

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



Contribuições para o Aplicativo APR: Novos
Limites de Suportabilidade, Perturbações via
Medições e Sistematização no Processo da
Configuração da Rede Elétrica

Isaque Nogueira Gondim

Uberlândia
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**Contribuições para o Aplicativo APR: Novos
Limites de Suportabilidade, Perturbações via
Medições e Sistematização no Processo da
Configuração da Rede Elétrica**

Tese apresentada por Isaque Nogueira
Gondim à Universidade Federal de
Uberlândia para a obtenção do título de
Doutor em Ciências. Aprovado em 10
de agosto de 2012.

BANCA EXAMINADORA:

José Carlos de Oliveira, **PhD – UFU (Orientador)**

Carlos Alberto Calixto Mattar, **MSc – ANEEL**

Olívio Carlos Nascimento Souto, **Dr – IFG**

Thiago Clé de Oliveira, **Dr – UNIFEI**

Aloísio de Oliveira, **Dr – UFU**

Antônio Carlos Delaiba, **Dr – UFU**

Carlos Eduardo Tavares, **Dr – UFU**

Milton Itsuo Samesima, **Dr – UFU**

Contribuições para o Aplicativo APR: Novos
Limites de Suportabilidade, Perturbações via
Medições e Sistematização no Processo da
Configuração da Rede Elétrica

Isaque Nogueira Gondim

Tese apresentada por Isaque Nogueira Gondim à
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Doutor em Ciências.

Prof. José Carlos de Oliveira, Ph.D.
(Orientador) – UFU

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

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, Sonia de Fátima, aos meus irmãos Rodrigo e Ederson, ao meu avô José Tibúrcio e a todos que de alguma forma contribuíram para esta realização.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a **Deus** por iluminar os caminhos da minha vida e pela generosa companhia durante as etapas de realização deste trabalho, auxiliando nas minhas decisões e atitudes.

Em especial, expresso meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Prof. **José Carlos de Oliveira** por todo incentivo, colaboração, amizade, confiança e constantes ensinamentos, essenciais à concretização desta meta.

À **minha família** pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo ao longo das fases e obstáculos superados em minha vida.

Ao meu grande amigo **João Areis Ferreira Barbosa Junior** agradeço pelo apoio, amizade que tornam esta conquista ainda mais importante.

Aos amigos do Laboratório de Qualidade da Energia **Angélica Pereira Marsicano Tavares, Arnaldo José Pereira Rosentino Junior, Carlos Eduardo Tavares, Fabricio Parra Santilio, José Rubens Macedo Junior e Paulo Henrique Rezende** pelo companheirismo, apoio, amizade e agradável convívio proporcionado nos diversos momentos de trabalho em equipe.

Aos professores **Antônio Carlos Delaiba, Aloísio de Oliveira, José Wilson Resende, Marcelo Lynce Ribeiro Chaves, Milton Itsuo Samesima, Sérgio Ferreira de Paula Silva, e Kleiber David Rodrigues** pelo auxílio e conhecimentos transmitidos.

Aos colegas e amigos da Pós-Graduação **Alex Reis, Fernanda Hein, Ivan Nunes, Loana Velasco e Thiago Vieira** pelo apoio e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFU, através de seus professores e funcionários, pela oportunidade de crescimento profissional e aprendizado. À **Cinara, José Maria e Kátia** pela presteza nos encaminhamentos dos assuntos vinculados com a secretaria da Pós-Graduação, bem como aqueles envolvidos com projetos de pesquisa.

A **FAPEMIG** por ter concedido suporte financeiro a esta pesquisa.

Enfim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a viabilização desta tese de doutorado.

RESUMO

Os Pedidos de Indenização por Danos - PIDs, aliados a recente publicação da Resolução ANEEL nº 360/2009, aperfeiçoando a Resolução Normativa nº 61/2004, que determina as disposições relativas ao ressarcimento de danos em equipamentos elétricos instalados em unidades consumidoras. O assunto, diante da sua relevância social, da relação comercial entre fornecedores e consumidores, e ainda, da crescente demanda representa, na atualidade, tema de extrema importância. Por conseguinte, constata-se, no momento, esforços direcionados para melhor consubstanciar os processo de análise, em que pese a correlação entre causas e efeitos, classicamente denominada por nexos causais. Dentro deste contexto se insere a presente proposta de tese de doutorado, a qual se encontra direcionada ao avanço de uma ferramenta computacional de análise de pedidos de indenização, fundamentado no princípio da consistência entre fenômenos e danos. O trabalho de pesquisa aqui contemplado se apresenta com três contribuições ao presente estado da arte. Uma primeira, associada com a obtenção de novas propostas para os limites de suportabilidade dielétrica e térmica para equipamentos típicos. Uma segunda, vinculada com o estabelecimento de uma estratégia para a caracterização das anomalias operacionais via medições reais em campo e composição de um banco de dados para uso do *software* de análise. E, por fim, a proposição de um procedimento sistematizado para a configuração e parametrização da rede de distribuição até o ponto de conexão do consumidor reclamante via bancos de dados de *softwares* geo-referenciados.

Palavras-Chave: suportabilidade de equipamentos, limites dielétricos e térmicos, medições de campo, *software* para análise de pedidos de indenização.

ABSTRACT

The refunding requests coupled with the standard ANEEL 360/2009, which has contributed to the standard 61/2004, are considered the main Brazilian guidelines to cope with the subject of consumer reimbursement due to electrical appliances damages. Indeed, the subject is growing in valuable due to its social relevance, the commercial relationship between suppliers and final users and the growing number of requests involving the focused matter. As a direct consequence of these concerns it can be recognizes a number of investigations carried out in order to provide means to achieve a consistent way of correlating causes and effects, classically known as causal nexus. Within this context arises this PhD thesis that is aimed at the improvement of an existing computational program to provide final reports about the consistence or not of system disturbances and equipment damages. The proposed research work here considered has three main contributions to the present state of the art. First of all, the thesis is intended at proposing new dielectric and thermal withstand curves to some commercial products. Secondly, a strategy to characterize electrical system abnormal conditions by site measurements to feed a data bank to be used by the software. And finally, through a data bank based in geographic information system (GIS), the establishment of a fast and reliable way of feeding the software with the consumer feeder information as far as its topology and parameters are concerned.

Keywords: Equipment withstand limits, dielectric and thermal tolerances, site measurements, computational refunding analysis procedures.

SUMÁRIO

Capítulo I

Introdução Geral

| | |
|--|----|
| 1.1 – Considerações iniciais | 16 |
| 1.2 – Contextualização do tema..... | 17 |
| 1.3 – Estado da arte..... | 19 |
| 1.4 – Objetivos e contribuições oferecidas por esta tese | 27 |
| 1.5 – Estrutura da tese..... | 30 |

Capítulo II

Novas Curvas de Suportabilidade para Equipamentos Eletroeletrônicos

| | |
|---|----|
| 2.1 – Considerações iniciais | 32 |
| 2.2 – Suportabilidade térmica..... | 34 |
| 2.3 – Suportabilidade dielétrica | 50 |
| 2.4 – Análise comparativa das curvas de suportabilidade | 69 |
| 2.5 – Considerações finais | 73 |
| 2.6 – Os avanços oferecidos por este capítulo..... | 74 |

Capítulo III

Uma Proposta para a Análise de PIDs via Medições em Tempo Real dos Distúrbios

| | |
|---|-----|
| 3.1 – Considerações iniciais | 75 |
| 3.2 – Estrutura física associada ao processo..... | 77 |
| 3.3 – Caracterização das principais unidades físicas componentes do processo..... | 79 |
| 3.4 – Estrutura do APR para utilização das informações de campo..... | 83 |
| 3.5 – Implementação dos resultados das medições no aplicativo APR..... | 84 |
| 3.6 – Considerações finais | 101 |
| 3.7 – Os avanços oferecidos por este capítulo..... | 102 |

Capítulo IV

Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento com o APR

| | |
|--|-----|
| 4.1 – Considerações iniciais | 104 |
| 4.2 – <i>Software</i> de gerenciamento do sistema de distribuição | 106 |
| 4.3 – Síntese dos procedimentos para análise de PIDs utilizando a sistemática proposta | 116 |
| 4.4 – Avaliação de desempenho da metodologia | 120 |
| 4.5 – Considerações finais | 138 |
| 4.6 – Os avanços oferecidos por este capítulo | 140 |

Capítulo V

Conclusões

| | |
|-----------------|-----|
| Conclusões..... | 141 |
|-----------------|-----|

Publicações

| | |
|--|-----|
| (a) Aprovada em periódico | 147 |
| (b) Congressos, seminários e conferências internacionais | 148 |
| (c) Congressos, seminários e conferências nacionais | 150 |

Referências Bibliográficas

| | |
|----------------------------------|-----|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 153 |
|----------------------------------|-----|

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Formato de uma curva típica de suportabilidade térmica. | 35 |
| Figura 2.2 – Padrão do impulso de corrente para definição do limite de energia admissível pelo equipamento sob teste..... | 36 |
| Figura 2.3 – Composição laboratorial para o levantamento dos limites térmicos dos equipamentos. | 37 |
| Figura 2.4 – Gerador de impulso de corrente – Laboratório de AT da UNIFEI | 38 |
| Figura 2.5 – Uma exemplificação dos tipos de equipamentos reclamados para uma empresa distribuidora..... | 39 |
| Figura 2.6 – Impulso de corrente aplicado ao aparelho televisor de 29” | 40 |
| Figura 2.7 – Procedimento para a extração da energia máxima (I^2t) admissível pelo equipamento. | 41 |
| Figura 2.8 – Curva de suportabilidade térmica do televisor 3..... | 42 |
| Figura 2.9 – Curva de suportabilidade térmica do televisor 5..... | 42 |
| Figura 2.10 – Impulso de corrente aplicado ao aparelho de som. | 43 |
| Figura 2.11 – Energia máxima (I^2t) admissível pelo equipamento. | 44 |
| Figura 2.12 – Curva de suportabilidade térmica do aparelho de som com menor energia admissível. | 45 |
| Figura 2.13 – Impulso de corrente aplicado ao microcomputador. | 46 |
| Figura 2.14 – Energia máxima (I^2t) admissível pelo equipamento. | 46 |
| Figura 2.15 – Curva de suportabilidade térmica do microcomputador - com estabilizador | 48 |
| Figura 2.16 – Curva de suportabilidade térmica do microcomputador - sem estabilizador | 48 |
| Figura 2.17 – Tela de recursos inserida no APR e que permite a utilização das curvas térmicas CEMIG. | 50 |
| Figura 2.18 – Curva típica para a suportabilidade dielétrica de um equipamento. | 51 |
| Figura 2.19 – Curva de suportabilidade ITIC..... | 54 |
| Figura 2.20 – Curva de suportabilidade para aparelhos de TV. | 55 |
| Figura 2.21 – Curva de suportabilidade para aparelhos de TV. | 56 |
| Figura 2.22 – Arranjo laboratorial para realização de ensaios com sobretensões à frequência industrial. | 58 |
| Figura 2.23 – Principais componentes utilizados na montagem laboratorial para os ensaios de sobretensão à 60 Hz: (a) Transformador de 15 kVA, (b) Registradores das formas de onda da tensão e corrente, (c) Equipamento eletroeletrônico sob teste e (d) Fonte Programável. | 59 |
| Figura 2.24 – Exemplo de registro da tensão e corrente aplicadas ao produto sob teste. | 60 |
| Figura 2.25 – Montagem laboratorial para a realização dos ensaios representativos da queda de cabos de MT na BT..... | 61 |
| Figura 2.26 – Estrutura laboratorial para reprodução de fenômenos associados com descargas atmosféricas. | 62 |
| Figura 2.27 – Ilustração da estrutura do laboratório para ensaios de transitórios impulsivos - UNIFEI. | 63 |
| Figura 2.28 – Curva de suportabilidade dielétrica para televisores de 21” | 65 |
| Figura 2.29 – Curva de suportabilidade dielétrica para televisores de 29” | 65 |
| Figura 2.30 – Curva de suportabilidade dielétrica para aparelhos de som. | 66 |
| Figura 2.31 – Curva de suportabilidade dielétrica para microcomputadores - sem estabilizador..... | 68 |

| | |
|--|-----|
| Figura 2.32 – Curva de suportabilidade dielétrica para microcomputador - com estabilizador. | 68 |
| Figura 2.33 – Tela de recursos inserida no APR e que permite a utilização das curvas dielétricas CEMIG. | 69 |
| Figura 2.34 – Curvas de suportabilidade térmica para eletroeletrônicos. | 70 |
| Figura 2.35 – Curvas de suportabilidade dielétrica para aparelhos televisores – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais. | 71 |
| Figura 2.36 – Curvas de suportabilidade dielétrica para aparelhos de som – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais. | 72 |
| Figura 2.37 – Curvas de suportabilidade dielétrica para microcomputadores – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais. | 72 |
| Figura 3.1 – Equipamentos para registro dos distúrbios e transmissão dos dados. | 77 |
| Figura 3.2 – Estrutura do sistema proposto para aquisição, transmissão e armazenamento dos sinais capturados via medição. | 78 |
| Figura 3.3 – Medidor CCK 4100. | 80 |
| Figura 3.4 – Equipamento CCK 7000 - Conversor das informações de medição para permitir a conexão à internet via telefonia celular GSM. | 81 |
| Figura 3.5 – Produto Motorola utilizado para transmissão dos dados. | 81 |
| Figura 3.6 – Diagrama representativo do processo de armazenamento e disponibilização de acesso às informações. | 82 |
| Figura 3.7 – Estrutura do programa APR com possibilidade de inserção de informações via medição. | 84 |
| Figura 3.8 – Exemplo de arquivos de dados sobre os distúrbios medidos disponibilizados pelo servidor. | 85 |
| Figura 3.9 – Exemplo de informações instantâneas sobre tensões disponíveis no servidor. | 86 |
| Figura 3.10 – Exemplo de formas de onda das tensões medidas e disponibilizadas no servidor. | 86 |
| Figura 3.11 – Modelo computacional desenvolvido para reproduzir os distúrbios medidos na plataforma ATP. | 87 |
| Figura 3.12 – Formas de ondas das tensões durante o distúrbio geradas pelo software ATP. | 91 |
| Figura 3.13 – Arranjo laboratorial para os testes de desempenho do sistema proposto. | 92 |
| Figura 3.14 – Formas de onda das tensões produzidas pela fonte e registradas pelo osciloscópio – curto-circuito fase-terra. | 94 |
| Figura 3.15 – Formas de onda das tensões armazenadas e disponibilizadas no servidor - curto-circuito fase-terra. | 94 |
| Figura 3.16 – Formas de onda das tensões inseridas e disponibilizadas no ATP - curto-circuito fase-terra. | 95 |
| Figura 3.17 – Formas de onda das tensões produzidas pela fonte e registradas pelo osciloscópio – transitório oscilatório. | 96 |
| Figura 3.18 – Formas de onda das tensões armazenadas e disponibilizadas no servidor - transitório oscilatório. | 96 |
| Figura 3.19 – Formas de onda das tensões inseridas e disponibilizadas no ATP - transitório oscilatório. | 97 |
| Figura 3.20 – Janela destinada à inserção de medição real no aplicativo APR. | 98 |
| Figura 3.21 – Configurações no caso em análise no aplicativo APR. | 99 |
| Figura 3.22 – Formas de onda de tensões inseridas no Aplicativo APR e associadas com o curto circuito. | 99 |
| Figura 3.23 – Análise comparativa das solicitações dielétricas e térmicas diante dos níveis de suportabilidade dielétrica e térmica do microcomputador | 100 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.1 – Exemplo de arquivo {nome do alimentador}.dat de um alimentador da rede elétrica da CEMIG..... | 108 |
| Figura 4.2 – Exemplo da exportação de dados do GEMINI para o APR – identificação das barras da rede até o alimentador em média tensão do consumidor. | 109 |
| Figura 4.3 – Exemplo da exportação de dados para o APR – caracterização da fonte de suprimento em média tensão do consumidor. | 109 |
| Figura 4.4 – Exemplo da exportação de dados para o APR – componentes entre as barras – identificação e parametrização. | 110 |
| Figura 4.5 – Exemplo da exportação de dados do GEMINI para o APR – identificação das potências ativas e reativas por barra de média tensão. | 111 |
| Figura 4.6 – Componentes existentes entre duas barras do arquivo {nome do alimentador}.dat.pelch.txt de um alimentador da rede elétrica. | 111 |
| Figura 4.7 – Identificação dos transformadores que perfazem o complexo de alimentação - exemplo de arquivo {nome do alimentador}.dat.peltr.txt. | 112 |
| Figura 4.8 – Janela destinada à parametrização de transformadores para o aplicativo APR. | 113 |
| Figura 4.9 – Seleção do cabo de baixa tensão no GEMINI e respectiva..... | 114 |
| representação no APR. | 114 |
| Figura 4.10 – Representação dos consumidores de baixa tensão supridos pelo transformador selecionado..... | 115 |
| Figura 4.11 – Posicionamento físico do consumidor na rede de distribuição. | 117 |
| Figura 4.12 – Ícone para importação de dados do sistema geo-referenciado..... da empresa para o aplicativo APR..... | 118 |
| Figura 4.13 – Campo para inserção do identificador do cliente reclamante. | 118 |
| Figura 4.14 – Síntese da rede de distribuição importada..... | 119 |
| Figura 4.15 – Sistema elétrico importado para o aplicativo APR. | 120 |
| Figura 4.16 – Arranjo físico relativo ao PID associado com o caso 1. | 121 |
| Figura 4.17 – Sistema elétrico equivalente e importado para o aplicativo APR – Caso 1. | 122 |
| Figura 4.18 – Configuração da descarga atmosférica- Caso 1. | 123 |
| Figura 4.19 – Tensão na entrada do equipamento - Caso 1..... | 124 |
| Figura 4.20 – Corrente na entrada do equipamento - Caso 1. | 124 |
| Figura 4.21 – Solicitações dielétricas impostas versus níveis de suportabilidade da TV - Caso 1..... | 125 |
| Figura 4.22 – Solicitações térmicas impostas versus níveis de suportabilidade da TV - Caso 1..... | 125 |
| Figura 4.23 – Arranjo físico relativo ao PID associado com o caso 2. | 127 |
| Figura 4.24 – Sistema elétrico equivalente e importado para o aplicativo APR – Caso 2. | 128 |
| Figura 4.25 – Configuração do religamento automático- Caso 2..... | 129 |
| Figura 4.26 – Tensão na entrada do equipamento - Caso 2..... | 130 |
| Figura 4.27 – Corrente imposta na entrada da TV - Caso 2. | 130 |
| Figura 4.28 – Solicitações dielétricas impostas versus níveis de suportabilidade da TV - Caso 2..... | 131 |
| Figura 4.29 – Solicitações térmicas impostas versus níveis de suportabilidade da TV - Caso 2..... | 131 |
| Figura 4.30 – Arranjo físico relativo ao PID associado com o caso 3. | 133 |
| Figura 4.31 – Sistema elétrico equivalente e importado para o aplicativo APR – Caso 3. | 134 |
| Figura 4.32 – Configuração do curto MT/BT- Caso 3. | 135 |
| Figura 4.33 – Tensão na entrada do equipamento - Caso 3..... | 136 |
| Figura 4.34 – Corrente na entrada do equipamento - Caso 3. | 136 |
| Figura 4.35 – Solicitações dielétricas impostas versus níveis de suportabilidade..... do aparelho de som - Caso 3..... | 137 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.36 – Solicitações térmicas impostas versus níveis de suportabilidade | 137 |
| do aparelho de som - Caso 3..... | 137 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 2.1 – Síntese dos resultados laboratoriais – energia térmica máxima - televisores | 41 |
| Tabela 2.2 – Síntese dos resultados laboratoriais – energia térmica máxima – aparelhos de som | 44 |
| Tabela 2.3 – Síntese dos resultados laboratoriais – energia térmica máxima – computadores com estabilizador | 47 |
| Tabela 2.4 – Síntese dos resultados laboratoriais – energia térmica máxima – computadores sem estabilizador | 47 |
| Tabela 2.5 – Síntese dos resultados laboratoriais – tensões limites para os televisores | 64 |
| Tabela 2.6 – Síntese dos resultados laboratoriais – tensões limites para os aparelhos de som | 66 |
| Tabela 2.7 – Síntese dos resultados laboratoriais – tensões limites para os micromputadores | 67 |
| Tabela 3.1 – Casos estudados | 93 |
| Tabela 4.1 – Identificação do alimentador e consumidor - Caso 1 | 122 |
| Tabela 4.2 – Identificação do alimentador e consumidor – Caso2..... | 127 |
| Tabela 4.3 – Identificação do alimentador e consumidor - Caso 3 | 133 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------|---|
| $i(t)$ | - Valor instantâneo da corrente [A] |
| T_D | - Intervalo de tempo [s] |
| J | - Energia máxima admitida pelo equipamento [$A^2 \cdot s$] |
| $V(t)$ | - Tensão admissível pelo equipamento [V] |
| t | - Intervalo de tempo [s] |
| $Y(t)$ | - Valor da tensão admitida pelo equipamento durante um dado intervalo de tempo [V] |
| α, β | - Constantes que definem o formato da curva de suportabilidade dielétrica dos equipamentos [V]; |

CAPÍTULO I

Introdução Geral

1.1 – Considerações iniciais

A evolução tecnológica tem contribuído substancialmente na concepção e comercialização de modernos equipamentos, com destaque para os eletroeletrônicos, encontrados nos vários setores da sociedade, desde os produtivos até os domésticos. De um modo geral, esses dispositivos melhoram o conforto, a segurança, a produção e trazem outros benefícios. No entanto, apesar das vantagens oferecidas, muitos desses produtos possuem grande dependência com a qualidade da energia elétrica de suprimento [1].

De fato, a dinâmica operacional de um sistema elétrico, provocada, dentre outros motivos, pelas atuações dos dispositivos de proteção, entrada e saída de cargas de elevadas potências, partida de grandes motores, ocorrência de curto-circuitos, forte presença de cargas não-lineares, incidência de descargas atmosféricas, dentre outros, ocasiona distúrbios e fortes impactos sobre as características operacionais de muitos equipamentos [2]. Sob a ação destes fenômenos, muitas vezes tratados sob a designação de condições não-ideais de operação, os aparelhos elétricos podem vir a operar de maneira inadequada ou, em caso extremo, sofrer danos físicos que exigem a pronta substituição de peças ou do produto como um todo [3]-[5].

Diante desta realidade, muitas vezes, estão os consumidores e as concessionárias em permanente contenda. Os primeiros, cada vez mais cientes de seus direitos, solicitando ressarcimento pelos prejuízos físicos e operacionais apresentados por seus equipamentos, supostamente devido aos distúrbios apresentados pela rede, 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 em que primem a coerência e a justiça.

O agravante desta situação é que muitas empresas 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, também pouco conhecido, dos produtos. Consequentemente, a concordância ou contestação dos pedidos encaminhados 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 produtos reclamados, fato este que conduz, indubitavelmente, a um tratamento bastante empírico para a matéria.

A busca de uma solução para essa questão tem merecido, cada vez mais, a atenção dos profissionais da área, visto que, nos últimos anos, tem ocorrido um aumento na quantidade de pedidos de indenização e consequentemente um aumento dos impactos financeiros e sobre a imagem da empresa concessionária. Dentro deste cenário, é sabido que as questões aqui tratadas têm acarretado longas e dispendiosas ações judiciais com proporcional insatisfação dos consumidores [6].

1.2 – Contextualização do tema

Como resultado das questões levantadas, e outros aspectos, sobretudo no que tange aos direitos dos consumidores perante os serviços oferecidos pelas

empresas do setor, surge a necessidade da padronização da qualidade mínima dos suprimentos elétricos e a definição de regras para a análise de processos de ressarcimento. Objetivando contemplar este segmento de conhecimento, tanto a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) quanto o Operador Nacional do Sistema (ONS) possuem documentos norteadores sobre a normatização dos padrões de fornecimento de energia elétrica, a saber: os Procedimentos de Distribuição [7] e Procedimentos de Rede [8].

Focando especificamente na questão dos danos e pedidos de ressarcimento, ressaltam-se documentos já elaborados, a exemplo da Resolução Normativa nº 61, de 29 de abril de 2004 da ANEEL, que foi alterada pela Resolução Normativa nº360, de 14 de abril de 2009 [9]. Essas estabelecem as disposições relativas ao ressarcimento de danos elétricos em equipamentos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbação ocorrida no sistema supridor. Nessas resoluções, verifica-se que os procedimentos adotados estão vinculados principalmente ao nexo de causalidade, o qual está definido como o liame causal que determina o vínculo entre o evento causador e o dano reclamado. Isto pode ser observado no artigo 5º, o qual é transcrito a seguir:

Art. 5º - “No processamento do pedido de ressarcimento, a distribuidora deve investigar a existência do nexo de causalidade, considerando inclusive os registros de ocorrências na sua rede”.

Esses documentos, apesar da importância no cenário em foco, não preenchem todos os aspectos da matéria e, com certeza, o tema em pauta carece de maiores investigações com vistas ao estabelecimento de critérios mais sistematizados para análise e parecer sobre as solicitações de ressarcimento. Estas preocupações ficam fortalecidas ao se observar o crescente número de

pedidos de indenizações que ocorrem na atualidade, e ainda, com as perspectivas futuras da intensificação desta demanda.

Diante deste contexto, uma estratégia baseada na simulação em ambiente computacional para avaliar o desempenho de um sistema típico de distribuição e, conseqüentemente, qualificar e quantificar os seus efeitos, propagações e impactos nos equipamentos conectados ao mesmo, apresenta-se como uma ferramenta importante para a análise técnica de pedidos de ressarcimento a consumidores.

Além dos aspectos computacionais, vale também destacar que sistemas de monitoração destinados ao registro de distúrbios elétricos também se mostram de grande utilidade para subsidiar a área em questão. Todavia, dificuldades atreladas com exigências impostas pelas naturezas dos distúrbios, número de equipamentos necessários, aspectos econômicos, e outros, impõem limitações ao emprego destes recursos para os registros individuais em grandes complexos de distribuição. Talvez, por tais motivos, não sejam encontrados mecanismos como esses nas redes elétricas de distribuição e, diante desta conjuntura, mais uma vez, a busca de técnicas fundamentadas em modelagens e estudos computacionais sejam mais promissoras. Não obstante tal observação, se os aplicativos computacionais puderem contar com informações extraídas dos troncos de alimentação dos consumidores, é de compreensão geral que os estudos serão, indiscutivelmente, mais adequados aos propósitos aqui estabelecidos.

1.3 – Estado da arte

Após pesquisas e estudos da bibliografia atual encontrada pelos meios tradicionais de acesso, obteve-se um conjunto de informações sobre os mais

distintos trabalhos de pesquisa e avanços do conhecimento no âmbito da área de análise de pedidos de ressarcimento.

De um modo geral, os documentos atrelados com a bibliografia consultada sobre o tema em pauta podem ser reunidos nas seguintes grandes áreas:

- ***Conceitos gerais associados com Qualidade da Energia***

Nas referências [1], [2], [10] e [11] podem ser encontrados conceitos, definições e uma extensa descrição dos distúrbios relacionados com a qualidade da energia elétrica. Complementarmente, a referência [12] apresenta formas para categorizar problemas relativos à qualidade de energia. Tendo em vista que as questões associadas com o tópico aqui discutido são de ampla difusão no meio acadêmico e outros, considera-se dispensável tecer maiores comentários sobre o assunto neste trabalho.

- ***Normas/recomendações nacionais sobre Qualidade da Energia***

A referência [7], associada com o conhecido PRODIST-ANEEL, tem por objetivo estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia em sistemas de distribuição de energia elétrica. Define os conceitos e os parâmetros envolvidos dando mecanismos que possibilitem à ANEEL estabelecer valores-limite para os indicadores de Qualidade da Energia Elétrica. Os Procedimentos de Rede do ONS [8], por sua vez, considera os padrões de qualidade recomendados para a rede básica do sistema elétrico nacional. Novamente, devido à reconhecida disseminação desses documentos, entende-se ser desnecessária uma maior discussão. Muito embora a questão ainda se apresente de forma embrionária, vale ressaltar que os Procedimentos da Distribuição da

ANEEL, em seu Módulo 9, deverá contemplar, de forma pontual, o tema central focado nesta tese, qual seja, os assuntos correlacionados com as diretrizes desde a entrada de um pedido até a emissão de um parecer final por parte da distribuidora de energia.

- ***Sensibilidade e suportabilidade de aparelhos elétricos***

Os trabalhos de pesquisa [3], [4], [5], [13] - [29] realizados por diversas instituições nacionais e internacionais a respeito da sensibilidade e suportabilidade de aparelhos elétricos, quando submetidos a suprimento de energia contendo distúrbios de naturezas diversas, objetivam um melhor entendimento dos limites toleráveis por equipamentos eletroeletrônicos e outros. Enquanto alguns desses estudos visam quantificar os níveis de sensibilidade e suportabilidade admissíveis pelos produtos, outros direcionam suas investigações de modo a observar as interdependências de modo mais qualitativo. Não obstante os trabalhos encontrados sobre o assunto, ressalta-se que são poucos aqueles que, efetivamente, produzem resultados finais conclusivos na forma de curvas representativas de tais níveis, as quais, certamente, consistiriam em fundamentos sólidos para os estudos em pauta.

Em [30] pode-se encontrar uma síntese das principais publicações pertinentes ao assunto. Dos trabalhos indicados destaca-se a relevância da referência [3], a qual apresenta resultados de estudos experimentais envolvendo uma boa gama de produtos eletroeletrônicos, a exemplo de: televisores, aparelhos de som e DVD, microcomputadores e videocassetes. Todos eles submetidos a transitórios impulsivos e sobretensões a frequência industrial. Uma outra contribuição importante corresponde a publicação [4], contendo curvas de sensibilidade e suportabilidade para cada um dos seguintes equipamentos:

televisores, rádio relógios, DVD *players*, refrigeradores, videocassetes e microcomputadores. A tônica desta referência está no desempenho dos equipamentos diante de interrupções, afundamentos de tensão e transitórios impulsivos. O documento [21] mostra a curva ITIC, a qual descreve um envelope compreendendo níveis toleráveis de tensão de suprimento recomendados, na fase de projeto, para a maioria dos equipamentos eletroeletrônicos de tecnologia da informação. Em [5] são apresentados os resultados de testes de aparelhos de videocassete no que tange à suportabilidade destes equipamentos quanto da incidência de sobretensões transitórias.

Além das publicações anteriores, retratando resultados e desempenhos experimentais sob a ação de distúrbios diversos, destacam-se ainda os documentos balizadores sobre os procedimentos de testes visando avaliar os níveis de suportabilidade dos equipamentos. Neste particular, reconhece-se, em especial, aqueles identificados nas referências [31] e [32]. Tais documentos apresentam orientações para a aplicação de sobretensões impulsivas, afundamentos e interrupções quando da análise operacional de equipamentos.

Do exposto segue que, apesar dos avanços relatados, o assunto oferece ainda desafios merecedores de maiores investigações, a exemplo de trabalhos direcionados ao estabelecimento de diretrizes conclusivas sobre a correlação entre distúrbios e níveis de suportabilidade de equipamentos.

- ***Modelagem computacional de redes de distribuição e de aparelhos elétricos***

No que tange aos sistemas elétricos e sua modelagem no domínio do tempo, a referência [33] trata especificamente das características dos recursos computacionais disponibilizados pelo simulador ATP (*Alternative Transients*

Program). Tendo em vista que este ponto constitui-se num dos alicerces desta tese, é importante observar que inúmeros trabalhos foram publicados e que contemplam o emprego desta ferramenta para os fins aqui almejados, conforme as discussões a seguir.

Informações sobre a questão da modelagem dos diversos equipamentos que compõem os seguimentos de consumo industrial, comercial e residencial e respectivas implementações em ambientes computacionais podem ser encontradas em [14], [15], [27], [28], [30], [34]. Essas e outras referências estabelecem as diretrizes utilizadas, propõem estratégias para representações de vários dispositivos e validam as propostas através da comparação entre seus desempenhos teóricos diante dos resultados experimentais. Tendo em vista as particularidades atreladas com os estudos investigativos para cada um dos produtos focados neste contexto, considera-se relevante ressaltar que os modelos disponibilizados e já implementados na base ATP se mostram compatíveis às exigências impostas por estudos de regime permanente e sob condições de suprimento adversas.

Nestes termos pode-se considerar que a plataforma destinada à modelagem da rede elétrica e respectivos distúrbios (ATP e programas correlatos ou aplicativos advindos deste), assim como também os modelos dos equipamentos eletroeletrônicos objeto dos mais distintos pedidos de indenização, para o momento, se mostram apropriados aos objetivos aqui delineados.

- *Normas, documentos e trabalhos realizados na área de ressarcimento de danos*

A referência [9] constitui-se uma resolução normativa vigente sobre o tema enfocado e estabelece, conforme mencionado anteriormente, as disposições relativas ao ressarcimento de danos em equipamentos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbação ocorrida no sistema supridor de energia elétrica. De acordo com a resolução, os consumidores que tenham tido aparelhos danificados devem procurar a distribuidora em até 90 dias para solicitar ressarcimento. No que tange a distribuidora de energia, o prazo para ressarcir o consumidor será de 45 dias. Dentro desse prazo, a concessionária tem até 10 dias para vistoriar o equipamento, até 15 dias, após a inspeção, para comunicar o resultado do pedido ao consumidor e mais 20 dias para efetuar o ressarcimento em dinheiro, conserto ou substituição do equipamento, se for o caso. Para eletrodomésticos usados na conservação de alimentos perecíveis, como geladeiras e freezers, a vistoria deve ocorrer em até um dia útil.

Complementarmente, em [35] são propostos critérios e procedimentos para padronizar a análise das responsabilidades pelos danos materiais, reclamados por terceiros, naqueles casos em que a concessionária possui a devida responsabilidade. Somado a tais embasamentos, a referência [36] foca especificamente a correlação do tema ressarcimentos com efeitos atrelados com descargas atmosféricas e manobras. Esta última ainda mostra aos agentes do setor elétrico, de forma explícita, os procedimentos da ANEEL e das Agências Estaduais Conveniadas em relação ao tema, de modo a prevenir conflitos com consumidores.

O trabalho [6] analisa o agravamento das relações entre consumidores e concessionárias a respeito dos pedidos de ressarcimento por danos em aparelhos

elétricos provocados por distúrbios da rede elétrica. Esta referência também aponta para o fato que as agências de regulação observam um número crescente de conflitos entre as partes, e que, atualmente, não há meios eficientes para resolver tais contendas. Para minimizar parte dos problemas, esta referência propõe ações envolvendo concessionárias e sociedade para a proteção do sistema, equilibrando responsabilidades pela instalação de dispositivos protetores para diminuir a solicitação de danos causados por transitórios na tensão de alimentação.

Em [37] são feitas considerações sobre a interrupção da tensão por meio de manobras na média tensão em condições normais de operação, tendo-se detectado, via equipamentos de medição, que estes eventos na rede podem produzir um tipo de transitório que se converte, devido a uma série de fatores, em possíveis sobretensões na baixa tensão. Embora consideradas como fenômenos normais, essas sobretensões, muitas vezes não muito severas, têm sido apontadas como prováveis causas de danos a aparelhos elétricos.

A referência [38] discute a questão do fluxo de correntes na terra e da tensão de surto entre dois aterramentos distintos quando da incidência de uma descarga atmosférica ou falta para a terra nas redes de distribuição. O documento exemplifica danos causados aos equipamentos eletroeletrônicos nessas situações, defendendo que a queima pode não ser atribuída, exclusivamente, a surtos de sobretensões provenientes da rede de alimentação da distribuidora.

A publicação [39] apresenta estudos de simulação com vistas à verificação da possibilidade das descargas atmosféricas danificarem equipamentos eletroeletrônicos instalados em edifícios localizados a centenas ou até mesmo a milhares de metros do ponto de impacto. O documento conclui que, dentre as causas mais comuns para o surgimento destes problemas, uma delas

está na instalação inadequada das proteções contra raios e dos dispositivos de proteção contra sobretensões nas edificações.

Em [40] são discutidas questões relativas aos custos decorrentes das descargas atmosféricas em sistemas de distribuição de energia à luz das mudanças no Código Civil, do Código de Defesa do Consumidor e das alterações na norma ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão – na sua última revisão de 2004 [41]. O documento contempla: o enfoque jurídico, as mudanças mais significativas ocorridas na NBR 5410 com referência ao assunto, as formas de custeio das interrupções de energia e informações relativas à evolução do número de pedidos de indenização por danos (PID) nos últimos anos, principalmente, após a publicação da Resolução Normativa nº 61 de 2004 da ANEEL.

A referência [42], por sua vez, encontra-se associada com os seguintes temas: identificação das causas mais frequentes dos pedidos de ressarcimento; desenvolvimento de ferramenta computacional para estimar as sobretensões e subtensões quando da ocorrência de eventos; análise de religamentos e plano de ação com um elenco de proposições para empresas e consumidores visando à redução de queimas de aparelhos elétricos.

Com relação a *softwares* específicos para análise de pedidos de ressarcimento, a referência [43] apresenta um sistema inteligente para auxílio à tomada de decisões. O sistema consta de interfaces para registro e caracterização de ocorrências de danos ao consumidor, ocorrências de perturbações de qualidade de energia na rede de distribuição e um módulo inteligente para apoio a tomada de decisão quanto à responsabilidade por danos elétricos em equipamentos do consumidor. A proposta é baseada no emprego da Rede Neural Artificial tipo IAC – *Interactive Activation and Competition*.

Ainda com relação a programas computacionais, como já destacado anteriormente, a referência [30] traz importantes contribuições para esta complexa área de pedidos de indenização por danos elétricos. Esse trabalho, a partir de uma metodologia fundamentada na correlação entre distúrbios e esforços dielétricos e térmicos impostos aos equipamentos eletroeletrônicos, permite uma análise da viabilidade do nexo causal se fazer presente ou não em um dado fato ocorrido. Esse procedimento, sistematizado na forma de um programa computacional, originou um aplicativo denominado por APR – Analisador de Pedidos de Ressarcimento. Essa ferramenta forma a base dos trabalhos desta tese.

