve a danificação apenas deste, sendo

que o microcomputador não sofreu nenhum dano. Já nos ensaios realizados sem a presença do estabilizador, houve a danificação apenas da fonte de alimentação do microcomputador;

- ***Nos ensaios com dispositivos de proteção (DPS):*** Durante a aplicação de impulsos de corrente nestes dispositivos, observou-se o comportamento adequado dos mesmos, conforme as informações do catálogo do fabricante. Quando da sua aplicação concomitantemente com os microcomputadores/estabilizadores, nenhum dano ocorreu, comprovando a sua eficácia. Desta maneira, estes testes avaliativos confirmam a importância de instalar dispositivos de proteção contra surtos elétricos nas unidades consumidoras.

Nos ensaios realizados em que as fontes ou estabilizadores foram danificados, não foi viável a recuperação dos componentes internos face ao custo de reposição destes, sobretudo a mão de obra, quando comparados com a aquisição de fontes/estabilizadores novos. Mesmo assim foi feito um levantamento de custos junto à empresa credenciada da CEMIG D que recebeu e analisou os componentes danificados dos equipamentos danificados submetidos aos testes destrutivos. Caso fossem recuperados os principais componentes danificados, os custos envolvidos seriam:

- Valor do fusível: R\$ 0,50
- Valor médio do capacitor interno: R\$ 2,00
- Valor médio de um varistor: R\$ 5,00
- Valor médio de um transformador interno: R\$ 20,00
- Valor de uma placa de CI: R\$ 10,00
- Valor da mão de obra para reparo: de R\$ 45,00 à R\$ 60,00

Em nenhum dos ensaios realizados foi constatado qualquer dano nos componentes internos do microcomputador, com exceção da fonte de alimentação.

Os pontos de corrente, tensão e tempo obtidos nos testes destrutivos e conforme metodologia utilizada, descrita neste capítulo geraram curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de microcomputadores/estabilizadores que foram inseridas na nova versão do APR-3.0, conforme será detalhado no capítulo IV.

CAPÍTULO IV

Estudo de casos

4.1 – Considerações iniciais

Obtidas as curvas de suportabilidade a partir de ensaios destrutivos, o próximo passo foi a sua inclusão no aplicativo APR, cuja nova versão foi consolidada durante a realização dos trabalhos [10,11,12].

Com isto é possível uma maior agilização nas respostas aos PID's, através de uma análise técnica mais consolidada, visando identificar onexo causal entre os danos alegados pelos consumidores e os impactos dos distúrbios verificados no sistema elétrico. Entretanto na versão anterior do APR havia a necessidade de cadastramento manual do sistema elétrico.

Fez-se necessário a realização de estudos de casos reais para verificar a correta simulação/resposta de tais ocorrências no aplicativo APR.

Durante os ensaios destrutivos, detalhados no capítulo anterior, pode-se verificar a atuação dos dispositivos DPS na mitigação dos efeitos dos distúrbios nos micros/estabilizadores. Pois bem, após a inclusão e teste de tais dispositivos na nova versão do APR, fez-se simulações visando avaliar a sua resposta na atenuação dos efeitos dos distúrbios, nos equipamentos sob análise.

4.2 – Análises de pedidos de ressarcimento – APR

O APR é um aplicativo computacional dedicado a subsidiar a análise técnica das solicitações de ressarcimento de danos elétricos a equipamentos eletroeletrônicos, desenvolvido pela Universidade Federal de Uberlândia e que já recebeu contribuições da Companhia Energética de Brasília e da LIGHT Serviços de Eletricidade S.A e também da Companhia Energética de Minas Gerais [10, 11,12].

O aplicativo em pauta foi desenvolvido com o objetivo de disponibilizar uma interface orientativa e amigável, de maneira a facilitar o seu manuseio, utilizando como infraestrutura a consagrada plataforma ATP. A figura 4.1 apresenta, em síntese, a estrutura e as funções desempenhadas pelo programa. As contribuições do presente trabalho alteraram algumas etapas em que havia a necessidade de cadastramento de informações.

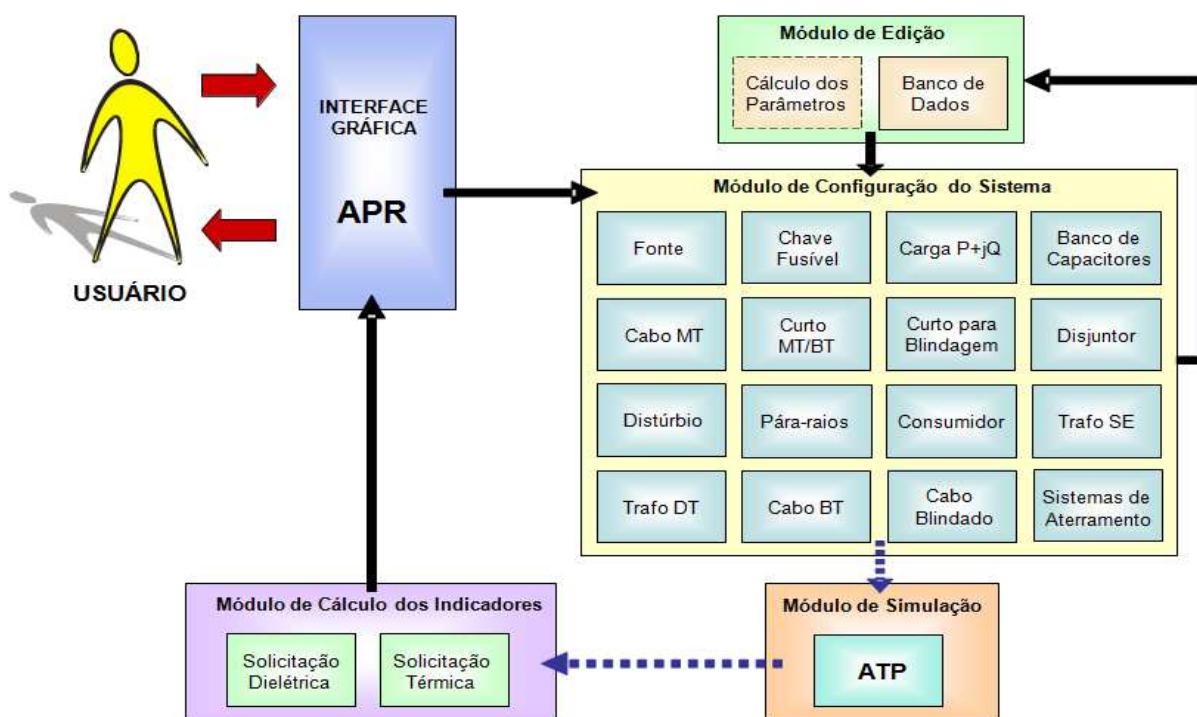


Figura 4.1 - Estrutura do aplicativo APR

As setas contínuas, na figura abaixo, representam ações diretas do operador através da interface gráfica. Por outro lado, as setas tracejadas indicam processos de comunicação interna entre os softwares APR e ATP.

Até então mesmo com as contribuições recebidas, havia a necessidade de cadastramento manual de todo o sistema elétrico à montante do ponto de instalação do cliente, ou seja, desde a SE até o padrão do cliente. Outro ponto que merece destaque é que o APR estava “carregado” com curvas de suportabilidade tradicionalmente conhecidas e utilizadas, mesmo com suas limitações conforme já mencionado anteriormente no início do capítulo 3.

A versão anterior do APR já incorpora a conexão a três pinos [8], que tem a vantagem de viabilizar estudos que possam envolver fenômenos ocorridos entre os pontos de neutro e terra.

As atividades realizadas no atual trabalho resultaram em uma nova versão do APR, designado APR-3.0, no qual foram incorporados os desenvolvimentos feitos neste trabalho, tais como:

- Levantamento e inserção das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica, obtidas a partir de ensaios destrutivos e da metodologia proposta, constante no capítulo 3;
- Implementação de varistores e dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS).

A apresentação da nova versão do aplicativo APR-3.0, passa a incluir todas as alterações e inovações adquiridas durante o desenvolvimento deste projeto, bem como a verificação da sua consistência através da simulação e análise de estudos de casos reais de ressarcimento de danos.

A figura 4.2 ilustra o campo para a escolha dos equipamentos envolvidos nas solicitações de ressarcimento, com e sem DPS, visando à análise da

suportabilidade térmica e dielétrica, cujas curvas foram inseridas no aplicativo APR - 3.0.

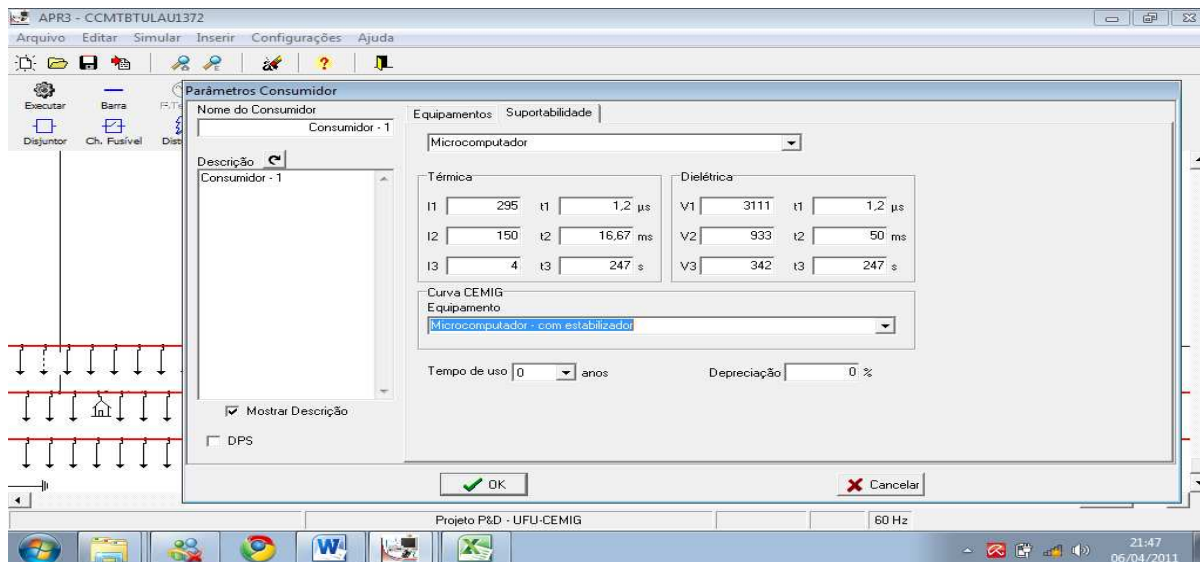


Figura 4.2 – Inserção dos dados do equipamento sob análise no APR.

Na figura 4.3 a curva vermelha representa a curva de solicitação térmica imposta ao equipamento em análise mediante a aplicação do distúrbio, sendo que a curva azul representa a curva de suportabilidade térmica do equipamento obtida a partir da metodologia estabelecida e dos ensaios destrutivos realizados.

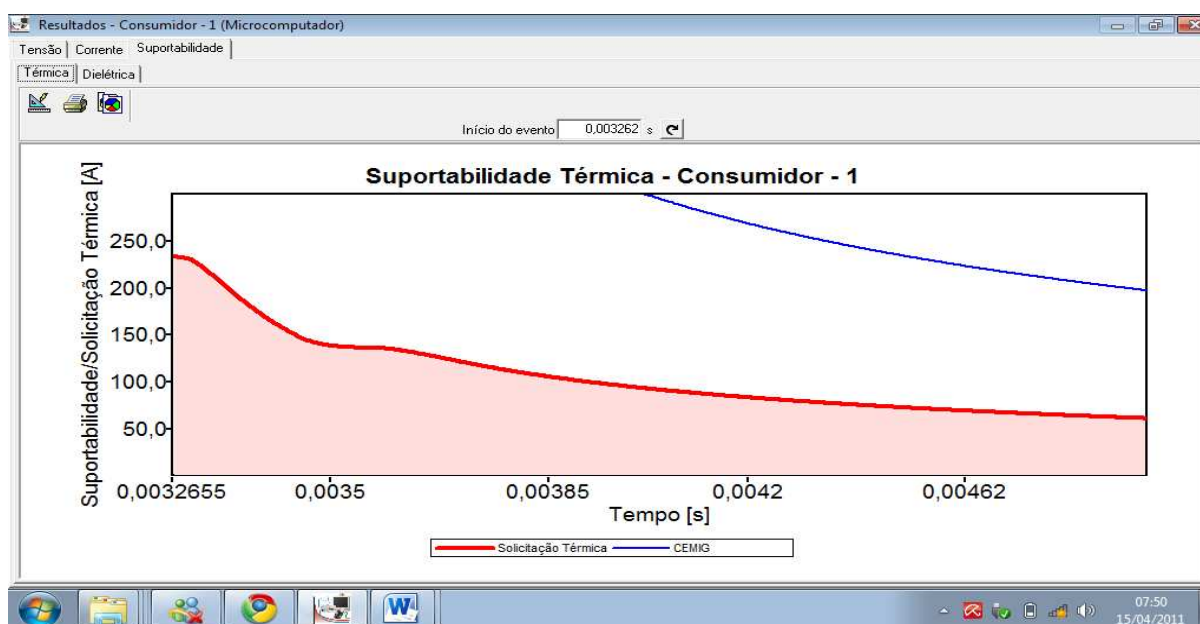


Figura 4.3 – Modelo de curva de suportabilidade térmica do APR.

4.3 – Análises de um caso de pedido de ressarcimento – versão anterior do APR

Durante o desenvolvimento dos trabalhos decidiu-se pela necessidade de elaboração de estudo de casos para testar a eficiência das melhorias que haviam sido implementadas até então no APR.

O caso sob análise corresponde a uma solicitação de ressarcimento por danos causados a um microcomputador associado a uma descarga atmosférica no alimentador que atende ao cliente. A figura 4.4 mostra a representação, no aplicativo APR, do diagrama unifilar da rede de distribuição correspondente ao sistema elétrico de suprimento ao consumidor reclamante.

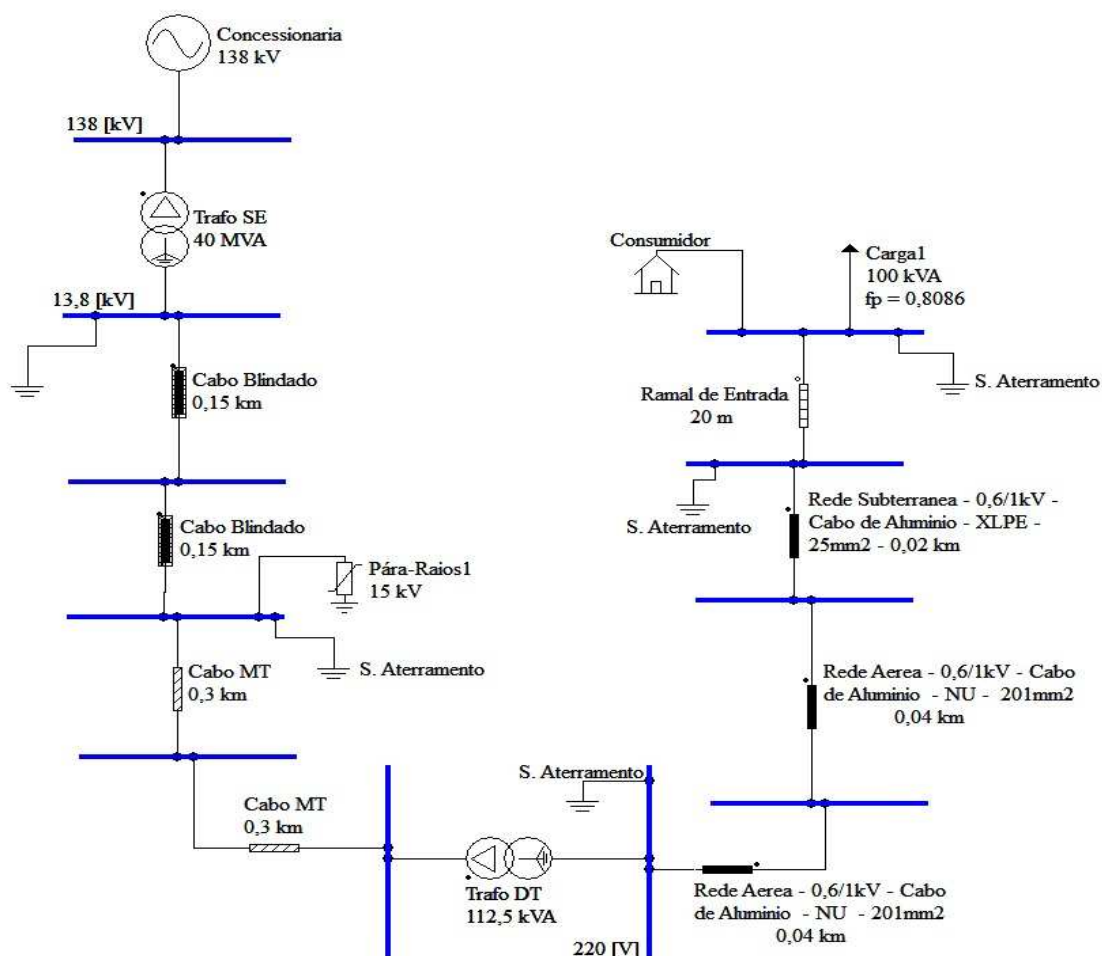


Figura 4.4 – Representação de rede de distribuição - Versão anterior do APR.

Durante o processo de cadastramento manual no APR dos dados do sistema elétrico desde a SE até o ramal do consumidor, deparou-se com algumas dificuldades:

- Dificuldade na obtenção dos dados necessários para os diversos componentes do sistema elétrico, dados estes nem sempre disponíveis nos bancos de dados georeferenciados das concessionárias;
- Necessidade de muito tempo para a inclusão, no APR, dos dados levantados nos sistemas georeferenciados das concessionárias, sendo que no caso em questão, foram necessários quase três dias para o cadastramento de um único alimentador;
- O sistema elétrico é muito dinâmico, ou seja, um cadastramento de alimentador no APR tem que ser revisto periodicamente, em função de manobras e frequentes alterações nas configurações dos alimentadores;
- Então como fazer para agilizar o processo, haja vista a limitação de mão de obra interna e a grande/crescente quantidade de solicitações de ressarcimento?

4.4 – Estudos de caso utilizando a nova versão do APR – 3.0

Diante do problema identificado partiu-se então para o desenvolvimento de uma interface entre o banco de dados georeferenciados da concessionária e o APR, de modo a possibilitar a importação dos dados do sistema elétrico desde a SE até a unidade consumidora (inclusive as fases da ligação), a partir de relatórios específicos gerados pelos sistemas corporativos, sempre que for necessário, sem a necessidade de digitação de tais dados no APR.

Com isto obteve-se a vantagem de ganho de tempo e confiabilidade das informações conforme configuração atual de cada alimentador, mas criou-se a dificuldade de visualização no APR do diagrama unifilar haja vista a grande quantidade de barras e dados que são importados para o citado aplicativo, o que não representa um empecilho para a utilização do sistema.

Para os estudos de caso foram escolhidas solicitações de ressarcimento de danos envolvendo consumidores residenciais, julgadas procedentes pela CEMIG D, conforme critérios de análise atualmente utilizados na empresa. Visando preservar a confidencialidade das informações, conforme política da empresa, alguns dados referentes aos citados casos foram preservados.