1.4 – Objetivos e contribuições oferecidas por esta tese

A partir dos fundamentos apresentados, reconhecendo-se as áreas de carência apontadas, e ainda, apoiado no aplicativo computacional descrito na referência [30], destinado à avaliação e emissão de parecer sobre solicitações de pedidos de ressarcimento, esta tese de doutorado avança no contexto da sistematização dos procedimentos trazendo melhorias quanto aos seguintes pontos focais:

- Obtenção de novas curvas de suportabilidade dielétrica e térmica para os seguintes equipamentos: televisores, aparelhos de som e microcomputadores, obtidas através de ensaios laboratoriais a nível destrutivo dos produtos;
- Proposição de uma estratégia alternativa para a obtenção das grandezas que conduzem aos esforços dielétricos e térmicos via medição “*on-line*” dos distúrbios de tensão manifestados nas redes,

em substituição as tensões e correntes determinadas computacionalmente;

- Estabelecimento de um procedimento sistematizado para a modelagem do complexo elétrico de suprimento até o consumidor reclamante através da importação de bancos de dados diretamente dos *softwares* geo-refenciados comercialmente utilizados pelas empresas;
- Validação da metodologia nos novos termos propostos, a partir de estudos de casos reais de pedidos de ressarcimento por danos.

No que se refere à primeira contribuição, a mesma encontra base na forma de obtenção das curvas de suportabilidade dos equipamentos contemplados nos estudos. Até o presente momento essas, já inclusas no APR, utilizam dados ou informações advindas de fontes outras que não experimentos próprios conduzidos em laboratórios da UFU. Neste particular, esta tese soma ao atual estado da arte do aplicativo, no sentido de explorar os níveis de suportabilidade térmica e dielétrica através de ensaios que atingiram o nível destrutivo de alguns produtos. Assim sendo, foram obtidas curvas reais e representativas de diversos equipamentos, as quais contribuem para as análises e pareceres a serem emitidos.

No que se refere à segunda contribuição, essa encontra-se vinculada com a reprodução do distúrbio ocorrido na rede elétrica propriamente dita. De fato, o APR, na sua forma original, a partir do fenômeno físico ocorrido, gera, via cálculos computacionais, as tensões e correntes impactantes sobre uma determinada instalação consumidora e respectivo equipamento reclamado. Assim procedendo-se, as anomalias operacionais são traduzidas na forma de esforços dielétricos e térmicos extraídos do programa computacional empregado. Na busca de uma alternativa para tal processo, surge a segunda

contribuição desta pesquisa. Esta encontra-se focada para a obtenção de bancos de dados derivados de medições “*on-line*” através de sensores de sinais, transmissores, receptores e correspondente software de gerenciamento do processo. Assim procedendo poderão ser obtidas informações diretamente da rede, as quais, na sequência, serão empregadas como grandezas injetadas junto aos barramentos monitorados. A partir daí os estudos obedecerão a mesma lógica empregada pelo mencionado APR, ressalvado que as tensões representativas dos distúrbios teriam sido obtidas via medições e não calculadas computacionalmente.

Um outro marco relevante para a presente tese encontra-se apoiado no estabelecimento de um procedimento sistematizado que correlacione o consumidor reclamante com a rede elétrica a qual o mesmo se encontra inserido. Neste particular destaca-se que, nos termos atuais, o usuário do APR, uma vez identificado o consumidor reclamante deve, manualmente, montar a rede elétrica que o alimenta, assim como também parametrizar todos os componentes que perfazem o arranjo, desde a alta ou média tensão até o ponto de conexão do mesmo. Portanto, há de se reconhecer que tal trabalho exigiria horas ou mesmo dias até o encerramento da etapa dos trabalhos de análise. Diante disto fica latente que, muito embora os resultados positivos até então obtidos, reconhece-se que a utilização de um mecanismo que automatize tal procedimento seria de grande relevância para a agilidade e exatidão dos estudos. Neste particular, a partir de um software de gerenciamento, normalmente já empregado pelas empresas para outros propósitos, as atividades a serem descritas ao longo desta pesquisa deverão culminar na otimização do processo em pauta, fato este que, acredita-se, poderia reduzir o tempo de análise para alguns minutos.

Concluindo, o trabalho é finalizado através de um esforço direcionado ao processo de validação do *software* obtido. Para tanto, serão realizados trabalhos

visando a comprovação da eficácia do produto acima caracterizado, o aplicativo será então validado através da correlação entre situações reais de campo e os indicativos do programa quanto a consistência ou não dos pedidos de ressarcimento.

1.5 – Estrutura da tese

Diante do exposto, além do presente capítulo introdutório, esta pesquisa será desenvolvida dentro da estrutura organizacional que se segue:

Capítulo II – Novas Curvas de Suportabilidade para Equipamentos Eletroeletrônicos

Este capítulo contempla os procedimentos empregados na obtenção de novas curvas de suportabilidade dielétrica e térmica para alguns produtos, em consonância com resultados laboratoriais de ensaios destrutivos.

Capítulo III – Uma Proposta para a Análise de PIDs via Medições em Tempo Real dos Distúrbios

Esta unidade da pesquisa encontra-se voltada para o estabelecimento do processo de medição, tratamento e transferência das informações sobre os distúrbios ocorridos em campo e sua correspondente inserção no aplicativo para a análise dos pedidos de ressarcimento.

Capítulo IV – Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados da Empresa com o APR

Esta unidade encontra-se voltada para o desenvolvimento de um mecanismo que automatize a inserção do complexo sistema elétrico de distribuição com o posicionamento físico do consumidor no aplicativo APR.

Capítulo V – Conclusões

Por fim, apresenta-se uma síntese dos principais pontos e conclusões relacionados com o trabalho como um todo. Além disso, serão ressaltadas questões vinculadas às principais contribuições deste trabalho, bem como sugestões para futuros desenvolvimentos.

CAPÍTULO II

Novas Curvas de Suportabilidade para Equipamentos Eletroeletrônicos

2.1 – Considerações iniciais

A fim de avaliar a consistência dos pedidos de ressarcimento por danos nos equipamentos, quando da ocorrência de fenômenos elétricos nas redes de distribuição, a filosofia aqui estabelecida se apoia no princípio da correlação entre causas e efeitos, isto é, na avaliação da intensidade dos distúrbios manifestados nas redes elétricas e respectivo confronto com os padrões dielétricos e térmicos considerados como admissíveis pelos produtos, conforme as referências [52], [53] e [54].

Dentro deste contexto, nos termos originais, o aplicativo computacional empregado para esta pesquisa, o APR, na sua versão mais atual, possui um banco de dados com curvas de suportabilidade dielétrica para distintos equipamentos. Essas são advindas de consultas diversas feitas à literatura e em publicações que relatam sobre os resultados de avaliações experimentais sobre a matéria. Não obstante, a utilização de tais bancos de dados pode ser alvo de questionamentos, visto que, não há registros de pormenores que orientem para uma segura validação das mesmas. No que tange as curvas de suportabilidade

térmica, o aplicativo APR utiliza dados do fabricante (*datasheet*) da ponte retificadora empregada pela fonte chaveada, por ser um dos componentes que mais são danificados diante a distúrbios e por não existir nenhuma referência encontrada na literatura. Diante disto, por motivos diversos, considera-se imperativo a realização de trabalhos investigativos voltados para a obtenção de limites térmicos e dielétricos próprios de cada produto, fato que oferecerá, como resultado, maior segurança para o processo decisório sobre a consistência ou não dos pedidos de indenização por danos (PIDs).

Para se atingir tais propósitos, considera-se que a realização de ensaios, mesmo que destrutivos, possa responder as questões em pauta, oferecendo, assim, curvas de suportabilidade representativas dos valores considerados como suportáveis pelos equipamentos, em que pese os esforços dielétricos e térmicos.

Para se cumprir tais metas, mesmo com o envolvimento de uma pequena amostra da diversidade de produtos comerciais e modelados no aplicativo APR, este capítulo tem por foco:

- A realização de ensaios em laboratórios especializados, a nível destrutivo, para os seguintes aparelhos eletroeletrônicos: televisores, aparelhos de som e microcomputadores;
- A obtenção de modelos matemáticos para as curvas de suportabilidade dielétrica e térmica dos referidos equipamentos eletroeletrônicos;
- A inserção das curvas de suportabilidade no aplicativo APR e, por fim, uma análise comparativa entre as propostas aqui feitas em relação ao estado da arte sobre o assunto sob análise.

2.2 – Suportabilidade térmica

2.2.1 – Fundamentação da metodologia para a caracterização das curvas térmicas

Os fundamentos físicos utilizados para a obtenção dos limites térmicos traduzidos na forma das respectivas curvas da suportabilidade, como não poderia ser diferente, encontram sustentação no conceito da energia (I^2t) dissipada e permitida pelos componentes que perfazem as partes mais sensíveis dos dispositivos.

Assim, para os estudos contemplados neste trabalho, considera-se que a curva I^2t corresponde à máxima energia suportável pelo equipamento, a qual será considerada como constante para qualquer intensidade de corrente associada com o seu correspondente tempo de duração. Isto posto, segue que a equação (2.1) constitui-se no princípio físico para o modelo a ser estabelecido para a procurada curva de suportabilidade térmica.

$$\int_0^{T_D} [i(t)]^2 \cdot dt = I^2 \cdot T_D = J = cte \quad (2.1)$$

Onde:

$i(t)$ – valor instantâneo da corrente, em ampere (A), responsável pela dissipação da energia térmica máxima admissível pelo equipamento;

T_D – intervalo de tempo, em segundos, durante o qual o equipamento foi submetido ao esforço de corrente supra caracterizado;

J – energia máxima admitida pelo equipamento.

Uma vez conhecida a energia máxima admissível pelo equipamento, valor representado por J e que será mantido inalterado para qualquer situação operacional, torna-se factível a obtenção de sua correspondente curva de suportabilidade térmica. Para tanto, basta obter, para cada intervalo de tempo de exposição aos esforços, o correspondente valor de corrente. Assim, a partir da equação (2.1) podem ser escritas as expressões (2.2) e (2.3).

$$J = I^2 \cdot T_D \quad (2.2)$$

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{T_D}} \quad (2.3)$$

Em consonância com os procedimentos descritos e uma vez obtidas as informações numéricas que se fazem necessárias, torna-se possível obter as curvas de suportabilidade térmica, que se apresentarão com o aspecto ilustrado genericamente na figura 2.1.

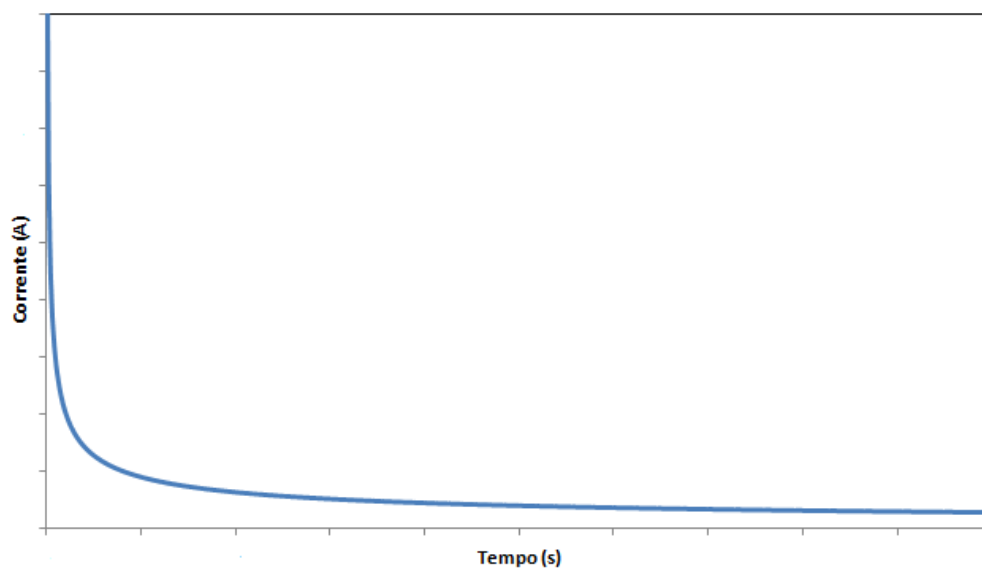


Figura 2.1 – Formato de uma curva típica de suportabilidade térmica.

2.2.2 – Estratégia laboratorial para obtenção da energia admissível - transitórios impulsivos

Tomando-se como base a fundamentação teórica apresentada, a estratégia empregada para a definição da energia máxima admissível pelo equipamento apoiou-se na realização de ensaios destrutivos empregando-se, para tanto, formas de onda de corrente injetadas com características próprias às descargas atmosféricas. Essa adoção se justifica pelas recomendações internacionais previstas pelas seguintes referências [31], [48], [49], [50] e [51]. Todas essas utilizam uma onda de corrente de $8\mu\text{s}$ por $20\mu\text{s}$. O primeiro associado com o tempo de subida da onda e o segundo como representativo do intervalo de tempo necessário para que o impulso atinja 50% do respectivo valor de crista. Tal forma de onda é ilustrada na figura 2.2.

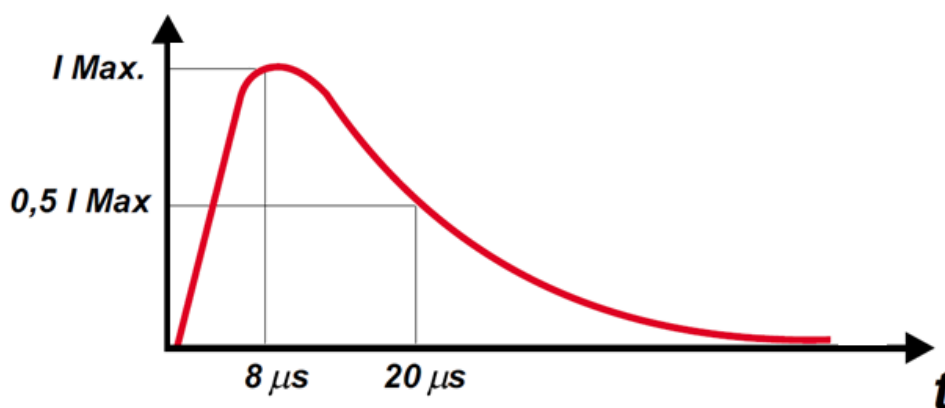


Figura 2.2 – Padrão do impulso de corrente para definição do limite de energia admissível pelo equipamento sob teste.

Através do procedimento supra esclarecido, a onda de impulso de corrente é gradativamente incrementada até causar danos físicos ao produto ensaiado. Nestas circunstâncias limites, torna-se então factível a determinação da máxima

energia térmica admissível pelo dispositivo. Tal valor pode ser calculado nos termos previstos pela equação (2.1), ou seja, integrando-se a área compreendida desde o instante identificado pelo início da incidência da descarga até a manifestação dos danos físicos registrados.

Quanto ao arranjo laboratorial empregado, esse consiste em recursos disponibilizados pelo laboratório de alta tensão da Universidade Federal de Itajubá, dentre os quais ressalta-se um gerador de impulsos de corrente. Tal fonte permite reproduzir impulsos de corrente de valor de pico de até 80 kA com uma energia de 20 kJ .

A figura 2.3 sintetiza o arranjo experimental empregado e seus principais componentes.

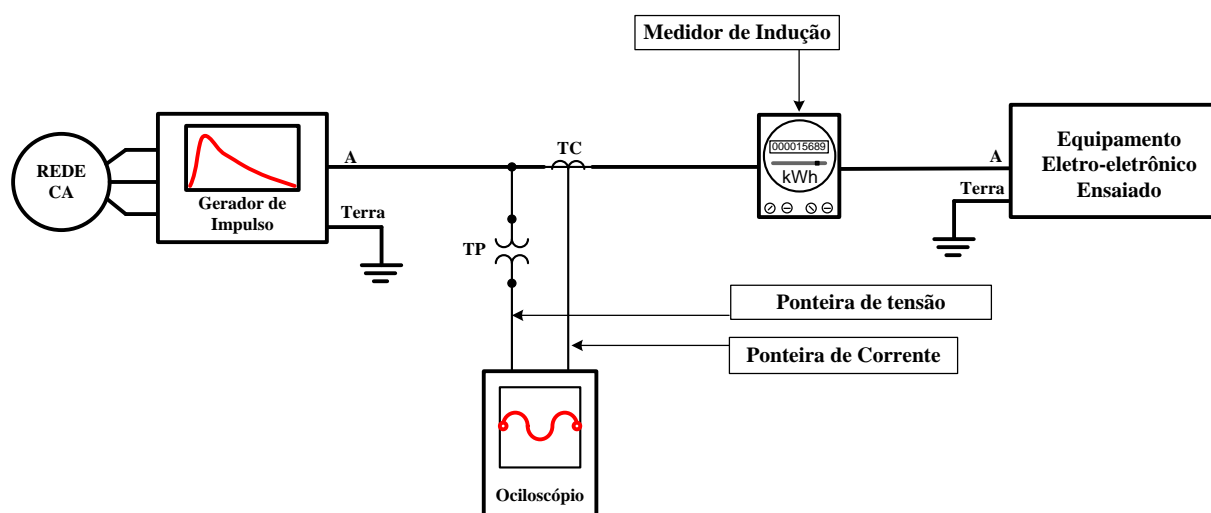


Figura 2.3 – Composição laboratorial para o levantamento dos limites térmicos dos equipamentos.

A figura 2.4 ilustra o gerador de impulso de corrente utilizado e os equipamentos eletroeletrônicos testados.

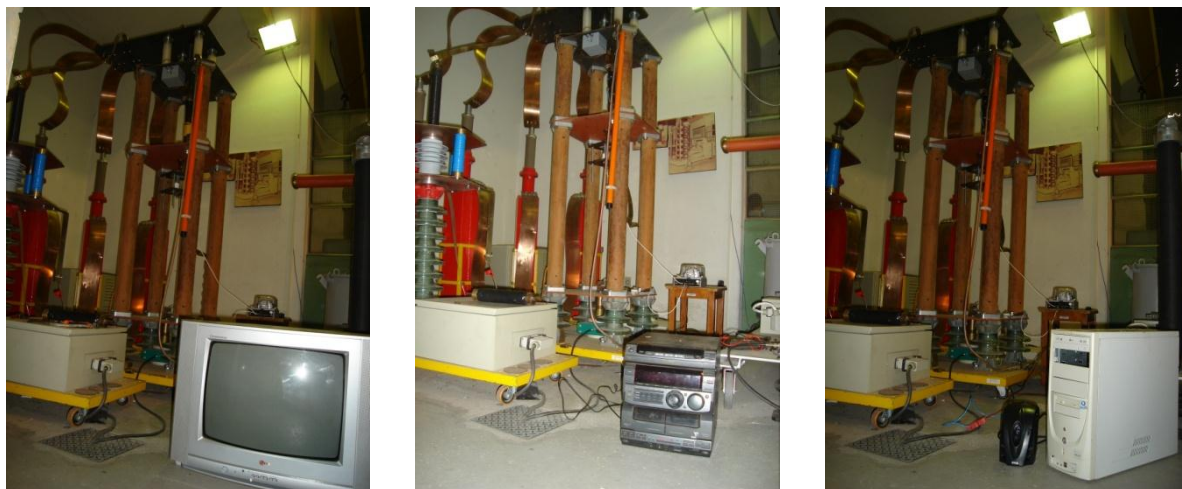


Figura 2.4 – Gerador de impulso de corrente – Laboratório de AT da UNIFEI.

2.2.3 – Produtos avaliados e resultados

Muito embora o reconhecimento que os trabalhos aqui descritos reflitam apenas uma amostra da diversidade de produtos comerciais envolvidos nos processos de pedidos de indenização, é importante esclarecer que a proposta aqui feita consiste em um primeiro passo em direção à obtenção dos limites térmicos dos equipamentos previstos pelo aplicativo APR. De fato, as limitações de ordem econômica e de tempo conduziram a uma pré-seleção dos dispositivos que se apresentam como os mais focados nas questões aqui consideradas, como indica a figura 2.5 [46].

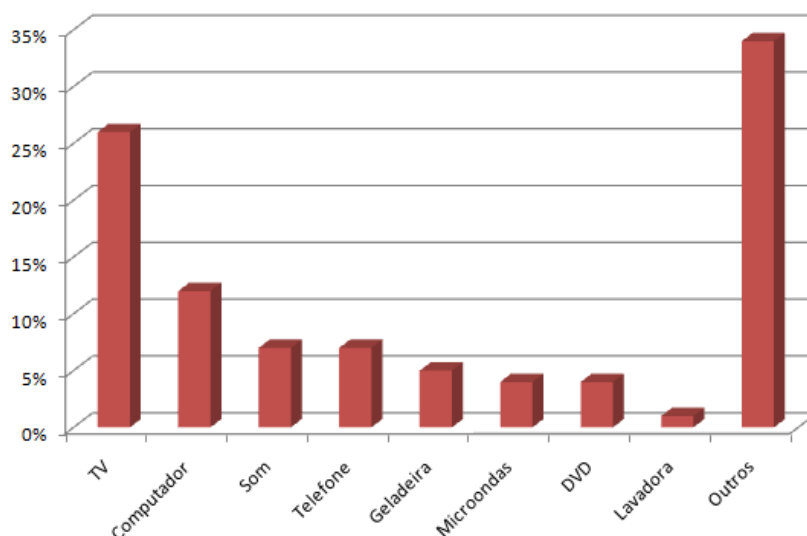


Figura 2.5 – Uma exemplificação dos tipos de equipamentos reclamados para uma empresa distribuidora.

À luz do exposto segue que a metodologia, estrutura e procedimentos empregados foram aplicados para os seguintes equipamentos:

- Televisores de tubo de raios catódicos (vários tipos e fabricantes);
- Aparelhos de Som (vários fabricantes);
- Microcomputadores (várias fontes de alimentação).

Tendo em vista a grande quantidade de produtos testados, para fins ilustrativos, serão mostrados, na sequência, os detalhes das etapas das atividades executadas para apenas um exemplar de cada família de equipamentos supra mencionados. Ao final serão sintetizados os desempenhos para todos os demais dispositivos ensaiados.

• Televisores

A figura 2.6 mostra o oscilograma do impulso de corrente aplicado ao televisor. A mesma revela as propriedades de forma, tempos e valores nos

termos anteriormente referidos. Pode-se observar que o impulso possui um valor de pico de 3 kA. A mesma figura deixa evidente que, em um intervalo de exposição (T_D) igual a $12\mu s$ ocorreram danos no produto testado. Essa constatação é feita através da respectiva onda de tensão, a qual, após tal tempo, evidencia forte queda de valor e um subsequente comportamento oscilatório.

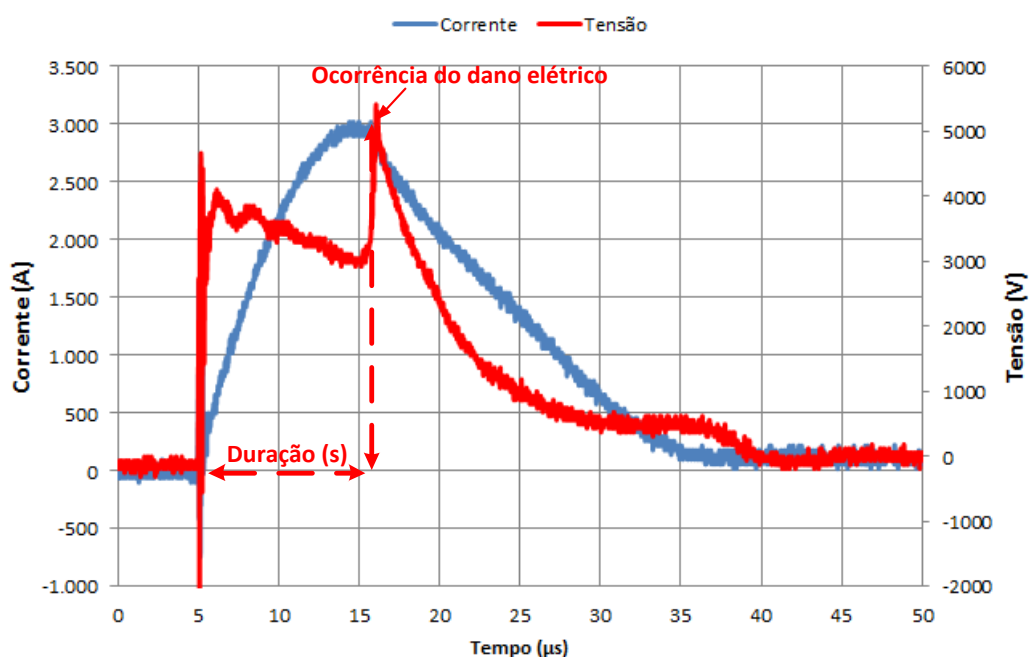


Figura 2.6 – Impulso de corrente aplicado ao aparelho televisor de 29”.

No que tange a máxima energia suportada pelo equipamento, essa pode ser visualizada através da área demarcada na figura 2.7. Essa fornece a informação requerida pela equação (2.1), traduzida na forma da energia térmica capaz de danificar o produto. Para o presente caso o valor obtido foi de 55,62 A^2s .

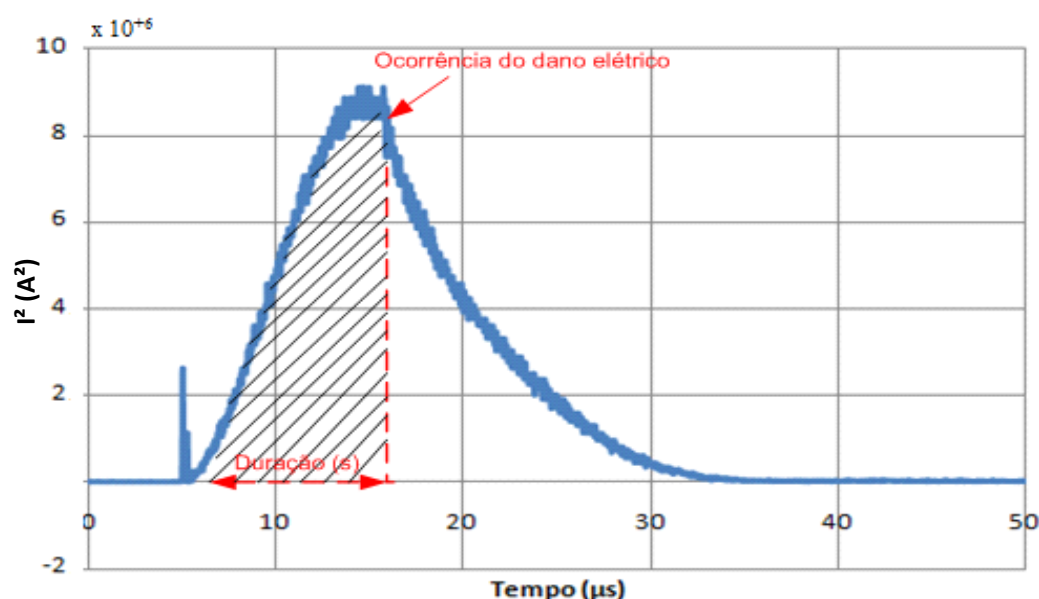


Figura 2.7 – Procedimento para a extração da energia máxima (I^2t) admissível pelo equipamento.

Muito embora a omissão dos detalhes associados com os ensaios para os demais televisores, como anteriormente destacado, os trabalhos foram estendidos para os demais produtos, a saber: 3 (três) televisores de 29” e 2 (dois) televisores de 21”. Os resultados obtidos para esse conjunto de aparelhos danificados são fornecidos na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Síntese dos resultados laboratoriais – energia térmica máxima - televisores

| Televisor | Condição | Ecrã | Duração t(s) | Energia J(A ² · s) |
|-------------|----------|------|--------------|-------------------------------|
| Televisor 1 | Novo | 29” | 11,38 μs | 60,45 |
| Televisor 2 | Novo | 29” | 11,10 μs | 67,22 |
| Televisor 3 | Usado | 29” | 12,00 μs | 55,62 |
| Televisor 4 | Novo | 21” | 7,25 μs | 24,42 |
| Televisor 5 | Usado | 21” | 6,76 μs | 20,56 |

De posse das informações anteriores pode-se, na sequência, traçar as respectivas curvas de suportabilidade térmica, as quais encontram-se fornecidas nas figuras 2.8 e 2.9. As expressões matemáticas que originaram os limites indicados são também apresentadas.

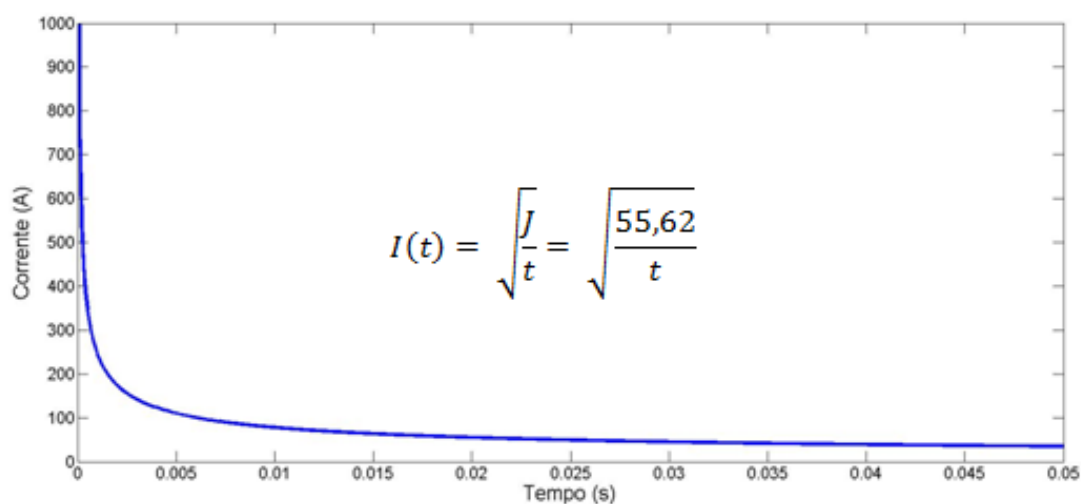


Figura 2.8 – Curva de suportabilidade térmica do televisor 3.

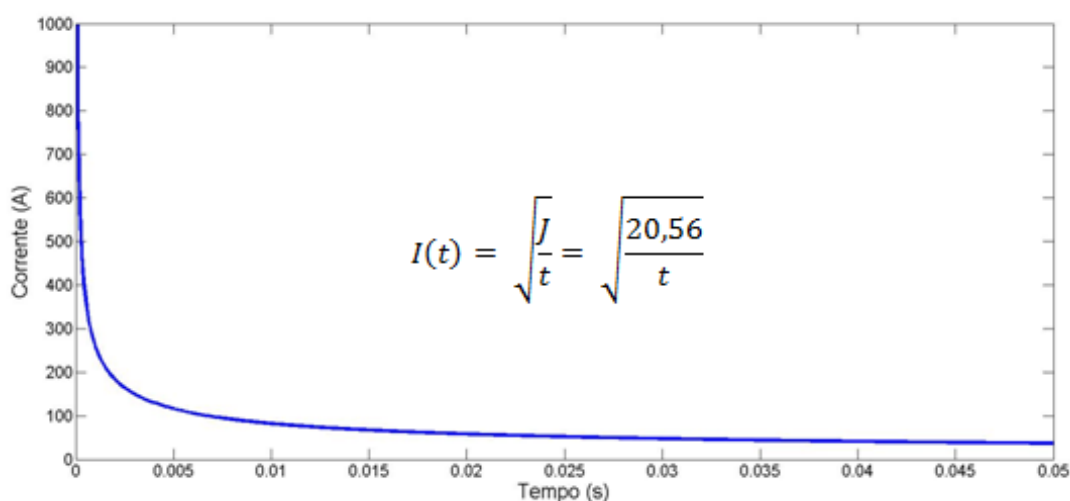


Figura 2.9 – Curva de suportabilidade térmica do televisor 5.

- **Aparelhos de Som**

Os desenvolvimentos subsequentes se fundamentaram nas mesmas premissas já apresentadas, sendo omitidos, por conseguinte, maiores detalhes sobre: a estrutura laboratorial, formas de onda e outros aspectos pertinentes aos ensaios.

Focando de modo pontual nos resultados, a figura 2.10 evidencia a onda aplicada, com valor de pico de 4,58 kA, e ainda, o instante para o qual ocorreu a manifestação de danos físicos no equipamento testado, o qual, como se constata, ocorreu para um tempo de exposição (T_D) igual a 9,38 μ s.

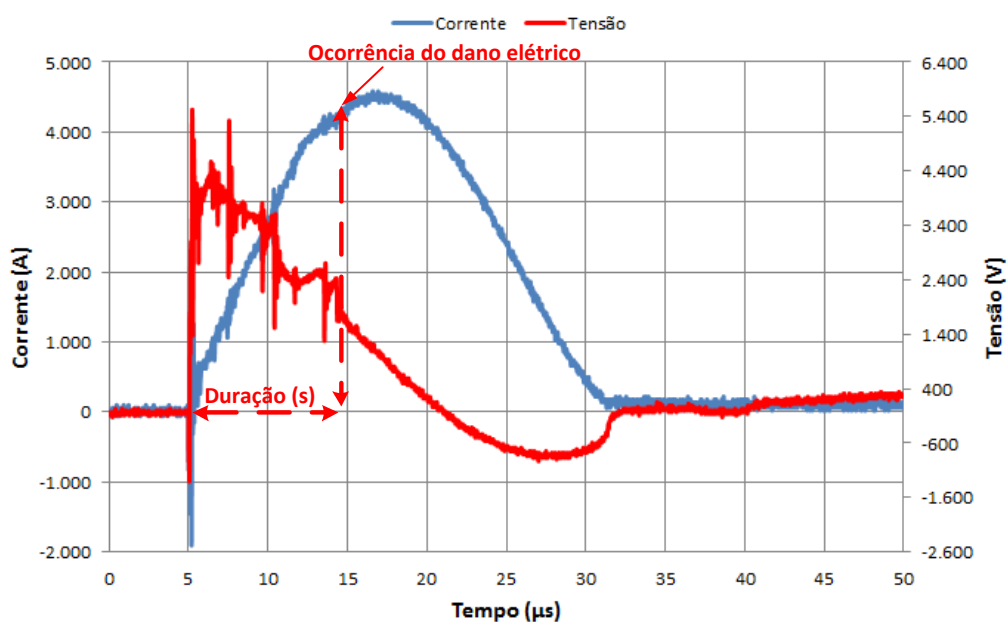


Figura 2.10 – Impulso de corrente aplicado ao aparelho de som.

A área indicada na figura 2.11 é indicativa da energia térmica máxima até a queima do equipamento. Essa foi de 72,59 A²s.

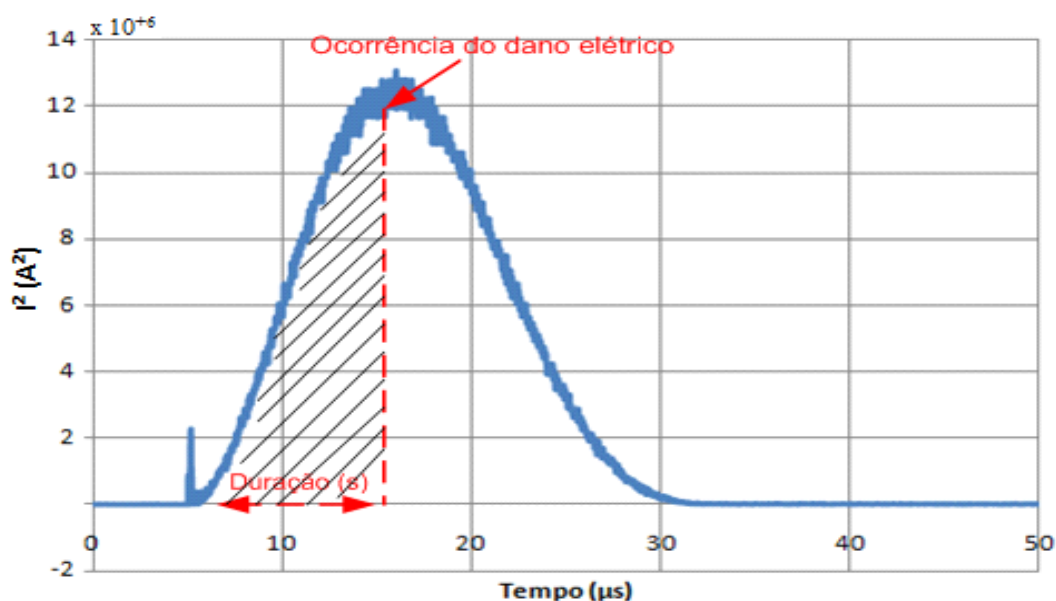


Figura 2.11 – Energia máxima (I^2t) admissível pelo equipamento.

Procedendo-se de modo similar para os demais aparelhos de som obteve-se os resultados indicados na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Síntese dos resultados laboratoriais – energia térmica máxima – aparelhos de som

| Aparelho de Som | Condição | Duração t(s) | Energia J(A²· s) |
|------------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| Aparelho de Som 1 | Novo | 10,71 μ s | 69,69 |
| Aparelho de Som 2 | Novo | 9,38 μ s | 72,59 |
| Aparelho de Som 3 | Usado | 7,06 μ s | 77,35 |

A partir dos resultados numéricos anteriores pode-se, como anteriormente, obter os limites de suportabilidade individuais para cada um dos produtos testados. As respectivas curvas encontram-se mostradas na figura 2.12. Devido a grande semelhança entre os níveis da energia térmica para os diferentes produtos, apenas o de menor valor foi ilustrado.