Foram analisados três casos e realizadas 5 simulações, conforme relacionando nos itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3, considerando os seguintes aspectos:

- Utilização de dados georeferenciados referentes ao sistema elétrico de suprimento desde a Subestação até consumidor, envolvendo: alimentadores, barras, cabos, chaves, transformadores, etc..., além dos dados cadastrais referentes ao consumidor;
- Aplicação dos distúrbios no sistema elétrico identificados na ocasião em que foram feitas as solicitações de ressarcimento de danos, com investigação do ponto mais provável em que tais distúrbios ocorreram, sempre com o viés mais favorável ao consumidor, a partir das informações colhidas na ocasião em que os fatos alegados ocorreram;
- Os casos simulados envolveram microcomputadores, com e sem estabilizadores, conforme informações dos clientes e em nenhum caso nas instalações envolvidas havia DPS;
- Utilização do APR, de forma a obter a correlação entre os esforços térmicos e dielétricos aplicados aos microcomputadores, com os

limites de suportabilidade obtidos através das curvas CEMIG obtidas, conforme descrito no capítulo 3;

- Em dois casos estudados foi simulada a utilização dos dispositivos DPS, visando avaliar a sua performance como dispositivos mitigadores;
- Escolha de alimentadores e de subestações diferentes, com dois tipos de distúrbios (descarga atmosférica e curto MT/BT) que estão relacionados entre as causas primárias com maior incidência de solicitações de ressarcimento;
- Distúrbios lançados em pontos diferentes do sistema elétrico, a partir das informações obtidas na ocasião da ocorrência e visando resguardar os interesses dos clientes;
- Situações divergentes considerando o resultado dos ensaios e a decisão da concessionária na ocasião em que os fatos ocorreram.

4.4.1 – Estudo de Caso I: Microcomputador sem estabilizador – descarga atmosférica na estrutura do transformador

O primeiro caso estudado tem como características principais o que está descrito na tabela 4.1 abaixo:

DATA DA SOLICITAÇÃO	ALIMENTADOR	LOGRADOURO	CAUSA	EQUIPAMENTO DANIFICADO	COMPONENTE	PROCEDENTE	VALOR
Mar/10	ULAS606	ENG.AZELI XXX	DESC.ATM.	MICRO	FONTE DE ALIMENTAÇÃO	SIM	R\$ 100,00

Tabela 4.1 – Resumo de dados da ocorrência – Estudo de caso I.

Os dados descritos acima foram obtidos no banco de dados da concessionária, sendo que a causa descarga atmosférica foi confirmada em função de registro no SLT (Sistema Localizador de Tempestade) da concessionária. Verificou-se também a abertura do elo fusível da fase A da chave fusível do transformador de onde deriva a rede secundária que atende ao consumidor.

Conforme critérios adotados pela concessionária, a solicitação foi analisada e o pedido de ressarcimento foi considerado procedente, gerando a indenização pleiteada pelo consumidor. Conforme procedimento padronizado pela concessionária o cliente foi direcionado para uma relação de oficinas credenciadas.

Após a obtenção dos dados, foi feita a simulação computacional para a avaliação da solicitação utilizando o APR-3.0, envolvendo as seguintes etapas:

a) Configuração de Dados do Sistema Elétrico

Os dados para o caso em questão foram importados do sistema de cadastro de redes georeferenciado da concessionária diretamente para o APR-3.0, desde a SE até a unidade consumidora (incluindo as fases da ligação), visando evitar simplificações ou resumos que pudessem comprometer as reais características do sistema elétrico. O detalhamento desta importação de dados não será objeto deste trabalho.

Não foram gerados diagramas unifilares dos alimentadores, em função da grande quantidade de barras geradas, conforme resumo mostrado na Figura 4.5, obtida diretamente do APR para o alimentador em questão. Mesmo existindo, um ícone para otimizar a quantidade de barras, o número final não permite a representação em um diagrama unifilar.

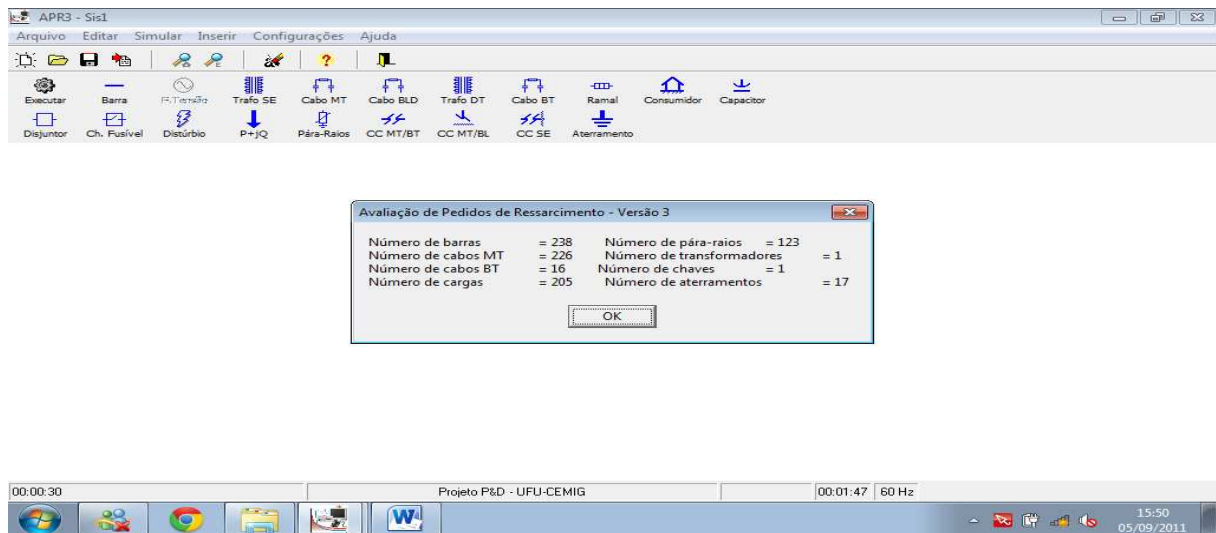


Figura 4.5 – Resumo dos dados do alimentador – Caso I.

b) Configuração de dados da Unidade Consumidora

Nas figuras 4.6 (a e b) estão representados os parâmetros da unidade consumidora, onde selecionamos o microcomputador sem estabilizador.

Há também a opção de incorporar estabilizador e DPS na instalação do consumidor.

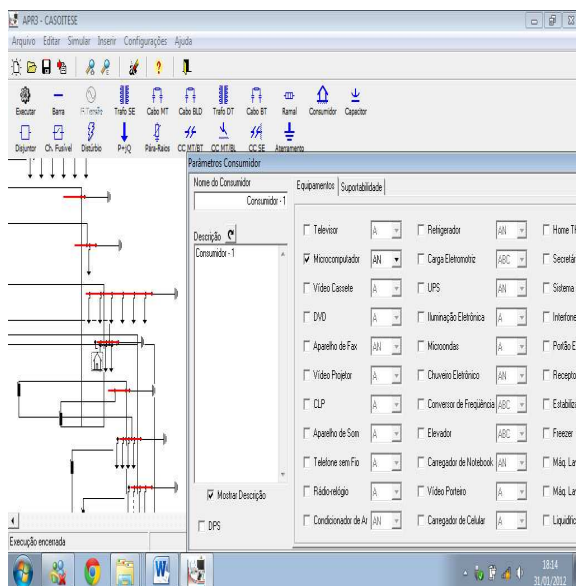


Figura 4.6 (a)

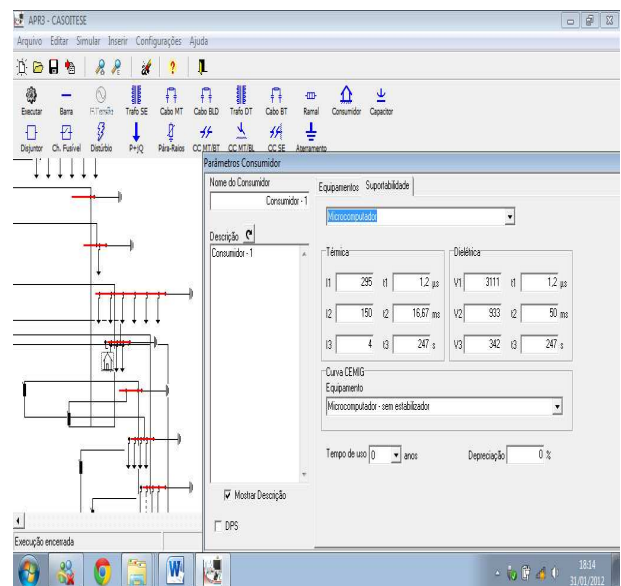


Figura 4.6 (b)

Figura 4. 6 – Parametros da instalação e do equipamento– Caso I.

c) Resultado Computacional antes da aplicação do distúrbio

Após a importação dos dados elétricos da rede do sistema georeferenciado da concessionária e a inclusão dos dados referentes ao cliente/equipamento sobre análise, é feita a simulação da operação do sistema sobre as condições normais, ou seja antes da aplicação do distúrbio para verificar se não existem erros no banco de dados da concessionária ou até mesmo no processo de importação, visando não comprometer o resultado da análise.

As figuras 4.7 e 4.8 representam respectivamente as formas de onda de tensão e corrente nos terminais de alimentação do microcomputador em análise, antes da aplicação do distúrbio.

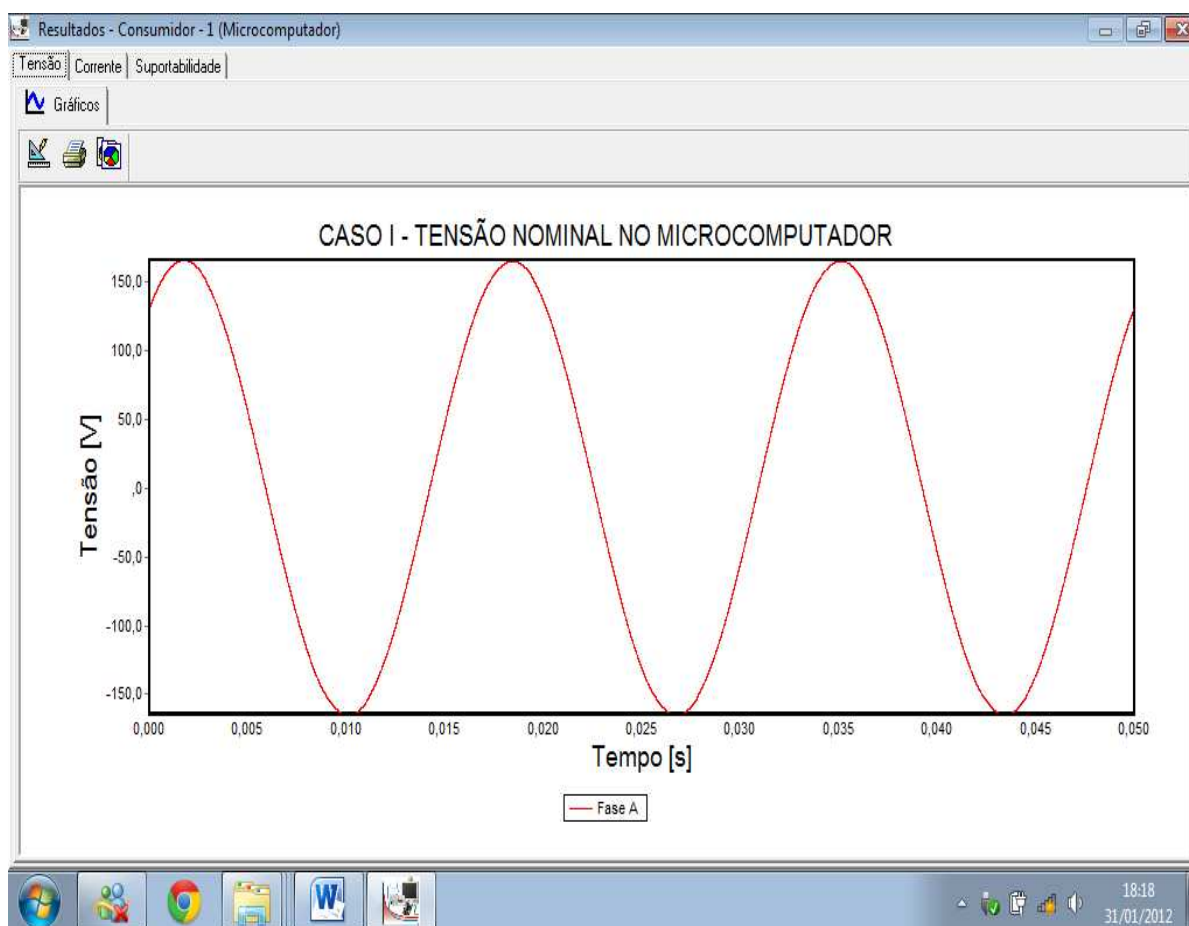


Figura 4.7 – Forma de onda da tensão no micro – Caso I (nominal).

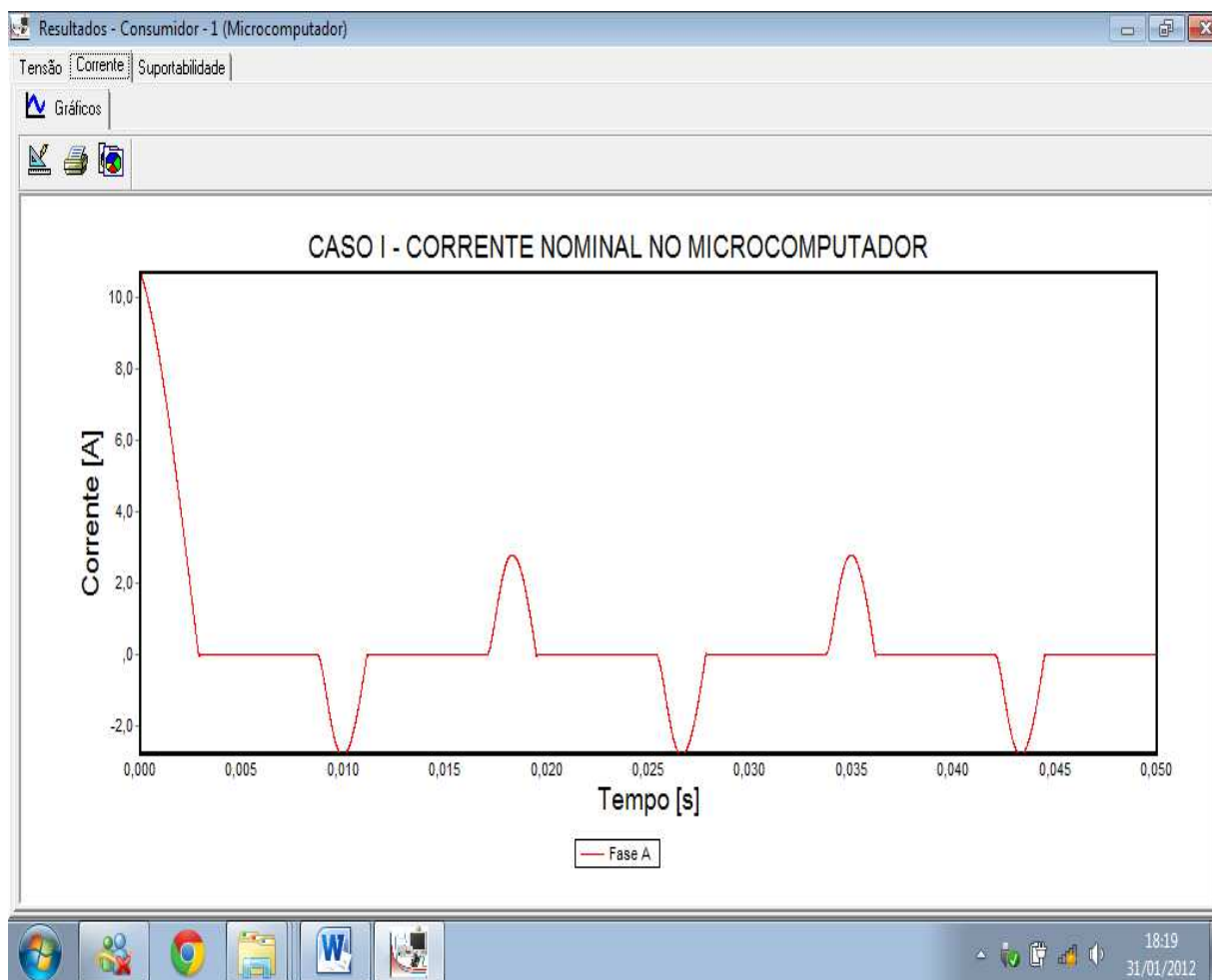


Figura 4.8 – Forma de onda da corrente do micro – Caso I (nominal).

d) Configuração do distúrbio no sistema elétrico

Muito embora não seja possível identificar com precisão o ponto em que ocorreu a descarga atmosférica, houve a atuação do elo fusível fase A do trafo. Com isto considerou-se que a descarga ocorreu na estrutura do transformador, visando resguardar os interesses do consumidor.

Na figura 4.9, estão representados os parâmetros da descarga atmosférica aplicada na estrutura do transformador neste estudo de caso.

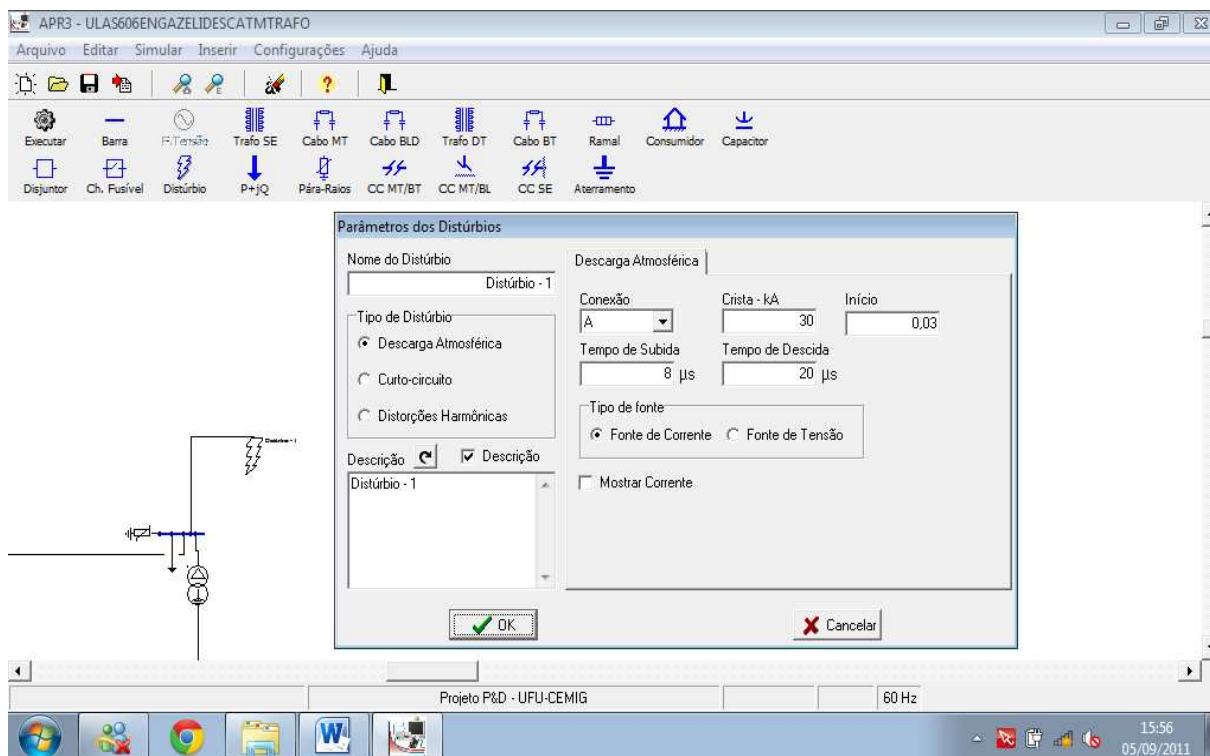


Figura 4.9 – Parametrização da descarga atmosférica aplicada- Caso I.

Considerou-se o valor de pico da corrente elétrica da descarga atmosférica de 30 KA, optando-se pela representação por meio de uma onda típica de surto de corrente ($8 \times 20 \mu s$), conforme critérios da concessionária.

e) Resultados Computacionais

i – Situação Real sem o DPS

No caso em questão o consumidor alegou que o micro estava ligado na tomada sem estabilizador e sem DPS e, portanto fez-se a simulação para esta condição.

Nas figuras 4.10 e 4.11 estão representadas respectivamente as formas de onda de tensão e corrente no ponto de conexão do microcomputador com a rede de distribuição durante a ocorrência do distúrbio.

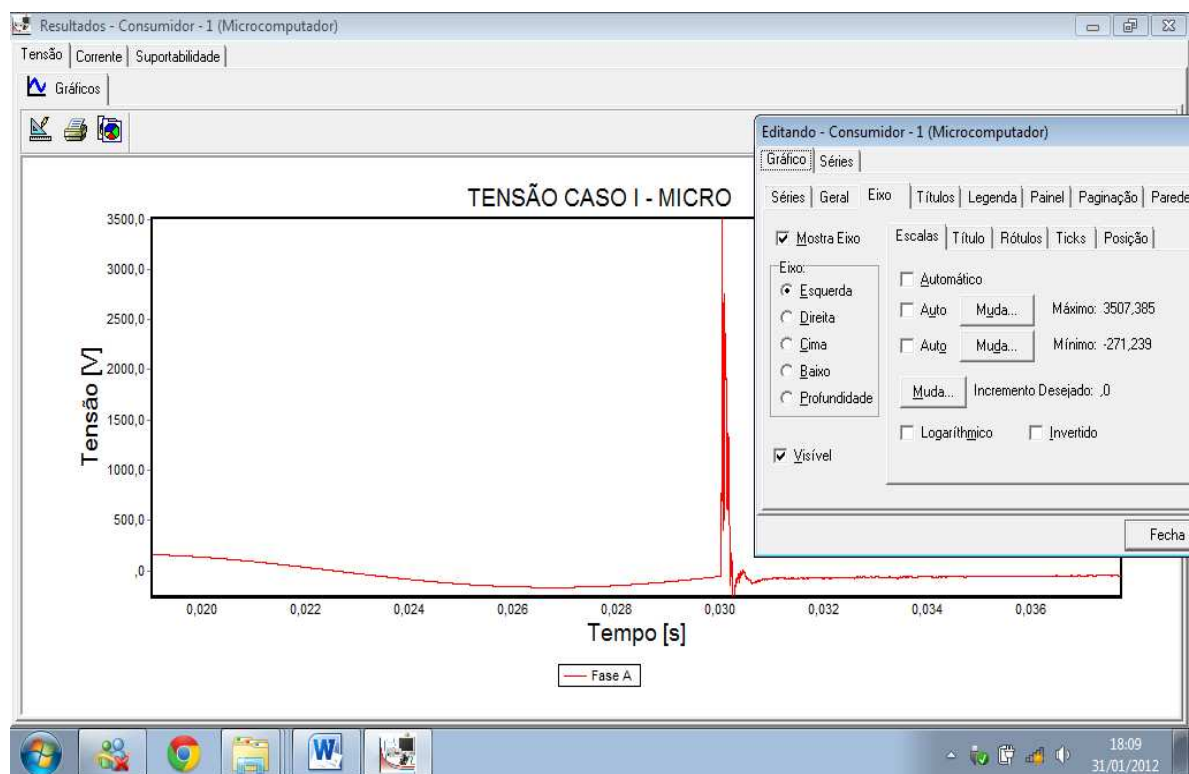


Figura 4.10 – Forma de onda da tensão – Caso I – Micro sem DPS.

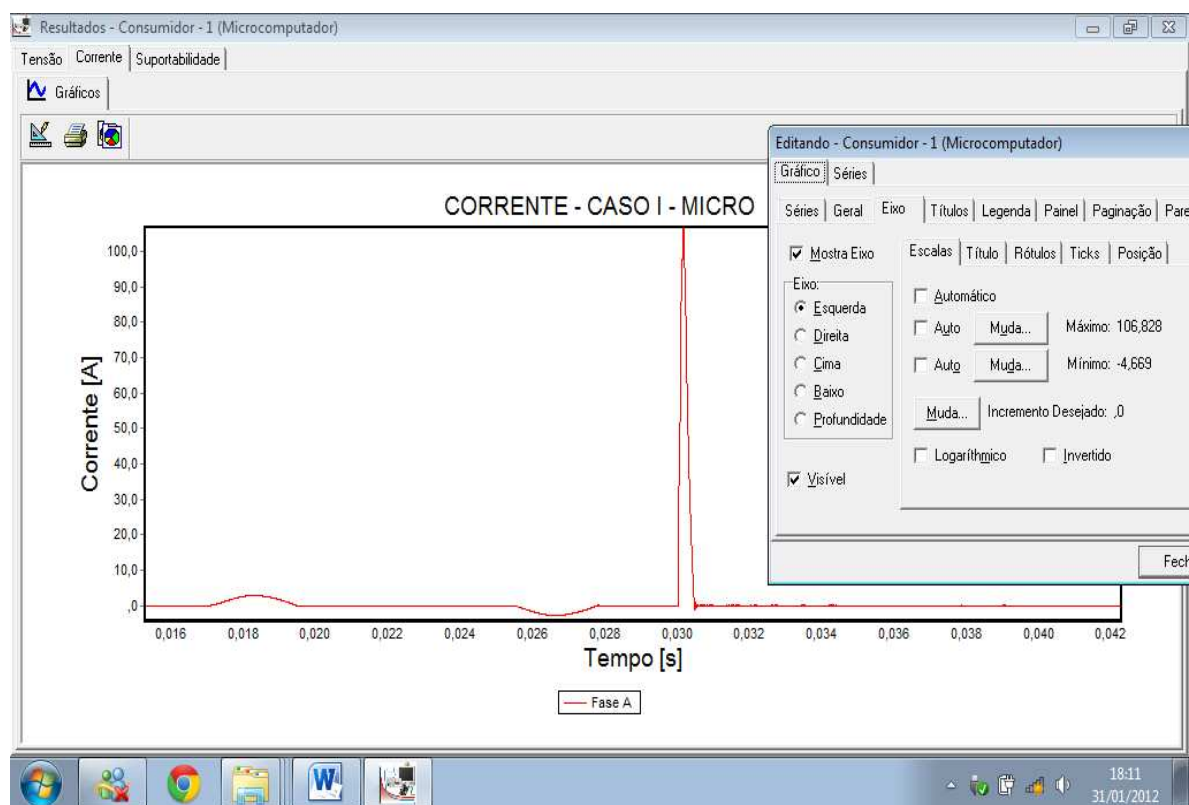


Figura 4.11 – Forma de onda da corrente – Caso I – Micro sem DPS.

Como resultado da mesma simulação foram geradas as curvas referentes às solicitações impostas pelo distúrbio e as suportabilidades dielétrica e térmica como pode ser visto nas figuras 4.12 e 4.13.

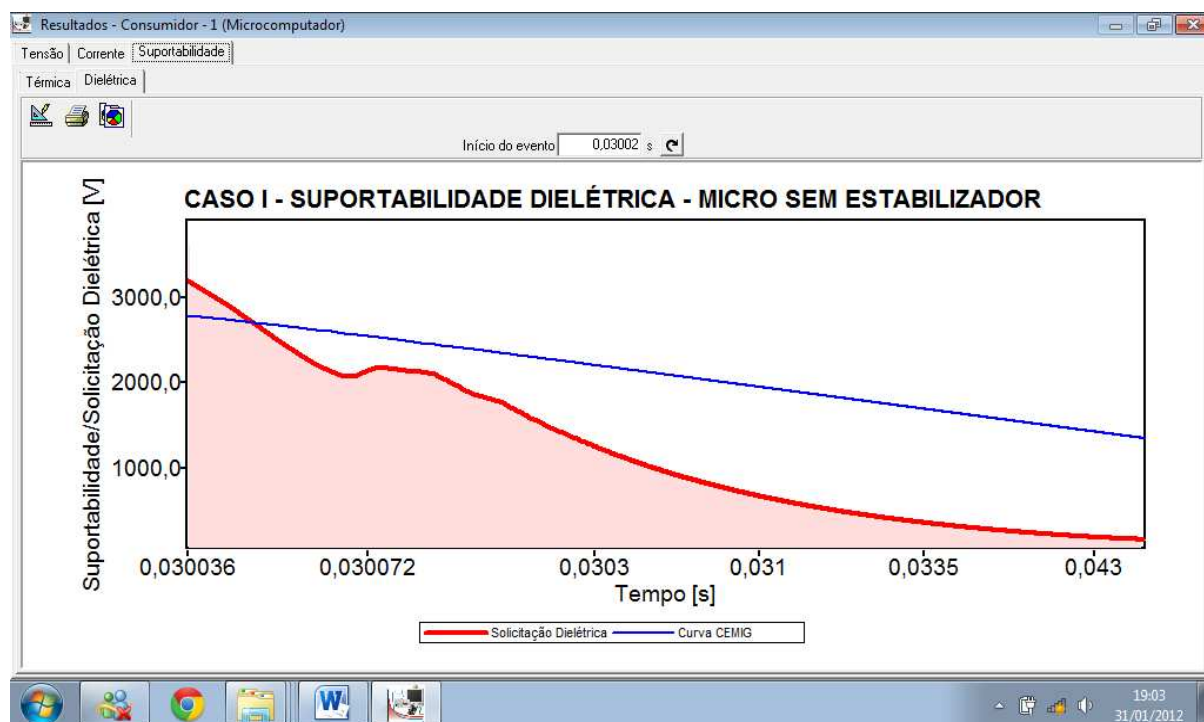


Figura 4.12 – Suportabilidade dielétrica - Caso I - Micro sem DPS.

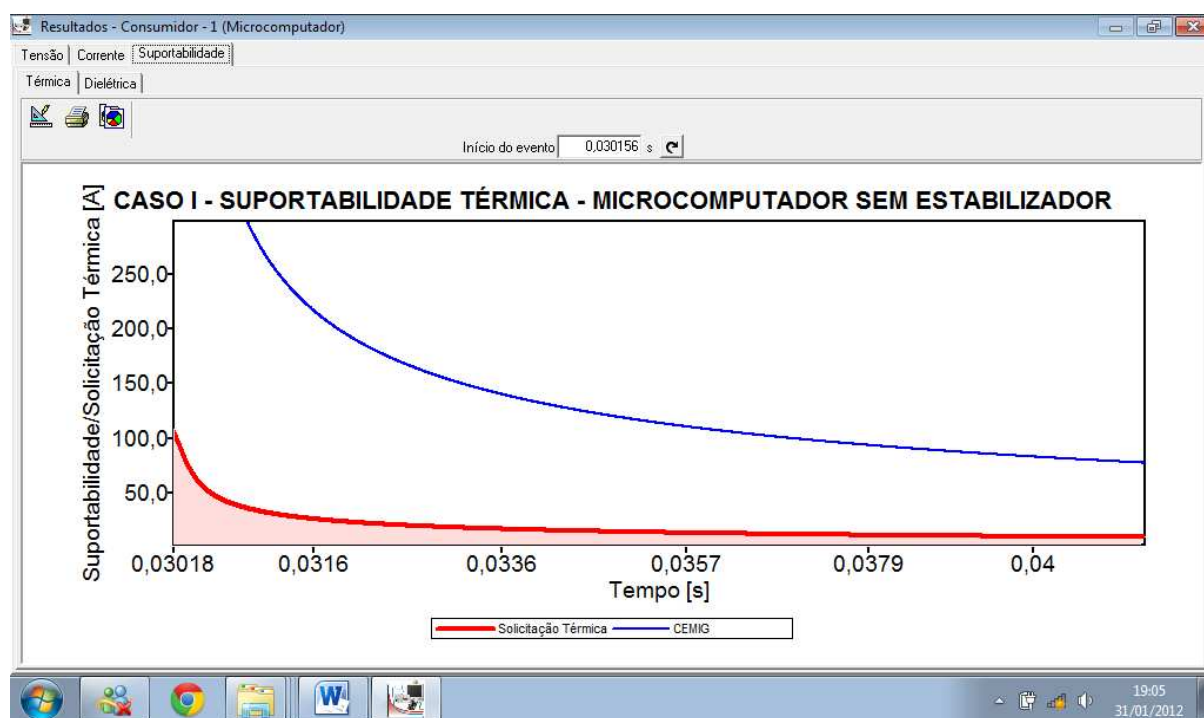


Figura 4.13 – Suportabilidade térmica - Caso I - Micro sem DPS.

Analisando as tabelas acima pode-se concluir que:

- **Suportabilidade dielétrica** : Imediatamente após a aplicação da descarga atmosférica no transformador, a solicitação dielétrica imposta pelo distúrbio ao microcomputador, foi superior à sua curva de suportabilidade, construída neste trabalho, ou seja o efeito do distúrbio no citado equipamento pode provocar danos físicos em seus componentes;
- **Suportabilidade térmica** : Em todo o período em que o distúrbio foi aplicado não ocorreu a violação dos níveis de suportabilidade térmica do equipamento, ou seja do ponto de vista térmico o distúrbio não provoca danos físicos aos componentes do equipamento em análise.

No caso em questão a decisão da concessionária de ressarcir os danos alegados pelo cliente na fonte de alimentação do microcomputador, foi acertada considerando a metodologia proposta por este trabalho, pois a solicitação dielétrica imposta em função da aplicação do distúrbio foi superior à suportabilidade dielétrica cuja curva foi construída neste trabalho.

A tensão aplicada nos terminais do equipamento atingiu o valor de pico de 3,6 kV e no caso da corrente o valor foi de 106 A.

ii– Situação com o DPS

Visando avaliar o caso em questão, se o consumidor tivesse instalado um DPS, fez-se a simulação a seguir considerando esta situação, com o objetivo de testar a ação de mitigação do dispositivo. A figura 4.14, ilustra a inclusão do DPS, nas instalações do consumidor.

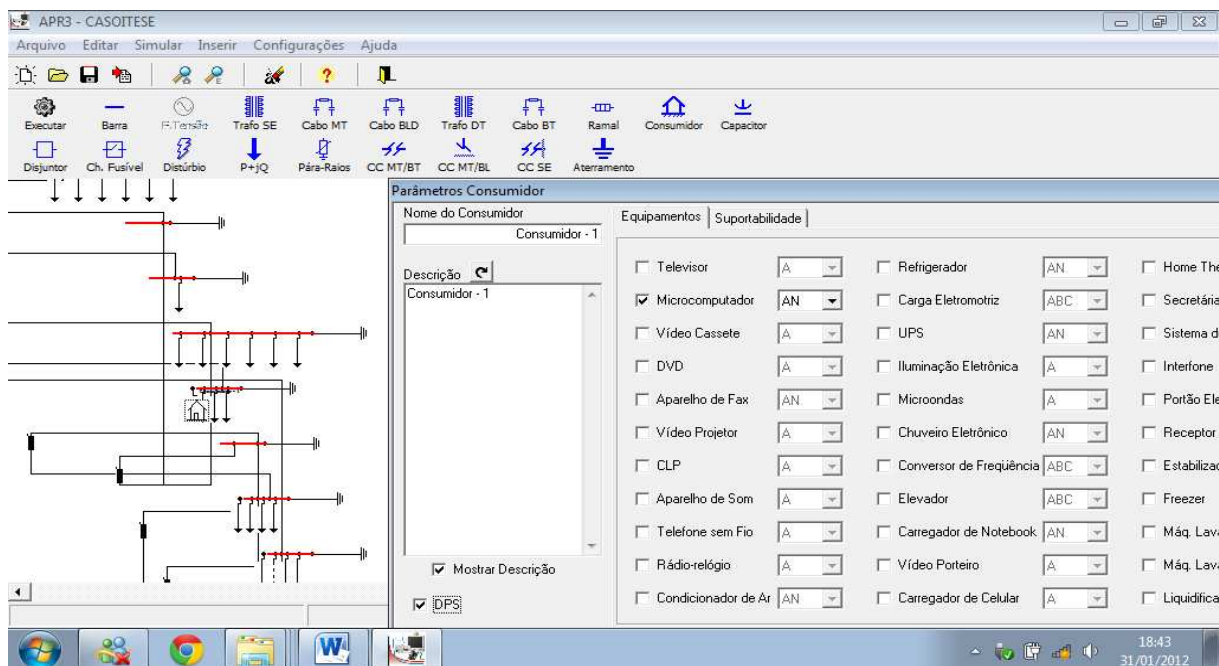


Figura 4.14 – Inclusão do DPS no consumidor – Caso I – Micro.

Nas figuras 4.15 e 4.16 estão representadas respectivamente as formas de onda de tensão e corrente no ponto de conexão do microcomputador com a rede de distribuição durante a ocorrência do distúrbio.

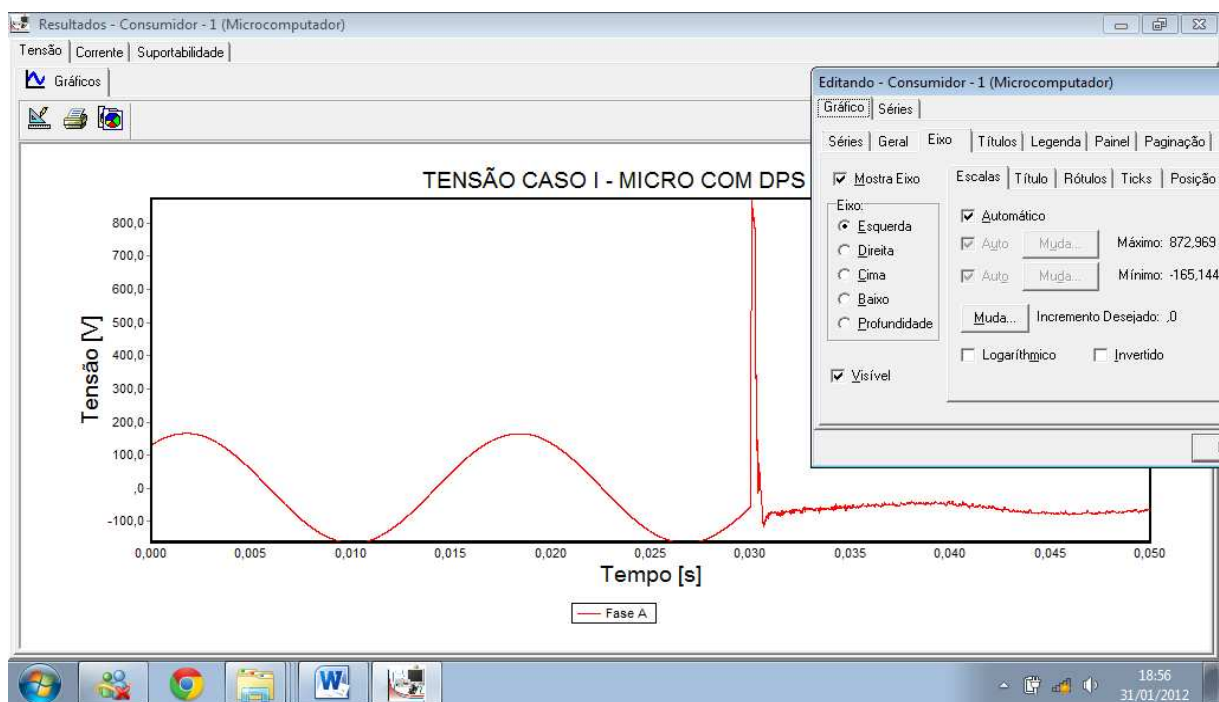


Figura 4.15 – Forma de onda da tensão – Caso I – Micro com DPS.