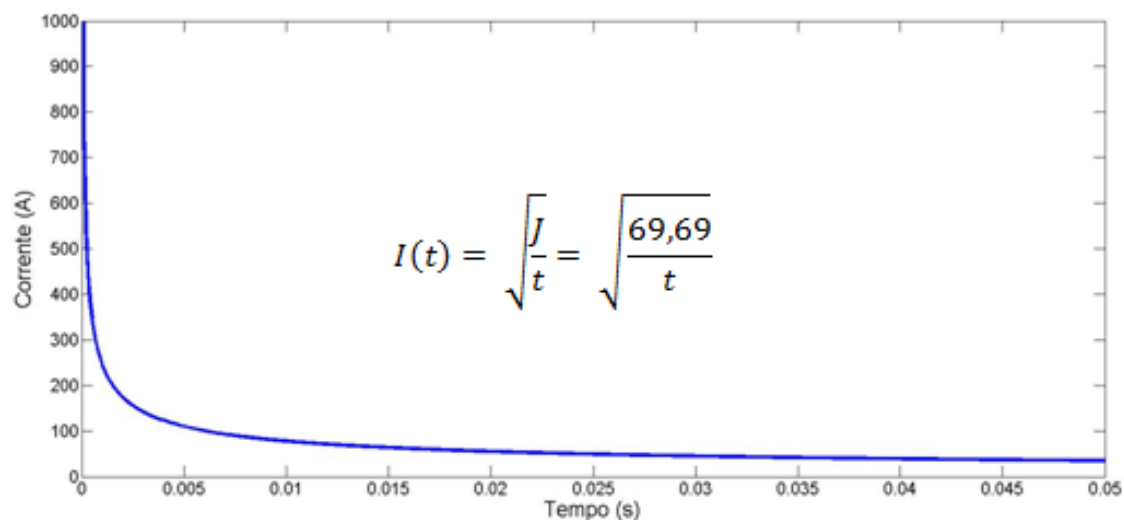


Figura 2.12 – Curva de suportabilidade térmica do aparelho de som com menor energia admissível.

- **Microcomputadores**

Em consonância com os procedimentos anteriores, a figura 2.13 evidencia a corrente de impulso aplicada ao equipamento sob teste. O valor de pico, como se observa, ficou em torno de 3,42 kA e o denominado tempo (T_D) é de 12,43 μ s.

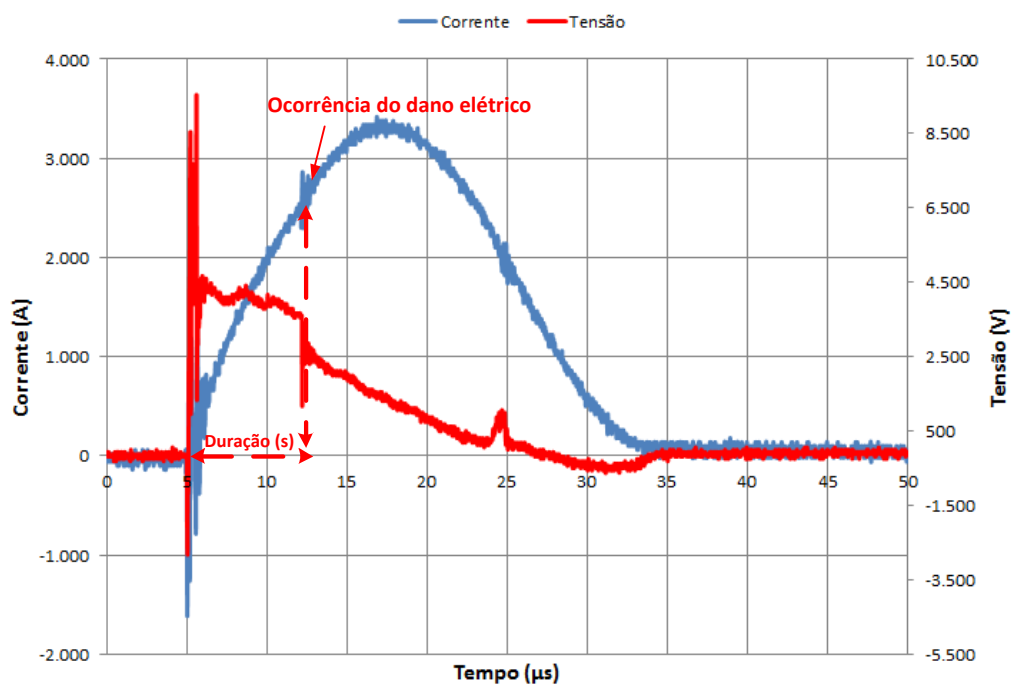


Figura 2.13 – Impulso de corrente aplicado ao microcomputador.

Mais uma vez, a área destacada na figura 2.14 conduz a energia térmica máxima admissível, a qual se apresenta com um valor de 84,63 A²s.

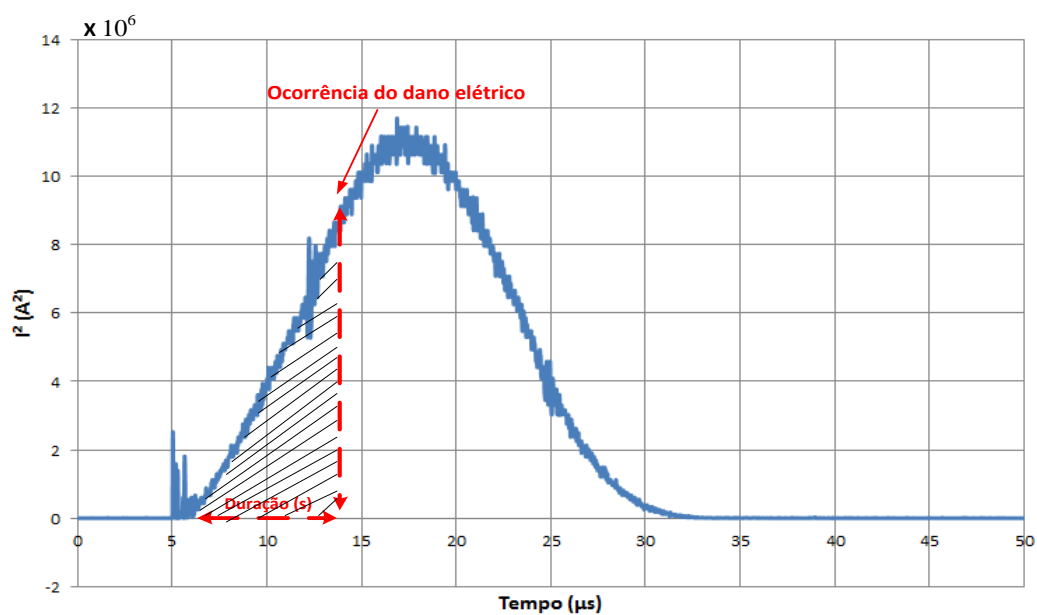


Figura 2.14 – Energia máxima (I^2t) admissível pelo equipamento.

Para os demais 6 (seis) microcomputadores com estabilizadores e 4 (quatro) microcomputadores sem estabilizadores, os testes realizados conduziram aos resultados constantes nas tabelas 2.3 e 2.4. Durante os ensaios realizados, observou que para microcomputadores com estabilizadores houve danos elétricos apenas nos estabilizadores e para microcomputadores sem estabilizadores os danos ocorridos foram apenas na fonte de alimentação do mesmo.

Tabela 2.3 – Síntese dos resultados laboratoriais – energia térmica máxima – computadores com estabilizador

| Microcomputador | Duração t(μs) | Energia J(A²· s) |
|------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Com estabilizador 01 | 17,72 | 97,48 |
| Com estabilizador 02 | 15,38 | 100,13 |
| Com estabilizador 03 | 16,0 | 108,52 |
| Com estabilizador 04 | 18,0 | 120,15 |
| Com estabilizador 05 | 12,43 | 84,63 |
| Com estabilizador 06 | 15,33 | 108,48 |

Tabela 2.4 – Síntese dos resultados laboratoriais – energia térmica máxima – computadores sem estabilizador

| Microcomputador | Duração t(μs) | Energia J(A²· s) |
|------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Sem estabilizador 01 | 12,67 | 67,72 |
| Sem estabilizador 02 | 13,0 | 73,11 |
| Sem estabilizador 03 | 16,0 | 73,42 |
| Sem estabilizador 04 | 13,52 | 77,36 |

Os valores das energias térmicas máximas para cada equipamento e o procedimento para a obtenção das respectivas curvas de suportabilidade conduziram aos limites indicados nas figuras 2.15 e 2.16. Uma observação importante a ser feita refere-se ao fato que o emprego ou não de estabilizadores implica em substanciais alterações para as curvas térmicas finais, indicado nas figuras apresentadas, e ainda, em função da similaridade entre os desempenhos obtidos para os produtos de uma mesma família, apenas o de menor valor de energia foi empregado para o traçado.

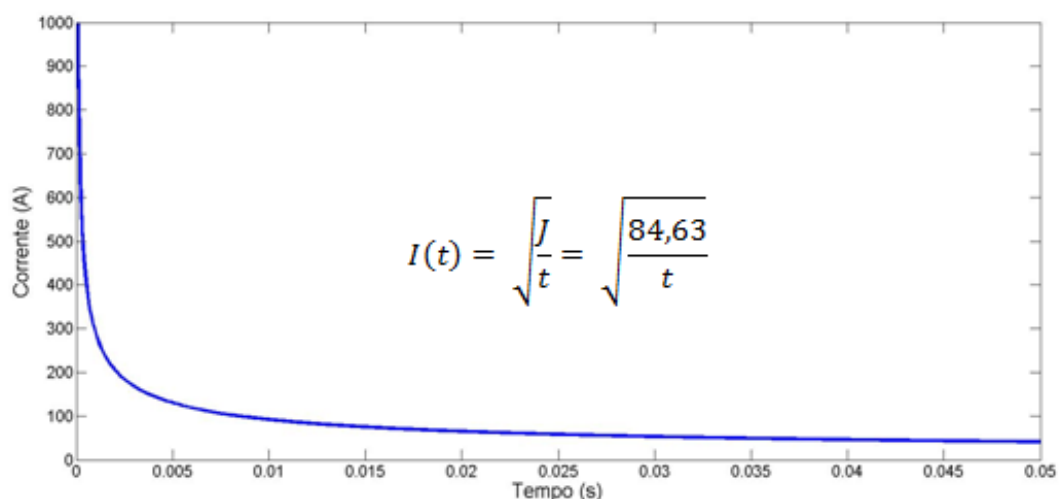


Figura 2.15 – Curva de suportabilidade térmica do microcomputador - com estabilizador

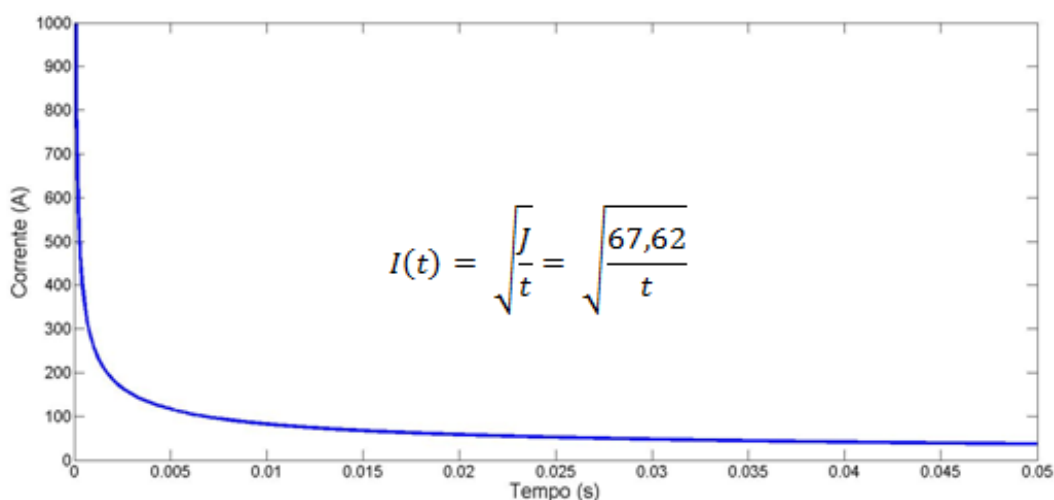


Figura 2.16 – Curva de suportabilidade térmica do microcomputador - sem estabilizador

2.2.4 – Inserção das curvas de suportabilidade térmica no aplicativo APR

Uma vez definidas as curvas de suportabilidade térmica dos equipamentos supramencionados, as mesmas foram sequencialmente, incluídas no banco de dados do aplicativo APR. As diversas etapas que detalham tais procedimentos não são aqui descritas visto que tais trabalhos de inserção computacional de modelos de equipamentos, componentes, curvas de suportabilidade, etc. foram considerados em seus pormenores em [30]. Desta feita, esta seção tem por meta tão apenas explorar os resultados destes trabalhos, os quais se configuram como um recurso complementar disponibilizado no aplicativo computacional. Tais limites de suportabilidade térmica são aqui caracterizados por: Curvas Térmicas CEMIG; pois as mesmas estão intimamente atreladas com um projeto de P&D fruto do trabalho conjunto entre a UFU e a mencionada distribuidora [47].

Sintetizando os desenvolvimentos em pauta, a figura 2.17 é indicativa da tela principal do *software* que permite a definição da tolerância térmica da CEMIG, nos termos compatíveis com o aplicativo APR. Como se constata, a seleção de uma ou outra curva é obtida meramente através da marcação do correspondente ícone do consumidor e a escolha da curva desejada no campo: Curva CEMIG.

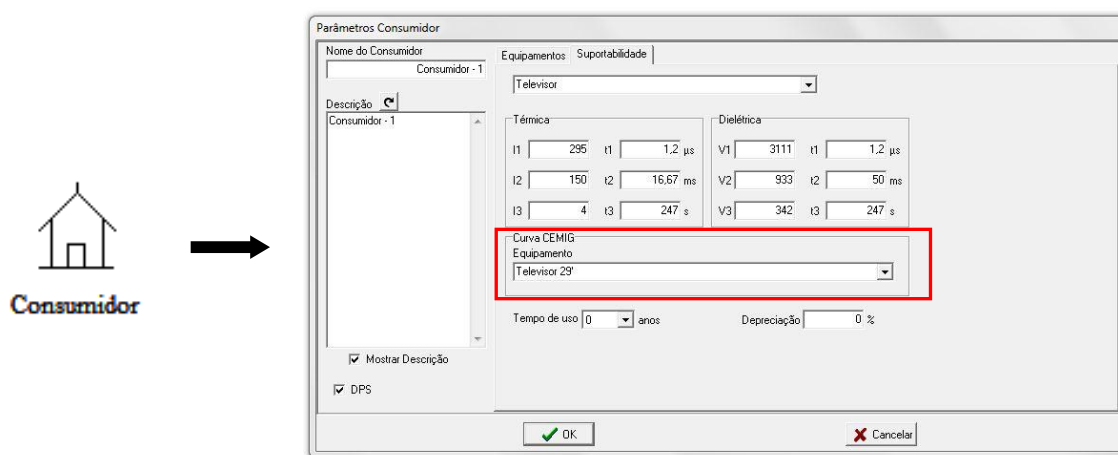


Figura 2.17 – Tela de recursos inserida no APR e que permite a utilização das curvas térmicas CEMIG.

2.3 – Suportabilidade dielétrica

2.3.1 – Fundamentação da metodologia para a caracterização das curvas dielétricas

Diferentemente das curvas térmicas, as publicações e informações que correlacionam os níveis de suportabilidade dielétrica e a duração dos fenômenos para os mais distintos equipamentos empregados nas instalações residenciais, comerciais e industriais, recomendam o emprego de um traçado gráfico nos termos sugeridos pela figura 2.18. O eixo vertical, caracterizado pela função $V(t)$, denota a grandeza de interesse, ou seja, a tensão admissível pelo equipamento, enquanto que, o eixo horizontal está associado com o tempo de exposição do produto à sua respectiva tensão.

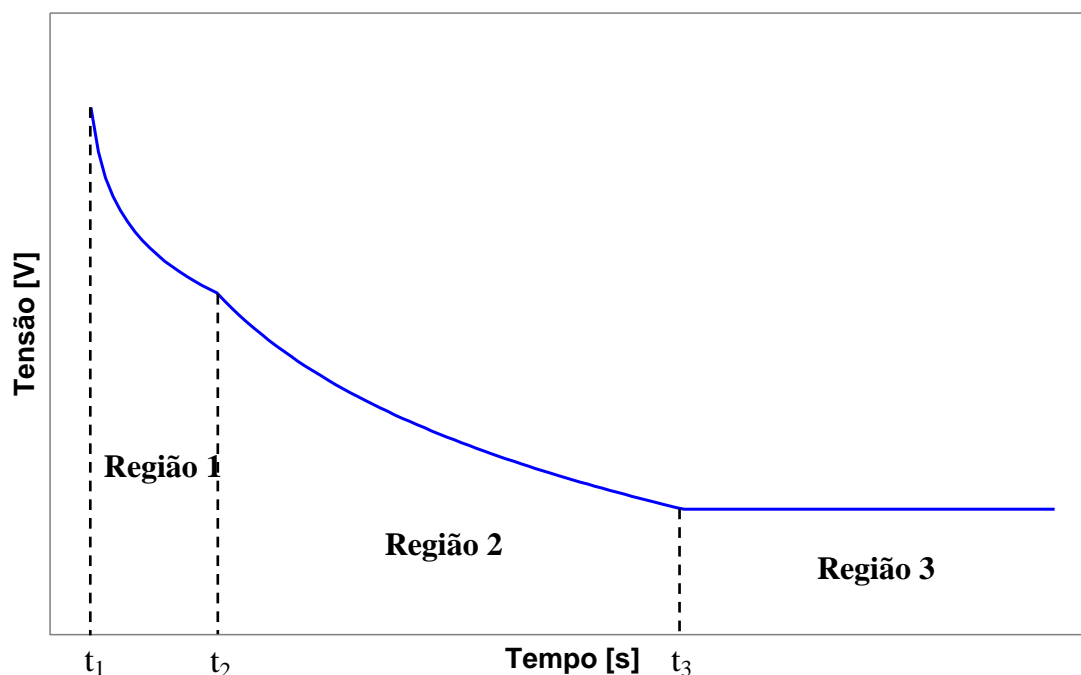


Figura 2.18 – Curva típica para a suportabilidade dielétrica de um equipamento.

Como se constata, o traçado em pauta é composto por 3 (três) regiões distintas, a saber:

- **Região 1**

Este segmento da curva está relacionado com os transitórios rápidos, impulsivos e de alta frequência. Esses fenômenos buscam a representação da incidência de descargas atmosféricas e manobras em um sistema elétrico;

- **Região 2**

Esta seção encontra-se identificada com eventos vinculados com fenômenos de menor frequência e maior duração. Esses podem ocorrer quando de manobras diversas nas redes, a exemplo de chaveamento de banco de capacitores, atuação de religadores, etc.;

- **Região 3**

Por fim, esta última parte encontra-se destinada à representação dos fenômenos atrelados com elevações de tensão na frequência industrial.

À luz do fato que a primeira seção do traçado envolve tempos da ordem de μs , e a última, intervalos de cerca de alguns segundos, optou-se, por motivos clássicos, pela utilização de funções logarítmicas para a representação matemática das almejadas curvas de suportabilidade, conforme indicado através da equação (2.4).

$$V(t) = \alpha \cdot \log t + \beta \quad (2.4)$$

Na expressão anterior, a grandeza $V(t)$ deve ser entendida como um valor de tensão admitido pelo equipamento durante um intervalo de tempo definido por t .

A determinação dos coeficientes de (2.4) se fundamenta em informações sobre os níveis de tensão admissíveis em função dos respectivos tempos de duração. Nestes termos, conhecendo-se, por exemplo, os valores da função $V(t)$ para dois instantes distintos, t_1 e t_2 , obtém-se para o primeiro segmento:

$$\alpha = \frac{Y(t_2) - Y(t_1)}{\log t_2 - \log t_1} \quad (2.5)$$

$$\beta = Y(t_1) - \alpha \cdot \log t_1 \quad (2.6)$$

Os demais trechos seguem a mesma particularidade, utilizando-se de (2.4) com os seus coeficientes determinados em (2.5) e (2.6).

2.3.2 – Exemplos de curvas de suportabilidade dielétrica disponibilizadas pela literatura

No que tange à questão dos limites de tensão, os documentos e referências encontradas conduzem, para o presente estado da arte, às seguintes orientações para a questão em pauta:

a) Curva de suportabilidade dielétrica ITIC [21]

A maioria das publicações sobre a questão de limites de tensão se fundamenta no emprego da denominada Curva ITIC, publicada pelo Comitê Técnico 3 (TC3) do *Information Technology Industry Council*, anteriormente conhecido como *Computer & Business Equipment Manufacturers Association*. Essa estabelece uma região limítrofe dos níveis mínimos e máximos de tolerância física e operacional para os produtos. Os limites utilizados contemplam tanto condições transitórias, como dinâmicas e também de regime permanente.

No que tange a sua região compatível com níveis de tensão destrutivas, a figura 2.19 apresenta os respectivos limites extraídos da curva ITIC. Como se constata, a mesma encontra-se subdividida em 4 (quatro) regiões, de acordo com a duração do fenômeno. São elas:

- **Região 1:**

Relacionada com os transitórios impulsivos, os quais, tipicamente, ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas em um sistema elétrico;

- **Região 2:**

Arelada com os níveis de suportabilidade à eventos transitórios de baixa frequência;

- **Região 3:**

Esta busca a representação de ocorrências como as elevações de tensão que podem ocorrer nas redes elétricas à 60 Hz;

- **Região 4:**

Por fim, esta região caracteriza as tolerâncias de regime permanente.

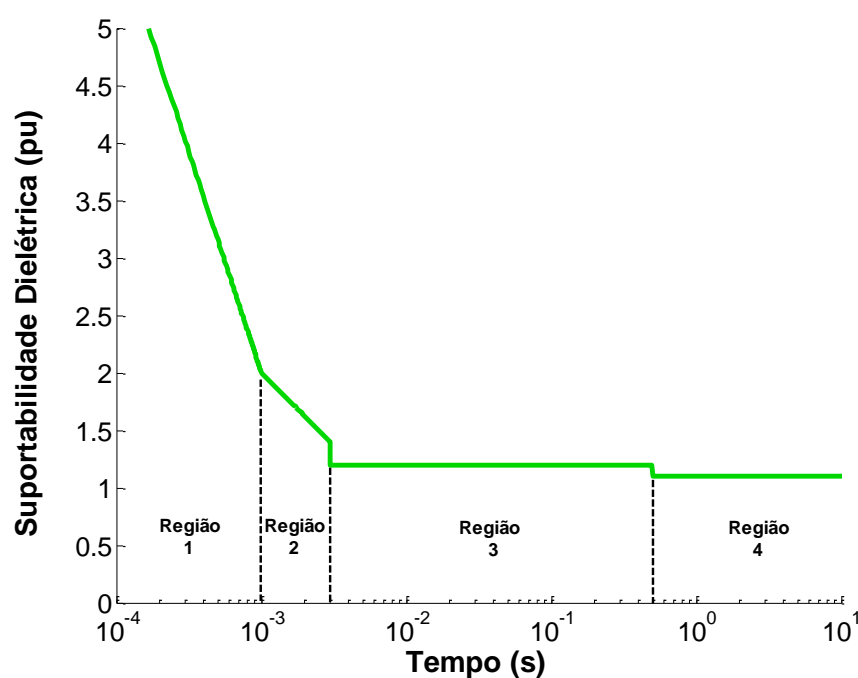


Figura 2.19 – Curva de suportabilidade ITIC.

Embora a curva anterior seja amplamente utilizada, vale ressaltar que, originalmente, a mesma foi derivada de ensaios e experiências vinculadas com

equipamentos da área de tecnologia da informação. Portanto, sua mera extensão para outros produtos se mostra totalmente inconsistente, fato este que determina a necessidade da obtenção de modelos específicos para os mais distintos dispositivos comercialmente presentes nas instalações elétricas.

b) Curva de suportabilidade dielétrica LACTEC [4]

O laboratório de pesquisa LACTEC realizou um conjunto de experimentos relacionados com a tolerância de alguns equipamentos à distintos eventos responsáveis por sobretensões nas redes elétricas. Por fim, foram, realizados ensaios de impulsos e de variações de tensão em consonância com os procedimentos estabelecidos nos documentos [31] e [32].

Os resultados desses trabalhos, aplicáveis aos mesmos tipos de produtos focados nesta pesquisa, conduziram às curvas de suportabilidade de tensão mostradas na figura 2.20, esta aplicável a televisores. As demais curvas podem ser consultadas em [4].

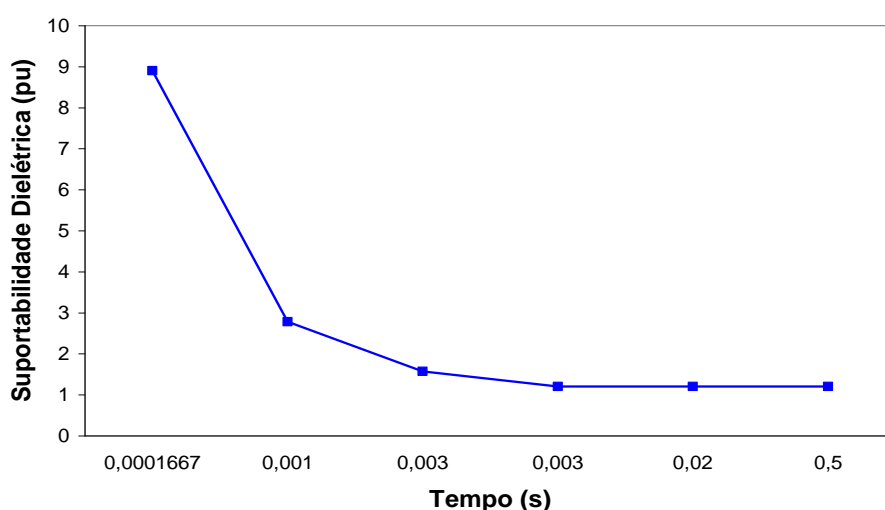


Figura 2.20 – Curva de suportabilidade para aparelhos de TV.

c) Curva de suportabilidade dielétrica AES SUL [19]

Estas apresentam resultados de testes realizados para aparelhos de TV. Os resultados assim obtidos encontram-se fornecidos na figura 2.21.

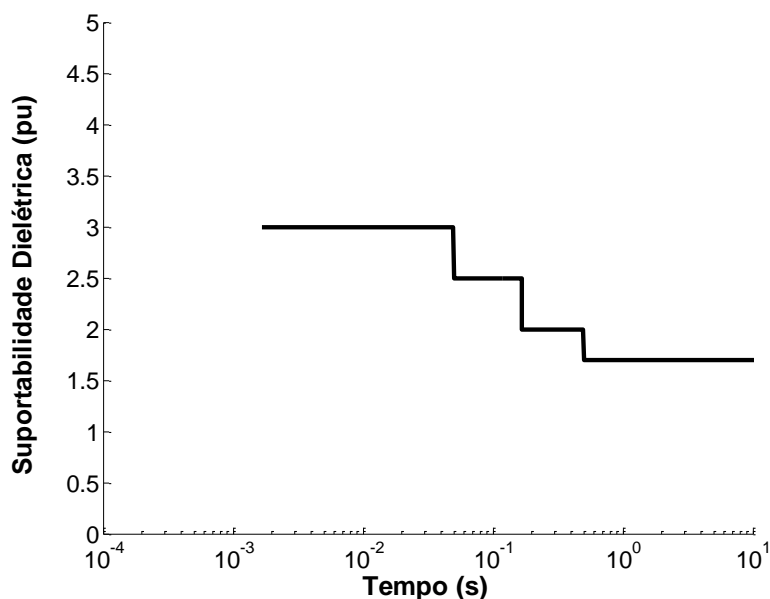


Figura 2.21 – Curva de suportabilidade para aparelhos de TV.

2.3.3 – Estratégia laboratorial para obtenção dos limites de tensão admissíveis

Tomando-se como base a fundamentação teórica apresentada, procede-se, nesta seção, ao processo de obtenção das curvas de suportabilidade dielétrica para os mesmos equipamentos eletroeletrônicos anteriormente utilizados para os trabalhos de ordem térmica. Tendo em vista que as justificativas para a escolha de aparelhos de TV, aparelhos de som e microcomputadores já foram realizadas anteriormente, julga-se desnecessário repeti-las nesta unidade.

A estratégia aqui empregada consiste na realização de ensaios destrutivos, sob o ponto de vista de tensões, através da aplicação dos seguintes eventos:

- Sobretensões em baixa tensão (BT) e destinadas à avaliação de desempenho dos equipamentos sob condições de níveis de tensão representativos de distúrbios típicos à frequência industrial;
- Sobretensões nas redes de BT atreladas com a ocorrência de fenômenos oriundos da queda de cabos da média sobre os condutores de baixa tensão;
- Transitórios impulsivos, representativos da incidência de distúrbios vinculados com descargas atmosféricas.

a) Ensaio 1 - Sobretensões em BT na frequência industrial

Este ensaio, a nível destrutivo, destina-se à determinação de um dos pontos representativos da curva de suportabilidade dielétrica dos equipamentos eletroeletrônicos na frequência de 60 Hz, isto é, para a denominada região 3 da curva de suportabilidade.

Para o cumprimento dessa meta utilizou-se uma fonte programável de tensão, através da qual foi possível aumentar a tensão de suprimento até que a suportabilidade dielétrica do aparelho fosse ultrapassada, ocasionando, por consequência, danos físicos no produto ensaiado.

A estrutura física utilizada encontra-se formada pelos seguintes equipamentos principais:

- Fonte de tensão, com características programáveis, marca HP, modelo HP 6834 A;
- Transformador de 15 kVA de relação de transformação de 220/800V;

- Osciloscópio digital para a aquisição das formas de onda de tensão e corrente.

O arranjo laboratorial em questão corresponde ao da figura 2.22.

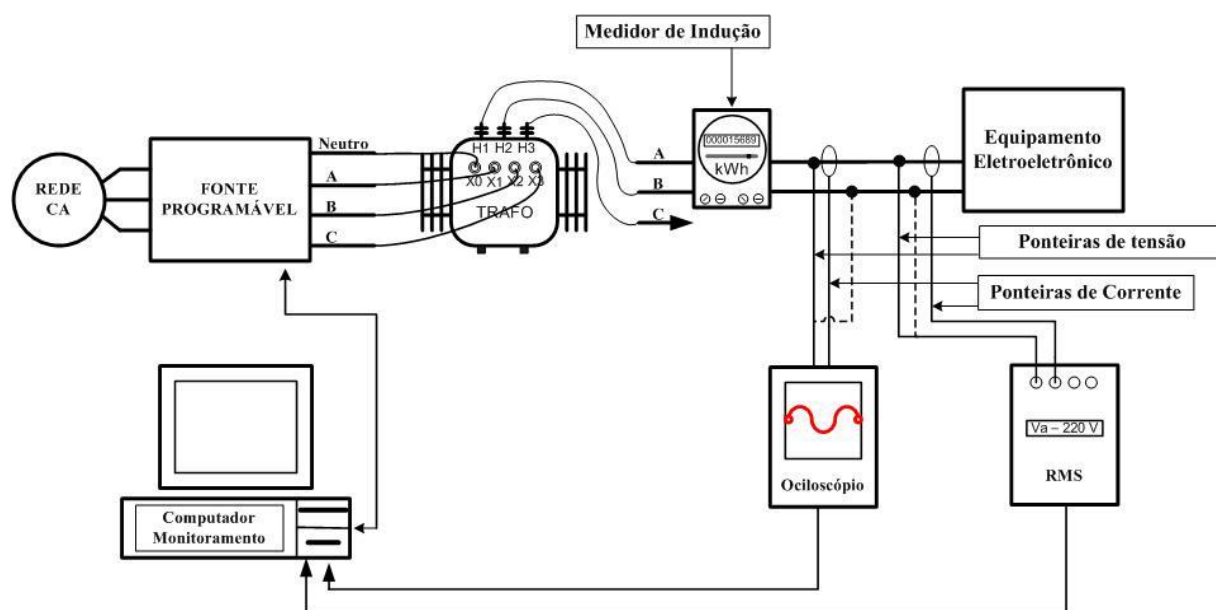
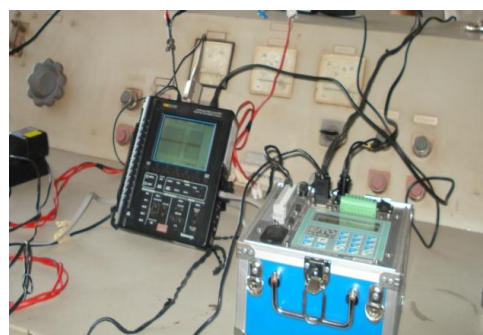


Figura 2.22 – Arranjo laboratorial para realização de ensaios com sobretensões à frequência industrial.

A figura 2.23 é indicativa de alguns detalhes dos equipamentos que perfazem o arranjo experimental supra indicado.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.23 – Principais componentes utilizados na montagem laboratorial para os ensaios de sobretensão à 60 Hz: (a) Transformador de 15 kVA, (b) Registradores das formas de onda da tensão e corrente, (c) Equipamento eletroeletrônico sob teste e (d) Fonte Programável.

A figura 2.24 mostra um resultado típico de tensão e corrente. Essa evidencia o perfil dessas grandezas desde o momento em que as mesmas são impactantes sobre o equipamento até o instante para o qual ocorre o dano físico. Portanto, à luz dos princípios postulados anteriormente, fica evidenciado que as informações contidas nestes gráficos oferecem os dados requeridos para a obtenção de um dos pontos necessários para a curva de suportabilidade dielétrica.

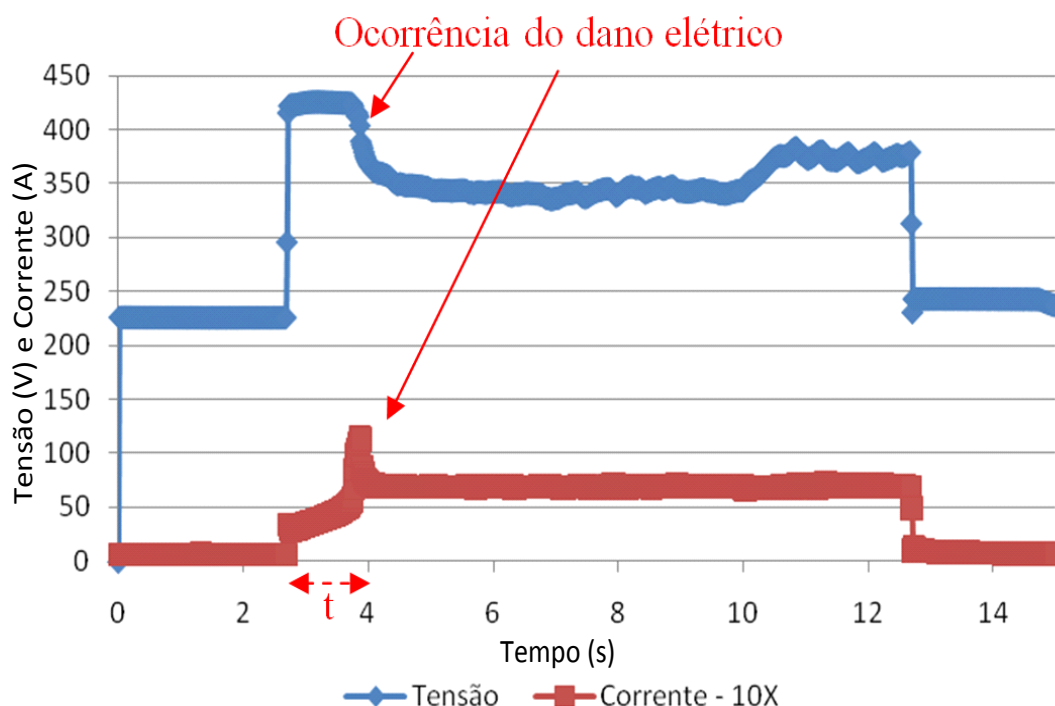


Figura 2.24 – Exemplo de registro da tensão e corrente aplicadas ao produto sob teste.

b) Ensaio 2 - Sobretensões em MT nos cabos de BT

Além dos testes de sobretensões anteriores, almejando outra escala de valores de tensão, normalmente possível de manifestação quando da ocorrência da ruptura de um condutor de MT e respectiva incidência sobre o suprimento em BT, este fenômeno foi também simulado experimentalmente. Durante a ocorrência desse fenômeno, como seria esperado, até a atuação da proteção, as fases da baixa tensão encontram-se submetidas às mesmas magnitudes das tensões na média tensão, fato este que originou a montagem da estrutura laboratorial apresentada na figura 2.25.

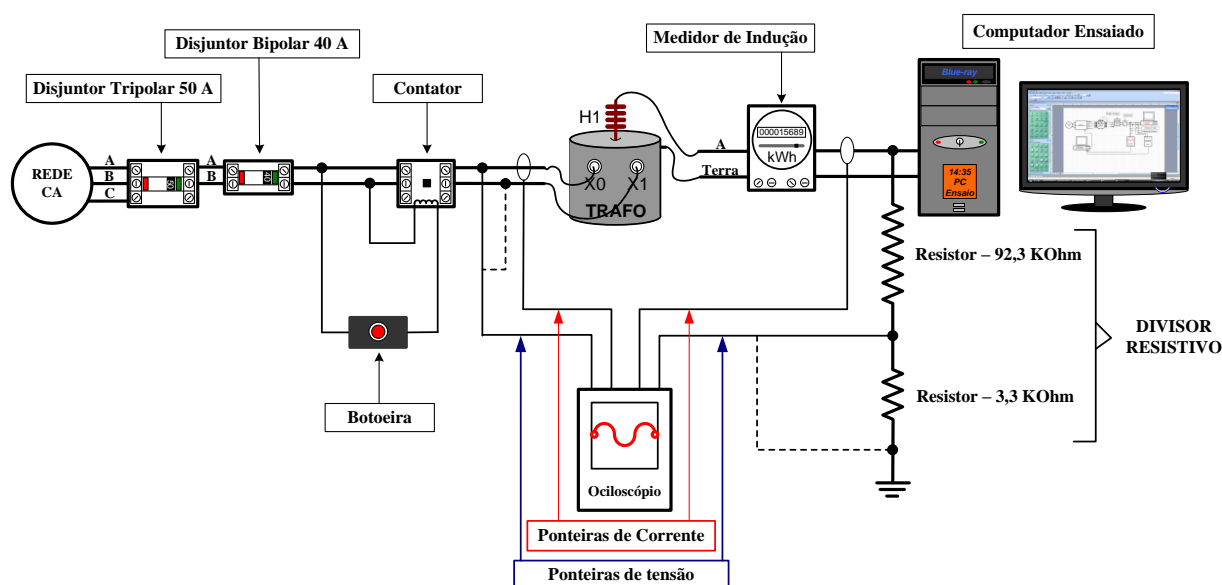


Figura 2.25 – Montagem laboratorial para a realização dos ensaios representativos da queda de cabos de MT na BT.