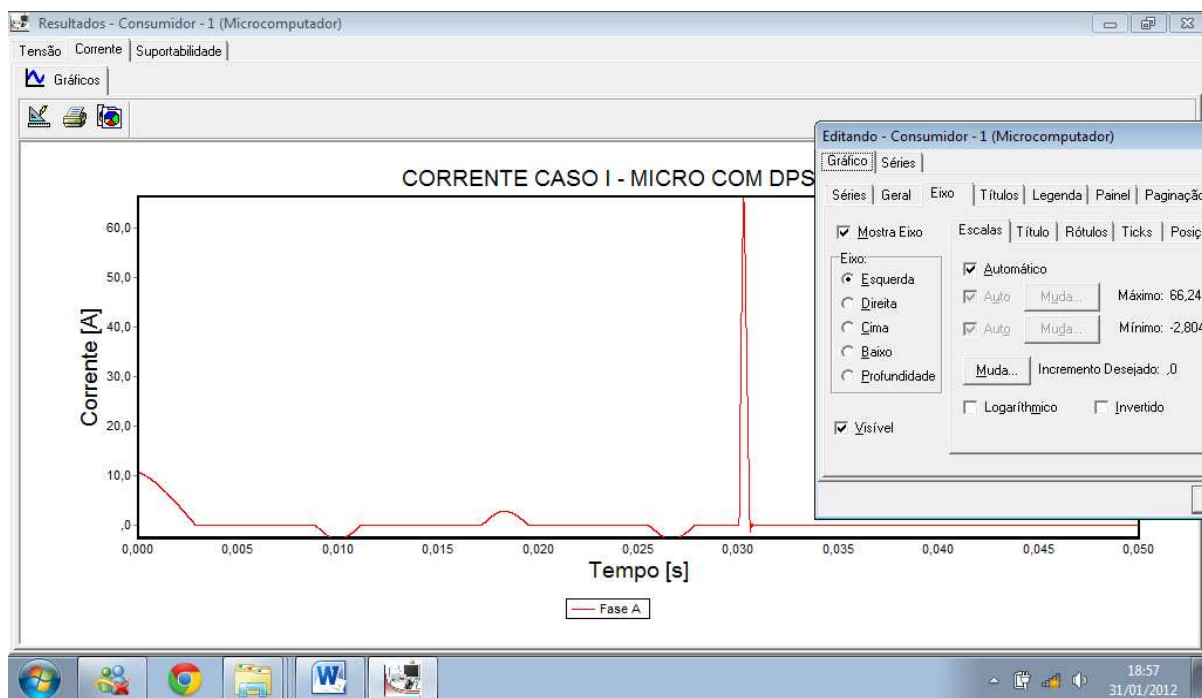


Figura 4.16 – Forma de onda da corrente – Caso I – Micro com DPS.

Como resultado da mesma simulação foram geradas as curvas referentes às solicitações e suportabilidades dielétrica e térmica como pode ser visto nas figuras 4.17 e 4.18.

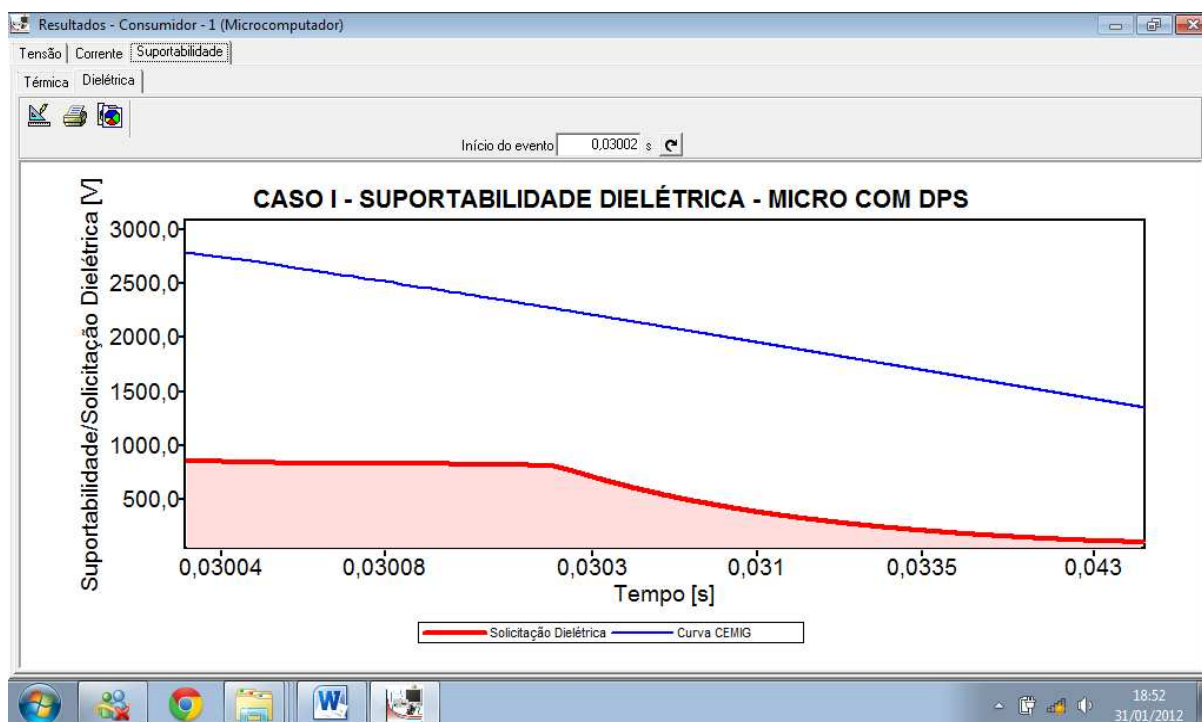


Figura 4.17 – Suportabilidade dielétrica – Caso I - Micro com DPS.

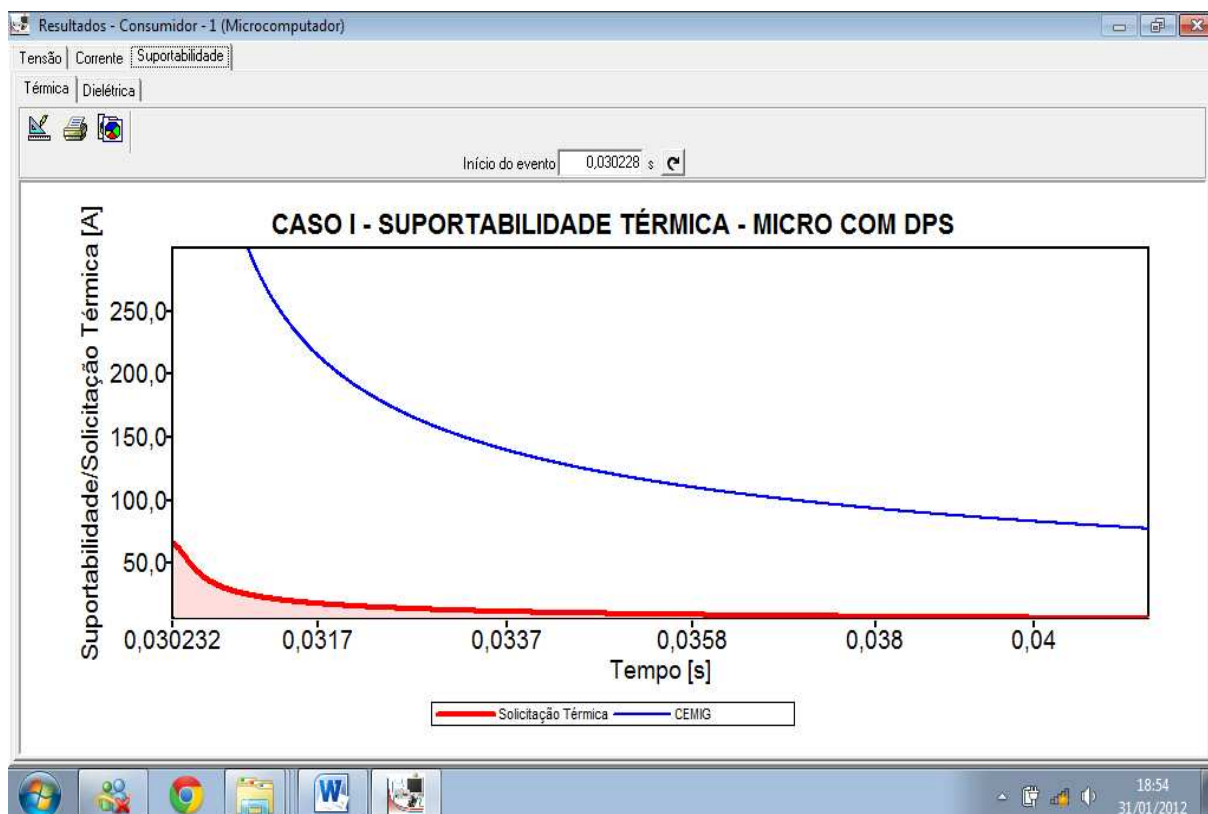


Figura 4.18 – Suportabilidade térmica – Caso I – Micro com DPS.

Analizando as figuras acima podemos concluir que:

- **Suportabilidade dielétrica** : Em todo o período em que o distúrbio foi aplicado, a solicitação dielétrica imposta ao microcomputador com DPS, foi bem inferior à sua curva de suportabilidade, construída neste trabalho, ou seja o efeito do distúrbio no citado equipamento não provoca danos físicos em seus componentes, comprovando a atuação mitigadora do DPS;
- **Suportabilidade térmica** : Em todo o período em que o distúrbio foi aplicado não ocorreu a violação dos níveis de suportabilidade térmica do equipamento, ou seja do ponto de vista térmico o distúrbio não provoca danos físicos aos componentes do equipamento em análise.

No caso em questão e considerando a metodologia aqui proposta, se tivesse sido instalado um DPS antes do ponto de ligação do microcomputador não haveria danos no microcomputador, comprovando a ação mitigadora de tal dispositivo face aos surtos de corrente.

Houve grande atenuação nos valores da tensão aplicada nos terminais do microcomputador de 3,6 kV para 0,87 kV e no caso da corrente a redução foi de 106 para 65 A.

4.4.2 – Estudo de caso II: Microcomputador sem estabilizador – curto circuito - MT/BT

O segundo caso estudado tem as características principais descritas na tabela 4.2 abaixo:

DATA DA SOLICITAÇÃO	ALIMENTADOR	LOGRADOURO	CAUSA	EQUIPAMENTO DANIFICADO	COMPONENTE	PROCEDENTE	VALOR
Set/10	ULA137	RUA PADRE PIO XXX	CURTO MT/BT	MICRO	CPU-DIVERSOS COMPONENTES	SIM	R\$ 437,00

Tabela 4.2 - Resumo dos dados da ocorrência – Estudo de caso II.

Os dados descritos acima foram obtidos no banco de dados da concessionária, sendo que o distúrbio foi o rompimento do condutor de Média Tensão em duas estruturas à montante da estrutura de instalação do trafo, e sua queda sobre a Baixa Tensão no vão adjacente ao poste se onde deriva o ramal de ligação para o cliente. Tal ocorrência teve como causa um mau contato no conector de MT da fase B, com o seu conseqüente rompimento e queda sobre o neutro da BT.

Durante a ocorrência não houve atuação da proteção e o alimentador foi desligado a partir de um comando manual do COD (Centro de Operações), após o recebimento de ligações pela Central de Atendimento.

Conforme critérios adotados pela concessionária, a solicitação foi analisada e o pedido de ressarcimento foi considerado procedente, gerando a indenização pleiteada pelo consumidor. Conforme procedimento padronizado pela concessionária o cliente foi direcionado para uma relação de oficinas credenciadas, sendo substituídos os componentes danificados da CPU.

Na simulação computacional para a avaliação da solicitação utilizando o APR, foram consideradas as seguintes etapas:

a) – Configuração de Dados do Sistema Elétrico

Os dados citados foram importados do sistema de cadastro de redes georreferenciado da concessionária desde a SE até a unidade consumidora (incluindo as fases da ligação), diretamente para o APR-3.0.

Diante disto não foram gerados diagramas unifilares do alimentador, em função da grande quantidade de barras, conforme resumo mostrado na figura 4.19, obtida diretamente do APR.

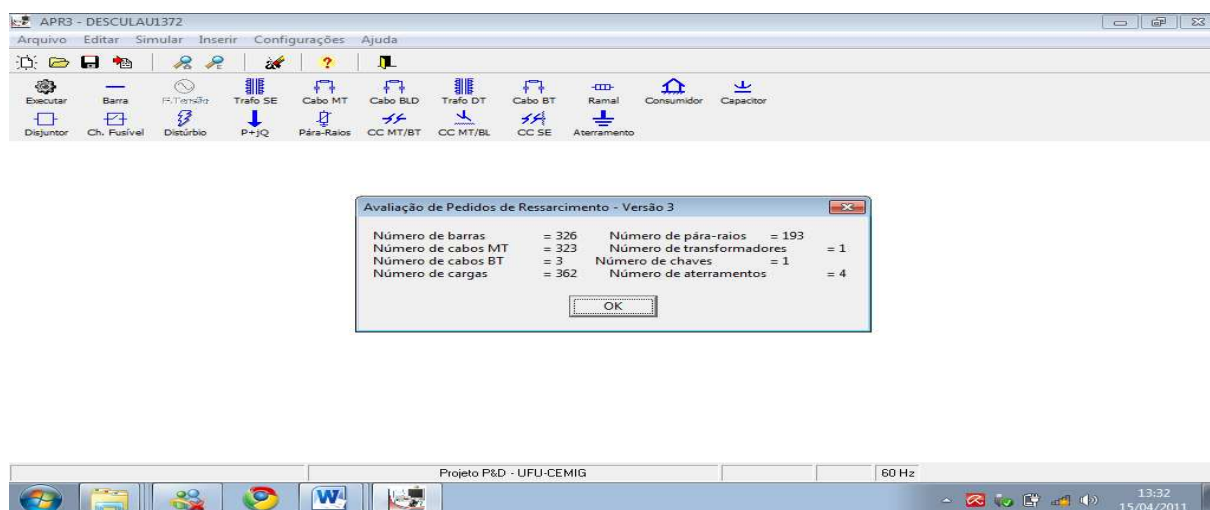


Figura 4.19 – Resumo dos dados do alimentador – Caso II.

b) – Configuração de dados da Unidade Consumidora

Nas figuras 4.20 (a e b) estão representados os parâmetros da unidade consumidora e do equipamento objeto da análise. Na figura 4.21 (a e b) estão representados os dados do ramal de ligação que atende ao cliente e do aterramento. A inclusão destes é necessária para a aplicação do distúrbio citado neste caso, para a melhor performance das simulações no APR.

No caso em questão, o consumidor alegou que o micro estava ligado na tomada sem estabilizador e sem DPS.

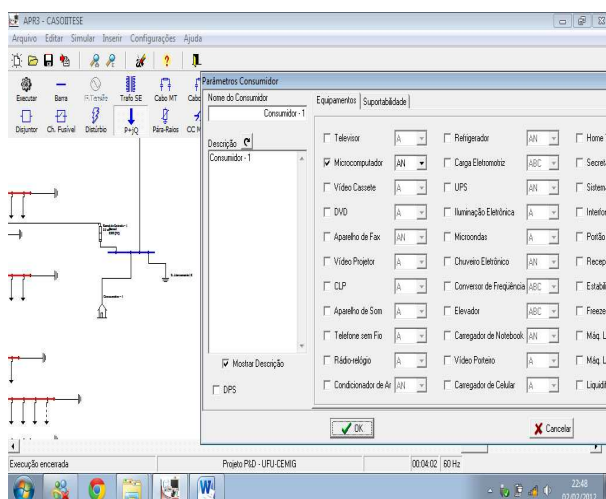


Figura 4.20 (a)

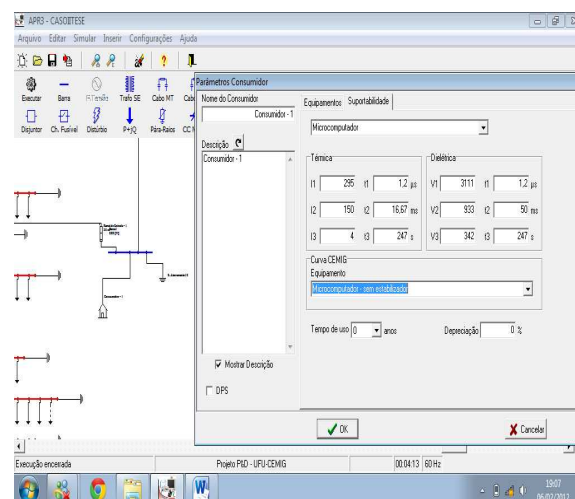


Figura 4.20 (b)

Figura 4.20 - Parametrização da unidade consumidora e do equipamento – Caso II.

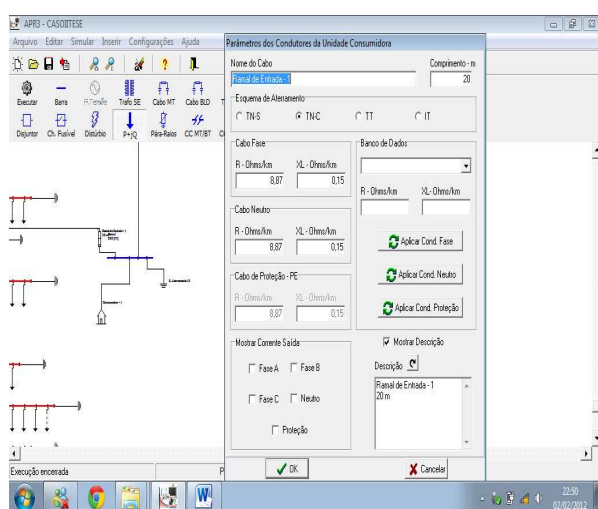


Figura 4.21 (a)- Ramal de ligação

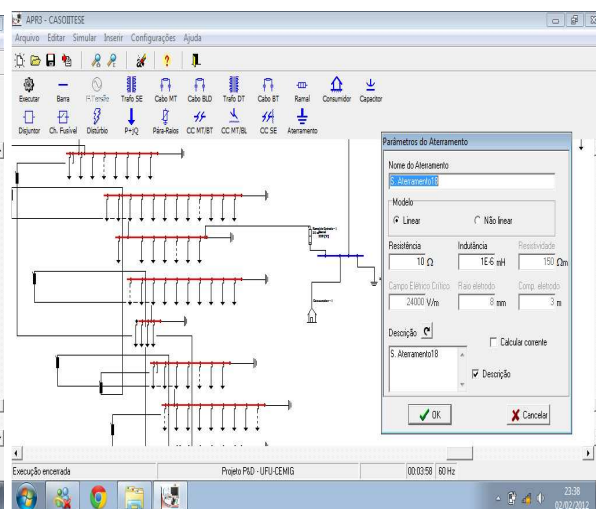


Figura 4.21 (b) - Aterramento

Figura 4.21 – Parametrização do ramal de ligação e aterramento - Caso II.

c)- Resultado Computacional antes da aplicação do distúrbio

Após a importação dos dados elétricos da rede do sistema georeferenciado da concessionária e a inclusão dos dados referentes ao cliente/equipamento sobre análise, fez-se no APR-3.0 a simulação da operação do sistema sobre as condições normais, ou seja antes da aplicação do distúrbio para verificar se não existem erros no banco de dados da concessionária ou até mesmo no processo de importação, visando não comprometer o resultado da análise.

As figuras 4.22 e 4.23 representam respectivamente as formas de onda de tensão e corrente nos terminais de alimentação do microcomputador em análise, antes da aplicação do distúrbio.

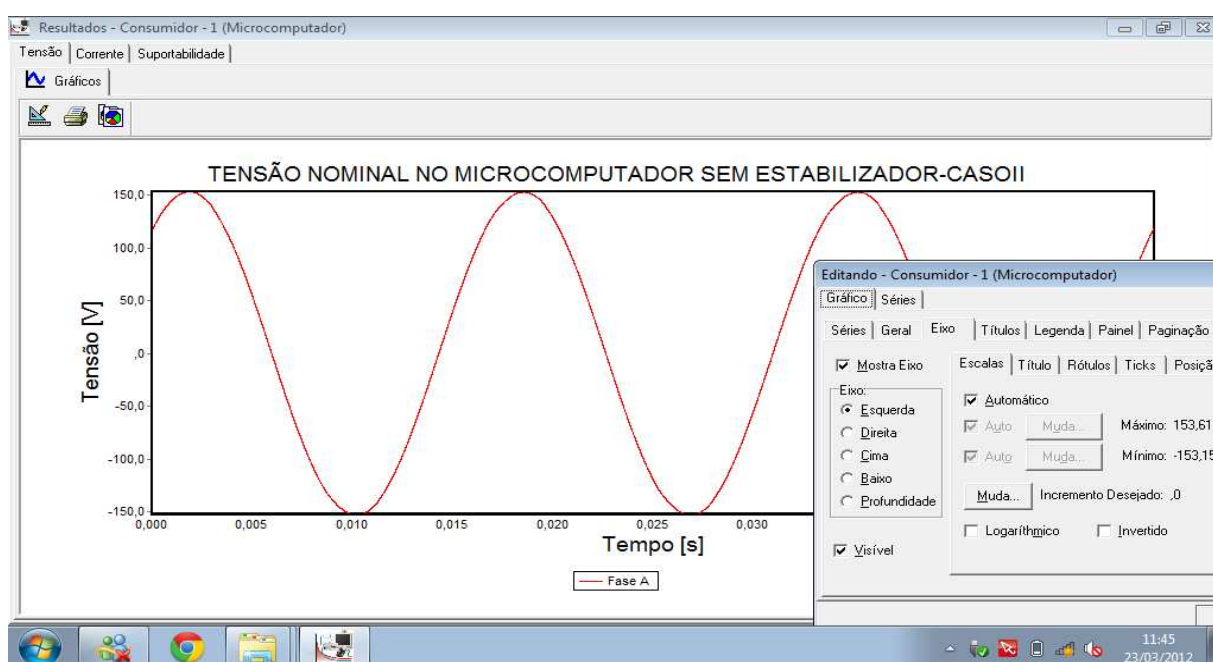


Figura 4.22 – Forma de onda da tensão no micro – Caso II.