Vale ressaltar que, para a realização de tal ensaio, foi utilizado um transformador monofásico de eletrificação rural, o qual possui uma potência nominal de 5 kVA, com uma relação de transformação de 7.967/240 V. Para fins do controle do momento da incidência da MT sobre a BT, assim como também para a determinação do tempo de exposição, foi empregado um arranjo constituído por: contadores, botoeiras e disjuntores de proteção, como mostrado no diagrama esquemático. Também, visando uma melhor caracterização do consumidor quanto a sua forma de conexão à rede de alimentação, foi adicionado um medidor de energia eletrônico bifásico inserido entre o ponto de ocorrência do distúrbio e o equipamento sob teste.

c) Ensaio 3 - Transitórios impulsivos

Como amplamente conhecido, as descargas atmosféricas correspondem a uma das principais causas de queimas de equipamentos eletroeletrônicos e, tais solicitações são representadas pela denominada região 1 da curva de suportabilidade dielétrica.

A estrutura clássica existente em laboratórios destinados a reprodução dos fenômenos associados com descargas atmosféricas corresponde ao da figura 2.26.

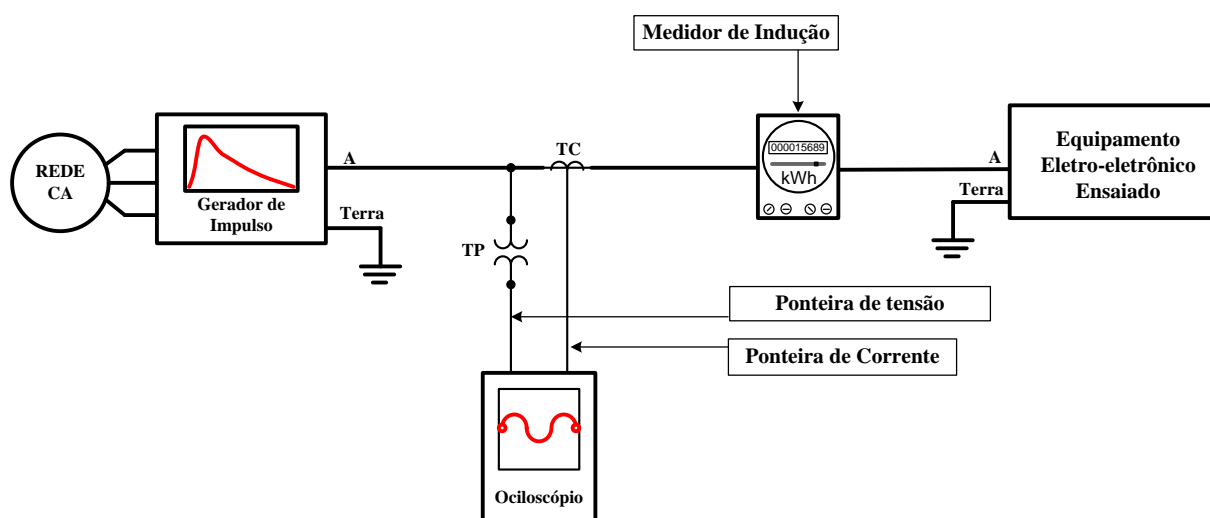


Figura 2.26 – Estrutura laboratorial para reprodução de fenômenos associados com descargas atmosféricas.

A figura 2.27 mostra os componentes básicos que constituem o arranjo físico empregado para os fins aqui almejados, a saber: o Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá.



Figura 2.27 – Ilustração da estrutura do laboratório para ensaios de transitórios impulsivos - UNIFEI.

2.3.4 – Produtos avaliados e resultados

Em consonância com as estruturas físicas montadas e empregadas, e também, utilizando-se dos mesmos produtos já avaliados sob o ponto de vista térmico, foram então obtidos os limites destrutivos de tensão constante nas tabelas a seguir. Objetivando maior simplicidade para a composição das mesmas e também uma melhor visualização dos resultados, os limites dielétricos associados com as três categorias de ensaios foram agrupadas para cada um dos produtos ensaiados.

- **Televisores**

Os valores de tensão e respectivos tempos de exposição até a manifestação de danos físicos para os televisores contemplados nos estudos encontram-se sintetizados na tabela 2.5.

CAPITULO II – Novas Curvas de Suportabilidade para Equipamentos Eletroeletrônicos

Tabela 2.5 – Síntese dos resultados laboratoriais – tensões limites para os televisores

| Televisor | Ecrã | Condição | Ensaio | Tensão (V) | Duração t(s) |
|-------------|------|----------|----------|------------|-----------------------|
| Televisor 1 | 21” | Usado | Ensaio 1 | 622 | 0,78 |
| Televisor 2 | 21” | Usado | Ensaio 2 | 600 | 0,1 |
| Televisor 3 | 29” | Novo | Ensaio 2 | 600 | 0,23 |
| Televisor 4 | 29” | Novo | Ensaio 2 | 600 | 0,600 |
| Televisor 5 | 29” | Usado | Ensaio 2 | 1600 | 0,11 |
| Televisor 6 | 21” | Novo | Ensaio 3 | 3980,0 | $7,25 \cdot 10^{-6}$ |
| Televisor 7 | 21” | Usado | Ensaio 3 | 3862,0 | $6,76 \cdot 10^{-6}$ |
| Televisor 3 | 29” | Novo | Ensaio 3 | 4136,3 | $11,10 \cdot 10^{-6}$ |
| Televisor 4 | 29” | Novo | Ensaio 3 | 4043,0 | $11,38 \cdot 10^{-6}$ |
| Televisor 8 | 29” | Usado | Ensaio 3 | 4077,0 | $12,00 \cdot 10^{-6}$ |

Com base nas informações contidas na tabela 2.5 e, fundamentando-se na proposição feita através da equação 2.4, são apresentadas, na sequência, através das figuras 2.28 e 2.29, as curvas de suportabilidade dielétrica para televisor 21” e de 29”. A seleção destes dois produtos encontra correspondência com o mesmo procedimento utilizado para a apresentação das curvas térmicas, pois, foram estes os televisores lá ilustrados.

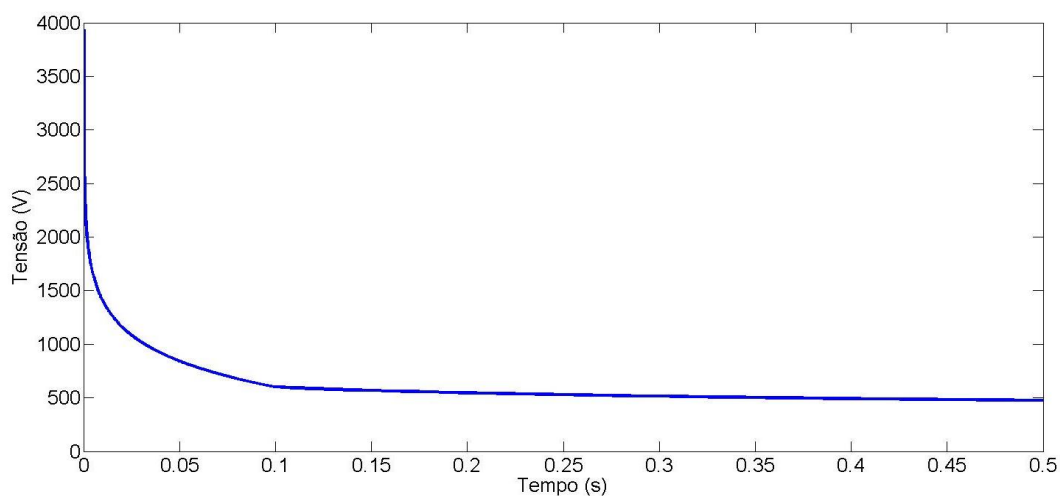


Figura 2.28 – Curva de suportabilidade dielétrica para televisores de 21”.

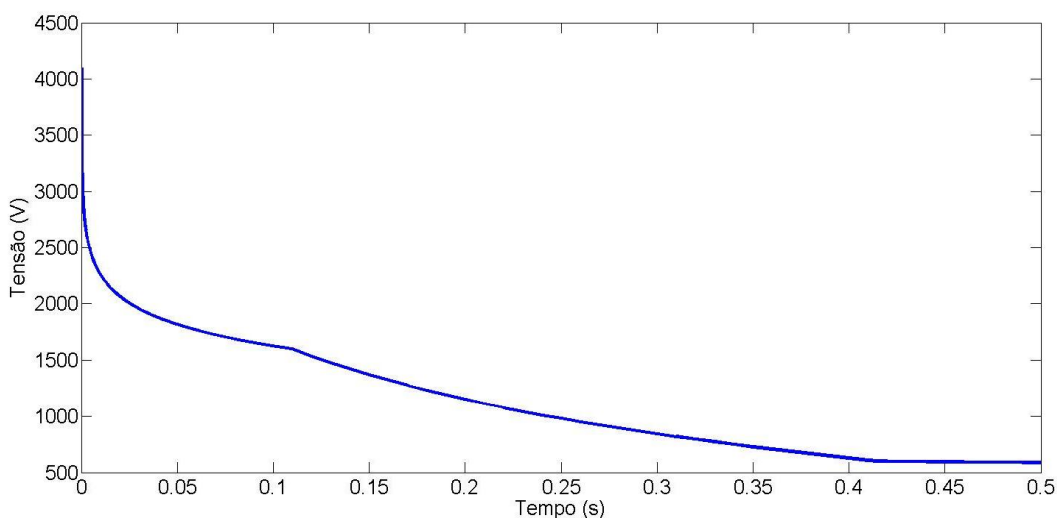


Figura 2.29 – Curva de suportabilidade dielétrica para televisores de 29”.

- **Aparelhos de Som**

De forma similar, os valores tensão e tempo de exposição até a ocorrência de danos dos aparelhos de som são sintetizados na tabela 2.6.

CAPITULO II – Novas Curvas de Suportabilidade para Equipamentos Eletroeletrônicos

Tabela 2.6 – Síntese dos resultados laboratoriais – tensões limites para os aparelhos de som

| Aparelho de Som | Ensaio | Tensão (V) | Duração t(s) |
|------------------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| Aparelho de som 1 | Ensaio 2 | 2399 | 0,1 |
| Aparelho de som 2 | Ensaio 2 | 2000 | 0,250 |
| Aparelho de som 3 | Ensaio 2 | 2400 | 0,1 |
| Aparelho de som 4 | Ensaio 3 | 3436,5 | $10,71 \cdot 10^{-6}$ |
| Aparelho de som 5 | Ensaio 3 | 5616,7 | $7,06 \cdot 10^{-6}$ |
| Aparelho de som 6 | Ensaio 3 | 5598,0 | $9,38 \cdot 10^{-6}$ |

Com base nos dados apresentados, indica-se, através da figura 2.30, a curva de suportabilidade dielétrica dos aparelhos de som. Tendo em vista a similaridade entre os resultados, apenas um único traçado foi feito, o qual passa a representar o elenco dos equipamentos sob análise.

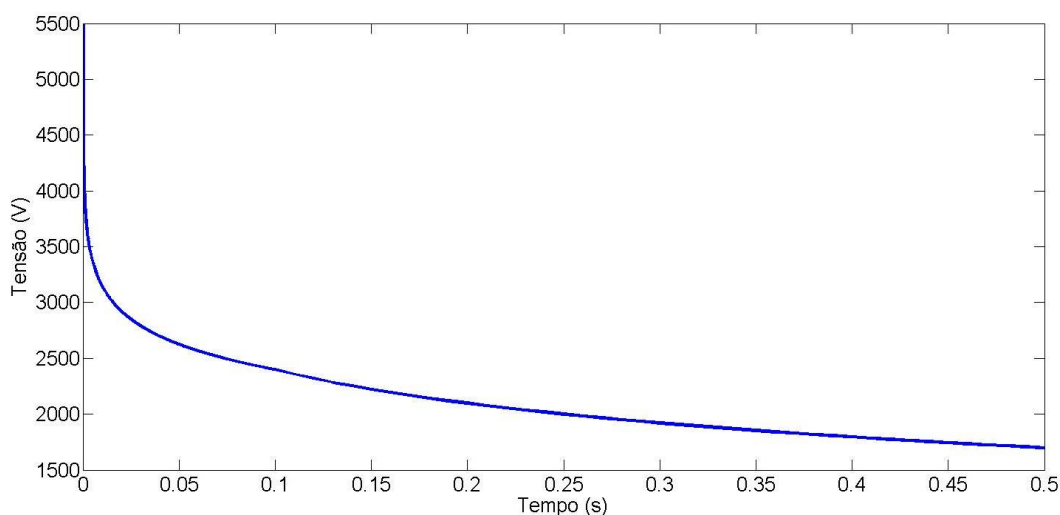


Figura 2.30 – Curva de suportabilidade dielétrica para aparelhos de som.

- **Microcomputadores**

Dentro da mesma filosofia de trabalho utilizada para os equipamentos anteriores realizou-se os ensaios para diversos microcomputadores. Os resultados obtidos encontram-se sintetizados na tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Síntese dos resultados laboratoriais – tensões limites para os micromputadores

| Microcomputador | Estabilizador | Ensaio | Tensão (V) | Duração t(s) |
|------------------------|----------------------|---------------|-------------------|---------------------|
| Microcomputador 1 | não | Ensaio 1 | 560 | 4,8s |
| Microcomputador 2 | sim | Ensaio 1 | 622 | 0,5s |
| Microcomputador 3 | sim | Ensaio 2 | 2000 | 0,12 |
| Microcomputador 4 | sim | Ensaio 2 | 1600 | 0,25 |
| Microcomputador 5 | sim | Ensaio 3 | 4304,24 | 17,72·10-6 |
| Microcomputador 6 | sim | Ensaio 3 | 3822,19 | 15,38·10-6 |
| Microcomputador 7 | sim | Ensaio 3 | 4055,44 | 16,00·10-6 |
| Microcomputador 8 | sim | Ensaio 3 | 4341,56 | 18,00·10-6 |
| Microcomputador 9 | sim | Ensaio 3 | 3523,63 | 12,43·10-6 |
| Microcomputador 10 | sim | Ensaio 3 | 4130,08 | 15,33·10-6 |
| Microcomputador 11 | não | Ensaio 3 | 3747,55 | 12,67·10-6 |
| Microcomputador 12 | não | Ensaio 3 | 4913,8 | 13,00·10-6 |
| Microcomputador 13 | não | Ensaio 3 | 4938,68 | 16,00·10-6 |
| Microcomputador 14 | não | Ensaio 3 | 5056,86 | 13,52·10-6 |

A partir dos limites de tensão apresentados na tabela 2.7 são traçadas as curvas de suportabilidade dielétrica para os equipamentos em foco. A figura

2.31 expressa os resultados sem a inserção do estabilizador enquanto que a figura 2.32 inclui tal dispositivo.

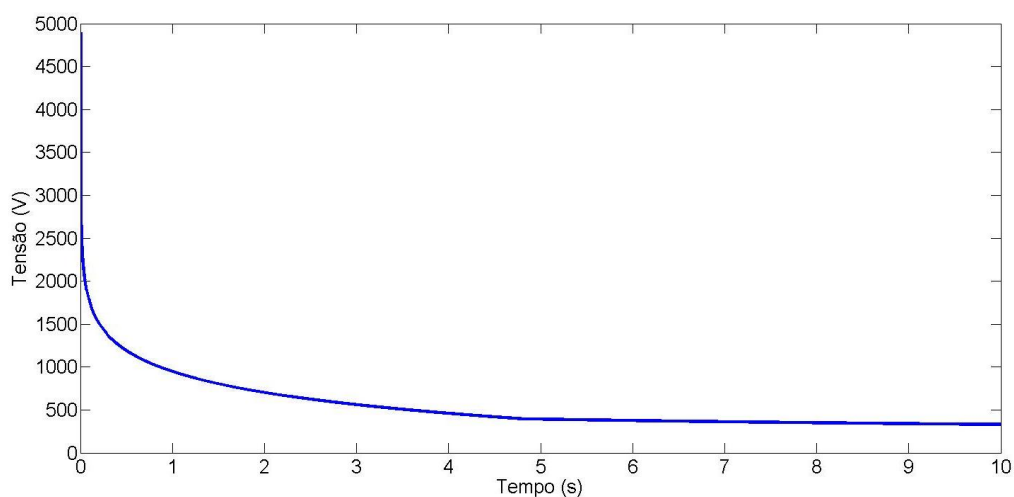


Figura 2.31 – Curva de suportabilidade dielétrica para microcomputadores - sem estabilizador.

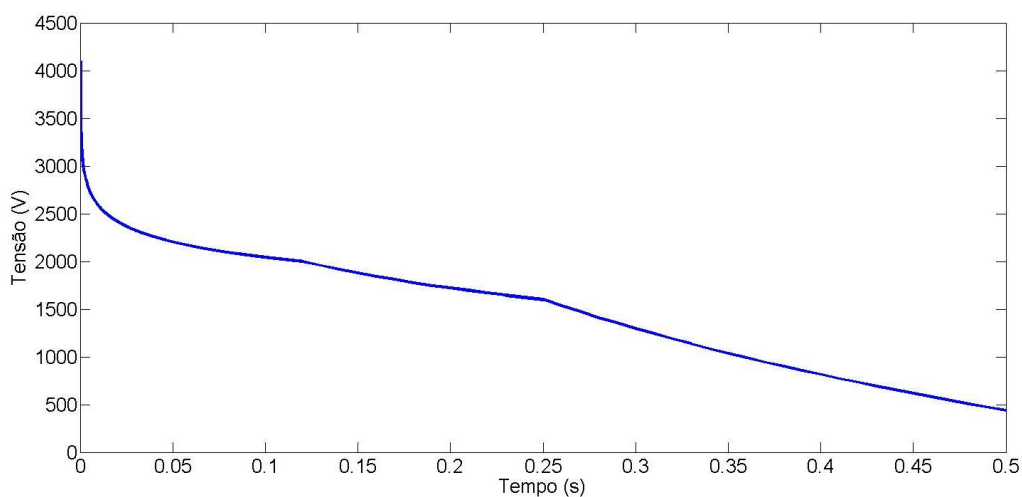


Figura 2.32 – Curva de suportabilidade dielétrica para microcomputador - com estabilizador.

2.3.5 – Inserção das curvas de suportabilidade dielétrica no aplicativo APR

De forma similar às curvas de suportabilidade térmica, as novas curvas aqui obtidas foram então incorporadas ao aplicativo APR e receberam a identificação de “Curva de Suportabilidade CEMIG”. Com esta nova opção para seleção dos limites de tolerância para os esforços dielétricos o programa original [30] passa agora a se apresentar com os recursos indicados na figura 2.33.

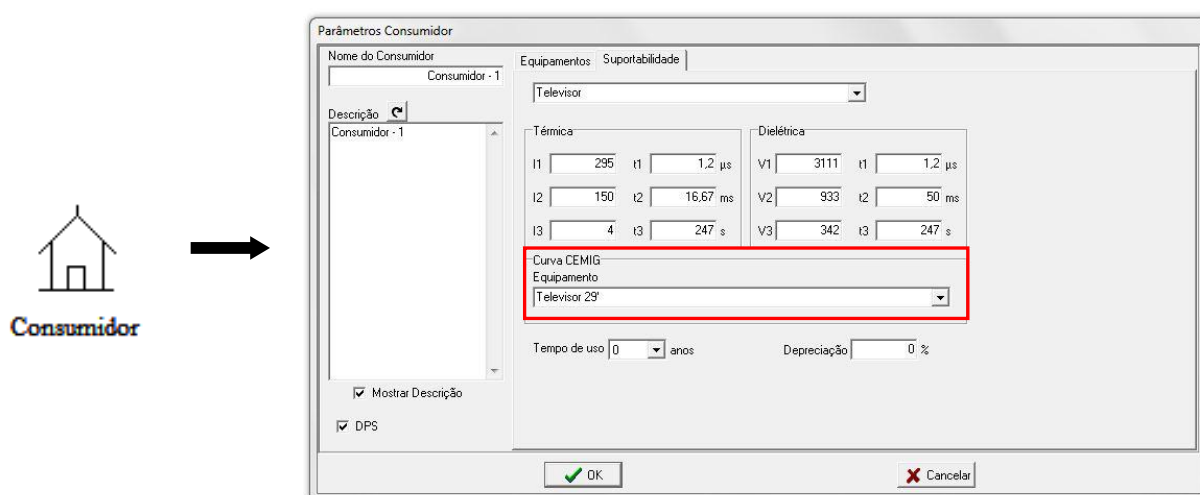


Figura 2.33 – Tela de recursos inserida no APR e que permite a utilização das curvas dielétricas CEMIG.

2.4 – Análise comparativa das curvas de suportabilidade

O estabelecimento de termos comparativos entre as propostas de suportabilidade encontradas na literatura e as novas, aqui obtidas, tem por finalidade avaliar o grau de aderência que os limites até então empregados para os estudos térmicos e dielétricos se apresenta em relação aos novos resultados derivados dos trabalhos realizados e pormenorizados anteriormente.

Inicialmente ressalta-se que, no que se refere às curvas de limites térmicos, tais considerações não são possíveis de serem exploradas, visto a inexistência de referências anteriores, à exceção do fato que, em [30] utiliza-se as máximas tolerâncias térmicas como aquelas definidas para os diodos que compõem as fontes chaveadas dos equipamentos. Mesmo reconhecendo tal limitação, a figura 2.34 oferece um visual comparativo entre as hipóteses anteriores e os novos limites.

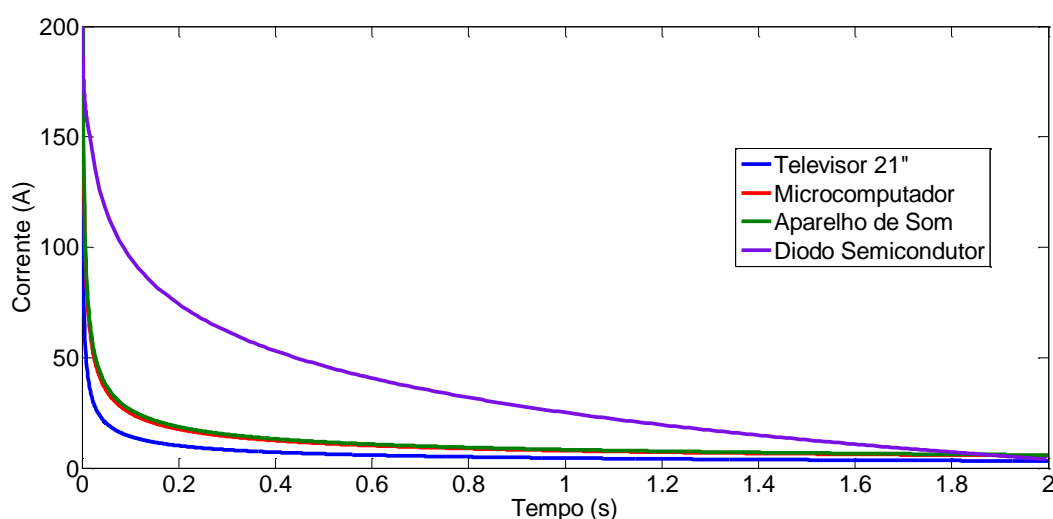


Figura 2.34 – Curvas de suportabilidade térmica para eletroeletrônicos.

Por outro lado, em vista do fato que as curvas dielétricas aqui obtidas se apresentam como alternativas em relação a outras referências que contemplam tal matéria, esta característica já permite uma melhor avaliação de desempenho em relação ao recomendado pela literatura.

Dentro desta lógica, a figura 2.35 correlaciona as novas curvas de suportabilidade dielétrica para aparelhos televisores com aquelas encontradas e destacadas na seção 2.3.3. A análise é feita através da inserção dos resultados representativos do televisor de menor suportabilidade dielétrica, o de 21”.

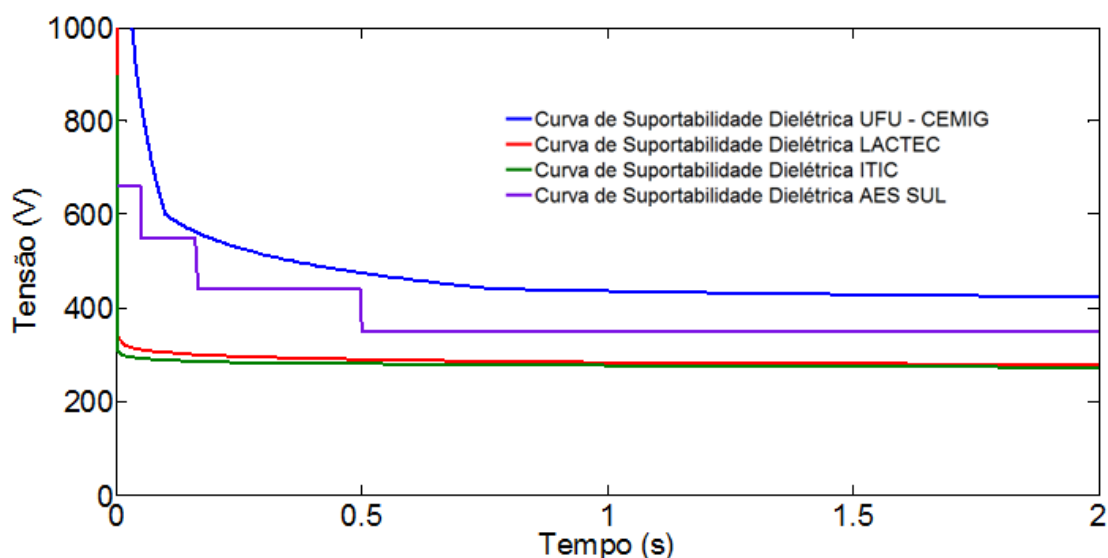


Figura 2.35 – Curvas de suportabilidade dielétrica para aparelhos televisores – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais.

As figuras 2.36 e 2.37 fornecem as curvas de suportabilidade dielétrica para aparelhos de som e micromputadores (sem estabilizadores). Como se observa, os limites propostos se apresentam com tolerâncias bastantes acima dos valores originalmente empregados. Também, a utilização dos resultados para microcomputadores sem estabilizadores se apoia no fato que as curvas constantes nas referências bibliográficas não explicitam a presença ou não destes componentes junto aos equipamentos testados, e ainda, sem os estabilizadores os limites admissíveis são inferiores.

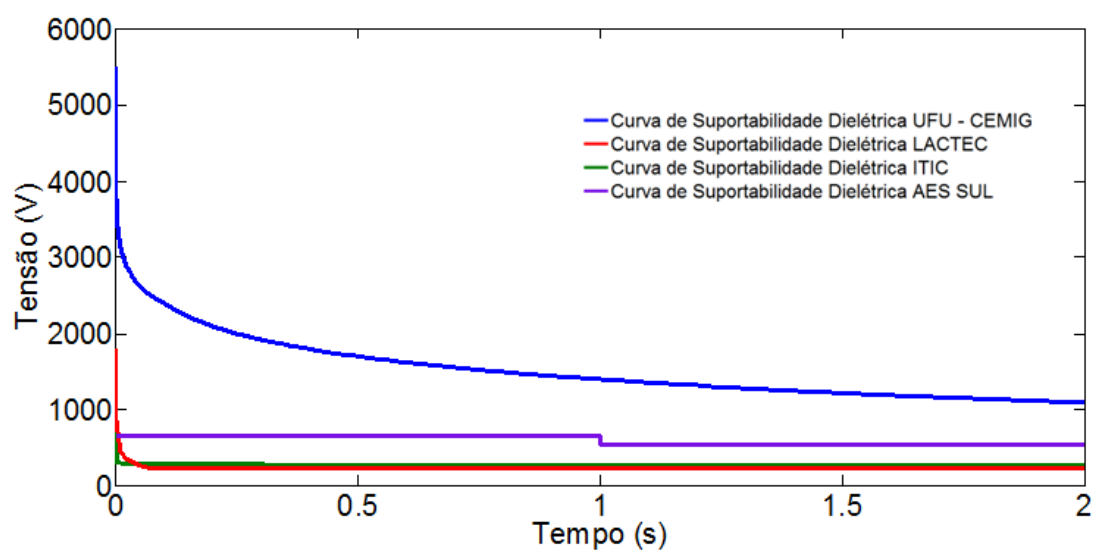


Figura 2.36 – Curvas de suportabilidade dielétrica para aparelhos de som – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais.

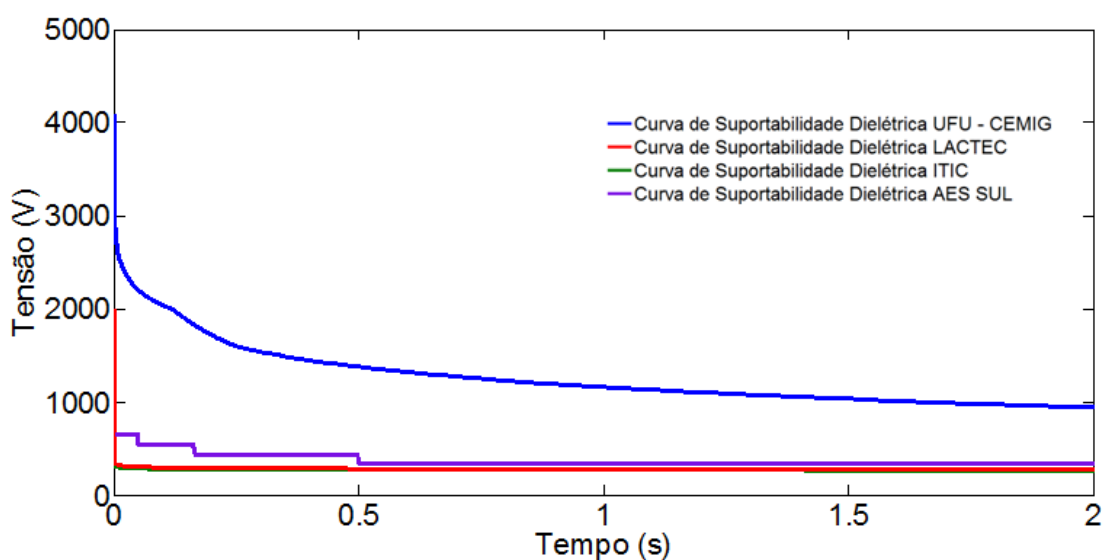


Figura 2.37 – Curvas de suportabilidade dielétrica para microcomputadores – análise comparativa entre os limites obtidos e os tradicionais.

2.5 – Considerações finais

O presente capítulo sintetizou os desenvolvimentos relativos ao levantamento das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de alguns equipamentos eletroeletrônicos.

As atividades desenvolvidas constituíram-se nas ações voltadas, em um primeiro momento, para o estabelecimento de uma metodologia empregada para obter as curvas de suportabilidade térmica e dielétrica, com destaque às bases matemáticas e físicas para se atingir tais propósitos e definição da estrutura laboratorial necessária. Quanto aos fundamentos para a obtenção das curvas térmicas, há de se reconhecer que estas empregaram conceitos tradicionais, os quais se baseiam no fato que os limites térmicos se apoiam na máxima energia suportável pelos dispositivos quando esses se encontram submetidos a altos níveis de corrente elétrica. No que se refere aos procedimentos voltados para as questões dos limites dielétricos, foram utilizadas estruturas laboratoriais especiais para a realização de ensaios à frequência industrial e também os recursos disponibilizados pela UNIFEI para os testes associados com a simulação de descargas atmosféricas.

A partir dos resultados advindos dos ensaios experimentais foram então obtidas as informações requeridas para o estabelecimento de novas propostas para as curvas de suportabilidade dielétrica e térmica para os produtos avaliados. Sintetizando, os resultados materializados na forma de gráficos representativos dos limites admissíveis foram traçados e avaliados à luz das referências até então disponibilizadas pela literatura.

Constatou-se, por fim, que as novas curvas obtidas passaram a constituir-se num novo conjunto de informações relevantes ao processo de análise dos

pedidos de ressarcimento e, de modo claro, as mesmas se mostram com níveis de suportabilidade superiores àquelas até então empregadas.

Concluindo, os novos limites térmicos e dielétricos obtidos para os televisores, aparelhos de som e microcomputadores foram incorporados ao aplicativo APR, o qual, a partir destas contribuições, passa a viabilizar uma nova forma para o confronto entre os esforços advindos de ocorrências nas redes elétricas, com as tolerâncias destes produtos.

2.6 – Os avanços oferecidos por este capítulo

As principais contribuições oferecidas por este capítulo, como pôde ser constatado, são:

- Proposta de estrutura física e levantamento das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica através de ensaios laboratoriais destrutivos de televisores, aparelhos de som e microcomputadores (com estabilizador e sem estabilizador).
- Inserção das novas curvas de equipamentos no aplicativo APR;
- Oferecimento de meios para uma comparação entre os esforços dielétricos e térmicos manifestados nos equipamentos supramencionados e os níveis de suportabilidade dos mesmos, com vistas a se atingir uma sistemática de análise de PIDs com maior consistência com a realidade.

CAPÍTULO III

Uma Proposta para a Análise de PIDs via Medições em Tempo Real dos Distúrbios

3.1 – Considerações iniciais

Na sua forma original, o aplicativo APR, para o cumprimento de seus propósitos, reproduz, computacionalmente, os fenômenos ocorridos nas redes de distribuição. Tal procedimento é concretizado através do reconhecimento da ocorrência, da identificação de sua origem e sua respectiva simulação na base computacional escolhida. Não obstante a importância dessa estratégia, e também, a sua ampla aceitação no meio profissional, outra possibilidade para a definição e caracterização dos fenômenos manifestados encontra sustentação em medições reais conduzidas em pontos estratégicos da rede. Estes resultados são, na sequência, levados ao APR para as análises que se fazem necessárias.

Inserido, pois, dentro deste contexto, surge o presente capítulo, o qual, fundamentado em registros de campo, tem por meta descrever os mecanismos, procedimentos e a viabilidade desta alternativa, em complementação, como já dito, ao meio convencional.

Desta forma, a proposta vinculada a esta parte do trabalho trata especificamente da questão da aquisição, tratamento, transferência e

disponibilização, para o APR, de informações advindas de equipamentos capazes de registrar as perturbações, de maneira tal que dados reais sobre fenômenos ocorridos e extraídos de pontos estratégicos do sistema sejam utilizados em substituição àqueles obtidos via simulação de eventos.

Muito embora a simplicidade da idéia, a implementação da estratégia em pauta oferece grandes desafios a serem transpostos, dentre eles ressaltam-se: questões próprias aos equipamentos de medição, transferência de dados, tratamento das informações, adequação dos arquivos aos propósitos e exigências do APR, etc.

Diante destas questões, o presente capítulo, sem a pretensão de aprofundar na questão do desenvolvimento de sensores propriamente ditos, tem por pontos focais:

- A partir de um registrador de eventos comercialmente disponível no mercado, de fabricação nacional, adequá-lo aos propósitos desta pesquisa;
- Definir os meios para a transferência dos registros ou transmissão dos dados até uma central de utilização das informações;
- Caracterizar o processo da recepção e formação de um banco de dados sobre os fenômenos ocorridos em campo;
- Estabelecer os meios para a comunicação entre tais arquivos e o aplicativo APR;
- Efetuar estudos de casos com vistas à validação da metodologia.

3.2 – Estrutura física associada ao processo

A proposta de adequação do aplicativo APR aos fins aqui almejados se apoia na utilização de modernos equipamentos para registros de formas de onda da tensão. Esses, por sua vez, terão por incumbência o armazenamento das informações do distúrbio ocorrido no sistema de distribuição, bem como a transmissão destes dados em tempo real. A aplicação desses dispositivos, localizados em pontos estratégicos da rede, está atrelada ao uso em espaços físicos abertos, conforme ilustra a figura 3.1.



Figura 3.1 – Equipamentos para registro dos distúrbios e transmissão dos dados.

A estrutura para o sistema proposto é sintetizada através da figura 3.2. Essa mostra o ponto de localização do registrador (e transmissor), o caminho seguido até a central de recepção e o local final onde serão disponibilizados os arquivos e, eventualmente, os cálculos atrelados com o emprego do APR.



Figura 3.2 – Estrutura do sistema proposto para aquisição, transmissão e armazenamento dos sinais capturados via medição.

As principais partes constituintes do sistema enfocado são:

- **Registro do distúrbio**: a medição do fenômeno, envolvendo afundamentos, elevações, transitórios de tensão, etc. é realizada por meio de um equipamento comercialmente disponibilizado para esta finalidade. Por se tratar de um produto existente, o mesmo não consiste em tema para maiores discussões nesta tese de doutorado;
- **Transmissão do sinal**: após a ocorrência e registro do distúrbio, o qual ocorre na forma de obtenção, ponto a ponto, das formas de onda, deve-se, sequencialmente, tratar de sua transmissão até a central de armazenamento. Novamente, não é função desta proposta o desenvolvimento deste produto, mas sim, a utilização de recursos já disponíveis no mercado. Portanto, no que tange a este componente, o mesmo será apenas apresentado posteriormente;
- **Central de recepção e de análise**: na central de recepção ocorre o recebimento e armazenamento das informações transmitidas dos distúrbios, formando, assim, um banco de dados de registros. O

acesso a esses dados é disponibilizado à central de análise, permitindo que o usuário do programa APR adquira as formas de onda medidas e pertinentes à sua análise. Para tanto, reconhece-se que o aplicativo poderá estar no mesmo ambiente físico ou distante deste. Se a última situação ocorrer, então meios como a internet ou outro poderão ser ainda utilizado.

3.3 – Caracterização das principais unidades físicas componentes do processo

Os equipamentos que integram o processo sob análise, preferencialmente, deverão primar pelo emprego de recursos comercialmente disponíveis no mercado, e ainda, que ofereçam a devida confiabilidade para os fins aqui almejados. Dentro desta lógica, foi feita uma seleção de produtos com reconhecida assistência técnica no país, sem desconsiderar outros quesitos, a exemplo de: custos, qualidade, adequação, etc. A seguir, apresenta-se uma descrição sucinta a respeito destes aparelhos.

3.3.1 – Registrador de eventos

O registrador de distúrbios selecionado corresponde ao medidor CCK 4100, o qual é mostrado na figura 3.3. Essa unidade remota realiza a aquisição das formas de onda das tensões quando ocorre um distúrbio na rede de distribuição e armazena os valores instantâneos na sua memória de massa.



Figura 3.3 – Medidor CCK 4100

As principais características técnicas deste produto são:

- Alimentação: 90 a 240 V em corrente alternada com seleção automática de tensão ou 125 V em corrente contínua;
- Potência utilizada pelo medidor: 3 VA;
- Autonomia de 6 horas para funcionamento e 48 horas de retenção de dados em caso de falta de energia;
- Entradas: 3 fases, neutro e terra;
- Resolução de 0,1 V;
- Faixa de medição de 0 a 600 V de tensão eficaz fase-neutro;
- 0,5% de precisão;
- 128 amostras por ciclo;
- Picos até 4000 V com 100 milisegundos de duração;
- Transitórios de tensão a partir de 130 microsegundos de duração;
- Elevação e afundamentos de tensão a partir de ½ ciclo de duração;
- Registros de eventos entre neutro e terra;
- Comunicação serial RS 485.

3.3.2 – Transmissor de dados

Através de comunicação serial RS 485, a informação do CCK 4100 é transferida para outro produto CCK, o qual é identificado como CCK 7000, conforme mostra a figura 3.4. O protocolo MODBUS é utilizado nesta comunicação. O equipamento CCK 7000 está acoplado a um *modem*, apresentado na figura 3.5, via conexão Ethernet com protocolo TCP/IP. Assim, este aparelho realiza a transmissão dos dados via redes celulares de tecnologia GSM/GPRS para o servidor da empresa. Também é relevante mencionar que esta etapa é realizada em intervalos de tempo que atendam às necessidades do usuário.



Figura 3.4 – Equipamento CCK 7000 - Conversor das informações de medição para permitir a conexão à internet via telefonia celular GSM.



Figura 3.5 – Produto Motorola utilizado para transmissão dos dados.

3.3.3 – Central de recepção

Os dados transmitidos são recebidos e gravados, de acordo com a data e o horário da ocorrência do evento, em um banco de dados de um servidor instalado na central de informática da empresa, o qual poderá ser prontamente acessado pelo aplicativo APR, caso este seja disponível no próprio ambiente, ou ainda, os dados poderão ser transmitidos via internet, conforme ilustra a figura 3.6.

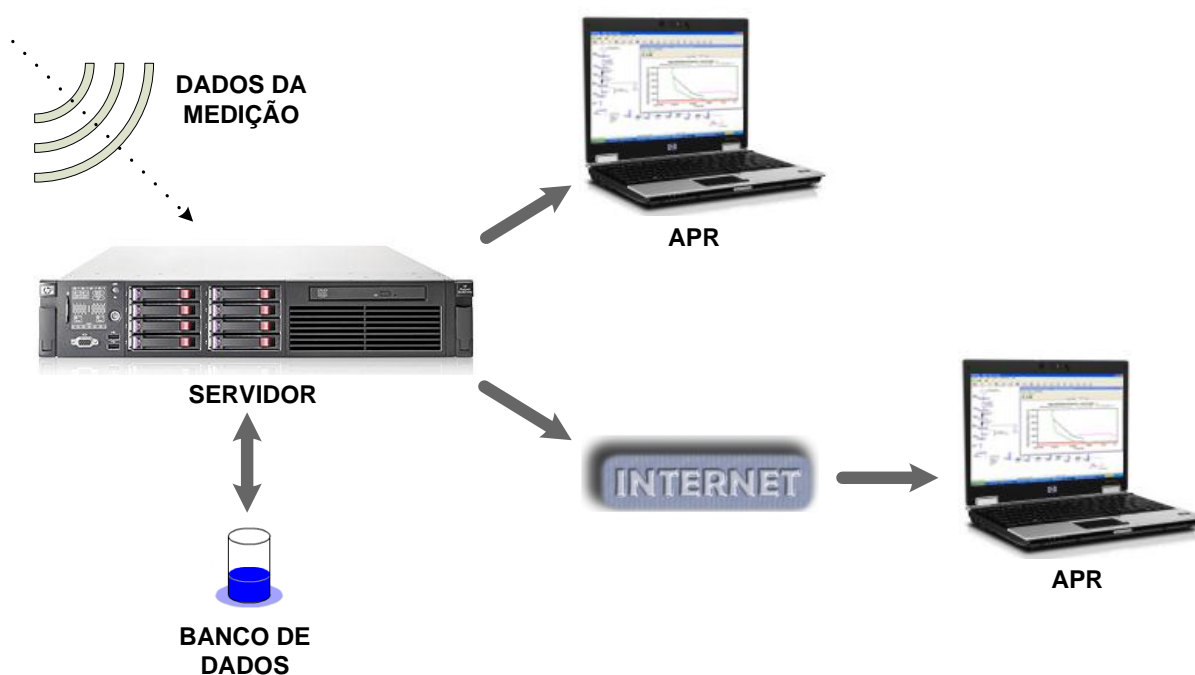


Figura 3.6 – Diagrama representativo do processo de armazenamento e disponibilização de acesso às informações

3.3.4 – Comunicação com o APR

As informações armazenadas e representativas dos fenômenos ocorridos em campo, na forma de bancos de dados disponibilizados no servidor da

empresa necessitam, agora, serem transferidas ao APR, para o uso final. Para tanto, tais dados deverão ainda ser adequados nos moldes exigidos pelo aplicativo, conforme será detalhado posteriormente.

3.4 – Estrutura do APR para utilização das informações de campo

Após a obtenção dos bancos de dados representativos das formas de onda atreladas com os mais distintos distúrbios passíveis de manifestação nas redes de distribuição, como estabelecido nos termos iniciais deste capítulo, o aplicativo APR deverá possuir uma porta de comunicação para o recebimento de tais informações.

Em consonância com a concepção original do programa, apresenta-se, através da figura 3.7, a nova estrutura do aplicativo. Essa compreende todas as etapas contidas no aplicativo original [45], adicionada com recursos para a reprodução do distúrbio ocorrido em campo. Este se faz presente através de uma nova entrada para a fonte de distúrbios, fato responsável por uma nova versão do APR que permite ao usuário definir se a anomalia operativa da rede será derivada de uma reprodução computacional do distúrbio ou se será inserida através dos arquivos de medição.

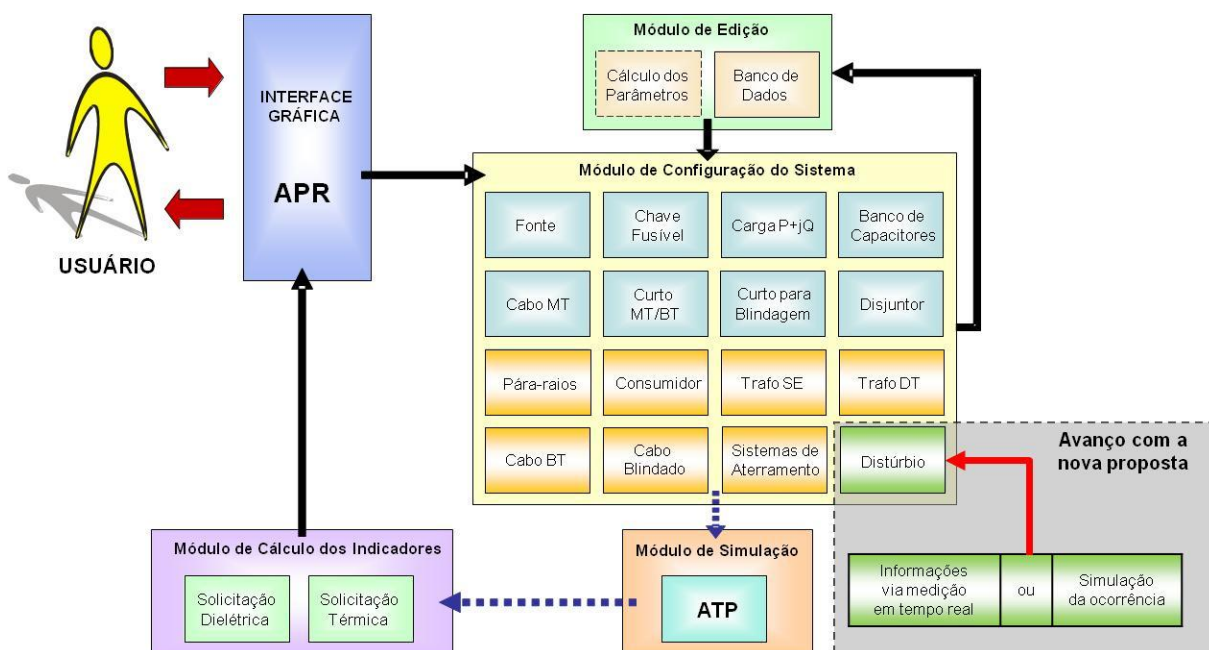


Figura 3.7 – Estrutura do programa APR com possibilidade de inserção de informações via medição.

Na figura anterior as setas contínuas representam ações diretas do operador através da interface gráfica, como é o caso do assunto aqui tratado. Por outro lado, as setas tracejadas indicam processos de comunicação interna do *software*, independentes de ações interventoras do usuário.

No que tange aos demais módulos que compõem a estrutura definida pela figura 3.7, esses foram detalhadamente discutidos em [30] e [45]. Por tal motivo, os mesmos não serão objetos de maiores considerações nesta tese.

3.5 – Implementação dos resultados das medições no aplicativo APR

O processo para viabilizar a utilização dos dados de medição relativos a um distúrbio no aplicativo APR compreende as seguintes etapas:

3.5.1 – Banco de dados disponibilizado no servidor

Os dados adquiridos, armazenados e disponibilizados no servidor da central de recepção da empresa concessionária se apresentam na forma ilustrada na figura 3.8. Como pode ser constatado, as informações disponíveis contemplam, além dos arquivos de dados sobre as tensões instantâneas, outras identificações, a exemplo de: tipo de fenômeno, valores máximos ou mínimos encontrados, momento de ocorrência, etc. Os eventos são armazenados em números de pontos predeterminados por ciclo, bem como um total de ciclos predefinidos por captura.

| Lista de Curvas Capturadas - A0172008.CRV | | | | |
|---|-----------------------|------------|---------|----------|
| #Curva | Início | Tipo | Extremo | Instante |
| # 60 | 26/07/08 00:51:02,691 | Transiente | 184,7 V | 36.1 ms |
| # 59 | 26/07/08 00:50:25,021 | Transiente | 230,2 V | 28.0 ms |
| # 58 | 26/07/08 00:50:04,150 | Transiente | 183,7 V | 33.5 ms |
| # 57 | 26/07/08 00:49:35,711 | Transiente | 201,7 V | 32.1 ms |
| # 56 | 26/07/08 00:49:34,641 | Transiente | 176,1 V | 38.1 ms |
| # 55 | 26/07/08 00:49:31,341 | Transiente | 195,3 V | 32.1 ms |
| # 54 | 25/07/08 16:24:40,450 | Transiente | 104,3 V | 31.1 ms |
| # 53 | 25/07/08 07:09:04,371 | Transiente | 176,5 V | 37.0 ms |
| # 52 | 25/07/08 00:53:56,451 | Transiente | 219,1 V | 22.5 ms |
| # 51 | 25/07/08 00:53:56,161 | Transiente | 220,2 V | 30.7 ms |
| # 50 | 24/07/08 23:48:44,640 | Transiente | 175,4 V | 37.9 ms |
| # 49 | 24/07/08 23:48:37,641 | Transiente | 221,2 V | 38.4 ms |
| # 48 | 24/07/08 08:12:20,981 | Transiente | 176,2 V | 37.9 ms |
| # 47 | 24/07/08 08:11:25,711 | Transiente | 115,5 V | 35.6 ms |

Figura 3.8 – Exemplo de arquivos de dados sobre os distúrbios medidos disponibilizados pelo servidor.

Os arquivos gerados pelo equipamento poderão ser acessados e visualizados em forma de vetores com informações de tempo e tensão para cada ponto de amostragem do sinal. A figura 3.9 ilustra um exemplo de valores instantâneos medidos para as fases A, B e C, respectivamente, no formato mencionado (tempo x tensão), correspondendo a 128 pontos medidos por ciclo de 60 Hz e um total de 8 ciclos obtidos para cada fase. Neste caso, as medições foram realizadas na baixa tensão.

| Fase A | Fase B | Fase C |
|-----------------|----------------|------------------|
| (0.00000,0.1) | (0.00000,-1.0) | (0.00000,-0.1) |
| (0.00013,0.4) | (0.00013,-1.1) | (0.00013,-0.3) |
| (0.00026,0.3) | (0.00026,-1.0) | (0.00026,-0.3) |
| (0.00039,0.0) | (0.00039,-1.0) | (0.00039,-0.2) |
| (0.00052,0.0) | (0.00052,-1.0) | (0.00052,-0.1) |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| (0.13268,109.5) | (0.13268,63.7) | (0.13268,-167.8) |
| (0.13281,118.4) | (0.13281,54.0) | (0.13281,-166.9) |
| (0.13294,126.2) | (0.13294,44.4) | (0.13294,-165.1) |
| (0.13307,132.3) | (0.13307,35.2) | (0.13307,-162.4) |
| (0.13320,136.9) | (0.13320,26.6) | (0.13320,-158.5) |

Figura 3.9 – Exemplo de informações instantâneas sobre tensões disponíveis no servidor.

A figura 3.10 apresenta, graficamente, as formas de onda registradas da tensão de cada fase e relacionadas aos valores instantâneos fornecidos por arquivos similares ao da figura 3.9. Essas duas formas de visualização dos dados são disponibilizadas via internet para o usuário do programa APR, bastando apenas um clique sobre a numeração do distúrbio.

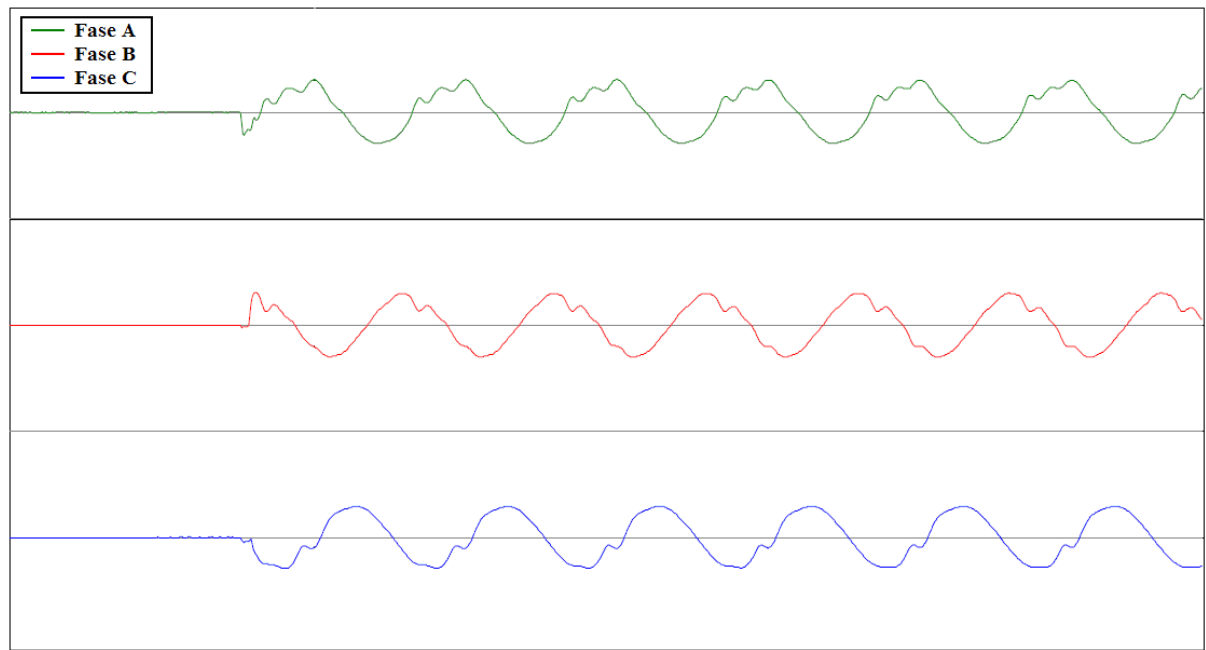


Figura 3.10 – Exemplo de formas de onda das tensões medidas e disponibilizadas no servidor.

3.5.2 – Utilização da ferramenta *MODELS* do software ATP

A fim de reproduzir, em ambiente computacional, os fenômenos registrados pelo equipamento de medição, foi desenvolvido um modelo de fonte para simular tais distúrbios na plataforma ATP. Para tanto se utilizou a ferramenta *MODELS*, um recurso do *software* ATP, para facilitar a inserção e processamento dos dados obtidos. A figura 3.11 mostra o modelo desenvolvido e inserido no ATPDraw. É importante lembrar que o ATP constitui-se na ferramenta básica que forma o aplicativo APR, daí o fato das discussões serem direcionadas para o ATP.

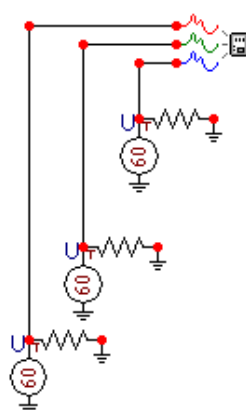


Figura 3.11 – Modelo computacional desenvolvido para reproduzir os distúrbios medidos na plataforma ATP.

A listagem do programa desenvolvido com os recursos da linguagem *MODELS*, para fins de representação computacional do distúrbio no simulador ATP, é mostrada a seguir:

CAPITULO III – Uma Proposta para a Análise de PIDs via Medições em Tempo Real dos Distúrbios

```

BEGIN NEW DATA CASE
C -----
C
C
C      REPRESENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO DISTÚRBIO MEDIDO
C      NA PLATAFORMA ATP
C -----
C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >
  1.E-5      1.
  500        1      1      1      1      0      0      1      0
MODELS
/MODELS
OUTPUT
  mod__1
  mod__2
  mod__3
MODEL DISTUR
COMMENT
=====
                                DISTÚRBIO
=====
ENDCOMMENT
OUTPUT
  va
  vb
  vc
DATA
  nc {dflt:8}      -- número de ciclos de medição
  ppc {dflt:128}    -- número de amostras de tensão por ciclo
  freq {dflt:60}    -- frequência
  td1 {dflt:0.1}    -- instante de ocorrência do distúrbio
VAR
  tref -- variável de tempo incrementada a cada passo de integração superior a
  td1
  va    -- tensão da fase A
  vb    -- tensão da fase B
  vc    -- tensão da fase C
  Vmf   -- valor máximo da tensão de fase
  A0    -- ângulo inicial da tensão da fase A
  B0    -- ângulo inicial da tensão da fase B
  C0    -- ângulo inicial da tensão da fase C
  Atd1  -- ângulo da tensão no início do evento
  t1    -- intervalo de tempo entre amostras de tensão
  td2   -- instante de tempo do último ponto amostrado
  flag  -- variável de controle de cálculos iniciais
FUNCTION fonte_f(Vmff,freqf,A0f):=Vmff*sin(2*pi*freqf*t+A0f)
-----
FUNCTION vamed POINTLIST
(0.00000,0.1)
(0.00013,0.4)
(0.00026,0.3)
(0.00039,0.0)
(0.00052,0.0)
(0.00065,0.1)
(0.00078,0.2)
(0.00091,0.1)
(0.00104,0.2)
(0.00117,0.0)
.
.
.
(0.13203,76.3)

```

CAPITULO III – Uma Proposta para a Análise de PIDs via Medições em Tempo Real dos Distúrbios

```
(0.13216,79.1)
(0.13229,84.4)
(0.13242,91.7)
(0.13255,100.3)
(0.13268,109.5)
(0.13281,118.4)
(0.13294,126.2)
(0.13307,132.3)
(0.13320,136.9)
-----
FUNCTION vbmed POINTLIST
(0.00000,-1.0)
(0.00013,-1.1)
(0.00026,-1.0)
(0.00039,-1.0)
(0.00052,-1.0)
(0.00065,-1.1)
(0.00078,-1.0)
(0.00091,-1.0)
(0.00104,-1.0)
(0.00117,-1.2)
.
.
.
(0.13203,95.6)
(0.13216,93.1)
(0.13229,88.2)
(0.13242,81.3)
(0.13255,73.0)
(0.13268,63.7)
(0.13281,54.0)
(0.13294,44.4)
(0.13307,35.2)
(0.13320,26.6)
-----
FUNCTION vcmed POINTLIST
(0.00000,-0.1)
(0.00013,-0.3)
(0.00026,-0.3)
(0.00039,-0.2)
(0.00052,-0.1)
(0.00065,-0.2)
(0.00078,-0.3)
(0.00091,-0.4)
(0.00104,-0.2)
(0.00117,-0.3)
.
.
.
(0.13203,-166.7)
(0.13216,-166.7)
(0.13229,-167.1)
(0.13242,-167.6)
(0.13255,-167.9)
(0.13268,-167.8)
(0.13281,-166.9)
(0.13294,-165.1)
(0.13307,-162.4)
(0.13320,-158.5)
-----
INIT
flag:=0
```

CAPITULO III – Uma Proposta para a Análise de PIDs via Medições em Tempo Real dos Distúrbios

```

tref:=0
t1:=1/(ppc*60)
td2:=td1-t1+nc/freq
Vmf:=sqrt(2)*Vrmsff/sqrt(3)
Atd1:=deg(asin(vamed(0)/Vmf))
ENDINIT
EXEC
IF t < td1 OR t > td2 THEN
  IF flag = 0 THEN
    IF vamed(0) >= 0 THEN
      IF vamed(0) > vamed(t1) THEN
        Atd1:=rad(180-Atd1)
      ELSE
        Atd1:=rad(Atd1)
      ENDIF
    ELSEIF vamed(0) < 0 THEN
      IF vamed(0) > vamed(t1) THEN
        Atd1:=rad(180-Atd1)
      ELSE
        Atd1:=rad(Atd1)
      ENDIF
    ENDIF
    A0:=Atd1-(2*pi*freq*td1)
    B0:=rad(deg(A0)-120)
    C0:=rad(deg(A0)+120)
    flag:=1
  ENDIF
  va:=fonte_f(Vmf,freq,A0)
  vb:=fonte_f(Vmf,freq,B0)
  vc:=fonte_f(Vmf,freq,C0)
ELSIF t >= td1 THEN
  va:=vamed(tref)
  vb:=vbmed(tref)
  vc:=vcmed(tref)
  tref:=tref+timstep
ENDIF
ENDEXEC
ENDMODEL
RECORD
DISTUR.va AS va
DISTUR.vb AS vb
DISTUR.vc AS vc
USE DISTUR AS DISTUR
DATA
C Vrmsff:=      220
  nc:=          8.
  ppc:=        128.
  freq:=        60.
  td1:=         0.1
OUTPUT
  mod__1:=va
  mod__2:=vb
  mod__3:=vc
ENDUSE
ENDMODELS
C      1      2      3      4      5      6      7      8
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
  XX0001      1.E3      0
    XX0005      1.E3      0

```

CAPITULO III – Uma Proposta para a Análise de PIDs via Medições em Tempo Real dos Distúrbios

```
XX0004      1.E3      0
XX0013      1.E3      0
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
14XX0001 0      1.E4      60.      -1.      1.
60XX0004 0
60XX0005 0
60XX0013 0
/OUTPUT
BLANK MODELS
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK
```

Nota-se, por meio desta programação, que os valores instantâneos das formas de onda medidas foram considerados e inseridos neste desenvolvimento através de um comando da *MODELS* denominado por “*Pointlist*”.

Aplicando o recurso supramencionado para o exemplo utilizado até então, apresenta-se, na sequência, uma análise dos resultados obtidos sobre a transferência dos arquivos de tensão do servidor para a plataforma ATP. A figura 3.12 mostra as formas de onda já inseridas e reproduzidas por esse *software*.

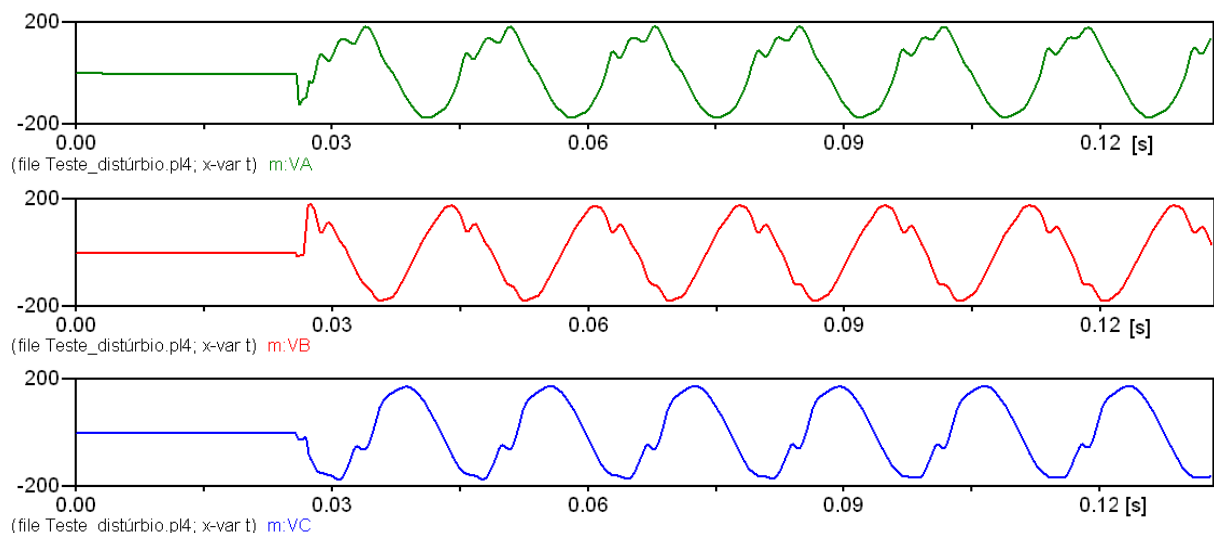


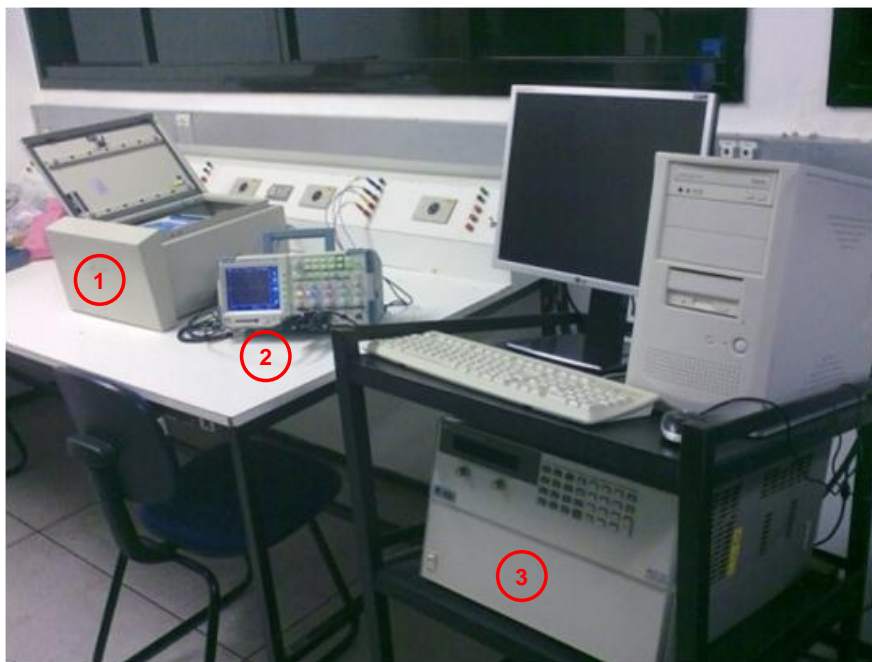
Figura 3.12 – Formas de ondas das tensões durante o distúrbio geradas pelo software ATP.

Comparando os resultados acima com aqueles representados através da figura 3.10 (tensões disponibilizadas pelo servidor) verifica-se total concordância entre as formas de ondas obtidas através de medição com aquelas geradas pelo ATP.

3.5.3 – Teste de desempenho

De forma a ratificar o desempenho de todo o complexo de medição e simulação proposto, foram realizados vários testes laboratoriais. Desses selecionou-se dois estudos para ilustrar a consistência do processo.

O arranjo laboratorial utilizado é indicado na figura 3.13, o qual evidencia, dentre outros equipamentos, a fonte programável HP6834A trifásica destinada a geração de sinais de tensão representativos de fenômenos típicos manifestados em redes elétricas, os quais são, neste ambiente, registrados num osciloscópio digital.



(1) – Equipamento para registro dos distúrbios; (2) – Osciloscópio Digital;
(3) – Fonte Programável;

Figura 3.13 – Arranjo laboratorial para os testes de desempenho do sistema proposto.

A Tabela 3.1 é indicativa das duas situações selecionadas para apresentação neste trabalho.

Tabela 3.1 – Casos estudados

| Caso | Características |
|--|--|
| 1 – Curto-Circuito Monofásico | Tensão nominal de 127 V, 60 Hz; Curto Circuito na fase B; Duração do evento de 3 ciclos. |
| 2 – Transitório Oscilatório de Tensão | Tensão nominal de 127 V, 60 Hz; Valor de pico da tensão oscilatória de 410 V; Frequência de oscilação de 1 kHz; Constante de tempo equivalente a $\frac{1}{4}$ ciclo da frequência fundamental. |

a) Caso 1: Curto Circuito Fase-terra

Este primeiro caso, associado com o desempenho da rede durante a ocorrência de um curto-circuito fase-terra, conduz a um afundamento de tensão na fase B e elevação para as duas outras fases. A figura 3.14 ilustra a forma de onda gerada pela fonte programável e representativa do fenômeno em pauta.

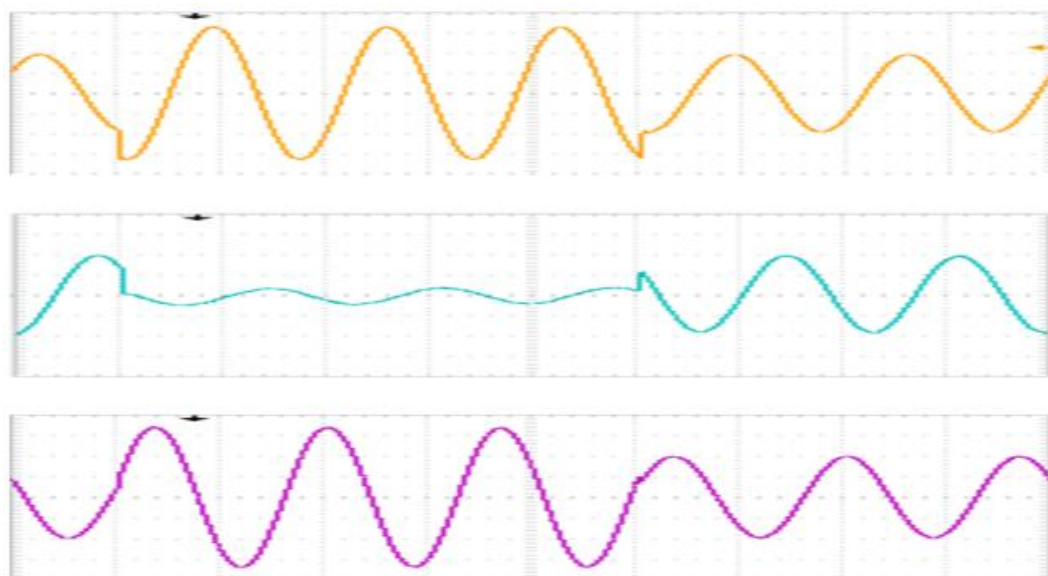


Figura 3. 14 – Formas de onda das tensões produzidas pela fonte e registradas pelo osciloscópio – curto-circuito fase-terra.

Uma vez realizadas as medições através da estrutura apresentada, os resultados disponibilizados no servidor correspondem às formas de onda indicadas na figura 3.15. Essas se apresentam com formas e valores correspondentes àqueles produzidos pela fonte programável.

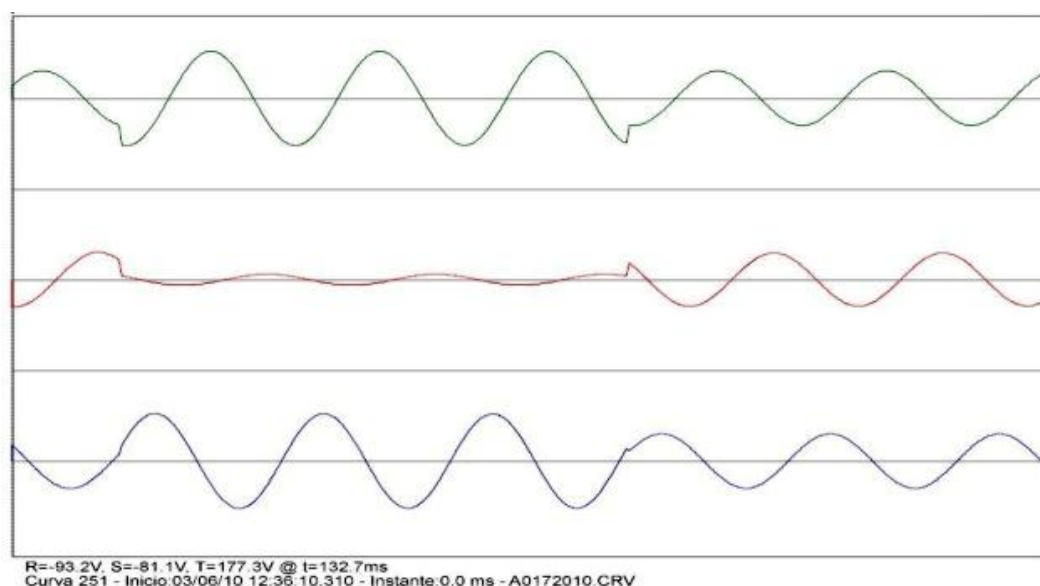


Figura 3.15 – Formas de onda das tensões armazenadas e disponibilizadas no servidor - curto-circuito fase-terra.

Por fim, os recursos desenvolvidos via MODELS permitiram a transferências do fenômeno acima para a plataforma ATP. A figura 3.16 mostra o resultado obtido, o qual, com clareza, mostra uma excelente correlação com as grandezas geradas pela fonte e disponibilizadas pelo servidor.

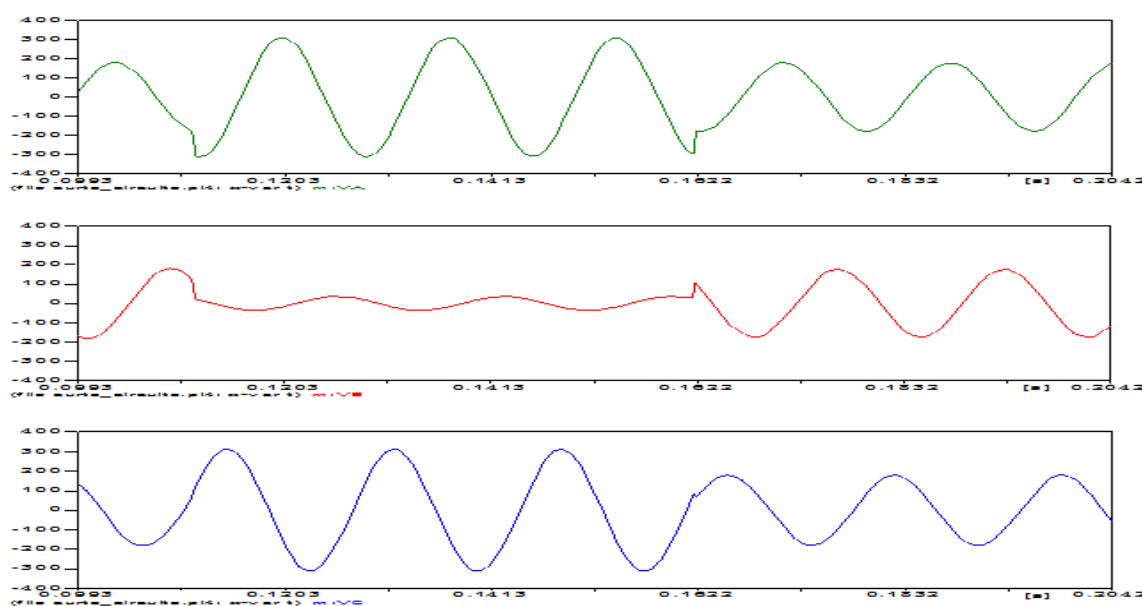


Figura 3.16 – Formas de onda das tensões inseridas e disponibilizadas no ATP - curto-circuito fase-terra.

b) Caso 2: Transitório Oscilatório de Tensão

Esta situação compreende outra avaliação de desempenho da estratégia aqui proposta. Repetindo os procedimentos anteriormente descritos, todas as etapas descritas para o caso anterior foram repetidas para a ocorrência de um fenômeno transitório associado, por exemplo, com uma energização de banco de capacitores.

As figuras 3.17, 3.18 e 3.19 indicam as formas de ondas de tensão: produzidas pela fonte, disponibilizadas no servidor e, por fim, as tensões inseridas no ATP.