Neste ensaio o valor de tensão eficaz foi de 108,6 Volts, inferior à faixa crítica (resolução 505 da ANEEL) para o nível de tensão de fornecimento de energia elétrica em baixa tensão em 127 Volts. Após a verificação destes valores no estudo de caso, a situação foi encaminhada à concessionária para a avaliação.

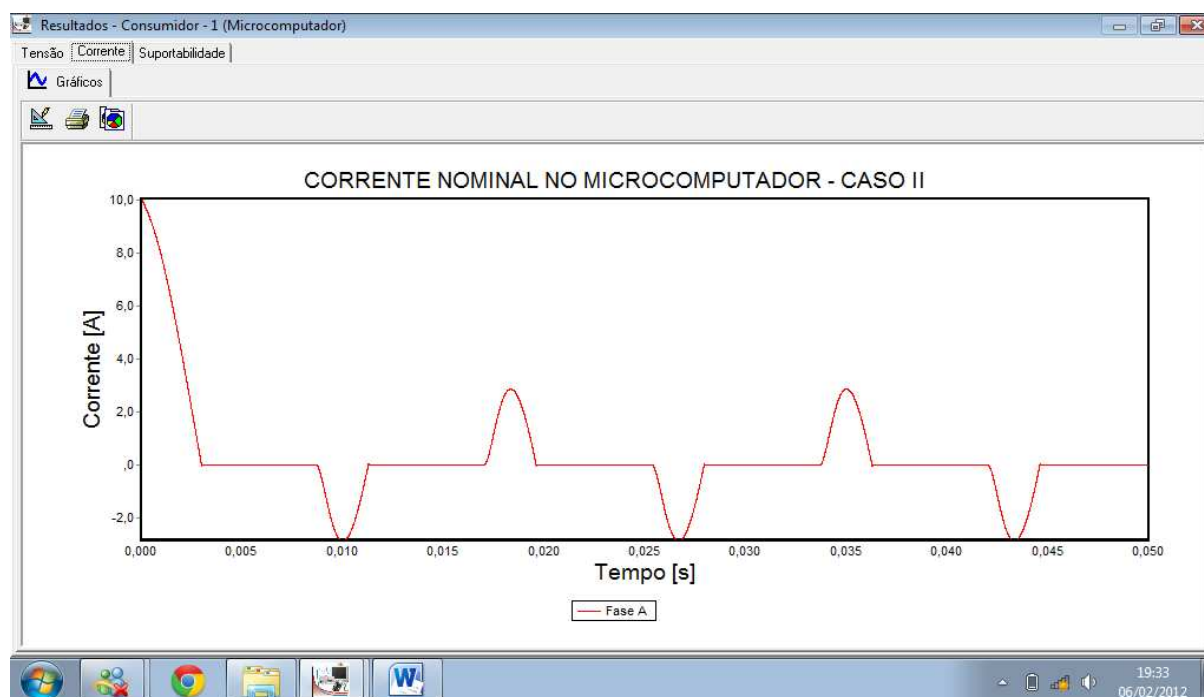


Figura 4.23 – Forma de onda da corrente no micro – Caso II.

d)– Configuração do distúrbio no sistema elétrico

Na figura 4.24 estão representados os parâmetros do curto-circuito MT/BT aplicado neste estudo de caso.

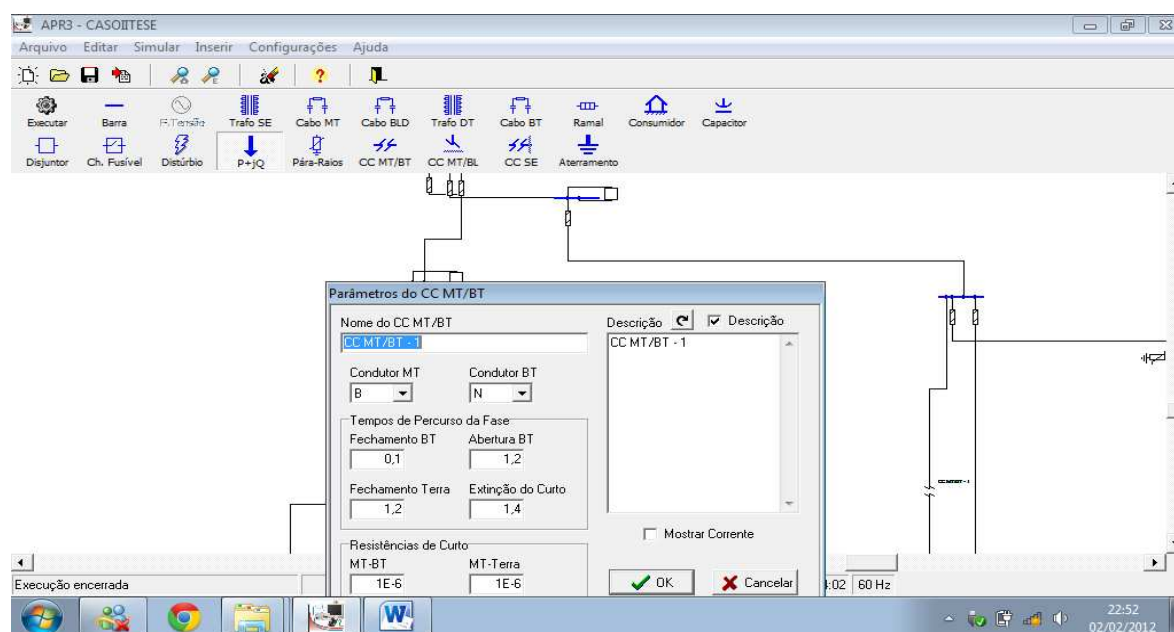


Figura 4.24 – Parametrização do curto-circuito MT/BT – Caso II.

e) – Resultados Computacionais

No caso em questão o consumidor alegou que o micro estava ligado na tomada sem estabilizador e sem DPS.

Nas figuras 4.25 e 4.26 estão representadas respectivamente as formas de onda de tensão e corrente no ponto de conexão do microcomputador com a rede de distribuição durante a ocorrência do distúrbio.

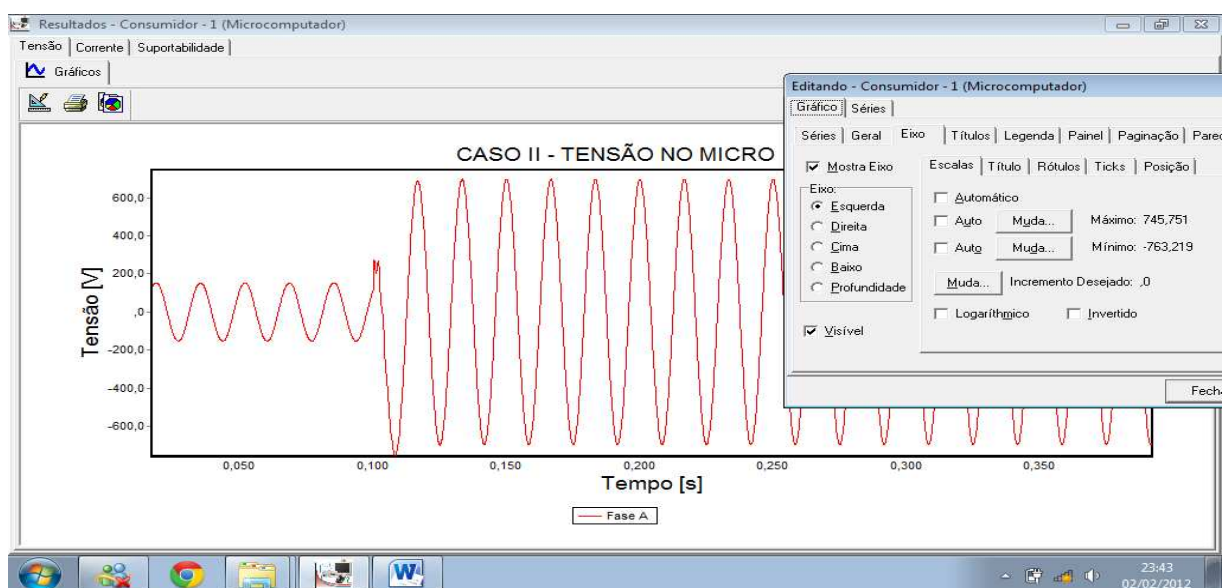


Figura 4.25- Forma de onda da tensão – Caso II – Micro sem DPS.

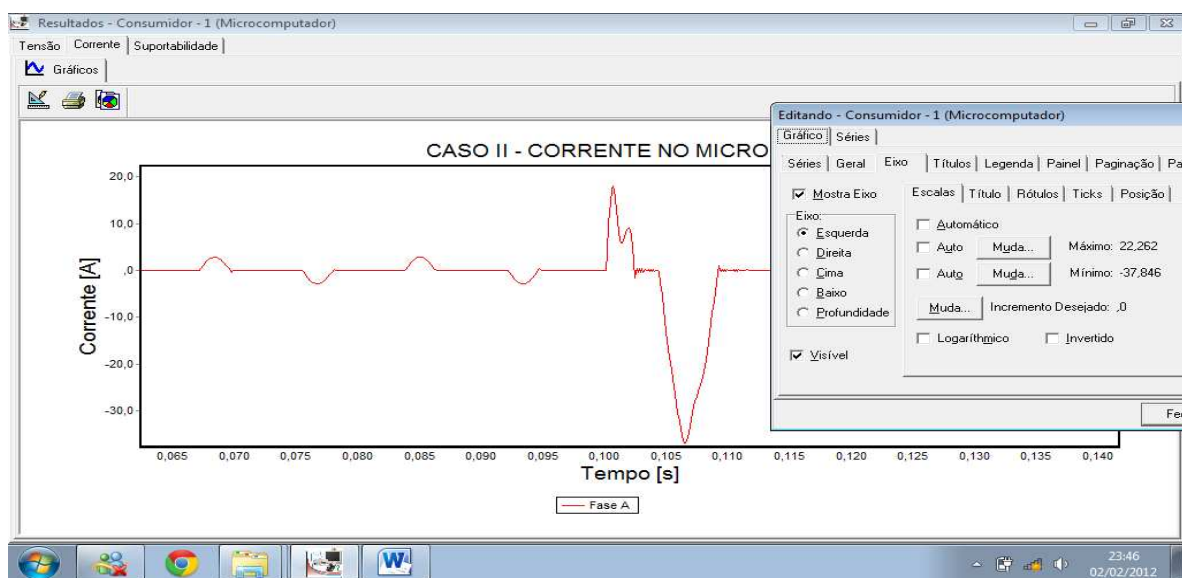


Figura 4.26 - Forma de onda da corrente – Caso II- Micro sem DPS.

Como resultados da simulação foram geradas as curvas referentes às solicitações e suportabilidades dielétrica e térmica como pode ser visto nas figuras 4.27 e 4.28. Como o distúrbio ocorreu durante mais de um segundo até o desligamento manual do microcomputador, ajustou-se a escala.

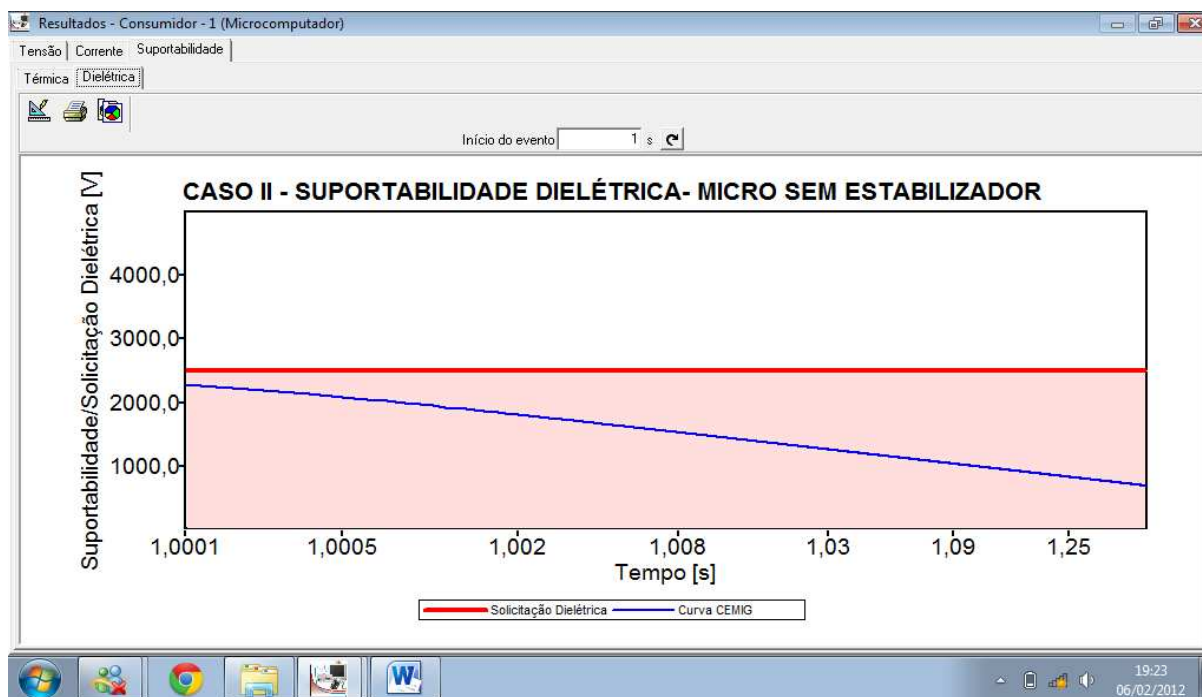


Figura 4.27 – Suportabilidade dielétrica - Caso II.

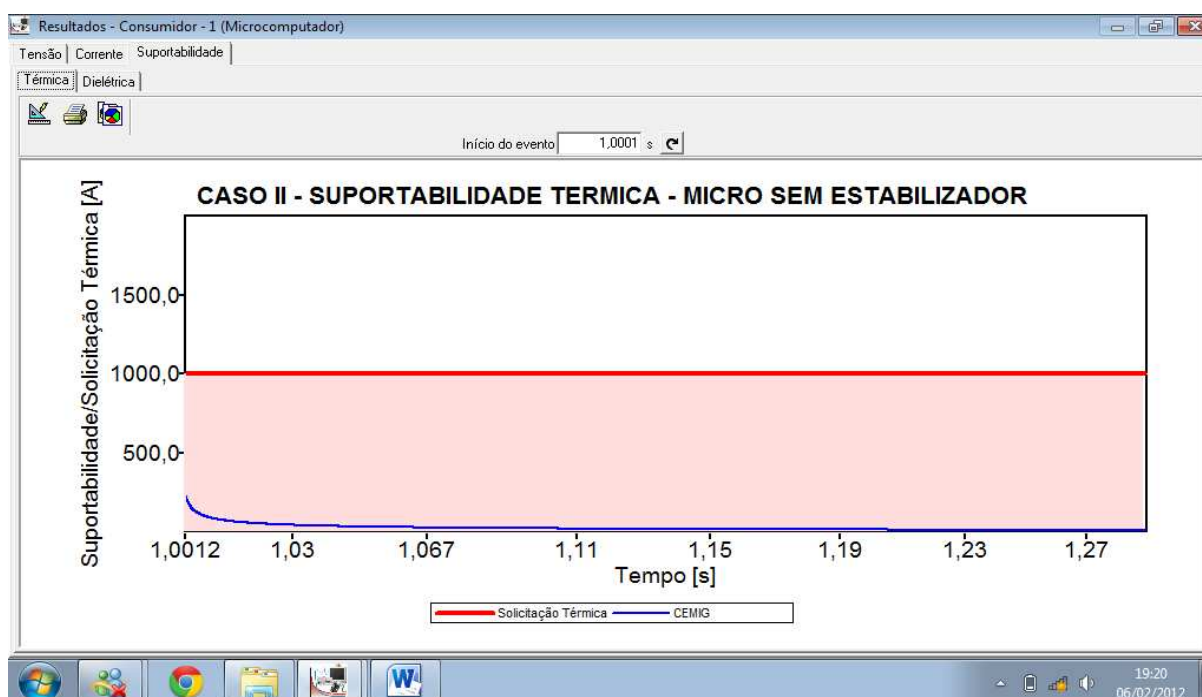


Figura 4.28 – Suportabilidade térmica – Caso II.

Analisando as figuras acima podemos concluir que:

- **Suportabilidade dielétrica** : Como o curto da MT/BT, permaneceu durante mais de um segundo, a solicitação dielétrica imposta pelo distúrbio ao microcomputador, foi superior à sua curva de suportabilidade, ou seja o efeito do distúrbio no citado equipamento pode provocar danos físicos em seus componentes;
- **Suportabilidade térmica** : A solicitação térmica imposta pelo distúrbio ao microcomputador, foi superior à sua curva de suportabilidade, ou seja o efeito do distúrbio no citado equipamento pode provocar danos físicos em seus componentes.

No caso em questão em que o distúrbio ocorreu durante mais de um segundo, houve a superação tanto da suportabilidade dielétrica quanto da térmica, ou seja o distúrbio é capaz de produzir danos na fonte de alimentação do cliente. Portanto a decisão da concessionária em ressarcir o cliente foi acertada considerando a metodologia proposta, mas não a substituição de diversos componentes da CPU e sim apenas a fonte.

4.4.3 – Estudo de caso III: microcomputador com estabilizador-descarga atmosférica na MT

O terceiro caso estudado tem suas principais características descritas na tabela 4.3.

DATA DO PEDIDO	ALIMENTADOR	LOGRADOURO	CAUSA	EQUIPAMENTO DANIFICADO	COMPONENTE	PROCEDENTE	VALOR
Mai/10	ULAU137	RUA INDIANOPOLIS XXXX	DESC. ATM.	ESTABILIZADOR	ESTABILIZADOR	SIM	R\$ 55,00

Tabela 4.3 - Resumo de dados da ocorrência - Estudo de caso III.

Os dados descritos acima foram obtidos no banco de dados da concessionária, sendo que a causa descarga atmosférica foi confirmada em função de registro no Sistema Localizador de Tempestade da Concessionária e de danos verificados em um isolador/cruzeta em uma estrutura de MT (fase A) instalada 148 metros à montante do ponto de instalação do transformador.

Conforme critérios adotados pela concessionária, a solicitação foi analisada e considerada procedente, gerando a indenização pleiteada.

Após a obtenção dos dados, foi feita a simulação computacional para a avaliação da solicitação utilizando o APR-3.0, envolvendo:

a) - Configuração de Dados do Sistema Elétrico

Os dados citados foram importados do sistema de cadastro de redes georeferenciado da concessionária desde a SE até a unidade consumidora (incluindo as fases da ligação) diretamente para o APR-3.0, visando evitar simplificações ou resumos que pudessem comprometer as reais características do sistema elétrico.

Diante disto não foram gerados diagramas unifilares dos alimentadores, em função da grande quantidade de barras geradas, conforme figura 4.29.