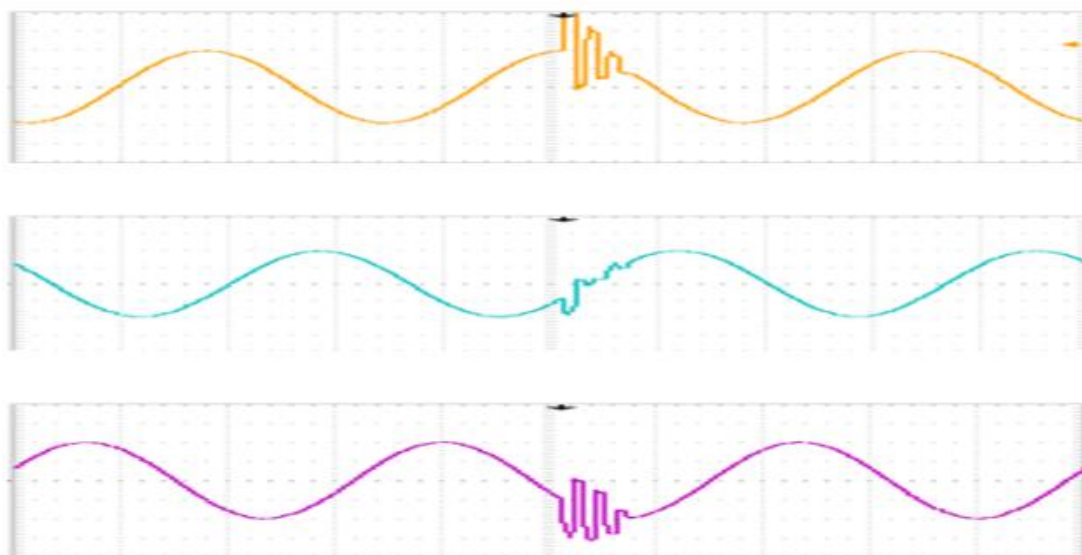


Figura 3.17 – Formas de onda das tensões produzidas pela fonte e registradas pelo osciloscópio – transitório oscilatório.

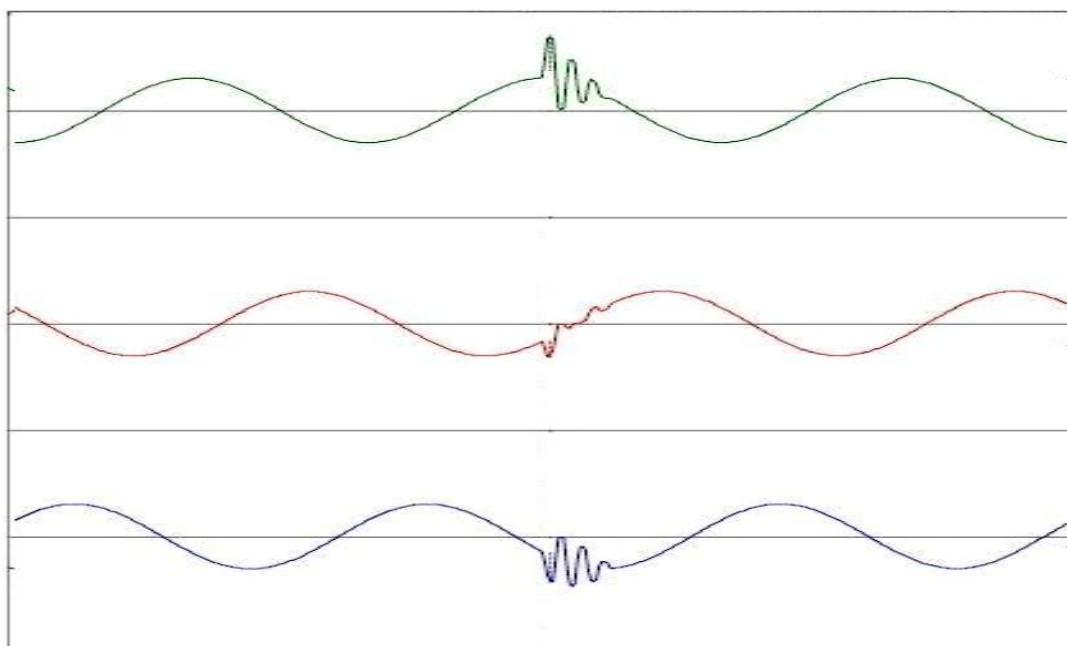


Figura 3.18 – Formas de onda das tensões armazenadas e disponibilizadas no servidor - transitório oscilatório.

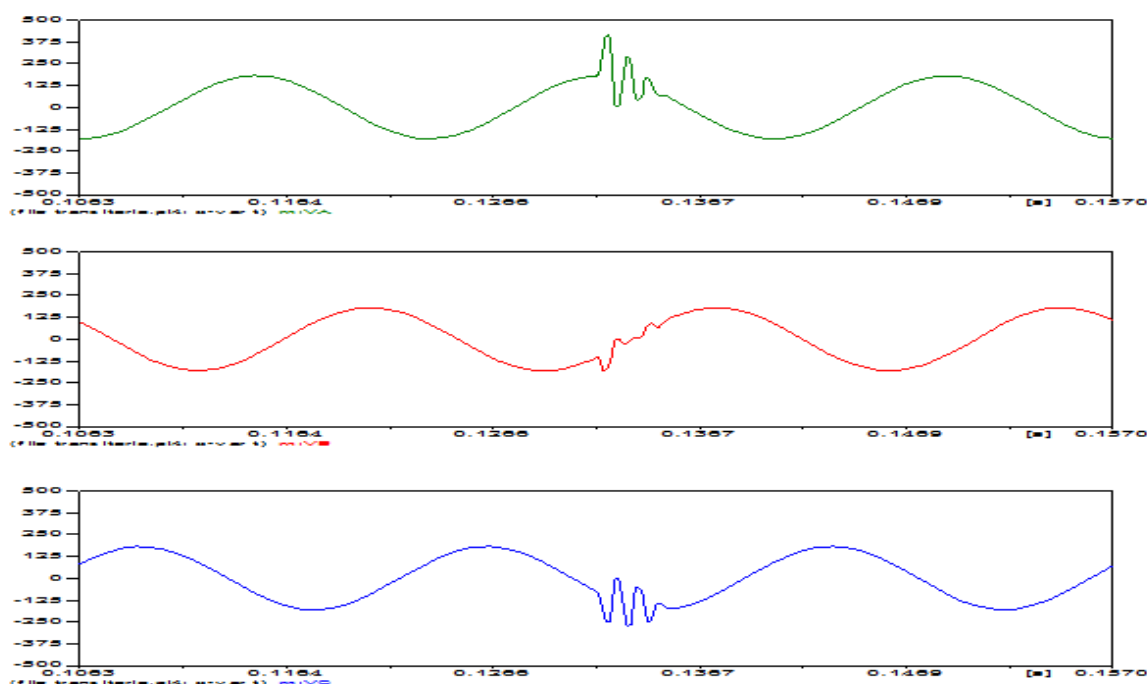


Figura 3.19 – Formas de onda das tensões inseridas e disponibilizadas no ATP - transitório oscilatório.

Estes testes e outros não anexados a este documento demonstram que a estratégia adotada para a disponibilização das informações sobre uma dada ocorrência manifestada em campo se mostra consistente e compatível com os objetivos delineados.

3.5.4 – Integração dos recursos ao aplicativo APR

Os recursos supra descritos, após a devida análise e validação, foram então incorporados ao aplicativo APR dentro da tela já existente no programa e designada por “Fonte de Tensão”. Assim sendo, somado as possibilidades já existentes e facilmente visualizadas na figura 3.20, o programa passa, a partir de agora, a contar com uma entrada de dados via “Medições”.

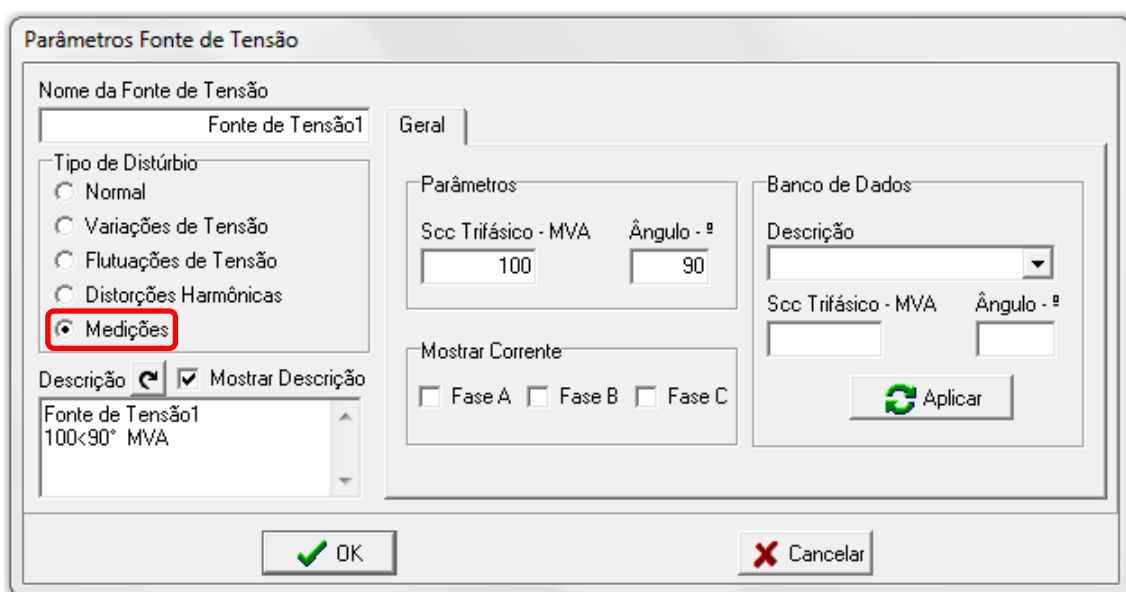


Figura 3.20 – Janela destinada à inserção de medição real no aplicativo APR.

3.5.5 – Avaliação de desempenho do APR

Objetivando mostrar a aplicabilidade do programa APR, em sua nova versão, a presente seção encontra-se voltada para a avaliação de uma situação de pedido de indenização por danos elétricos. O caso em pauta é hipotético, extremamente simplificado, e compreende um distúrbio na forma de um curto-circuito fase-terra, ocorrido nas imediações do ponto de conexão de um consumidor possuindo um microcomputador sem estabilizador supostamente danificado pelo distúrbio em pauta.

Dentro do exposto, a figura 3.21 ilustra a interface do aplicativo para a situação em análise. Como destacado, o circuito a montante do ponto de medição não foi necessário visto que as informações sobre os distúrbios teriam sido registradas para o barramento de 220 V que supre o consumidor reclamante. A tela é representativa da configuração da rede, distúrbio (fonte) e consumidor com seu equipamento danificado.

CAPITULO III – Uma Proposta para a Análise de PIDs via Medições em Tempo Real dos Distúrbios

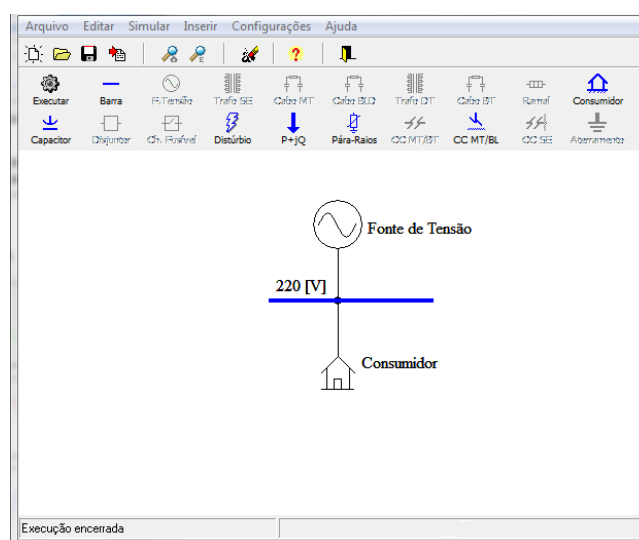


Figura 3.21 – Configurações no caso em análise no aplicativo APR.

A figura 3.22 mostra as formas de onda das tensões nas três fases do suprimento do consumidor. Essas correspondem às tensões inseridas no aplicativo APR e mostram, mais uma vez, os efeitos vinculados com o curto-circuito em questão.

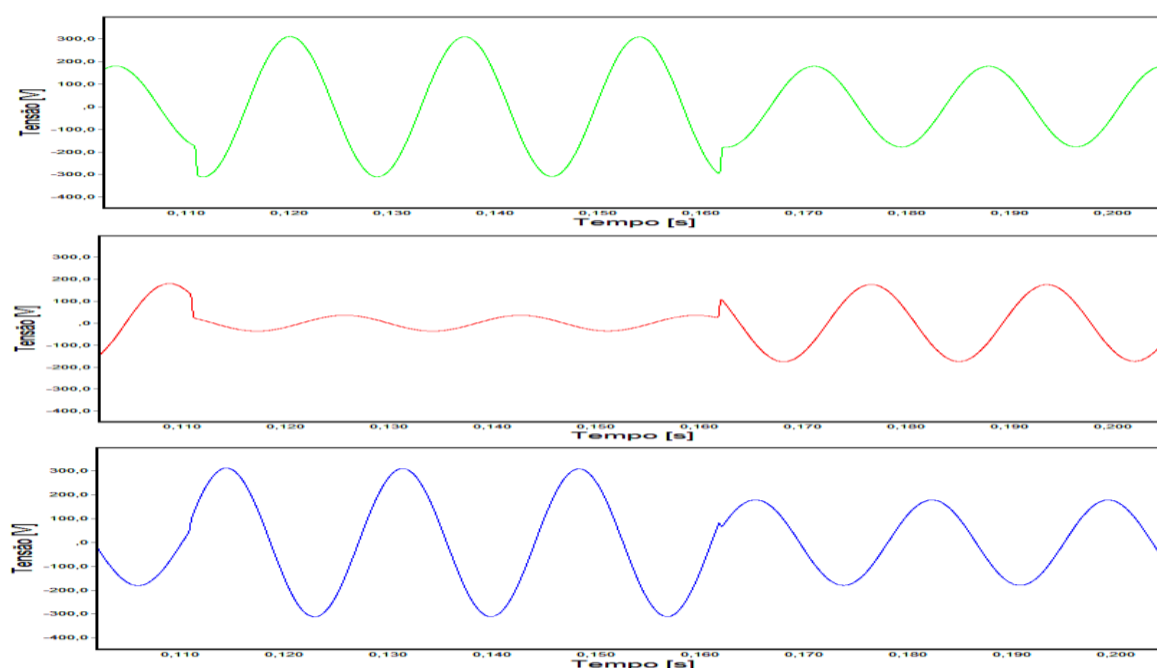
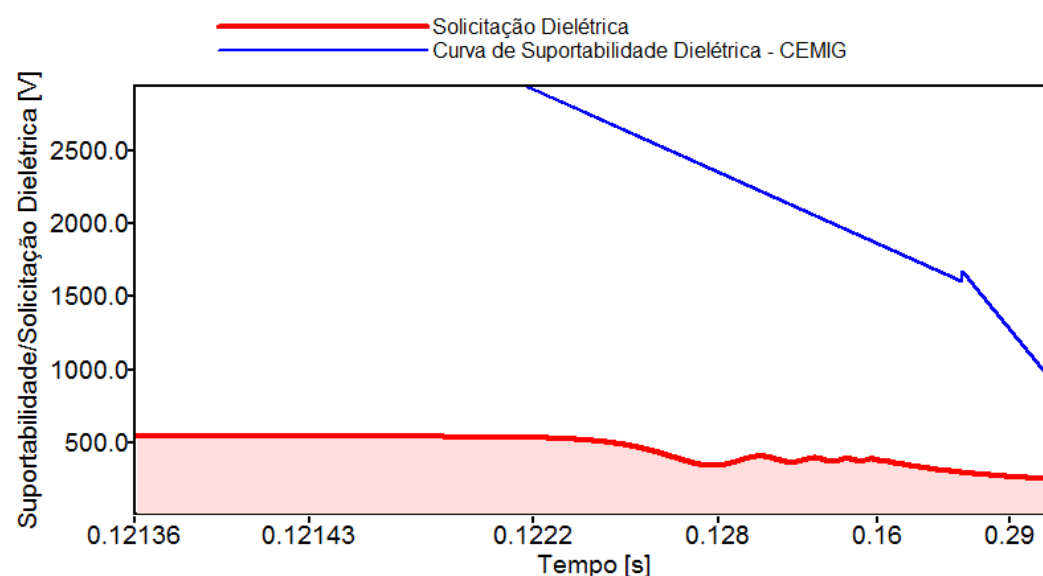
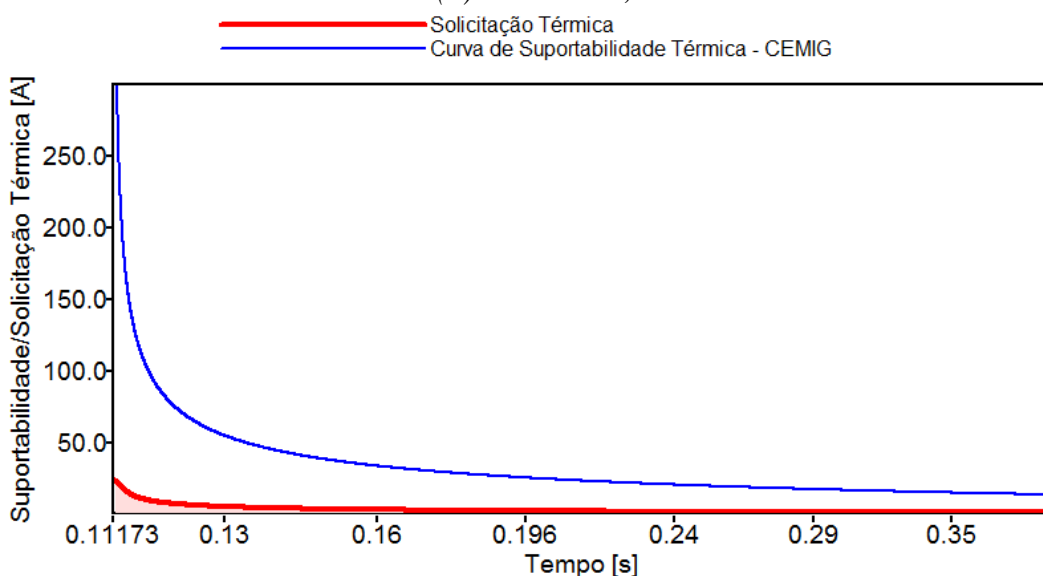


Figura 3.22 – Formas de onda de tensões inseridas no Aplicativo APR e associadas com o curto circuito

Em consonância com os procedimentos do APR, as solicitações impostas pelo distúrbio aqui considerado encontram-se devidamente indicadas nas figuras 3.23 (a) e (b), assim como também suas respectivas correlações com os limites considerados como admissíveis para os esforços dielétricos e térmicos. Os gráficos permitem, visualmente, concluir sobre a probabilidade ou não da ocorrência de danos causados pela ocorrência em questão.



(a) Dielétricas;



(b) Térmicas;

Figura 3.23 – Análise comparativa das solicitações dielétricas e térmicas diante dos níveis de suportabilidade dielétrica e térmica do microcomputador

Os resultados mostrados evidenciam que não houve violação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento eletroeletrônico no tocante às curvas de suportabilidade estabelecidas no capítulo II. Portanto, quanto às questões dielétricas e térmicas, pode-se verificar que não há evidências que o fenômeno em pauta teria sido capaz de causar danos físicos no equipamento. O resultado oferecido pelo estudo computacional (aplicativo APR) indica que o caso em questão está vinculado com uma solicitação improcedente para o pedido de ressarcimento.

3.6 – Considerações finais

O presente capítulo, como pode ser constatado, foi centrado na busca de uma alternativa para o oferecimento, via medições, das informações associadas com um dado distúrbio manifestado nas redes elétricas. Neste sentido é importante ratificar que, na versão original do aplicativo APR, todo e qualquer fenômeno anômalo ocorrido somente poderia ser reproduzido através dos procedimentos computacionais classicamente conhecidos e viabilizados através do simulador base utilizado, a saber, o ATP. Diante destas condições pode ocorrer questionamentos sobre a consistência qualitativa e quantitativa dos esforços dielétricos e térmicos determinados através das simulações. Visando pois contribuir neste assunto através da busca de meios para uma ratificação da exatidão dos procedimentos de cálculo computacionais surgiu a idéia deste capítulo, o qual, dentre outras questões, aborda um mecanismo para a obtenção das informações vinculadas com as ocorrências através de medições, caracterização de bancos de dados pertinentes ao fato ocorrido e, por fim, a inserção destes recursos ao programa de análise APR.

Com tais objetivos fixados como metas, as atividades desenvolvidas primaram pelas seguintes ações:

- Caracterização do *hardware* para os trabalhos de aquisição, armazenamento e transferência dos dados coletados;
- Proposta de estratégia para inserção destas informações no aplicativo APR;
- Realização de testes para validação da proposta.

Os detalhes sobre o equipamento comercial selecionado para tal fim, assim como os dispositivos e *softwares* que compõem o processo de medição, transmissão e recepção dos dados evidenciaram através dos experimentos descritos, aplicabilidade e sucesso dos trabalhos realizados no que tange a obtenção de arquivos de informações condizentes com os fenômenos manifestados quer à frequência de 60 Hz como também diante de transitórios eletromagnéticos.

Ao término, foi indicada a estratégia para a viabilização dos estudos de PIDs através do processo de medições diretas, fato este que tornou o APR mais flexível quanto a reprodução dos distúrbios de campo.

3.7 – Os avanços oferecidos por este capítulo

Através das ações já realizadas e a serem desenvolvidas, fica evidenciado que as principais contribuições oferecidas por este capítulo são:

- Caracterização das estruturas de *hardware* e *software* a serem empregadas para viabilizar o processo de análise do APR através de medições em campo e em tempo real de fenômenos associados com anomalias operativas manifestadas nas redes elétricas;

- Aquisição dos produtos necessários e compatibilização dos novos recursos à plataforma ATP e APR;
- Validação do processo através de trabalhos experimentais em ambiente laboratorial.

CAPÍTULO IV

Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento com o APR

4.1 – Considerações iniciais

Nas condições originais, o aplicativo computacional APR possui propriedades operacionais bastante atrativas no que se refere a: modelagem dos complexos elétricos, inserção de consumidores e respectivos equipamentos contemplados nos PIDs, representação dos distúrbios, propagação dos fenômenos, determinação das tensões e correntes impactantes sobre os consumidores, etc. Não obstante a isto, uma reconhecida limitação do mesmo se apoia nas grandes dificuldades impostas desde o processo de recebimento da reclamação do consumidor até a plena configuração do alimentador elétrico até o ponto de conexão do mesmo. Como esclarecido ao longo dos capítulos anteriores, tal providência se constitui num primeiro passo para se atingir o propósito final dos trabalhos, ou seja, a emissão de um parecer sobre a consistência ou não do pedido feito.

De fato, os trabalhos, nos termos apresentados, passam por uma etapa extremamente morosa, envolvendo a identificação do consumidor reclamante

dentro do complexo elétrico da empresa, a qual, indiscutivelmente, exige o levantamento do arranjo físico compreendido deste, por exemplo, a subestação de onde advém o alimentador em média tensão, as redes de distribuição e vários outros aspectos. Somado a tais informações, torna-se ainda imprescindível o prévio conhecimento dos parâmetros que representam os mais distintos componentes de rede, e, à luz disto, fica evidente que as atividades em questão podem envolver vários dias para a realização dos estudos em foco. Não obstante a tais dificuldades, somente assim, nos termos atuais, tornar-se-á exequível a utilização do aplicativo APR. Isto se deve, sobretudo, ao fato que o processo estabelecido encontra-se apoiado na caracterização do distúrbio ocorrido, na sua propagação ao longo da rede elétrica até o ponto de conexão do reclamante e, por fim, a correlação entre as anomalias impactantes e os padrões de suportabilidade admissíveis pelos produtos sob análise.

Reconhecendo tais limitações surge a ideia da busca de mecanismos que possam representar meios para uma agilização dos processos de análise, e ainda, que ofereçam maior confiabilidade, exatidão e isenção de interesses de uma ou outra parte. Diante desta realidade, surge uma possibilidade de interconectar as informações relacionadas com as topologias e os parâmetros das redes, como já existente em bancos de dados utilizados pela grande maioria das distribuidoras de energia no país. Tais recursos são comumente disponibilizados através de *softwares* comerciais, usualmente designados por sistemas geo-referenciados ou geo-processados, os quais, de prontidão, permitem identificar cada consumidor, sua posição física, os parâmetros dos componentes elétricos responsáveis pelo correspondente alimentador, enfim, todos os dados necessários para a modelagem da rede elétrica até o cliente final.

Neste cenário, o presente capítulo destina-se ao desenvolvimento de uma ferramenta voltada para a melhoria de desempenho do APR através da importação de um banco de dados relacionado com as metas supra definidas. Assim sendo, os trabalhos contemplados nesta unidade da tese compreendem as seguintes ações:

- Escolha de um *software* de gerenciamento comercial e existente numa empresa concessionária para a condução de trabalhos;
- Estudos relativos ao processo de armazenamento e disponibilização de dados visando os objetivos em pauta;
- Estabelecimento de meios para a comunicação entre o banco de dados da rede da concessionária e o aplicativo APR;
- Realização de testes de desempenho através de casos reais objetivando a avaliação da adequação e eficácia do procedimento da transferência das informações do *software* para o APR.

4.2 – *Software* de gerenciamento do sistema de distribuição

Como esclarecido, a primeira etapa dos trabalhos consiste na escolha de um *software* comercial, em uso por uma empresa distribuidora de energia, contendo um banco de dados que permita acessar todos os elementos constituintes de uma rede elétrica representativa de um complexo de suprimento até o consumidor reclamante, com seus respectivos parâmetros equivalente.

Muito embora o reconhecimento de uma grande diversidade de *softwares* em uso no país, para fins desta pesquisa, devido a disponibilização de informações, a escolha recaiu sobre o *software* empregado pela Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, conhecido como GEMINI. Este foi criado em 1995 com o objetivo de integrar as bases de redes elétricas existentes

a informações cartográficas, resultando na evolução dos antigos sistemas de mapeamento e gerência de redes da CEMIG para um moderno sistema totalmente geo-processado e geo-referenciado. Em sua base, o GEMINI possui um banco de dados composto de quatro arquivos para cada alimentador, a saber: {nome do alimentador}.dat, {nome do alimentador}.dat.pelch.txt, {nome do alimentador}.dat.peltr.txt e Trafo.txt.

4.2.1 – Arquivo 1: {nome do alimentador}.dat

Este arquivo contempla os valores de tensão eficaz e a potência das cargas conectadas em cada barra, comprimentos e parâmetros dos cabos e posição física de cada componente. A figura 4.1 ilustra um exemplo das informações atreladas com um dos alimentadores da rede de distribuição da mencionada empresa.

CAPITULO IV – Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento com o APR

```
ULAE708 , 0.00 LN 1.000
100000.0 7.967 1.00 0.92
END/ PARAMS

----- Parâmetros das Barras -----
Código Tensão FN Coordenadas
567412 7.967 358.421 326.519 0.005 H 1 1 ULAE708
13709950 7.967 357.624 327.772 0.005 H 1 1 ULAE708
13709951 7.967 358.079 328.000 0.005 H 1 1 ULAE708
13709914 7.967 358.079 328.000 0.005 H 0 1 ULAE708
1099870 7.967 350.901 325.152 0.005 H 1 1 ULAE708
14929568 7.967 350.901 325.152 0.005 H 1 1 ULAE708
14929569 7.967 329.367 311.707 0.005 H 1 1 ULAE708
.
.
.
END/ NODES

----- Parâmetro da Fonte de Alimentação -----
567412 1 0.01489 0.85316 -0.02978 0.81246 7.967
END/ SOURCE

----- Componente ligado entre Barras -----
Código das Barras Componente
567412 13709950 L 1 ABC 336CA 0.0130
13709950 13709951 L 1 ABC 336CA 0.0045
13709950 1099870 L 1 ABC 336CA 0.0727
13709951 13709914 TS 0 ABC FACA630A 777
1099870 14929568 S 1 ABC FACA630A 776
14929568 14929569 L 1 ABC 336CA 0.2228
14929569 14929570 L 1 ABC 336CA 0.8102
.
.
.
END/ BRANCH

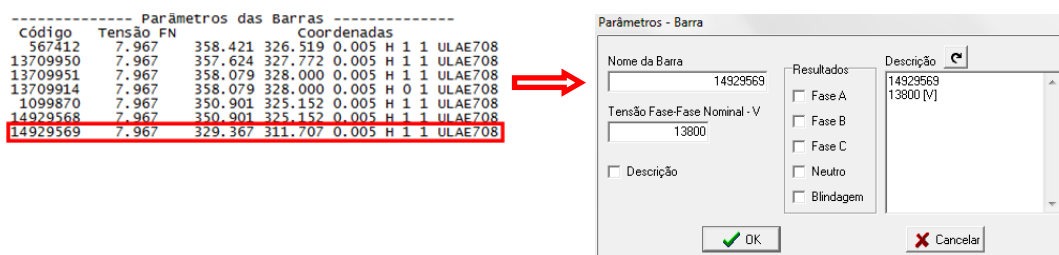
--- Potência das cargas conectadas nas Barras ---
Código das Barras P_FASEA Q_FASEA P_FASEB Q_FASEB P_FASEC Q_FASEC
6707279 3 3 6.849 2.917 6.849 2.917 6.849 2.917
6707281 2 2 6.817 2.904 6.817 2.904 6.817 2.904
2259933 2 2 11.340 4.831 11.340 4.831 11.340 4.831
2259932 2 2 6.665 2.839 6.665 2.839 6.665 2.839
6707282 2 2 6.938 2.956 6.938 2.956 6.938 2.956
14929571 2 2 12.447 5.302 12.447 5.302 12.447 5.302
9551026 2 2 7.668 3.266 7.668 3.266 7.668 3.266
.
.
.
END/ LOADS
```

Figura 4.1 – Exemplo de arquivo {nome do alimentador}.dat de um alimentador da rede elétrica da CEMIG.

Como indicado, o arquivo é dividido em quatro grupos distintos de informações, a saber:

- Parâmetros das Barras: este conjunto contempla o código de localização, o nível de tensão, coordenada geográfica e nome do alimentador de cada barra presente no alimentador. Todas essas informações são prontamente disponíveis para exportação ao APR, como indicado pela figura 4.2.

CAPITULO IV – Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento com o APR

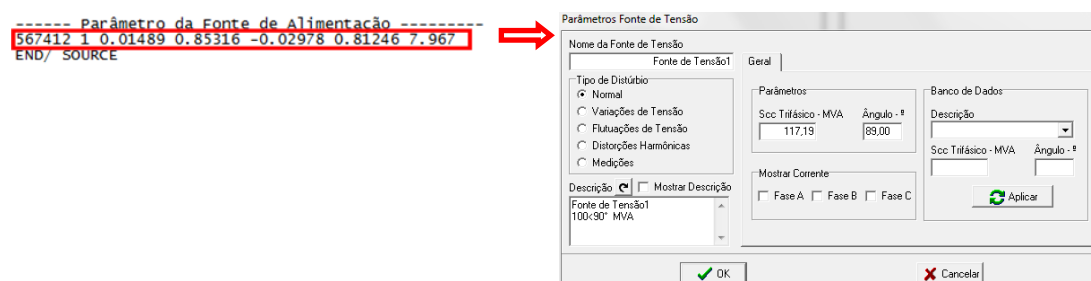


a) Banco de dados - Gemini

b) Aplicativo APR

Figura 4.2 – Exemplo da exportação de dados do GEMINI para o APR – identificação das barras da rede até o alimentador em média tensão do consumidor.

- Parâmetro da Fonte de Alimentação: Nesta fase é feita a identificação da fonte de suprimento, ou seja, da subestação de onde advém o alimentador em média tensão que supre o consumidor reclamante. A figura 4.3 é ilustrativa das informações que foram exportadas para o APR.



a) Banco de dados - Gemini

b) Aplicativo APR

Figura 4.3 – Exemplo da exportação de dados para o APR – caracterização da fonte de suprimento em média tensão do consumidor.

- Componentes ligados entre Barras: Uma vez informadas as barras existentes entre a subestação e o alimentador em média tensão da unidade consumidora reclamante, os respectivos componentes que perfazem o arranjo topológico são então informados ao APR, assim como seus parâmetros equivalentes. Assim sendo, a transferência de

CAPITULO IV – Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento com o APR

dados compreende: os cabos elétricos, as chaves fusíveis, as chaves faca ou religadores, etc. Vale ressaltar que o banco de dados do GEMINI fornece apenas o tipo de cabo utilizado enquanto que o aplicativo APR, por sua vez, já possui um banco de dados com as informações dos parâmetros para cada tipo de cabo existente na rede. Por fim, a figura 4.4 exemplifica a importação dos dados de um cabo de média tensão para o aplicativo APR;

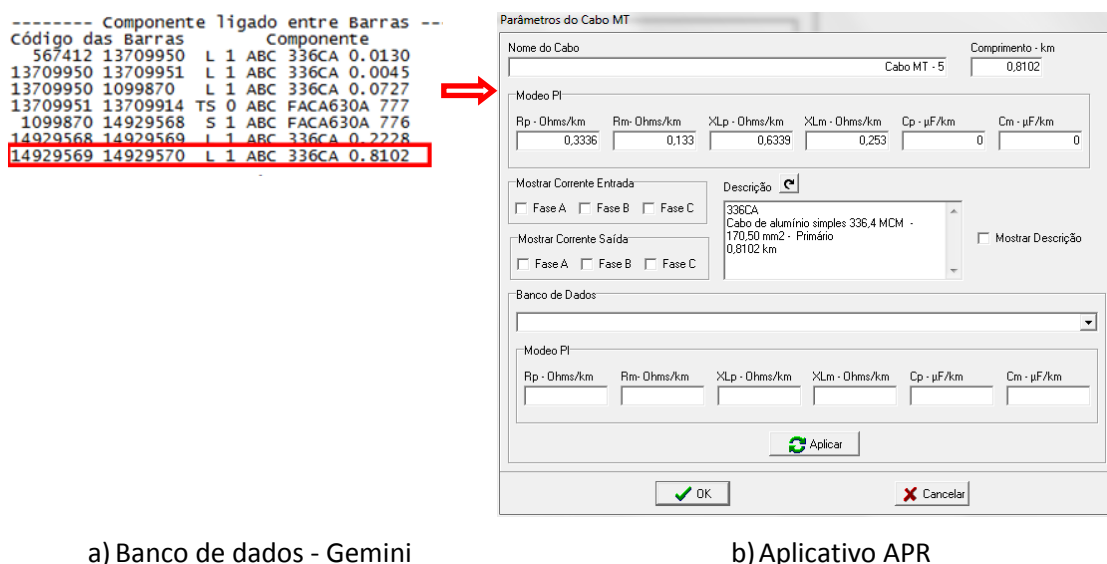
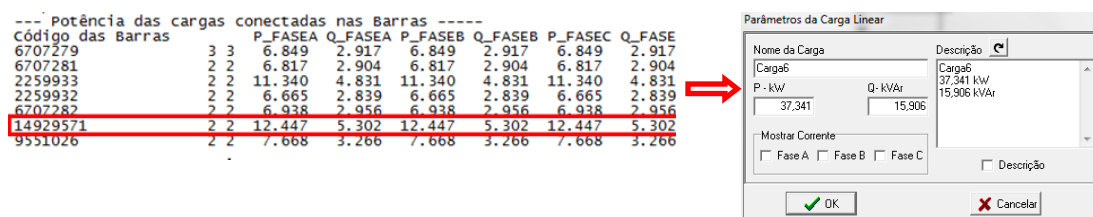


Figura 4.4 – Exemplo da exportação de dados para o APR – componentes entre as barras – identificação e parametrização.

- Potência das cargas supridas pelas barras: Uma outra informação transferida do GEMINI para o APR consiste nos carregamentos (P+jQ) atrelados com cada barramento em média tensão. A figura 4.5 ilustra o processo em pauta.

CAPITULO IV – Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento com o APR



a) Banco de dados - Gemini

b) Aplicativo APR

Figura 4.5 – Exemplo da exportação de dados do GEMINI para o APR – identificação das potências ativas e reativas por barra de média tensão.

4.2.2 – Arquivo 2: {nome do alimentador}.dat.pelch.txt

Complementarmente, a identificação de cada componente (se cabo ou chave ou religador, etc) presente entre dois barramentos, que perfazem o complexo elétrico atrelado com o alimentador em pauta, é feito como indicado na figura 4.6.

| Cont | NA | Equipamento | To Node | Equipamento |
|------|----|---------------|----------|-------------|
| 1 | | Chave Fusível | 2105091 | 25663 |
| 2 | | Chave Fusível | 13605634 | 25740 |
| 3 | | Chave Fusível | 4655295 | 25743 |
| 4 | | Faca Unipolar | 8720447 | 62546 |
| 5 | | Chave Fusível | 2107680 | 62918 |
| 6 | | Chave Fusível | 10466548 | 63062 |
| 7 | | CH Faca Adapt | 12072646 | 63090 |
| 8 | | Chave Fusível | 2159348 | 63093 |
| 9 | | Chave Fusível | 2711958 | 63104 |
| 10 | | Chave Fusível | 9993820 | 63106 |
| 11 | | Faca unipolar | 4768063 | 63122 |
| 12 | | Chave Fusível | 11945416 | 63156 |
| 13 | | Faca Unipolar | 4767710 | 63196 |
| 14 | | Faca Unipolar | 2027256 | 63309 |
| 15 | | Chave Fusível | 6138843 | 63382 |
| 16 | | Faca Unipolar | 2112893 | 63403 |
| 17 | | Faca Unipolar | 8496891 | 63404 |
| 18 | | Chave Fusível | 4655241 | 63405 |
| 19 | | Faca Unipolar | 13548844 | 63406 |
| 20 | | Chave Fusível | 8496749 | 63407 |
| 21 | | Chave Fusível | 12581836 | 63411 |
| 22 | | Faca Unipolar | 14275615 | 63412 |
| 23 | | Faca Unipolar | 4655290 | 63413 |
| 24 | | Faca Unipolar | 567521 | 63414 |
| 25 | | Faca Unipolar | 1986899 | 63426 |
| 26 | | Chave Fusível | 2033701 | 63427 |
| 27 | | Chave Fusível | 11849469 | 63433 |
| 28 | | Chave Fusível | 4767714 | 63437 |
| 29 | | Chave Fusível | 4655245 | 63438 |

Figura 4.6 – Componentes existentes entre duas barras do arquivo {nome do alimentador}.dat.pelch.txt de um alimentador da rede elétrica.

4.2.3 – Arquivo 3: {nome do alimentador}.dat.pelch.txt

Este arquivo destina-se a identificar o transformador responsável pelo suprimento do alimentador ao qual se encontra inserido o consumidor reclamante, o que é feito através das seguintes informações:

- Código da Barra em que está conectado;
- Código de identificação;
- Tipo de alimentação (trifásica ou monofásica);
- Potência em kVA;
- Código da cidade que está instalada;
- Identificador de todos os consumidores de baixa tensão.

A figura 4.7 ilustra um arquivo “{nome do alimentador}.dat.peltr.txt”, nos termos oferecidos pelo GEMINI.

| Cod. Barra | Cod. Trafo | Alimentação | Potência(kVA) | Local | Identificador Cliente |
|------------|------------|-------------|---------------|-------|-----------------------|
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004253354 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3005277337 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004682459 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3007701795 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3003582515 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3002834129 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004782167 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004821577 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004596683 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3003879003 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3002834130 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3002834131 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3003740833 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004631278 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3006000939 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3003410816 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3003410817 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3006252158 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3003650014 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004380015 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3006367829 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3006367830 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004286017 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3004512503 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3006033409 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3003879002 |
| 14378987 | 24441 | 3 | 30 | 85501 | 3006722336 |
| | | . | . | | |
| | | . | . | | |
| | | . | . | | |
| | | . | . | | |

Figura 4.7 – Identificação dos transformadores que perfazem o complexo de alimentação - exemplo de arquivo {nome do alimentador}.dat.peltr.txt.

Uma vez identificada a potência do transformador no GEMINI, o aplicativo APR, através de seu banco de dados interno, fornecerá as informações necessárias para parametrizar o referido componente, através de seus equivalentes elétricos e magnéticos (impedância percentual, curva de magnetização, impedância de aterramentos, etc). A figura 4.8 apresenta uma janela de edição de dados de transformadores, em consonância com os recursos já existentes no APR.

The screenshot shows the 'Parâmetros Transformador DT' window. It contains the following fields and controls:

- Parâmetros:**
 - Nome do Transformador: Trafo DT - 1
 - Potência - kVA: 30
 - R%: 1
 - X%: 3.5
- Banco de Dados:**
 - Dropdown menu for data bank selection.
 - Potência - kVA, R%, X% fields.
 - Aplicar button.
- Impedância de Aterramento:**
 - R - Ohms: 1E-6
 - L - mH: 0
- Impedância da Malha de Terra:**
 - R - Ohms: 1E-6
 - L - mH: 0
- Para-raios:**
 - Habilitar checkbox (unchecked).
 - Modelo: Curva Exponencial (selected), Res. Não-linear (15 kV) (unselected).
 - Tensão Nominal: 12 kV
 - R - Ohms: 1E-6
 - L - mH: 0
- Capacitâncias:**
 - Primário-Carçaça: 0.002 µF
 - Primário-Secundário: 0.002 µF
 - Secundário-Carçaça: 4 µF
- Mostrar Corrente:**
 - Mostrar Corrente Primário: Fase A, Fase B, Fase C (all unchecked).
 - Mostrar Corrente Secundário: Fase A, Fase B, Fase C (all unchecked).
- Buttons:** OK, Cancelar.

Figura 4.8 – Janela destinada à parametrização de transformadores para o aplicativo APR.

4.2.4 – Arquivo 4: Trafo.txt

Uma vez configurada e parametrizada a rede de média tensão do alimentador destinado ao suprimento da unidade consumidora focada no PID, o próximo passo consiste na caracterização física e demais informações pertinentes à rede de baixa tensão.

A primeira informação requerida está associada com as coordenadas geográficas de todos os barramentos de baixa tensão supridos pelo

CAPITULO IV – Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento com o APR

transformador acima referido, assim como também os tipos de cabos elétricos conectados e as distâncias entre as barras. A figura 4.9 evidencia, para um dado cabo de baixa tensão, os dados disponibilizados no GEMINI e o respectivo componente representado no APR.

| -----Pto. Fonte----- | -----Pto. Carga----- | -----Condutor----- | Rede | Corrente | Vao Calc |
|----------------------|----------------------|--------------------|---------|----------|----------|
| -----Coordenada----- | -----Coordenada----- | Fase Neutro | T/P/S/A | | |
| 7920-79040 678 275 | 7920-79040 702 268 | 3x1x35+70 mm2 | A | 1 | 25 |
| 7920-79040 657 312 | 7920-79040 668 343 | 2 AWG - 33,63 | S | 4 | 34 |
| 7920-79040 655 282 | 7920-79040 678 275 | 3x1x35+70 mm2 | A | 23 | 24 |
| 7920-79040 651 283 | 7920-79040 657 312 | 2 AWG - 33,63 | S | 6 | 29 |
| 7920-79040 651 283 | 7920-79040 655 282 | 2 AWG - 33,63 | A | 23 | 4 |
| 7920-79040 651 283 | 7920-79040 648 278 | 2 AWG - 33,63 | S | 3 | 5 |
| 7920-79040 624 292 | 7920-79040 651 283 | 2 AWG - 33,63 | S | 28 | 28 |
| 7920-79040 624 292 | 7920-79040 624 292 | 2 AWG - 33,63 m | A | 97 | 0 |
| 7920-79040 624 292 | 7920-79040 593 301 | 2 AWG - 33,63 | A | 56 | 32 |
| 7920-79040 593 301 | 7920-79040 568 308 | 2 AWG - 33,63 | A | 50 | 25 |
| 7920-79040 584 367 | 7920-79040 594 399 | 2 AWG - 33,63 | S | 4 | 33 |
| 7920-79040 575 336 | 7920-79040 584 367 | 2 AWG - 33,63 | S | 16 | 32 |
| 7920-79040 568 308 | 7920-79040 575 336 | 2 AWG - 33,63 | S | 19 | 28 |
| 7920-79040 568 308 | 7920-79040 566 303 | 2 AWG - 33,63 | S | 16 | 5 |
| 7920-79040 568 308 | 7920-79040 562 310 | 2 AWG - 33,63 | A | 15 | 6 |
| 7920-79040 566 303 | 7920-79040 558 276 | 2 AWG - 33,63 | S | 15 | 28 |
| 7920-79040 562 310 | 7920-79040 533 319 | 2 AWG - 33,63 | A | 10 | 30 |
| 7920-79040 558 276 | 7920-79040 548 241 | 2 AWG - 33,63 | S | 14 | 36 |
| 7920-79040 548 241 | 7920-79040 538 207 | 2 AWG - 33,63 | S | 9 | 35 |

a) Banco de dados - Gemini

Parâmetros do Cabo BT

Nome do Cabo: Cabo BT - 1 Comprimento - km: 0,025

Cabo Fase

Rp - Ohms/km: 1,6801 Rm - Ohms/km: 0,672 XLP - Ohms/km: 0,283 XLM - Ohms/km: 0,113 Cp - µF/km: 0 Cm - µF/km: 0

Cabo Neutro

Rp - Ohms/km: 1,6801 Rm - Ohms/km: 0,672 XLP - Ohms/km: 0,283 XLM - Ohms/km: 0,113 Cp - µF/km: 0 Cm - µF/km: 0

Mostrar Corrente Entrada

☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C ☐ Neutro

Mostrar Corrente Saída

☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C ☐ Neutro

Res. Aterramento Ohms: 10000000

Descrição: 3x1x35+70 mm2 0,025 km

Banco de Dados

Modelo PI

Rp - Ohms/km: Rm - Ohms/km: XLP - Ohms/km: XLM - Ohms/km: Cp - µF/km: Cm - µF/km:

Aplicar Cond. Fase Aplicar Cond. Neutro

OK Cancelar

b) Aplicativo APR

Figura 4.9 – Seleção do cabo de baixa tensão no GEMINI e respectiva representação no APR.

CAPITULO IV – Uma Proposta de Procedimento Sistematizado para Comunicação do Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento com o APR

Por último, procede-se à inserção das unidades consumidoras pertencentes ao alimentador em foco, à exceção do reclamante, o qual é modelado através dos equipamentos contemplados no PID em questão. Vale observar que os demais consumidores são simplificadosamente modelados através de suas respectivas potências $P+jQ$, sendo que, para a maioria dos casos, apenas a potência ativa é empregada. Este procedimento encontra-se em consonância com os indicativos feitos na figura 4.10.

Código da Barra →

| ---Coordenada--- | | -----Dados do Poste----- | | ----- | | Il | Pub | KVA | V/ | Num | Tensão Poste | | | Tensão Ult_Pt | | | Sobre |
|------------------|--------------------|--------------------------|--------|-------|-------|--------|-----|-------|-------|------|--------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-------|
| | | Material | Altura | Carga | Prop | N. Fas | | | KVA | Cons | A | B | C | A | B | C | Carga |
| | 7920-79040 678 275 | concr. Circular | 11 | 800 | CEMIG | 1 | BC | 5,939 | 0,460 | 6 | 124 | 125 | 125 | 124 | 125 | 125 | 0 |

Consumidores {

| Consumidores: | Unid. de Leitura | Endereço | Fas | Esp | Cl | Tar | Consumo | Demanda | ---Proteção--- |
|---------------|------------------|----------------------|------|-----|----|-----|---------|---------|----------------|
| 15550155 | AV | FRANCISCO RIBEI 3035 | CS | AB | 1 | 02 | 280 | 1,18 | 2 - 040 |
| 15550153 | AV | FRANCISCO RIBEI 3040 | CS | AC | 1 | 02 | 142 | 0,60 | 2 - 060 |
| 15550153 | AV | FRANCISCO RIBEI 3036 | CS 1 | AB | 1 | 02 | 149 | 0,63 | 2 - 060 |
| 15550153 | AV | FRANCISCO RIBEI 3034 | CS | AB | 1 | 02 | 85 | 0,36 | 2 - 060 |
| 15550155 | AV | FRANCISCO RIBEI 3055 | CS | AC | 1 | 02 | 411 | 1,74 | 2 - 040 |
| 15550153 | AV | FRANCISCO RIBEI 3050 | CS 2 | ABC | 1 | 02 | 293 | 1,24 | 2 - 060 |
| 15550153 | AV | FRANCISCO RIBEI 3050 | CS 3 | ABC | 1 | 02 | | 0,00 | 2 - 060 |

a) Banco de dados - GEMINI

Parâmetros da Carga Linear

| | |
|---------------|-----------|
| Nome da Carga | Descrição |
| Carga188 | Carga188 |
| P - kW | Q - kVAr |
| 1,18 | 0 |

Mostrar Corrente:

☐ Fase A ☐ Fase B ☐ Fase C

☐ Descrição

OK Cancelar

b) Aplicativo APR

Figura 4.10 – Representação dos consumidores de baixa tensão supridos pelo transformador selecionado.

Diante do exposto fica, pois, evidenciado que o conjunto formado pelos quatro arquivos extraídos do banco de dados da concessionária oferece os meios para a importação de informações próprias da média e baixa tensão associadas com o PID em pauta, nos termos exigidos pelo *software* APR.

4.3 – Síntese dos procedimentos para análise de PIDs utilizando a sistemática proposta

A título de ilustração apresentam-se, na sequência, os procedimentos empregados para a caracterização, configuração e parametrização de uma rede de alimentação de um determinado consumidor reclamante, nos termos propostos pelos desenvolvimentos anteriores, de acordo com os procedimentos requeridos pelo APR.

a) Identificação do consumidor reclamante:

Uma vez recebido um PID de um determinado cliente, este deve ser, num primeiro momento, reconhecido pelo seu Identificador do Consumidor, conforme informação disponível em sua fatura de energia elétrica. Utilizando apenas um caso fictício de reclamação, caso o cliente possua, como identificador o nº. XXX, esse é identificado no ambiente do GEMINI, o qual o caracteriza conforme mostrado na figura 4.11.

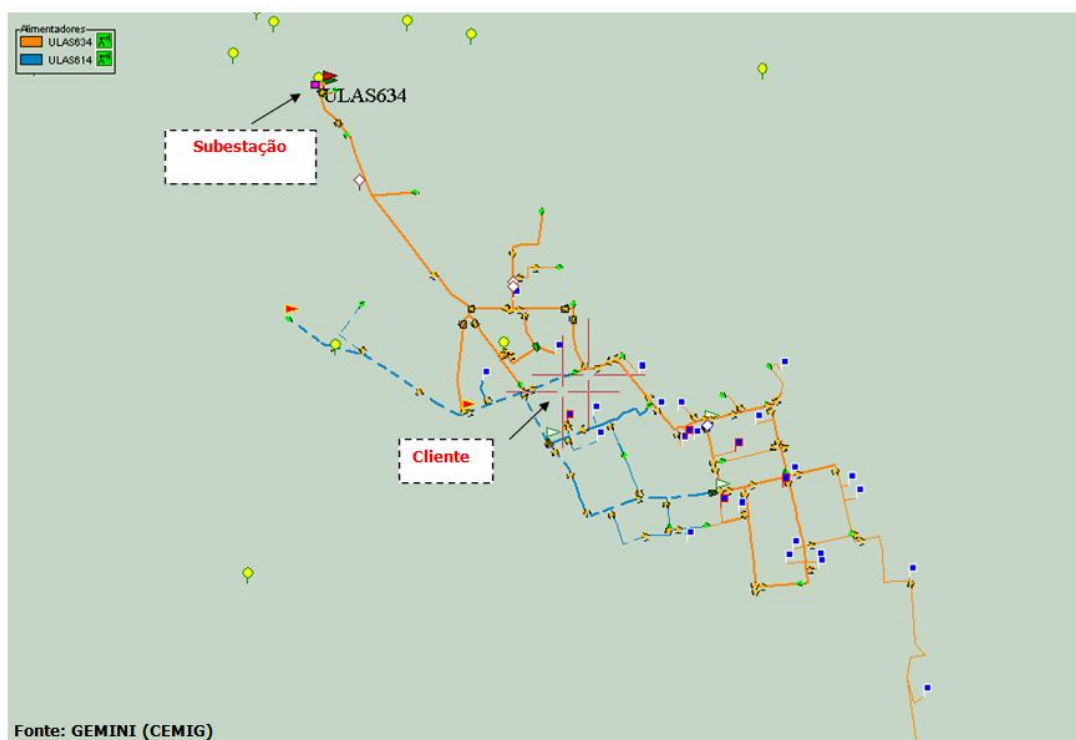


Figura 4.11 – Posicionamento físico do consumidor na rede de distribuição.

b) Caracterização da rede de alimentação até o consumidor reclamante:

Através do *software* GEMINI, de acordo com os procedimentos detalhados na seção anterior, o programa disponibiliza informações detalhadas sobre a constituição da rede de suprimento, a qual compreende o trecho entre a subestação até o ponto de conexão do mesmo. Os passos seguidos constituem-se naqueles definidos na forma de quatro arquivos, cada qual com sua função específica.

c) Importação do banco de dados para o aplicativo APR:

Para a importação das informações disponibilizadas pelo GEMINI, o primeiro passo consiste na abertura do programa APR e respectiva seleção do ícone indicado na figura 4.12. Uma vez feita tal opção, a caracterização física e elétrica do consumidor é realizada de forma automática. Assim agindo, como anteriormente explicado, informações de ordem topológica, constituição física, parte dos parâmetros, etc., serão diretamente transferidos do *software* geo-referenciado para o aplicativo de análise, eliminando-se a possibilidade de configurações manuais.

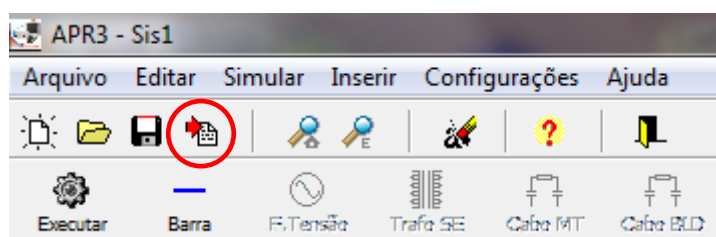


Figura 4.12 – Ícone para importação de dados do sistema geo-referenciado da empresa para o aplicativo APR.

O processo de importação é iniciado pela inserção do código de identificação do cliente reclamante conforme apresentado pela figura 4.13.

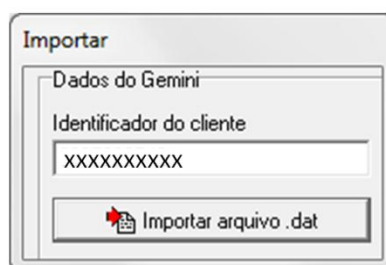
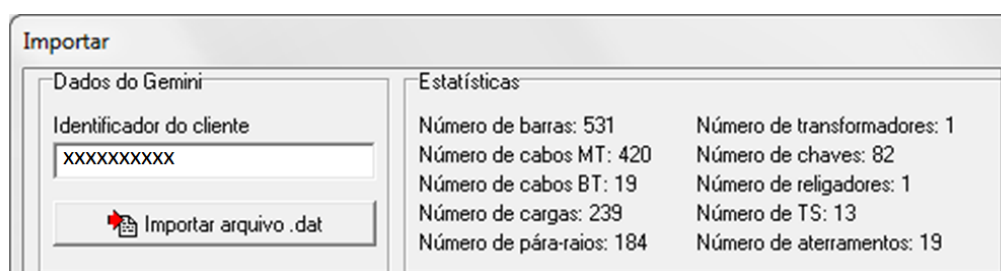


Figura 4.13 – Campo para inserção do identificador do cliente reclamante.

Uma vez realizada tal operação, o APR passa pelo processo de carregamento de informações e, ao final, é fornecida uma síntese numérica dos componentes que perfazem o complexo elétrico envolvido desde a média até a baixa tensão, em que se encontra conectado o requerente do PID. A figura 4.14 mostra esta última tela.



| Estatísticas | |
|---------------------------|------------------------------|
| Número de barras: 531 | Número de transformadores: 1 |
| Número de cabos MT: 420 | Número de chaves: 82 |
| Número de cabos BT: 19 | Número de religadores: 1 |
| Número de cargas: 239 | Número de TS: 13 |
| Número de pára-raios: 184 | Número de aterramentos: 19 |

Figura 4.14 – Síntese da rede de distribuição importada.

Considerando que o APR já se encontra com todas as informações sobre a constituição física da rede de distribuição, com os componentes devidamente identificados, com as parametrizações já concluídas e demais informações requeridas para a realização dos estudos de avaliação do PID, o mesmo passa a reconhecer o diagrama unifilar da figura 4.15, na forma de seu respectivo equivalente elétrico. Isso substitui um exaustivo trabalho manual de implementação da rede elétrica, como originalmente se fazia necessário pelo APR.

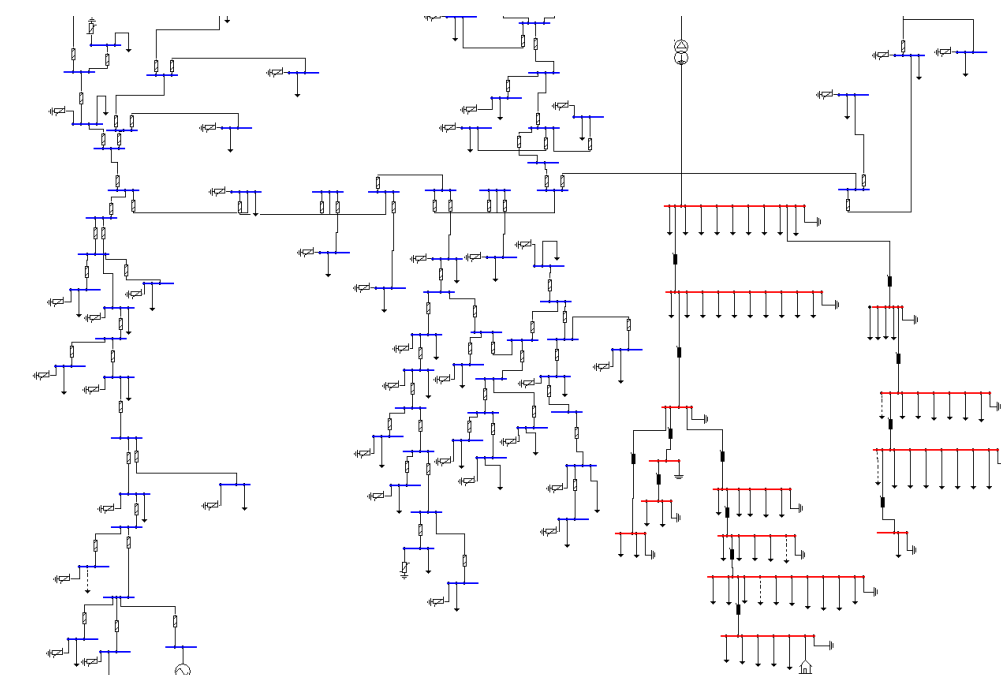


Figura 4.15 – Sistema elétrico importado para o aplicativo APR.

4.4 – Avaliação de desempenho da metodologia

Objetivando estabelecer um processo avaliativo voltado para a constatação do desempenho da estratégia apresentada para a importação de dados, torna-se imperativo que o produto seja avaliado quanto a sua usabilidade, eficácia, consistência operacional e outros atributos necessários a todo e qualquer aplicativo computacional. Para tanto, foram selecionados três casos reais de solicitações de ressarcimento de danos formuladas e atreladas com consumidores residenciais localizados no triângulo mineiro. Para todas as situações em foco os pedidos foram deferidos pela concessionária.

No que tange aos passos seguidos para o processo, compreendendo a entrada do pedido até a emissão do parecer, como tradicionalmente feito, esses foram: identificação do consumidor; caracterização e parametrização da rede elétrica no GEMINI e respectiva importação para o APR; identificação da

ocorrência e respectiva simulação no aplicativo; e, por fim, a emissão do parecer baseado na correlação entre os esforços dielétricos e térmicos impostos e os respectivos limites de suportabilidade do produto sob análise.

4.4.1 – Caso 1 – PID associado com um televisor - descarga atmosférica

O primeiro caso examinado corresponde a uma solicitação de ressarcimento por danos causados a um aparelho televisor. Conforme a análise técnica do processo interno da concessionária, a ocorrência registrada teria sido a abertura de uma chave fusível devido a uma descarga atmosférica. A figura 4.16 ilustra o arranjo físico simplificado do alimentador responsável pelo suprimento do consumidor, fornecendo informações que evidenciam a localização física da subestação, da ocorrência do distúrbio e do cliente.

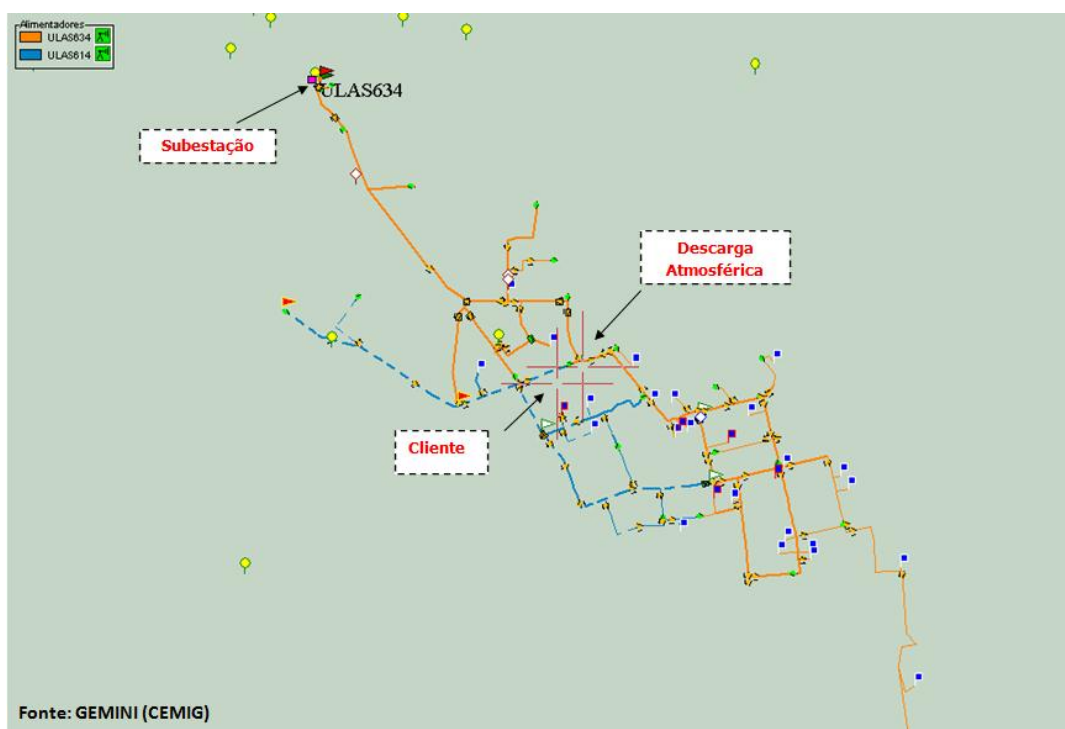


Figura 4.16 – Arranjo físico relativo ao PID associado com o caso 1.

a) Identificação do consumidor e respectivo alimentador

Na Tabela 4.1 são identificados o alimentador e o consumidor reclamante.

Tabela 4.1 – Identificação do alimentador e consumidor - Caso 1

| Código do Transformador | Alimentador | Cliente |
|-------------------------|-------------|--------------------|
| 3003492809 | ULAS634 | Rua Tailândia, 295 |

b) Diagrama unifilar

A figura 4.17 é indicativa do diagrama unifilar do sistema importado pelo aplicativo APR. A representação evidencia o arranjo compreendido desde a subestação em 13,8 kV até o consumidor reclamante.

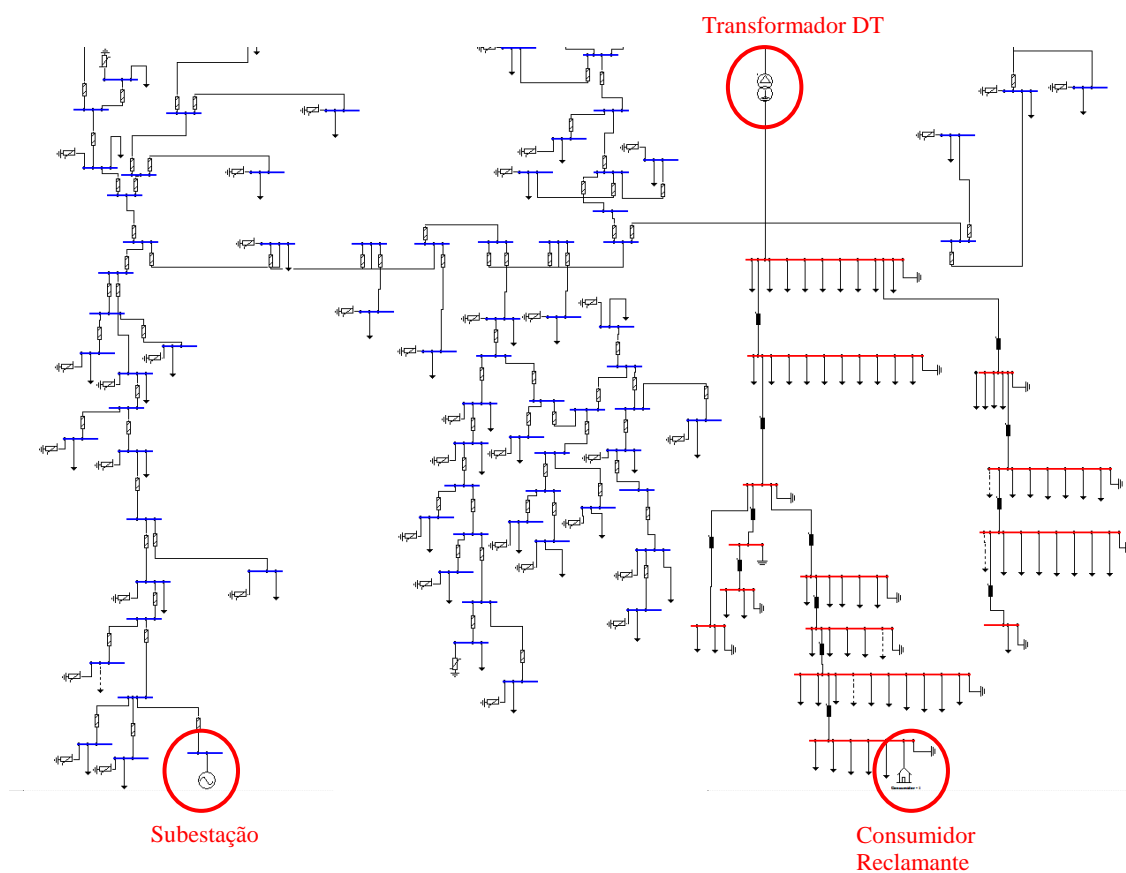


Figura 4.17 – Sistema elétrico equivalente e importado para o aplicativo APR – Caso 1.

c) Configuração e parametrização do fenômeno

No que se refere a representação do distúrbio em pauta, qual seja, a incidência de uma descarga atmosférica junto ao ponto indicado, a figura 4.18 é indicativa dos procedimentos tradicionalmente utilizados pelo APR para a configuração do distúrbio.

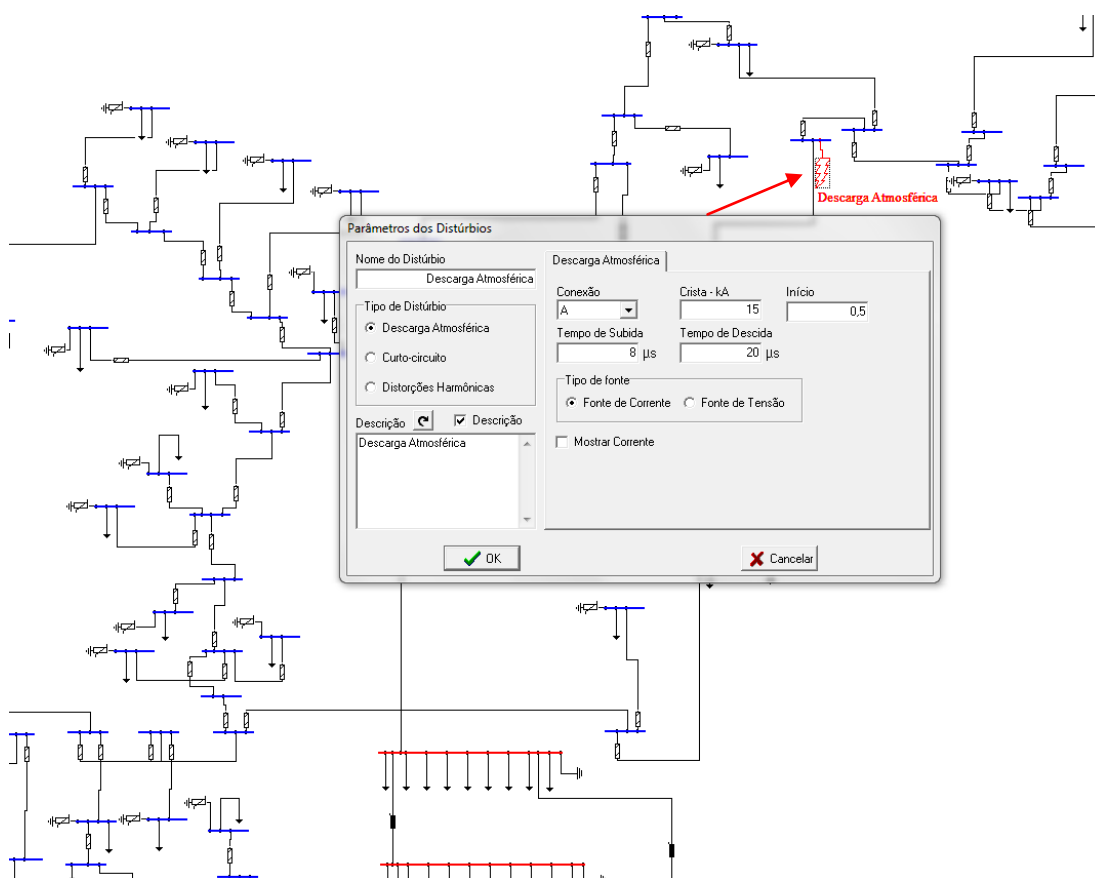


Figura 4.18 – Configuração da descarga atmosférica- Caso 1.

d) Resultados

As figuras 4.19 e 4.20 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente observadas no ponto de conexão do televisor com a rede de distribuição.

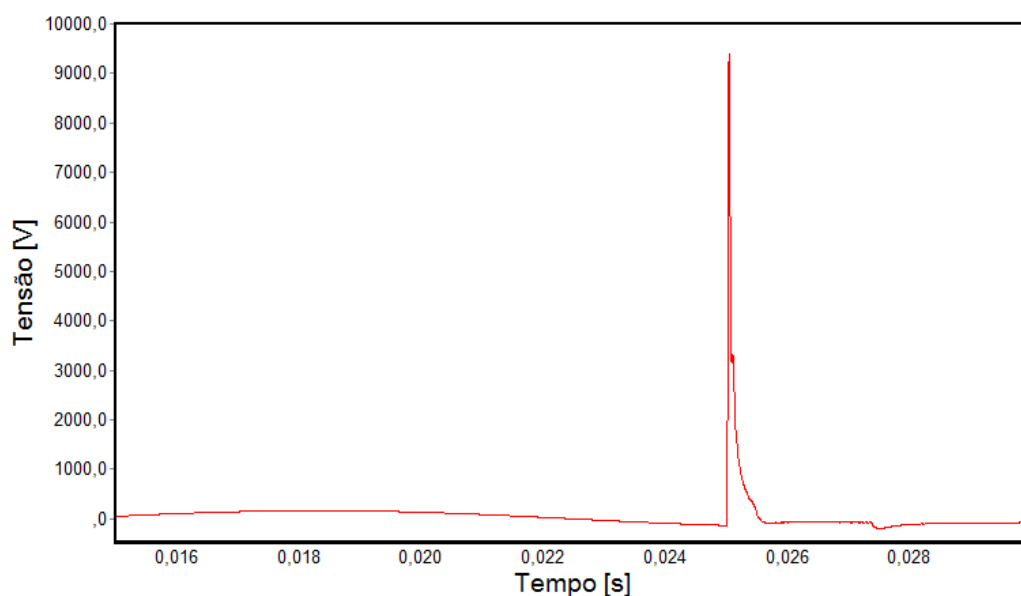


Figura 4.19 – Tensão na entrada do equipamento - Caso 1.