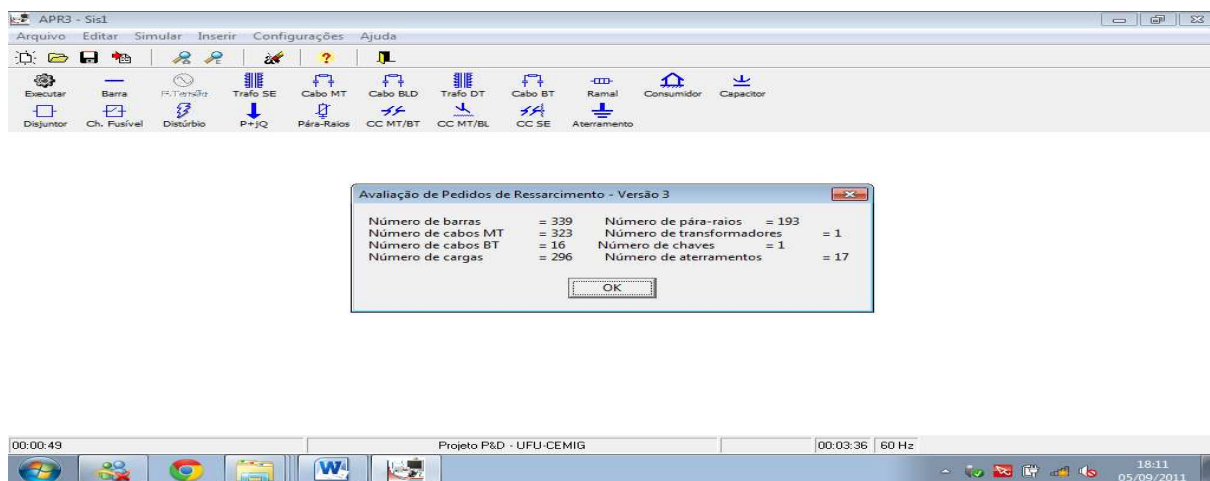


Figura 4.29 – Dados do sistema elétrico – Caso III.

b) - Configuração de dados da Unidade Consumidora

Nas figuras 4.30 (a e b) estão representados os parâmetros da unidade consumidora, onde selecionou-se os equipamentos objeto da análise, e no caso em questão trata-se de microcomputador com estabilizador.

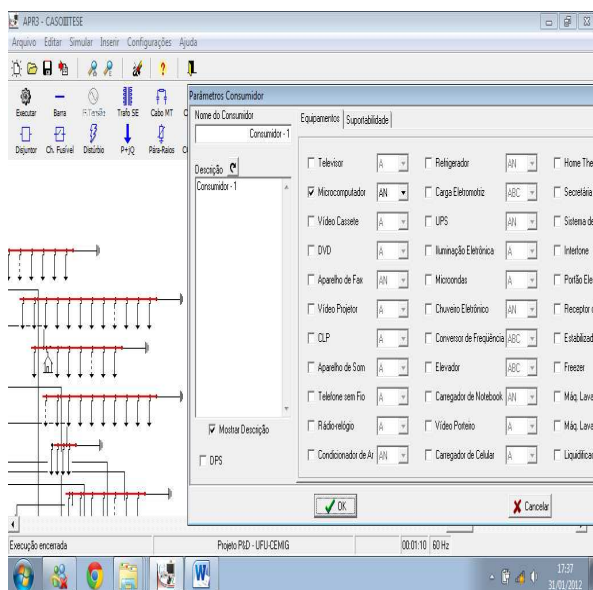


Figura 4.30 (a)

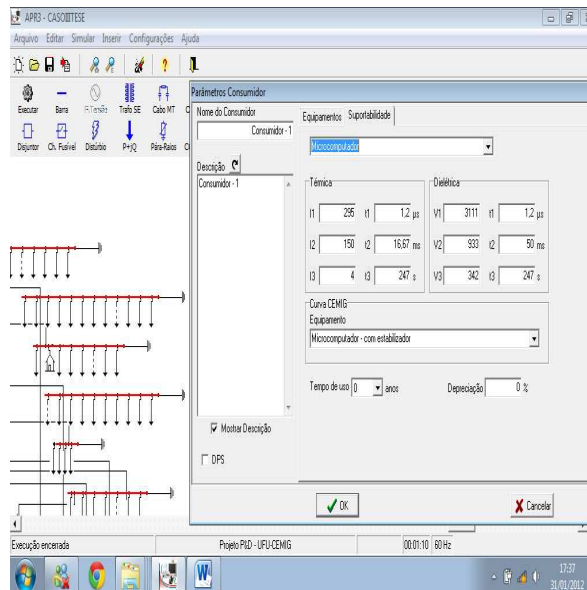


Figura 4.30 (b)

Figura 4.30 – Parâmetros da instalação consumidora e do equipamento – Caso III.

c) Resultado Computacional antes da aplicação do distúrbio

Após a importação dos dados elétricos da rede do sistema georeferenciado da concessionária e a inclusão dos dados referentes ao cliente/equipamento sobre análise no APR-3.0, fez-se a simulação da operação do sistema sobre as condições normais para verificar se não existem erros no banco de dados da concessionária ou até mesmo no processo de importação.

As figuras 4.31 e 4.32 representam respectivamente as formas de onda de tensão e corrente nos terminais de alimentação do microcomputador com estabilizador em análise, antes da aplicação do distúrbio.

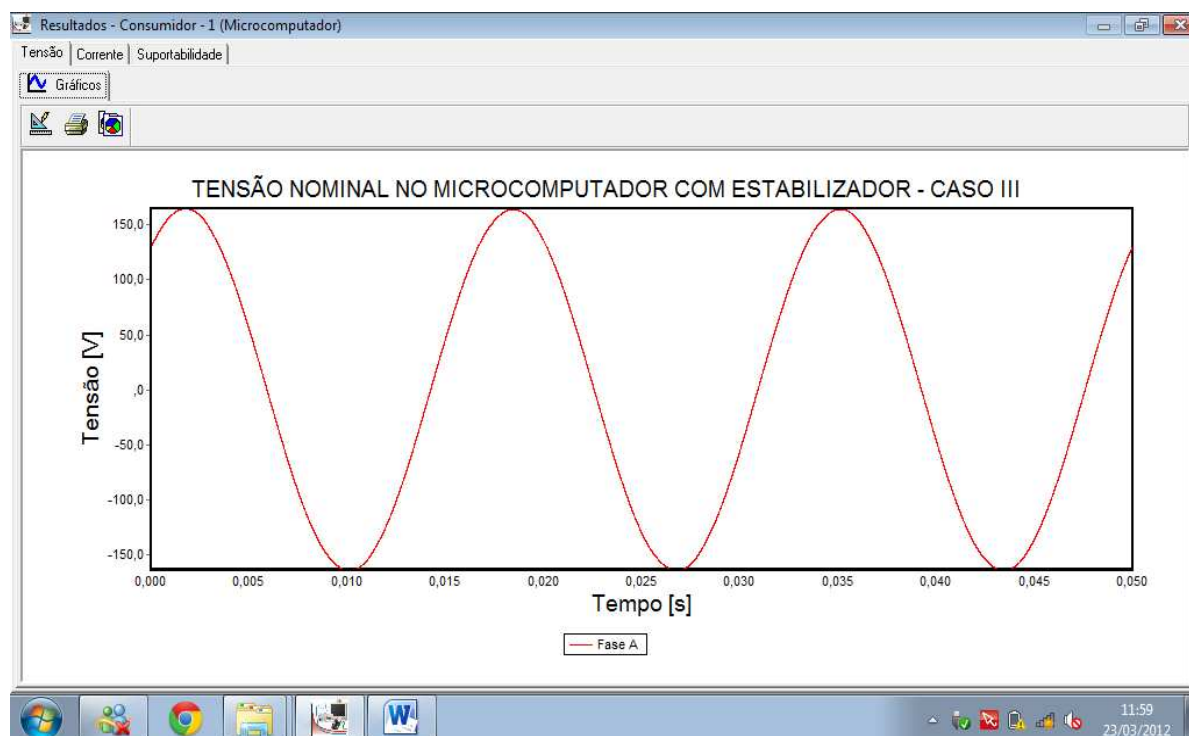


Figura 4.31– Forma de onda da tensão – Caso III (nominal).

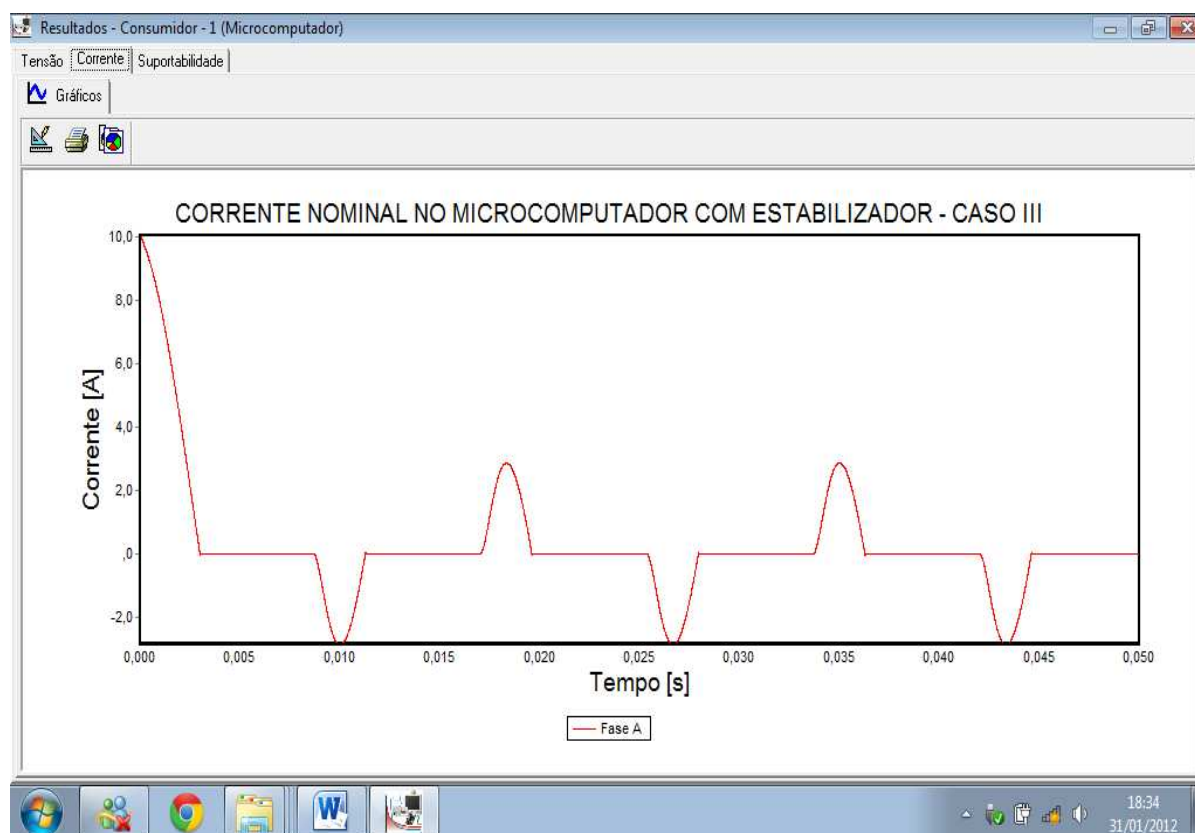


Figura 4. 32 – Forma de onda da corrente – Caso III (nominal).

d)– Configuração do distúrbio no sistema elétrico

Muito embora não tenha sido possível identificar com precisão o ponto em que ocorreu a descarga atmosférica, considerou-se que o distúrbio ocorreu em uma estrutura instalada à montante do transformador, conforme já descrito e visando resguardar os interesses do consumidor.

Na figura 4.33, estão representados os parâmetros da descarga atmosférica aplicada. Após a importação dos dados do sistema elétrico para o APR foi feito o cadastramento dos dados referentes ao cliente/equipamento em análise.

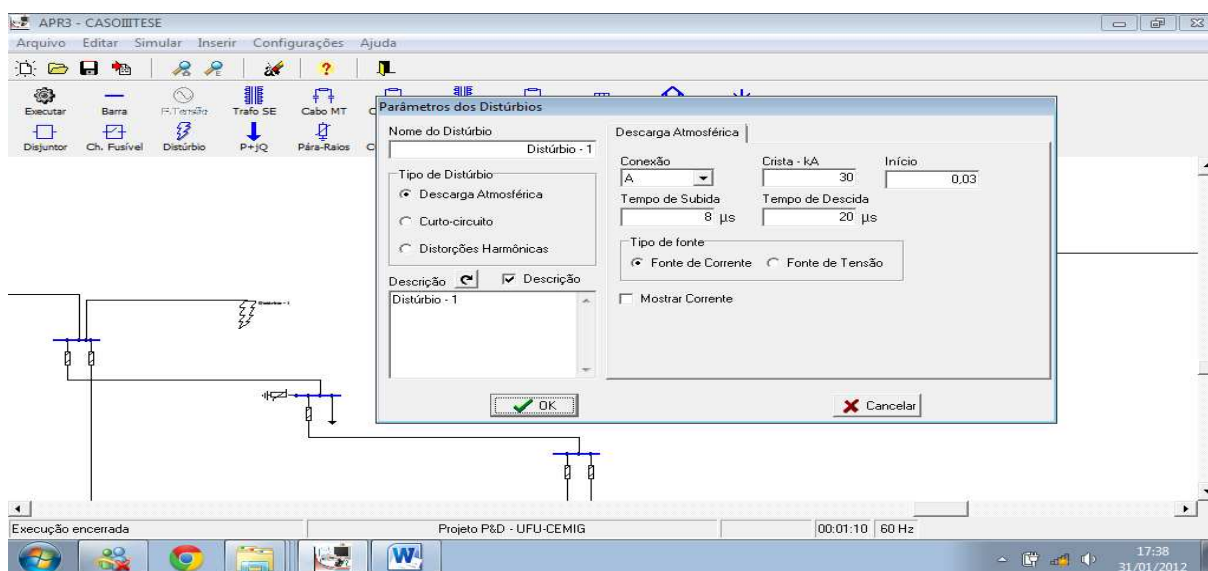


Figura – 4.33– Parâmetros para a aplicação do distúrbio – Caso III.

O valor de pico da corrente elétrica da descarga atmosférica considerado foi de 30 KA, optando-se pela representação por meio de uma onda típica de surto de corrente (8 x 20 µs).

e) Resultados Computacionais

i – Situação Real sem o DPS

No caso em questão o consumidor alegou que o micro estava ligado na tomada com estabilizador e sem DPS.

Nas figuras 4.34 e 4.35 estão representadas respectivamente as formas de onda de tensão e corrente no ponto de conexão do microcomputador com a rede de distribuição durante a ocorrência do distúrbio.

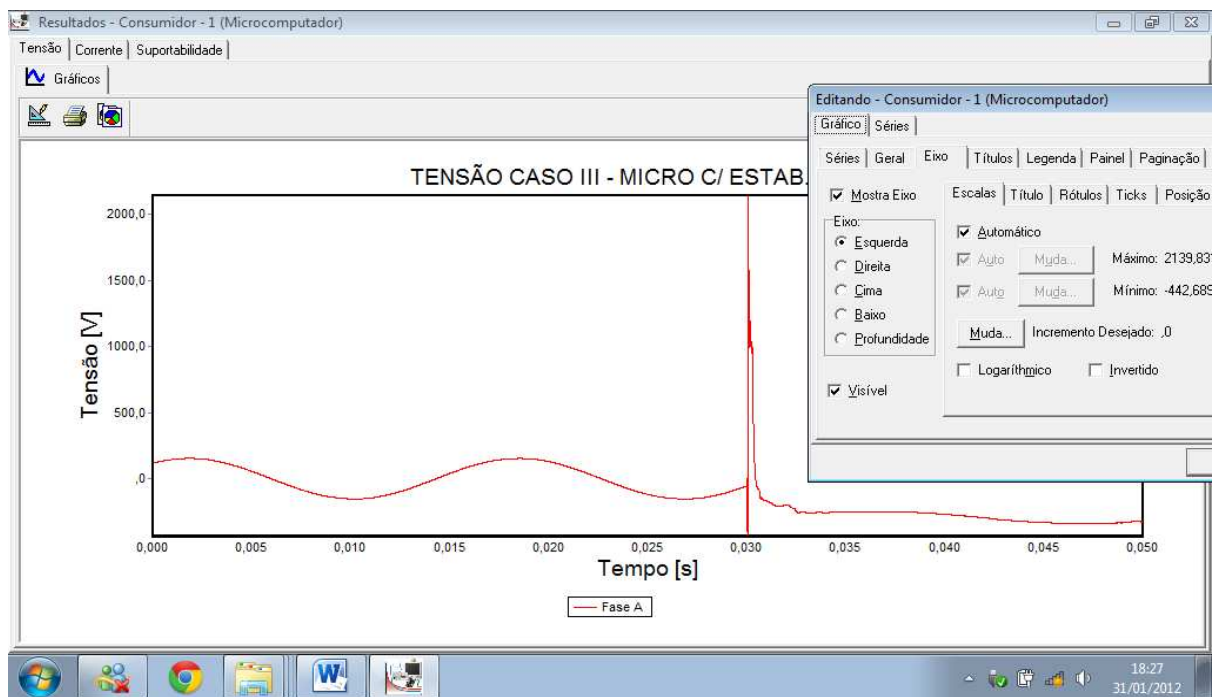


Figura 4.34 – Forma de onda da tensão após distúrbio – Caso III.

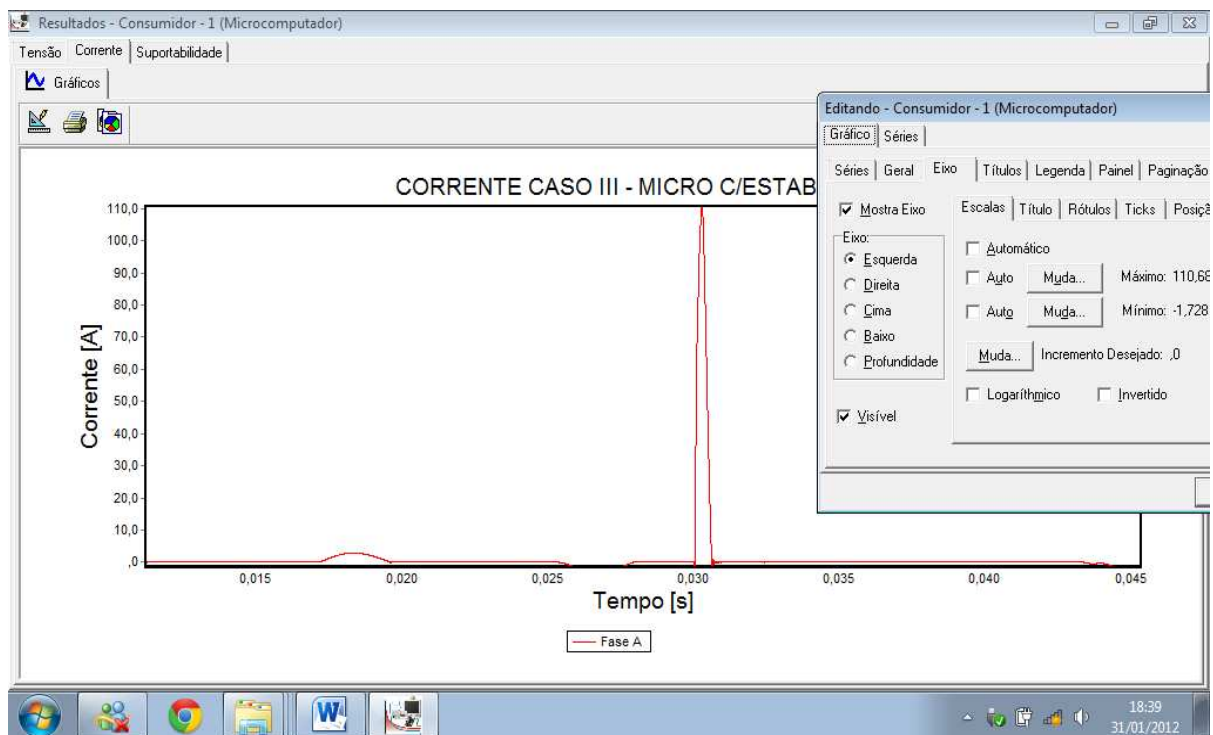


Figura 4.35 – Forma de onda da corrente após distúrbio – Caso III.

Como resultado da simulação, gerou-se as curvas referentes às solicitações impostas ao equipamento e as suportabilidades dielétrica e térmica como pode ser visto nas figuras 4.36 e 4.37.

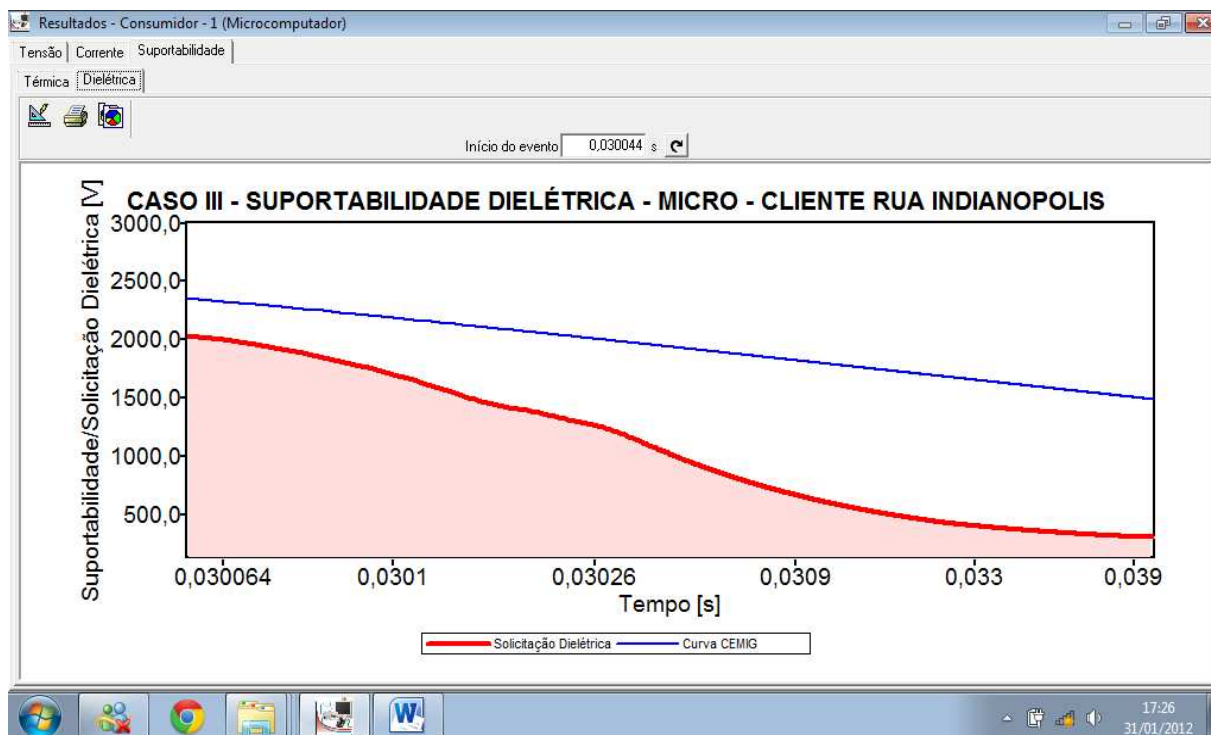


Figura 4.36 – Suportabilidade dielétrica – Caso III.

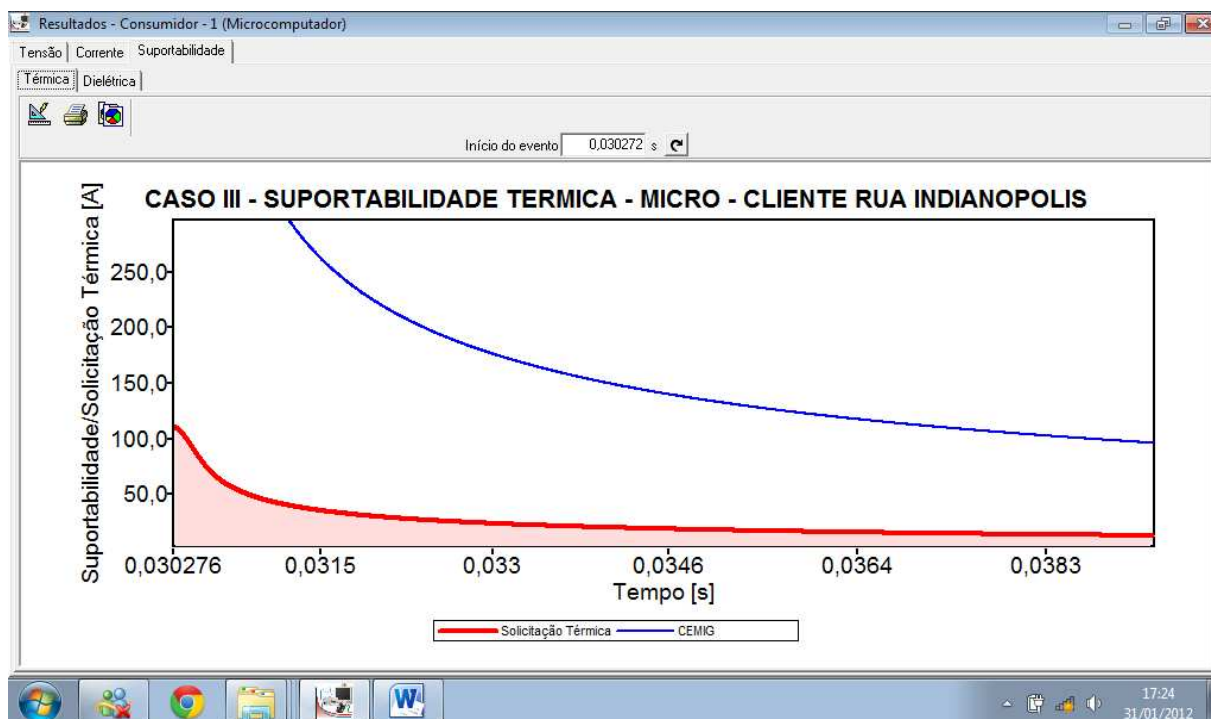


Figura 4.37 – Suportabilidade térmica – Caso III.

ii– Situação com o DPS

Mesmo sem ter sido superada as suportabilidades do equipamento no caso anterior, fez-se uma simulação com o DPS instalado, com o objetivo de testar a ação de atenuação do efeito do distúrbio no consumidor. A figura 4.38, ilustra a inclusão do DPS, nas instalações do consumidor.

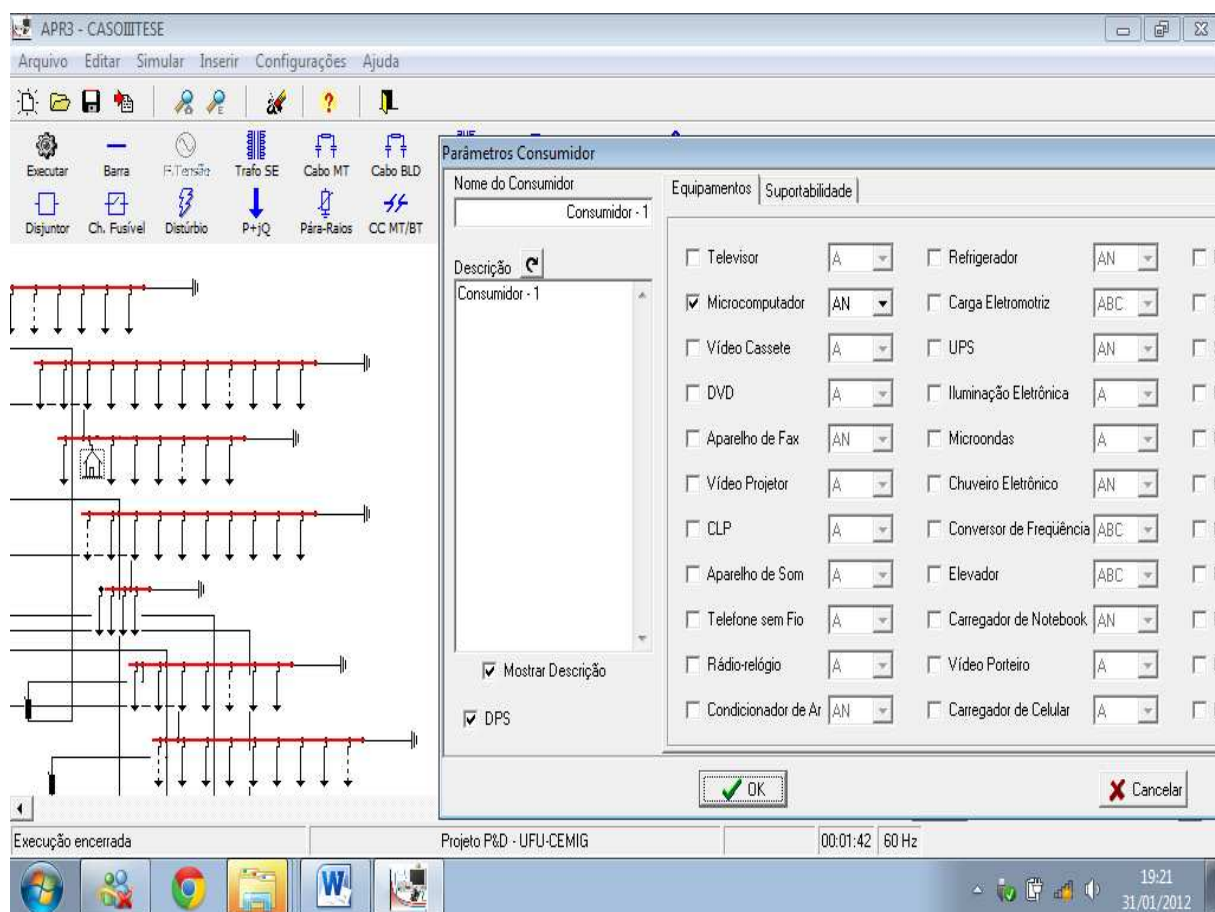


Figura 4.38 – Inclusão do DPS no consumidor – Caso III – Micro.

Nas figuras 4.39 e 4.40 estão representadas respectivamente as formas de onda de tensão e corrente no ponto de conexão do microcomputador com a rede de distribuição durante a ocorrência do distúrbio.

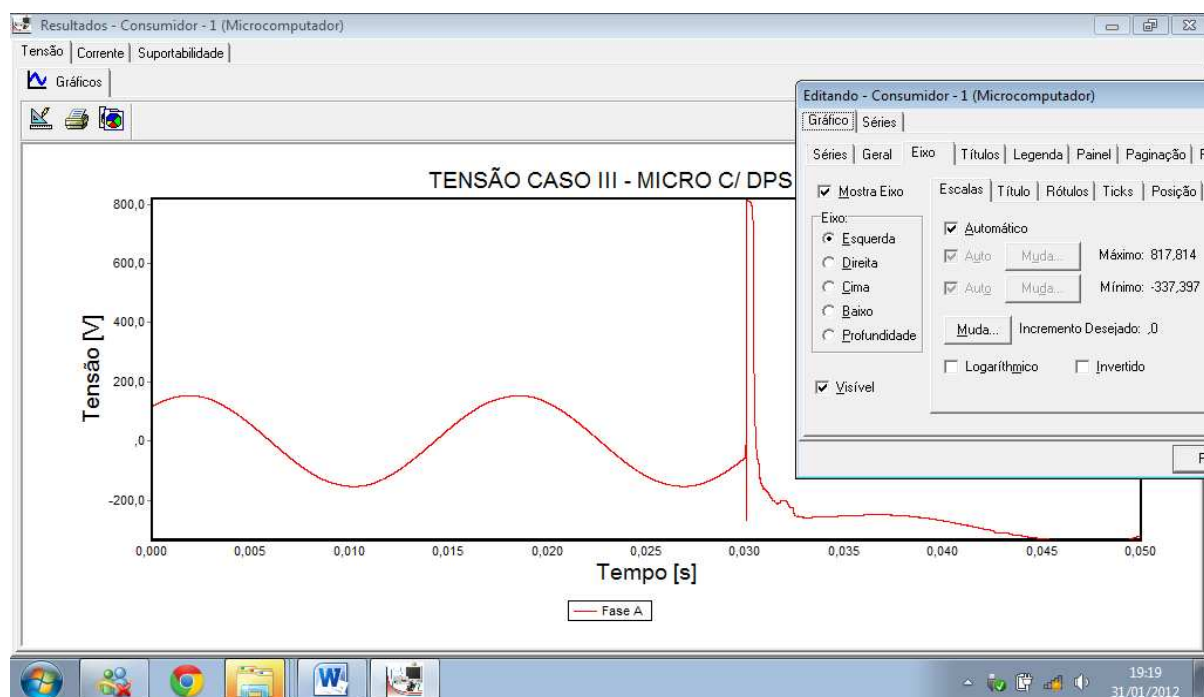


Figura 4.39 – Forma de onda da tensão – Caso III – Micro com DPS.

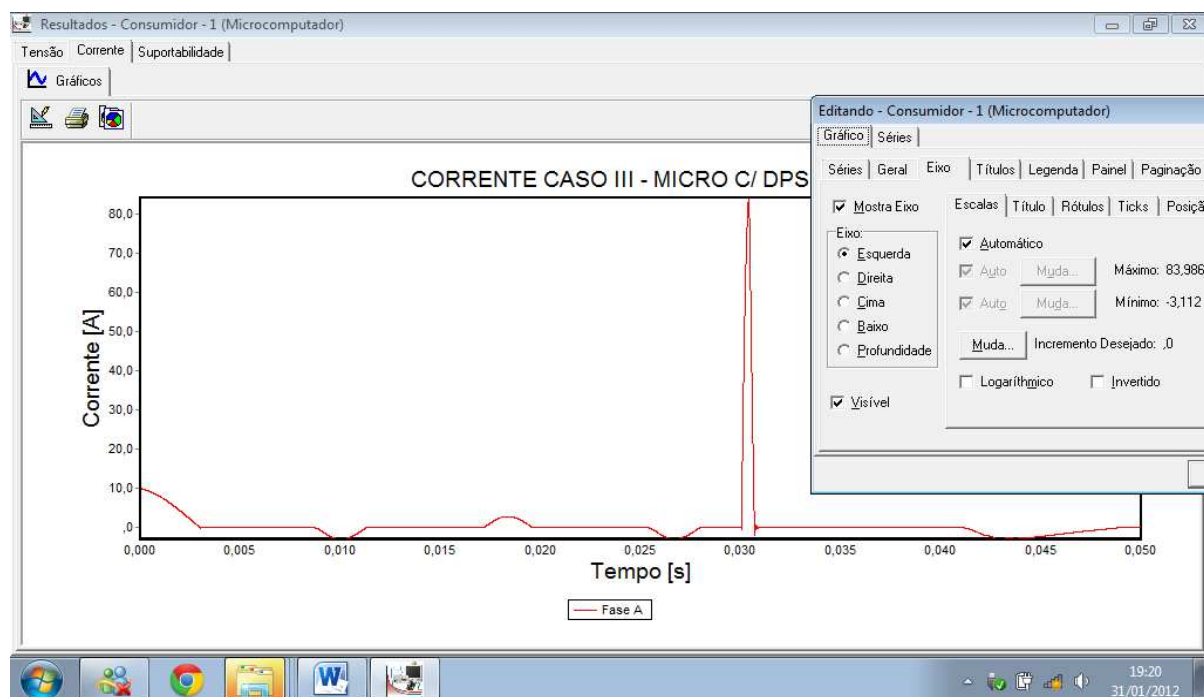


Figura 4.40 – Forma de onda da corrente – Caso III– Micro com DPS.

Como resultado da mesma simulação foram geradas as curvas referentes às solicitações e suportabilidades dielétrica e térmica como pode ser visto nas figuras 4.41 e 4.42.

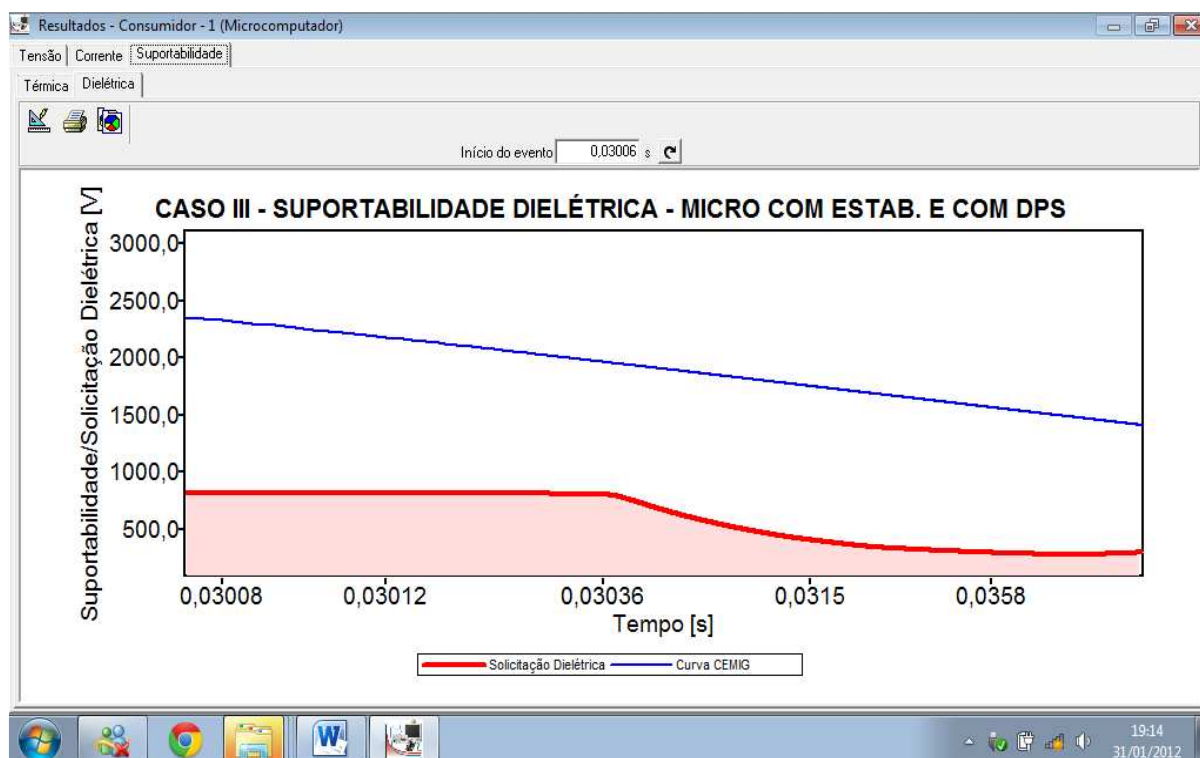


Figura 4.41 – Suportabilidade dielétrica – Caso III- Micro com DPS.

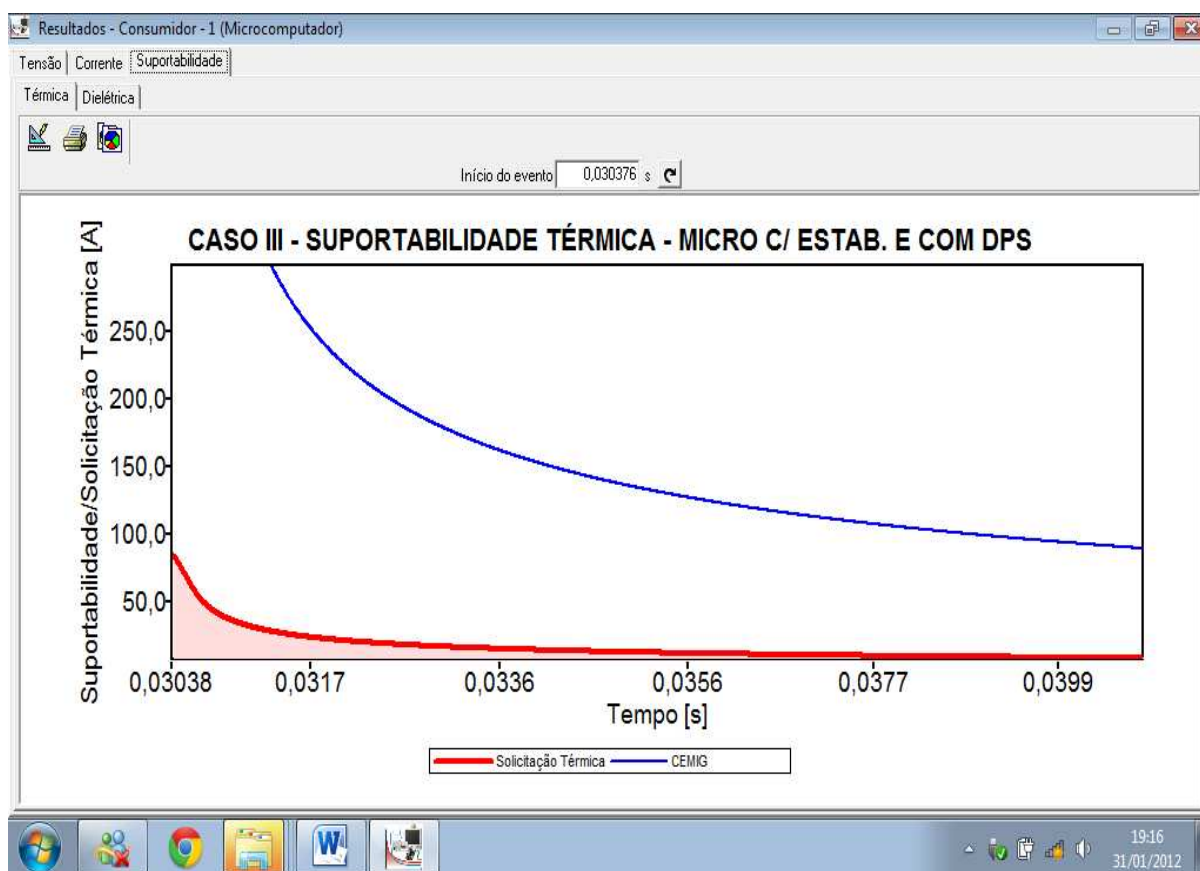


Figura 4.42 – Suportabilidade térmica – Caso III – Micro com DPS.

Analizando as curvas de suportabilidade referentes ao caso III, pode-se concluir que:

- **Suportabilidade dielétrica** : Em todo o período em que o distúrbio foi aplicado não ocorreu a violação dos níveis de suportabilidade dielétrica do equipamento, ou seja do ponto de vista dielétrico o distúrbio não provoca danos físicos aos componentes do equipamento em análise. Com o DPS a solicitação dielétrica imposta ao microcomputador, foi bem inferior à situação sem DPS, ou seja, foi comprovada a ação de atenuação do efeito do distúrbio no equipamento;
- **Suportabilidade térmica** : Também em todo o período em que o distúrbio foi aplicado não ocorreu a violação dos níveis de suportabilidade térmica do equipamento, ou seja, do ponto de vista térmico o distúrbio não provoca danos físicos aos componentes do equipamento em análise. Com o DPS a solicitação térmica imposta ao microcomputador, foi bem inferior à situação sem DPS, comprovando a ação de atenuação do efeito do distúrbio no equipamento.

No caso em questão e considerando a metodologia aqui proposta, se tivesse sido instalado um DPS antes do ponto de ligação do microcomputador haveria atenuação do efeito do distúrbio no equipamento;

Houve grande redução nos valores da tensão aplicada nos terminais do microcomputador de 2,1 kV para 0,8 kV e no caso da corrente a redução foi de 111 para 84 A.

No caso III a decisão da concessionária de ressarcir os danos alegados pelo cliente no estabilizador, não foi acertada considerando a metodologia

proposta por este trabalho, pois as solicitações dielétricas e térmicas requeridas em função da aplicação do distúrbio foram inferiores aos limites das respectivas suportabilidades, mesmo para a condição sem o DPS.

4.5– Considerações finais

Complementando o que já foi citado anteriormente, o presente trabalho contribuiu com a nova versão do APR denominada APR-3.0, principalmente com: a inserção das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica obtidas a partir de ensaios destrutivos; importação de dados diretamente do banco de dados da concessionária; implementação e testes de varistores e dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS), etc...

A aplicação da descarga atmosférica diretamente na estrutura do transformador, para o caso analisado (caso I), impôs ao microcomputador uma solicitação superior à sua suportabilidade, causando danos na sua fonte, haja vista que não havia estabilizador. Neste caso o resultado do ensaio ratificou a decisão da concessionária que considerou a solicitação de ressarcimento procedente.

No caso III, envolvendo descarga atmosférica em uma estrutura à montante do ponto de instalação de um trafo, as solicitações no estabilizador do microcomputador foram inferiores às curvas de suportabilidade, ou seja tal distúrbio não causou danos, conforme metodologia proposta por este trabalho. Neste caso o resultado do ensaio contrariou a decisão da concessionária, que julgou procedente a solicitação de ressarcimento de danos. Nesta situação geralmente as concessionárias consideram as solicitações de ressarcimento como procedentes, face à identificação de uma descarga atmosférica próxima ao

transformador que atende ao cliente e em função de não serem utilizados softwares capazes de avaliar onexo causal.

No estudo de caso II, envolvendo a ocorrência de um curto circuito da MT à montante do ponto de instalação de um trafo com o neutro da BT, o distúrbio provou no microcomputador solicitações térmicas e dielétricas muito superiores às suas respectivas suportabilidades. Tal fato ocorreu em função das características do circuito elétrico no local e do tempo em que o distúrbio permaneceu ativo (mais de um segundo), entretanto o comprometimento de diversos componentes da CPU alegada pelo cliente não foi verificada durante os ensaios, haja vista que sem estabilizador o único componente danificado foram as fontes de alimentação.

Nos casos I e III foram feitas simulações usado o DPS, sendo constatado que o citado dispositivo atenuou os valores de tensão aplicada e de corrente no ponto de conexão à rede e, por conseguinte o efeito no distúrbio nos equipamentos. Nos citados casos as solicitações impostas não foram inferiores às curvas de suportabilidade, comprovando a ação mitigatória dos citados dispositivos, como foi verificado nos ensaios experimentais na UNIFEI.

CAPÍTULO V

Conclusões

Ao longo de cada capítulo sintetizou-se através de comentários e considerações, os principais resultados obtidos. Nesta fase final do trabalho, destacam-se as principais constatações e conclusões obtidas, a partir dos ensaios e estudos realizados, conforme metodologia adotada:

- ***Quanto ao capítulo I – Introdução geral***

Neste capítulo, apresenta-se o estado da arte com relação ao tema, citando os principais itens da legislação referente aos direitos do consumidor, qualidade de energia e ressarcimento de danos, sem se esquecer da criação da Agência Reguladora (ANEEL), fomentadora de grande parte do desenvolvimento de estudos e legislação com relação ao assunto. Cita-se também referências e estudos com relação ao tema análise das solicitações de ressarcimentos de danos a equipamentos eletroeletrônicos associados a distúrbios no fornecimento de energia elétrica.

- ***Quanto ao capítulo II – Levantamento estatístico***

Este capítulo destina-se a apresentar o levantamento estatístico fornecido pela CEMIG Distribuição S.A. referentes às solicitações de ressarcimento de

danos julgadas procedente na Região do Mineiro e Alto Paranaíba, no período considerado, destacando-se que:

- As solicitações associadas à TV's e Micros/Periféricos, representam metade do valor total ressarcido;
- O montante envolvido nas solicitações de ressarcimento Microcomputadores/Periféricos, presentes em 25% das residências, é equivalente ao de TV's, que existem em 96% dos domicílios. O percentual de micros/periféricos é crescente em relação ao total de equipamentos ressarcidos;
- Mais de 60% da quantidade/custos envolvendo ressarcimento de danos a micros/periféricos estão associados a fontes de alimentação, demais componentes internos da CPU e estabilizadores;

Estes fatores foram fundamentais para a escolha de microcomputadores, com e sem estabilizadores como foco de estudo nesta tese de dissertação, cujo objetivo principal foi a obtenção das curvas mais reais de suportabilidade, considerando a metodologia proposta.

- ***Quanto ao capítulo III – Suportabilidade Térmica e Dielétrica***

Este capítulo representa o foco principal desta tese, pois se destina à:

- Determinação de metodologia para a obtenção das curvas de suportabilidade a partir dos valores obtidos nos ensaios destrutivos;
- Utilização do conceito de integral de Joule para a obtenção da curva de suportabilidade térmica, ou seja, a máxima energia dissipada admissível pelos equipamentos;
- Análise das curvas de suportabilidade existentes, suas vantagens e desvantagens, que determinaram a necessidade de obtenção de curvas mais reais a partir de ensaios destrutivos;

- Montagem de estrutura laboratorial adequada para a aplicação dos ensaios destrutivos: sobretensão na frequência industrial até 2 pu, sobretensão devido à sobretensões de MT aplicadas em circuitos de BT e ensaios de impulso de corrente;
- Construção das curvas de suportabilidade a partir de ensaios destrutivos aplicados aos microcomputadores, com e sem estabilizadores, testando dispositivos mitigadores. Incorporou-se tais curvas à nova versão do APR-3.0, que foi aperfeiçoada durante o desenvolvimento dos trabalhos;
- Estudo de casos reais utilizando a nova versão do APR-3.0, criada durante a realização dos trabalhos;
- Teste da eficiência de dispositivos mitigadores, comumente encontrados no mercado, diante dos testes destrutivos realizados.

Os dois primeiros ensaios já citados foram realizados aproveitando a estrutura laboratorial da Universidade Federal de Uberlândia.

- ***Quanto ao capítulo IV – Estudo de casos***

Nos ensaios referentes à aplicação e sobretensão na frequência industrial até 2 pu, utilizou-se de uma fonte HP para a aplicação do citado distúrbio, verificando-se os componentes danificados dos equipamentos ensaiados. Concluiu-se que os custos de reparo não compensariam a substituição de tais componentes. Em nenhum dos citados testes, houve comprometimento de qualquer outro componente interno da CPU.

Nestes ensaios não foi utilizado DPS, haja vista que tais dispositivos atuam apenas para sobretensões acima de 800 volts.

Para os ensaios referentes à queda de cabos de MT na BT foi utilizado um transformador monofásico, alimentado em BT e com um divisor resistivo para

permitir a medição de tensão, nos terminais de MT. Nos ensaios realizados com microcomputador com estabilizador houve danos generalizados nos componentes internos destes, não justificando o seu reparo.

Foram realizados também testes utilizando DPS, tanto para quadro de distribuição quando do tipo tomada. Em função disso e como era de se esperar, durante a realização dos ensaios, não houve danos ao microcomputador testado, tampouco ao estabilizador. Logo, pode-se concluir que o dispositivo DPS, atuou protegendo o microcomputador/estabilizador também durante estes ensaios.

No caso do DPS de tomada, houve a queima de tal componente, mesmo assim este dispositivo atuou protegendo os equipamentos eletroeletrônicos durante o ensaio. Este tipo de DPS é mais susceptível a danos do que o DPS para quadro de distribuição.

Para os ensaios de aplicação de surto de corrente com característica similar à descarga atmosférica, foi necessário utilizar a estrutura laboratorial da UNIFEI, que possui um gerador adequado para a realização de tais ensaios. As principais conclusões dos ensaios realizados foram:

- Nos ensaios com estabilizador apenas este dispositivo foi danificado, mas devido ao comprometimento de diversos componentes internos, não foi viável a sua recuperação;
- Sem estabilizador, diversos componentes das fontes foram danificados, não sendo possível a sua recuperação. Entretanto nenhum outro componente das CPU's foi danificado;
- Quando foram utilizados DPS's, estes comprovaram a sua atuação mitigatória, sem que houvesse qualquer dano nos micros/estabilizadores;
- Os valores obtidos nos ensaios foram utilizados para a construção das curvas de suportabilidade, conforme metodologia estabelecida,

sendo que foram adotados os valores dos equipamentos identificados como mais sensíveis durante a realização dos ensaios.

Estabelecida a metodologia, realizados os ensaios, foram construídas as curvas de suportabilidade alimentando a nova versão do APR, mas ainda faltava a etapa final visando consolidar as contribuições desta dissertação, confrontando o resultado das simulações com os casos existentes nos bancos de dados das concessionárias. Assim no capítulo 4 foram escolhidos três casos, sendo que:

- Descarga atmosférica em um transformador, com solicitação de um cliente alegando queima da fonte. No caso em questão a decisão da concessionária em ressarcir o cliente foi acertada conforme metodologia proposta por este trabalho, haja vista que o cliente alegou não estar usando estabilizador e nem DPS. Para este caso foi feita outra simulação, desta vez com DPS e confirmou-se a sua atuação mitigatória;
- Descarga atmosférica em uma barra situada à montante do ponto de instalação do transformador, com alegação do cliente de que ocorreram danos no estabilizador. No caso em questão a decisão da concessionária de ressarcir os danos alegados pelo cliente, não foi acertada considerando a metodologia proposta por este trabalho, pois as solicitações requeridas em função da aplicação do distúrbio foram inferiores às suportabilidades;
- No curto circuito da MT à montante do ponto de instalação de um trafo com a sua BT, o distúrbio provou no microcomputador solicitações térmicas e dielétricas muito superiores às suas respectivas suportabilidades. Tal fato ocorreu em função das características do circuito elétrico no local e do tempo em que o distúrbio permaneceu ativo (vários segundos), entretanto o

comprometimento da CPU alegada pelo cliente não foi verificada durante os ensaios, haja vista que sem estabilizador o único componente danificado foram as fontes de alimentação.

- ***Considerações Finais***

Esta dissertação atingiu os objetivos inicialmente propostos através da construção de curvas mais reais de suportabilidade dielétricas/térmicas para microcomputadores e estabilizadores e a sua inclusão na nova versão do software APR, construída durante os trabalhos do projeto de pesquisa e desenvolvimento que nortearam esta dissertação.

As melhorias implementadas no citado software, incluindo a importação de dados diretamente do sistema georreferenciado da concessionária, contribuirão muito para a melhoria nas análises das solicitações de ressarcimento de danos.

Também foram testados dispositivos tipo DPS tanto para os testes de sobretensão da MT na BT, quanto para os de impulso de corrente, comprovando a eficiência de tais dispositivos na mitigação dos distúrbios.

Mesmo com uma metodologia consistente, com tantos ensaios destrutivos e com curvas mais reais de suportabilidade para microcomputadores, este estudo não apresenta conclusões definitivas sobre o tema em questão, haja vista que várias considerações ainda podem ser feitas com relação à:

- Tempo de uso dos equipamentos, interferindo na suportabilidade;
- Local exato em que ocorreu o distúrbio, sobretudo as descargas atmosféricas e se tais distúrbios tiveram como meio de propagação a rede de distribuição;
- Comprovação de que o equipamento realmente foi danificado durante a ocorrência do distúrbio;
- Resposta da metodologia proposta para todos os tipos de distúrbio;

- Qualidade do aterramento no local da ocorrência e nas instalações dos clientes;
- Performance dos para-raios, sobretudo os mais antigos (SIC), etc...
- Necessidade de uma quantidade maior de testes, visando obter mais pontos para a construção das curvas de suportabilidade;
- Falta de normas e procedimentos padronizados para a realização de ensaios visando obtenção das curvas de suportabilidade;
- A maioria das tomadas nas residências ainda tem apenas dois fios.

Além da melhoria na análise técnica das solicitações de ressarcimento de dados, ficou evidente que as normas internas e campanhas publicitárias devem ser ajustadas para orientar os clientes sobre a importância da instalação de dispositivos mitigadores (tipo DPS) nos quadros de distribuição, ou até mesmo nos padrões de entrada, sendo que neste último caso a responsabilidade seria da concessionária. No caso da CEMIG, já foram acionados os órgãos competentes para a realização de experiência piloto com DPS, em locais com alta incidência de descargas atmosféricas.

Na maior parte dos casos as concessionárias adotam o procedimento de ressarcir danos a equipamentos eletroeletrônicos alegados pelos clientes, quando identificam distúrbios no fornecimento de energia elétrica, sem uma análise detalhada sobre os reais efeitos de tais distúrbios nas instalações consumidoras (solicitações x suportabilidades), por não possuir software para tal, gerando dispêndios indevidos.

A performance da nova versão do APR-3.0 durante os ensaios foi excelente, sobretudo após a criação de um software de integração com o banco de dados da CEMIG D, e comprova que um software para subsidiar a análise técnica para a apuração do nexo causal é fundamental para se estabelecer um processo de análise dos PID's mais ágil, justo e coerente. Os Procedimentos de

Distribuição – (PRODIST-ANEEL) em seu futuro módulo 9, deverão contemplar, de forma pontual, procedimentos relativos à análise técnica para a avaliação do nexos causal, quem sabe abrindo caminho para a aceitação de softwares como o APR para tal análise.

A utilização de curvas de suportabilidade de equipamentos eletroeletrônicos, já conhecidas e publicadas, deve ser repensada em função de limitações durante a sua concepção, sobretudo com relação às curvas de suportabilidade térmica. O ideal é que tivéssemos curvas construídas para os diversos equipamentos, obtidas a partir de ensaios padronizados e quem sabe até poderia ser exigida dos fabricantes a inclusão de tais curvas, nos manuais dos equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOLLEN M. H. J., “Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions”, Piscataway, IEEE Press, 2000.
- [2] HERMES R. P. M., OLIVEIRA., JESUS N. C., VIECILI G. B., “Sensibilidade de Equipamentos Eletrodomésticos Submetidos a Afundamentos de Tensão” - XVIII SNPTEE, Curitiba-PR, outubro de 2005.
- [3] TEIXEIRA M. D., ARAUJO R. L., QUORIN N. R., ARDJOMAND L. M., AOKI. A. R., SGOBERO P., WUNDERLICH I., “WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Issue 5, vol.4, May 2005. BOLLEN M. H. J., “Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions”, Piscataway, IEEE Press, 2000.
- [4] ERMELER K., PFEIFFER W., SCHOEN D., SCHOCKE M., “Surge Immunity of Electronic Equipment”, IEEE - Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, 1998.
- [5] JUCÁ A. S., “Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de adequação”, Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da USP, São Paulo/SP, 2003.
- [6] TAVARES C. E., "Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos à Consumidores", tese de Doutorado, UFU, Uberlândia/MG, 2008.
- [7] TAVARES C. E., "Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos diante de Distúrbios da Qualidade da Energia – Enfoque: Televisores, VCR's e Som", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, maio de 2004.
- [8] MENDONÇA M. V. E., “Contribuições ao Processo Computacional para análise de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos Elétricos”, tese de Doutorado, UFU, Uberlândia/MG, 2010.

- [9] SILVA O. A., “Metodologia para Subsidiar a Análise das Solicitações de Ressarcimento por Danos, utilizando-se Dispositivos de proteção Contra Surtos (DPS)”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, 10/2010.
- [10] DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., BARBOSA Jr. J. A. F., MARTINS E. A., AVILA C. J., BORGES J. M., “Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados à distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores, P&D-238, CEMIG/UFU, Relatório Técnico 01/ano 02, 08/2009.
- [11] DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., BARBOSA Jr. J. A. F., MARTINS E. A., AVILA C. J., BORGES J. M., “Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados à distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores, P&D-238, CEMIG/UFU, Relatório Técnico 02/ano 02, 04/2010.
- [12] DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., BARBOSA Jr. J. A. F., MARTINS E. A., AVILA C. J., BORGES J. M., “Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados à distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores, P&D-238, CEMIG/UFU, Relatório Técnico 04/ano 1, 04/2009.
- [13] AVILA C. J., “Curvas de Suportabilidade Dielétrica e Térmica para Televisores Integradas ao APR e ao Banco de Dados da CEMIG Distribuição S.A.” , dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, 12/2011.
- [14] GADENZ F., “Uma Proposta para a Inserção do Tempo de Uso dos Equipamentos no Aplicativo APR e outros Estudos Avaliativos de Casos Reais de PID’s”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, 10/2010.