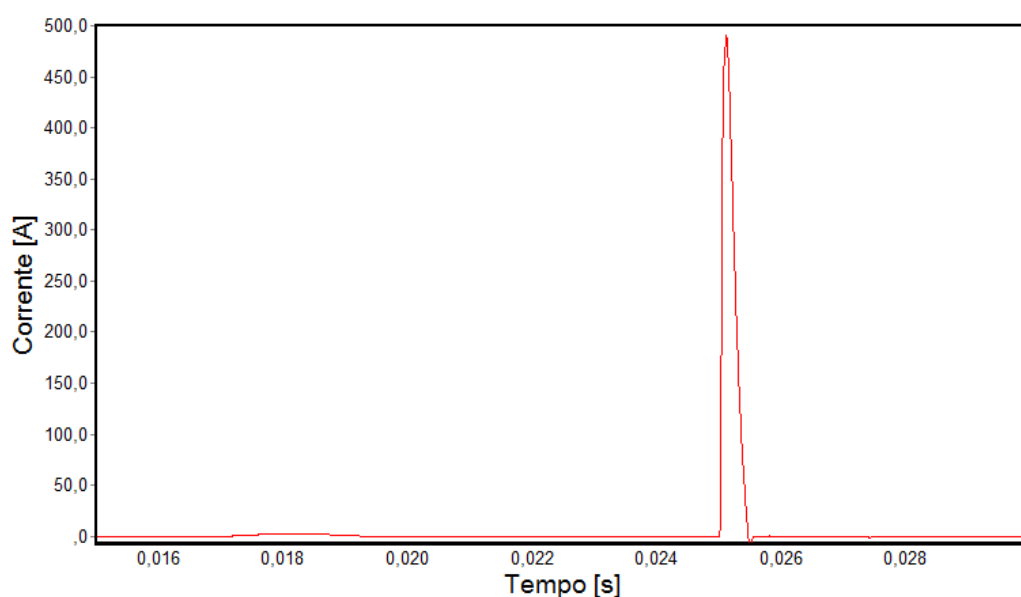
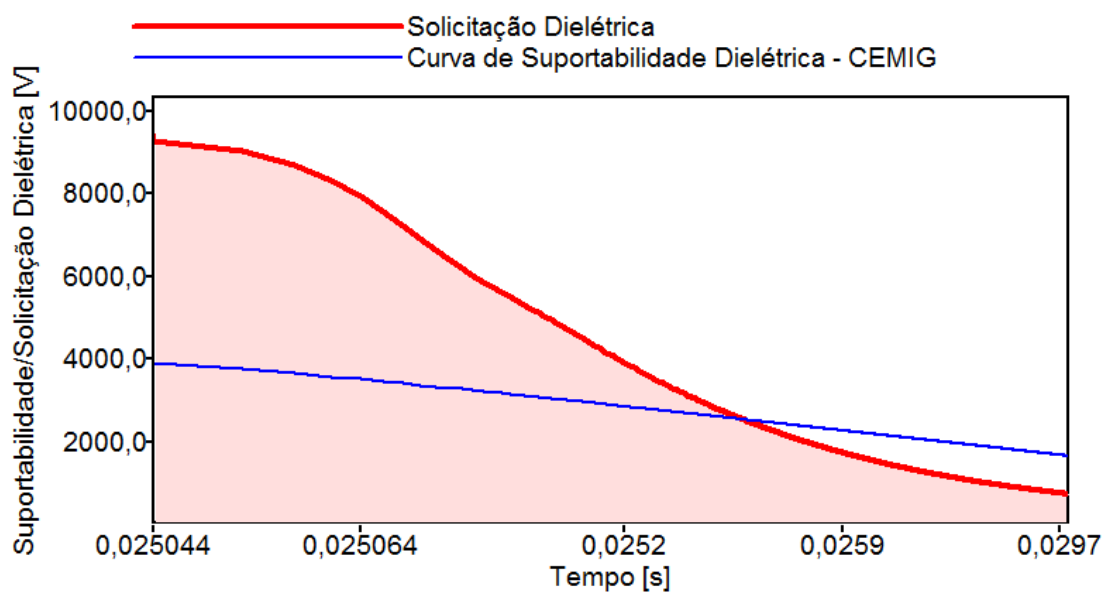


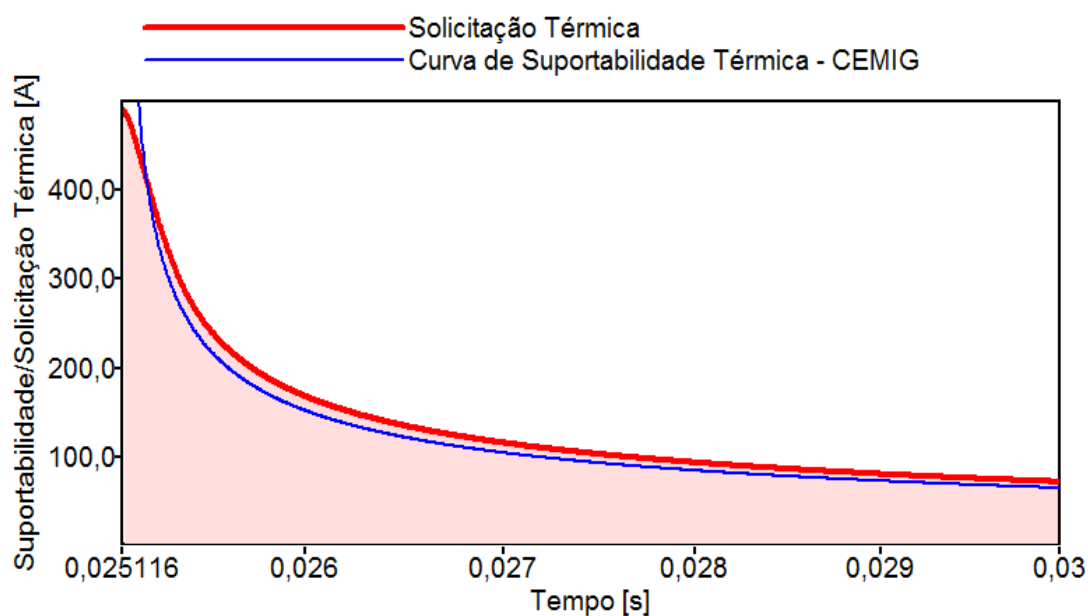
Figura 4.20 – Corrente na entrada do equipamento - Caso 1.

Objetivando associar os resultados que expressam as solicitações impostas pelo distúrbio com as curvas de suportabilidade dielétrica e térmica do televisor, o APR produz o resultado final apresentado nas figuras 4.21 e 4.22. Ressalta-se que, muito embora o reconhecimento da existência de distintos padrões de

suportabilidade para aparelhos de TV apenas aquela identificada como “Curva CEMIG” foi utilizada.



*Figura 4.21 – Solicitações dielétricas impostas versus níveis de suportabilidade da TV
- Caso 1.*



*Figura 4.22 – Solicitações térmicas impostas versus níveis de suportabilidade da TV
- Caso 1.*

À luz dos resultados obtidos fica evidenciado que os estudos computacionais apontam para as seguintes constatações:

- Há evidências de violação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento. Portanto, quanto às questões dielétricas pode-se verificar que: há possibilidade de danos físicos na forma de rompimento da isolação do aparelho televisor;
- Com relação à violação dos limites térmicos do equipamento, há indicativos que o fenômeno em questão possui propriedades capazes de produzir danos sobre o produto analisado;
- Parecer final: **Solicitação procedente.**

e) Considerações finais

O resultado obtido através do aplicativo APR indica que o caso em questão está vinculado com uma solicitação procedente para o pedido de ressarcimento.

4.4.2 – Caso 2 – PID associado com um televisor - religamento tripolar automático

O segundo caso avaliado corresponde a um pedido de ressarcimento para um aparelho televisor, o qual, supostamente, estaria vinculado com uma ocorrência registrada na forma de um religamento tripolar. Essa ação teria ocorrido no disjuntor instalado na subestação de onde origina o correspondente alimentador de 13,8 kV que atende o reclamante. A figura 4.23 ilustra o arranjo físico atrelado com o alimentador responsável pelo suprimento do consumidor. Nesta observa-se a subestação responsável pelo suprimento, o ponto onde

ocorreu a manobra representado pelo religador automático (RA ULAE708) e a unidade consumidora do cliente.

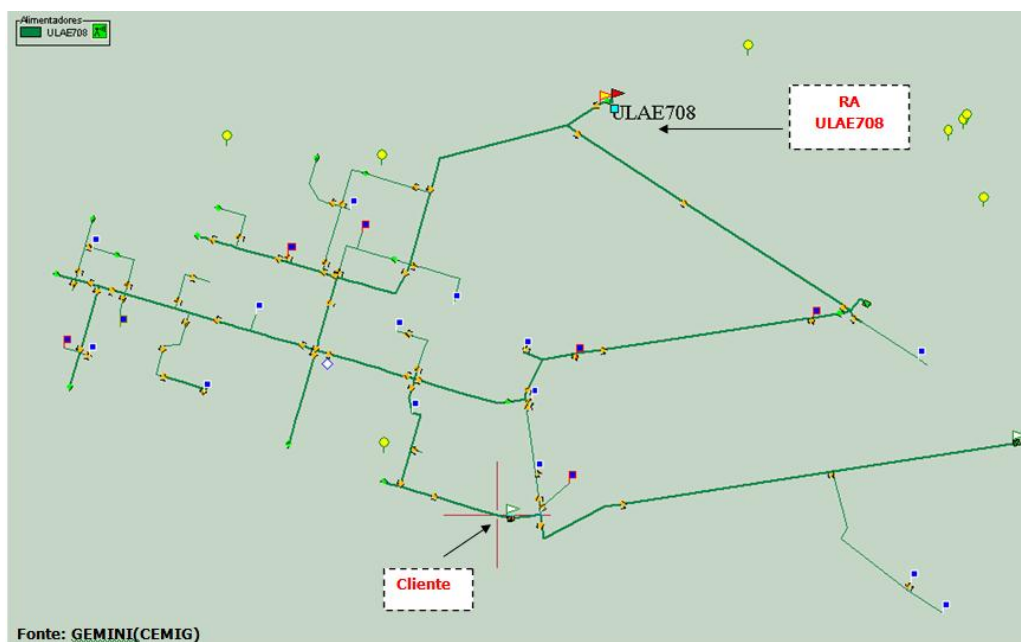


Figura 4.23 – Arranjo físico relativo ao PID associado com o caso 2.

a) Identificação do consumidor e respectivo alimentador

Na Tabela 4.2 são apresentadas as informações que identificam o consumidor reclamante no contexto da concessionária.

Tabela 4.2 – Identificação do alimentador e consumidor – Caso2

| Código do Transformador | Alimentador | Cliente |
|--------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 3006722336 | ULAE708 | Rua Edson Gonçalves, 391 |

b) Diagrama unifilar

De acordo com os princípios estabelecidos para o tratamento da questão, o primeiro passo consiste na importação do arranjo físico e parâmetros representativos da rede de distribuição em pauta. Assim procedendo, a figura

4.24 mostra o respectivo diagrama unifilar compreendendo o arranjo desde a subestação até o consumidor objeto do PID.

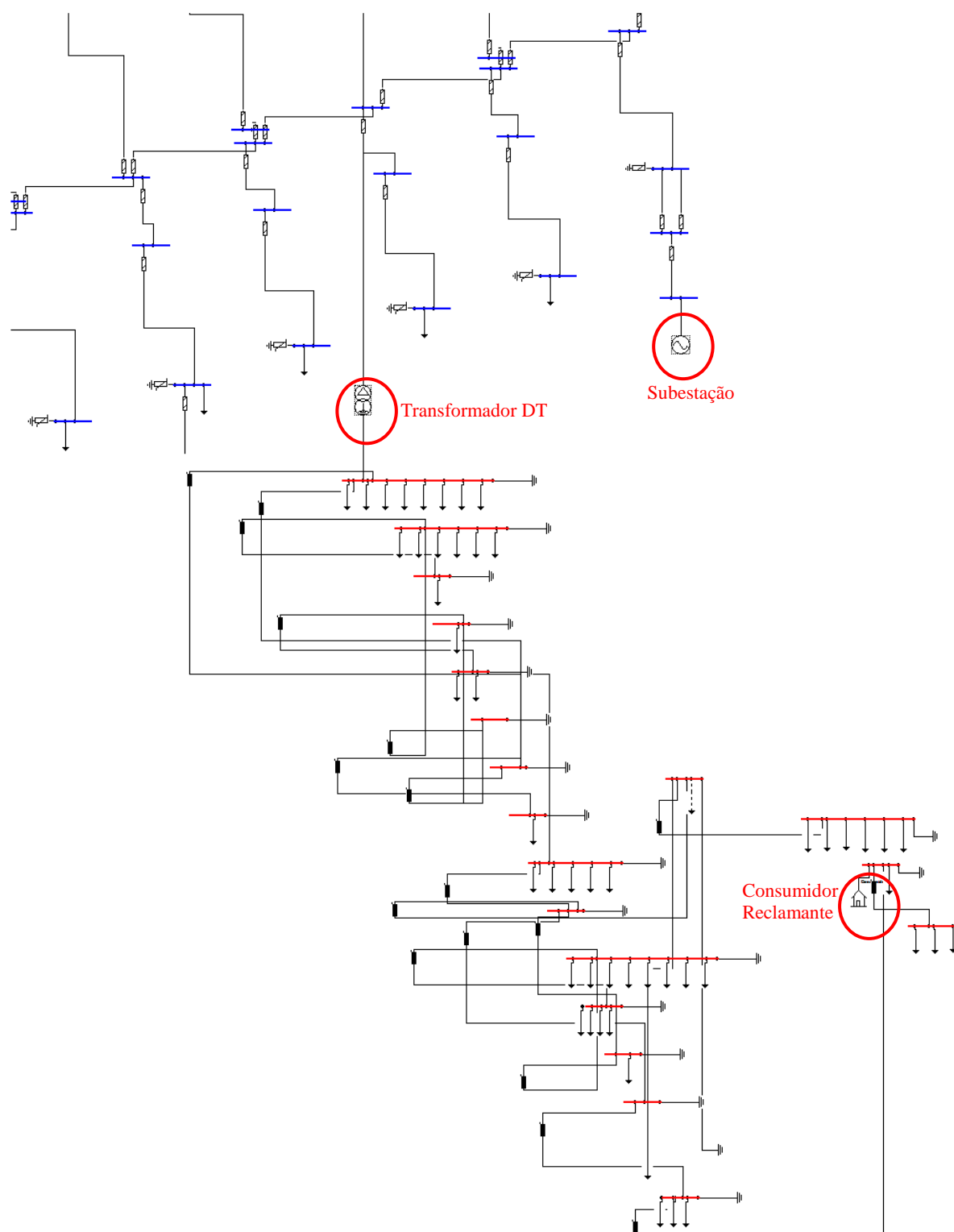


Figura 4.24 – Sistema elétrico equivalente e importado para o aplicativo APR – Caso 2.

c) Configuração e parametrização do fenômeno

Em atenção aos recursos disponibilizados pelo APR, a figura 4.25 mostra a configuração do religador do ramal 13,8 kV, o qual, de acordo com as premissas estabelecidas, teria sido o responsável pela ocorrência.

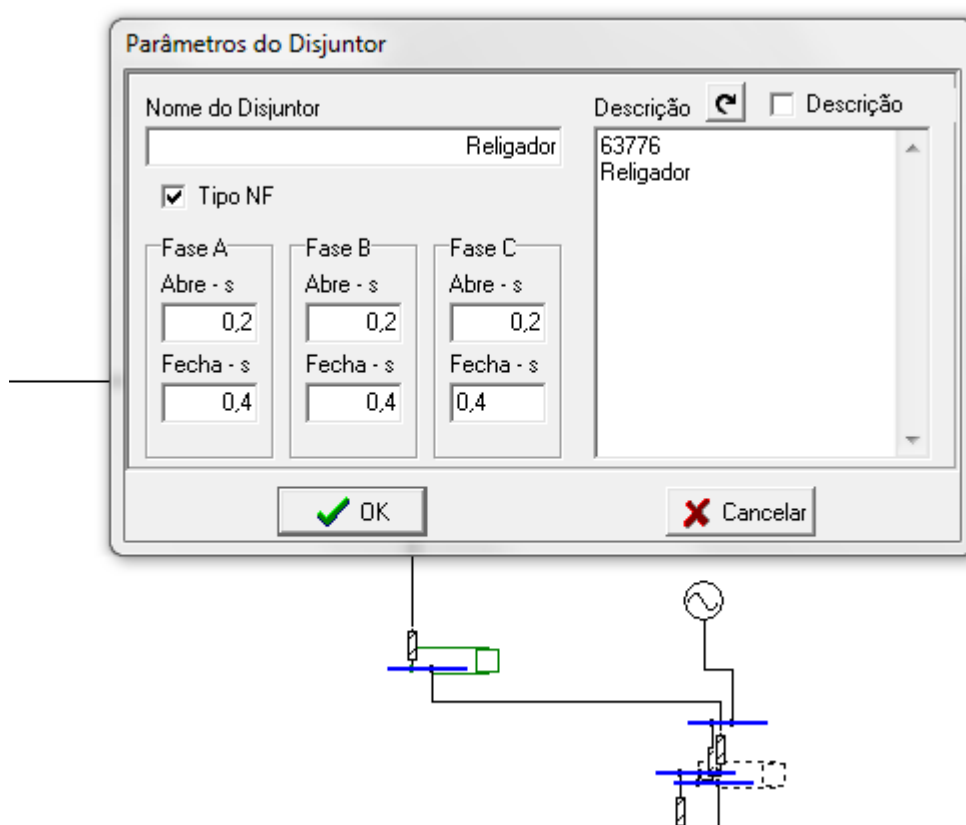


Figura 4.25 – Configuração do religamento automático- Caso 2.

d) Resultados

Uma vez realizadas as modelagens requeridas e os processamentos computacionais próprios ao APR, as figuras 4.26 e 4.27 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente observadas no ponto de conexão do cliente e impactantes sobre o aparelho de TV.

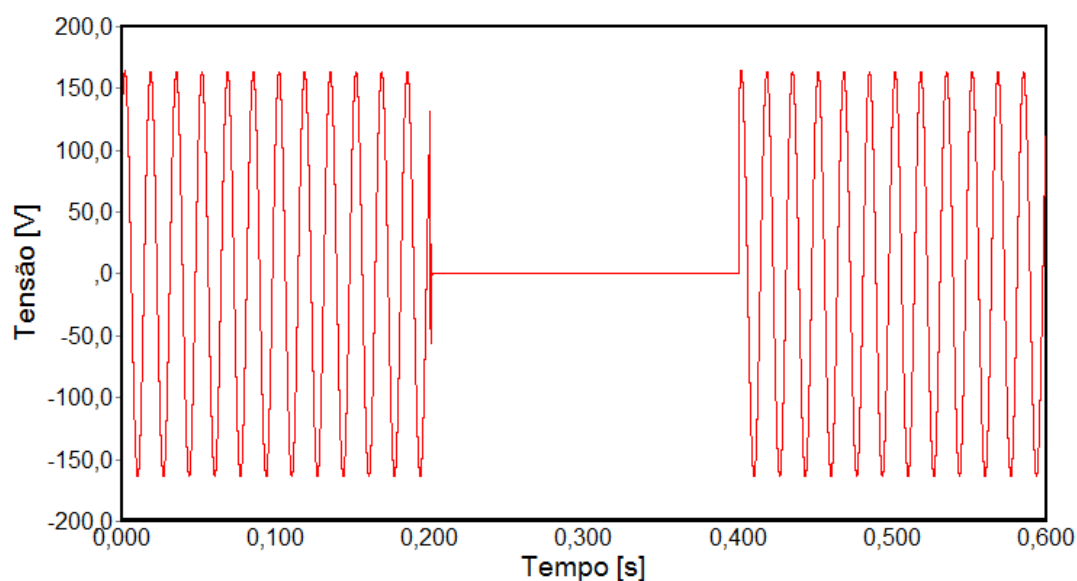


Figura 4.26 – Tensão na entrada do equipamento - Caso 2.

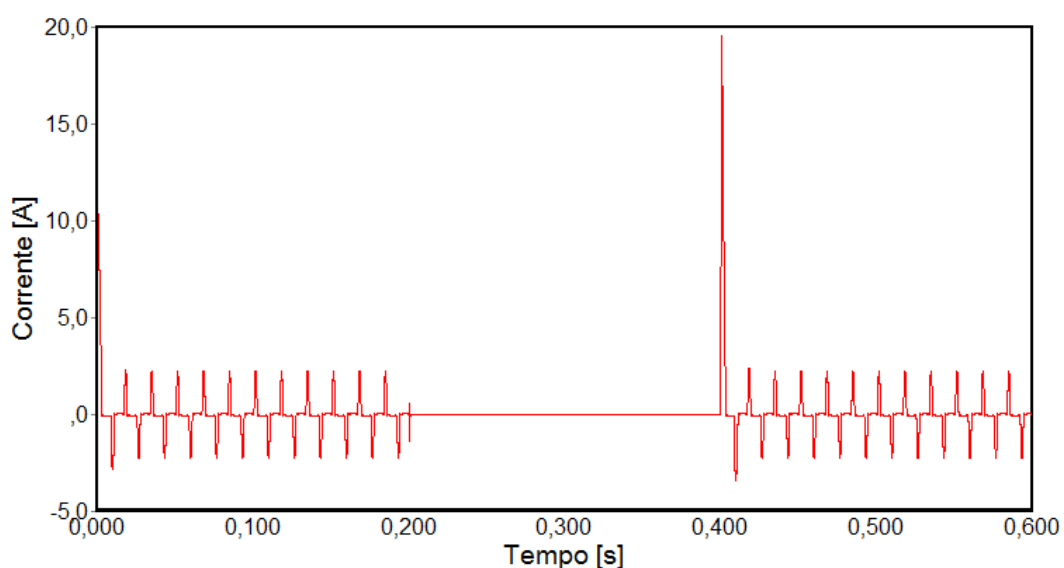


Figura 4.27 – Corrente imposta na entrada da TV - Caso 2.

A partir das tensões e correntes apresentadas, estas são traduzidas na forma de esforços dielétricos e térmicos, os quais são, na sequência, correlacionados com os limites de suportabilidade próprios do equipamento em análise. Utilizando as curvas de tolerância denominadas por “CEMIG” o APR produz os resultados apresentados nas figuras 4.28 e 4.29.

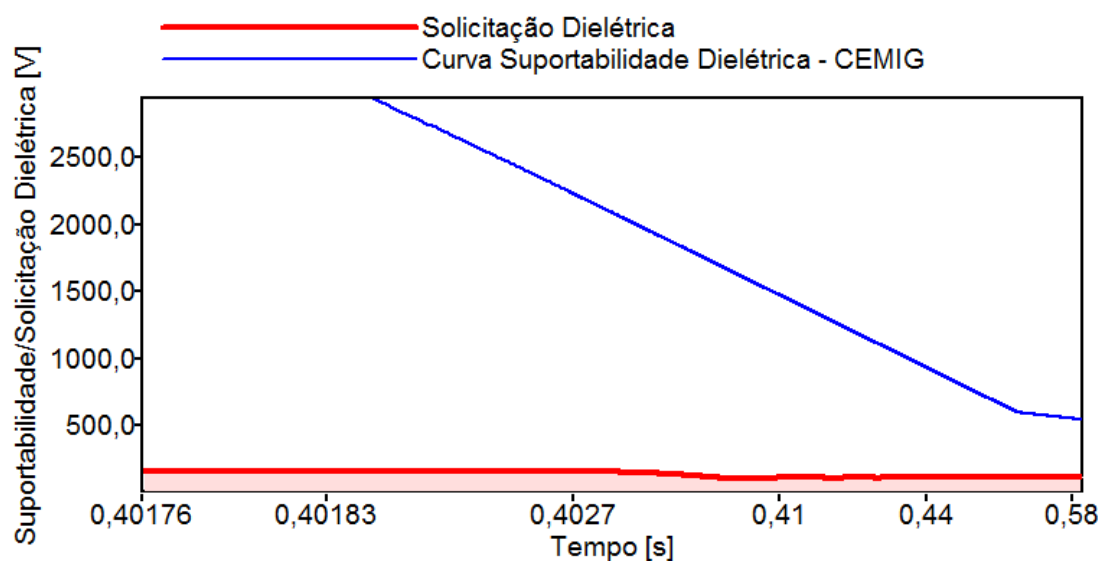


Figura 4.28 – Solicitações dielétricas impostas versus níveis de suportabilidade da TV - Caso 2.

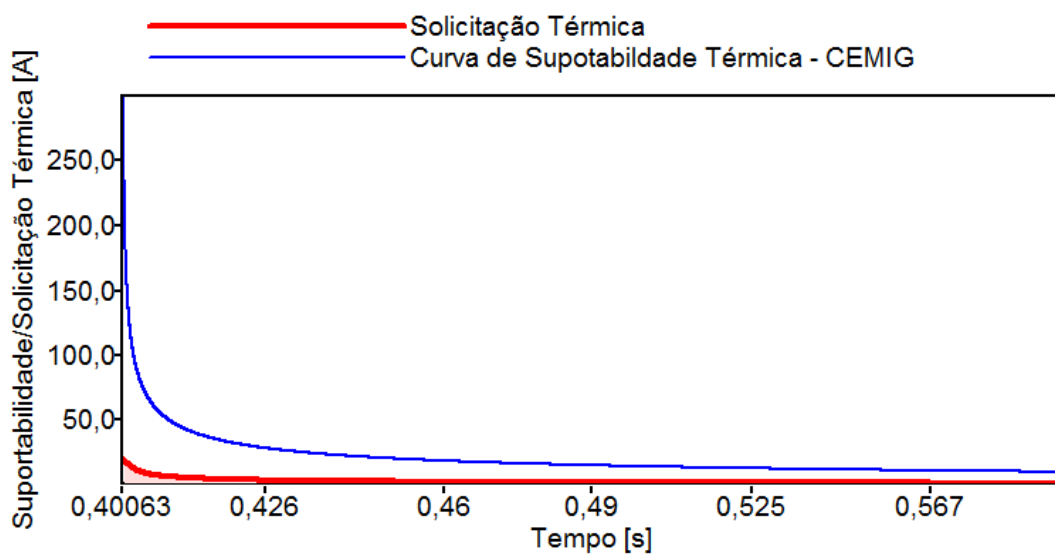


Figura 4.29 – Solicitações térmicas impostas versus níveis de suportabilidade da TV - Caso 2.

As figuras anteriores evidenciam que:

- Não houve violação dos níveis de tensão admissíveis pelo aparelho. Portanto, quanto às questões dielétricas, pode-se verificar que não há evidências de que o fenômeno em pauta teria sido capaz de

causar danos físicos na forma de rompimento da isolação do equipamento;

- No que tange às questões térmicas, também não foram encontradas justificativas para os problemas reclamados;
- Parecer final: Solicitação improcedente.

e) Considerações finais

O resultado oferecido pelo estudo computacional (aplicativo APR) indica que o caso em questão está vinculado com uma solicitação improcedente para o pedido de ressarcimento. Como pode ser então constatado, o presente caso evidencia uma divergência entre o resultado do APR e o parecer da concessionária.

4.4.3 – Caso 3 – PID associado com um aparelho de som - Curto Circuito MT/BT

A presente situação corresponde a uma solicitação de ressarcimento por danos ocorridos em um aparelho de som. De acordo com levantamentos feitos no âmbito interno da concessionária, o fato encontra-se coincidente com o rompimento de um cabo da média tensão, com subsequente queda sobre o cabo de baixa tensão. A figura 4.30, como para os demais casos, é indicativa da situação física representativa do PID em pauta. Na figura encontram-se mostrados: a subestação responsável pelo suprimento, o ponto de ocorrência do distúrbio e o cliente.

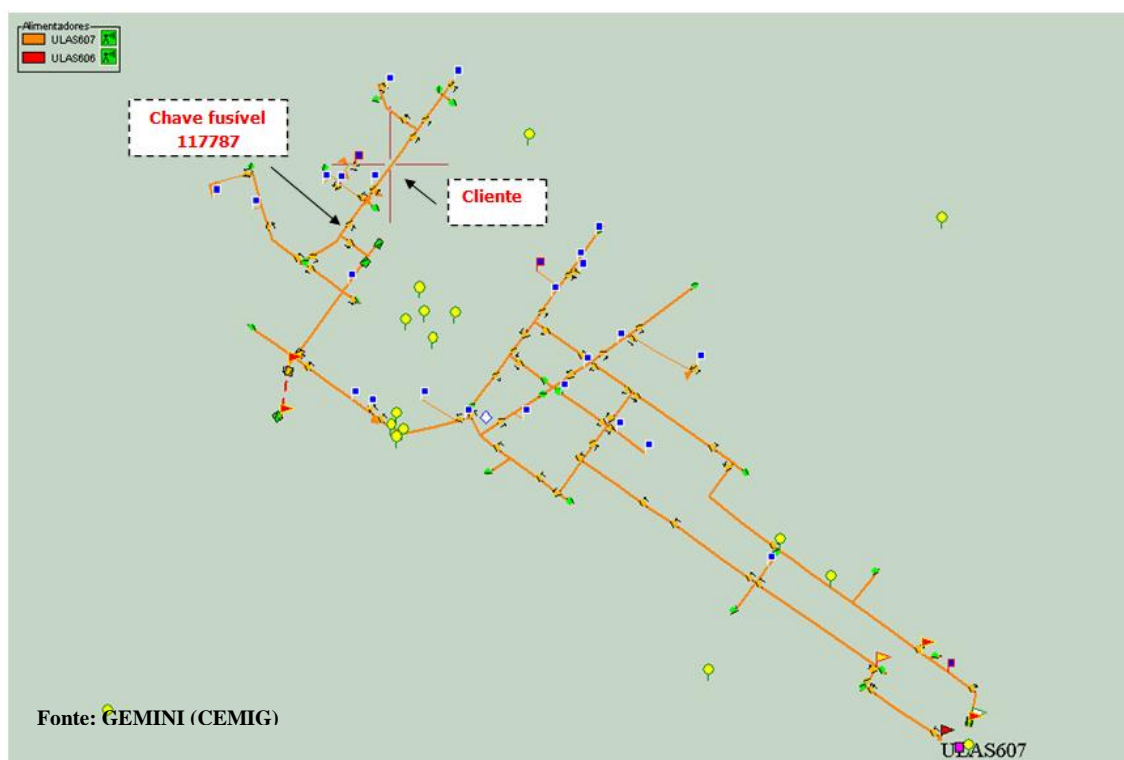


Figura 4.30 – Arranjo físico relativo ao PID associado com o caso 3.

a) Identificação do consumidor e respectivo alimentador

Na Tabela 4.3 são apresentadas as informações relacionadas com o consumidor reclamante e respectivo alimentador.

Tabela 4.3 – Identificação do alimentador e consumidor - Caso 3

| Código do Transformador | Alimentador | Cliente |
|--------------------------------|--------------------|----------------------------|
| 3000135033 | ULAS607 | Rua Tenente Virmondes, 128 |

b) Diagrama unifilar

Nos termos requeridos pelo APR, a figura 4.31 mostra, para a presente situação, o respectivo diagrama unifilar importado do banco de dados do GEMINI.

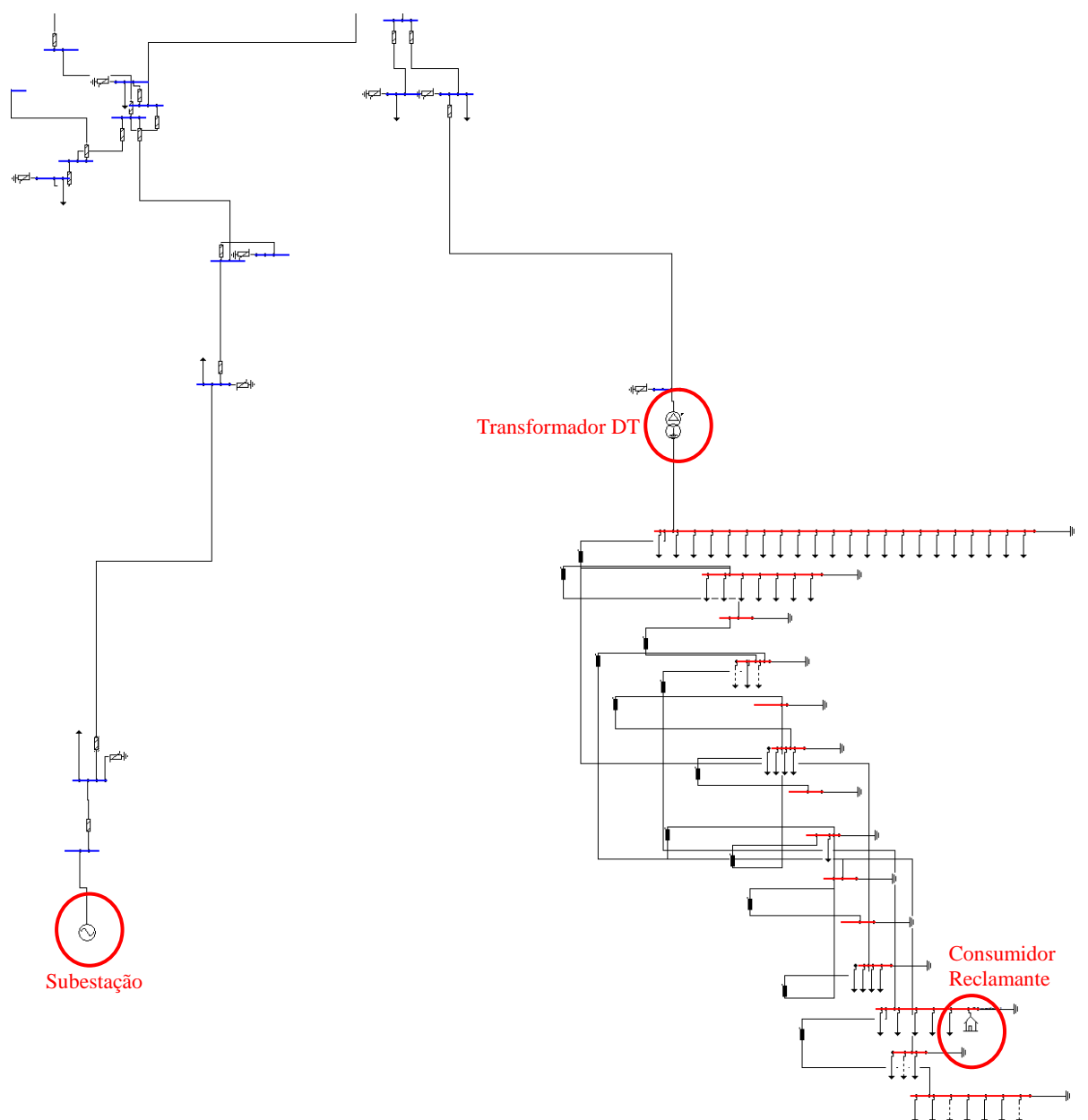


Figura 4.31 – Sistema elétrico equivalente e importado para o aplicativo APR – Caso 3.

c) Configuração e parametrização do fenômeno

A figura 4.32, associada com os recursos originalmente existentes no aplicativo APR mostra a tela destinada à configuração do fenômeno em questão, a saber: curto circuito entre um cabo de média e outro de baixa tensão. Devido ao desconhecimento das fases associadas com o distúrbio, foram realizadas

simulações para as fases A, B e C, selecionando, para fins dos estudos, a que ocasionou um maior impacto sobre o equipamento.

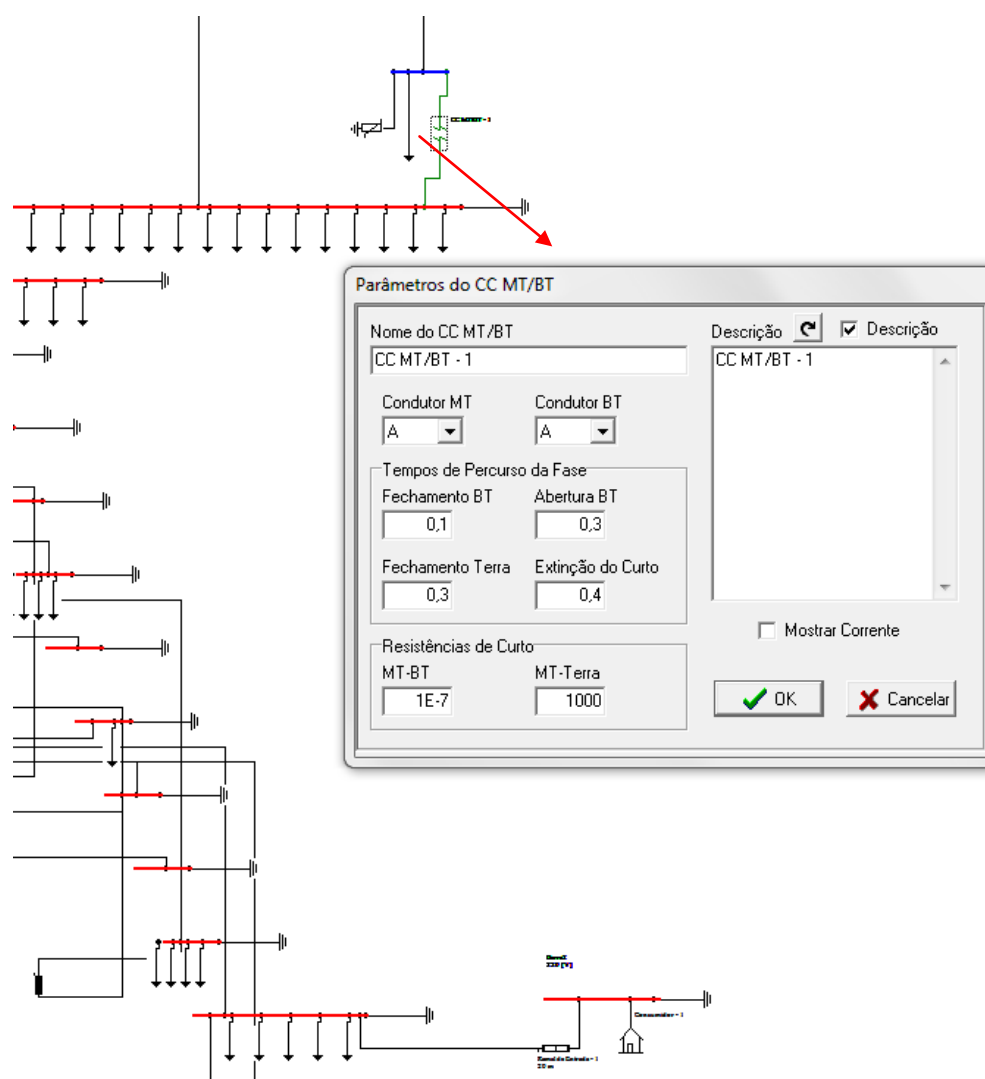


Figura 4.32 – Configuração do curto MT/BT- Caso 3.

d) Resultados

As figuras 4.33 e 4.34 mostram, respectivamente, as formas de onda da tensão e da corrente observadas nos terminais de suprimento do aparelho de som.

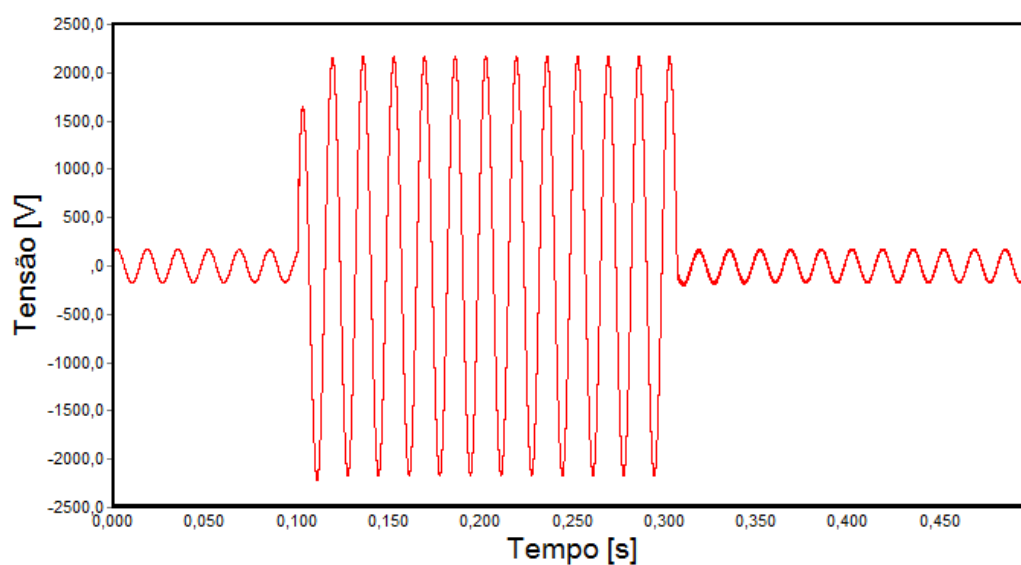


Figura 4.33 – Tensão na entrada do equipamento - Caso 3.

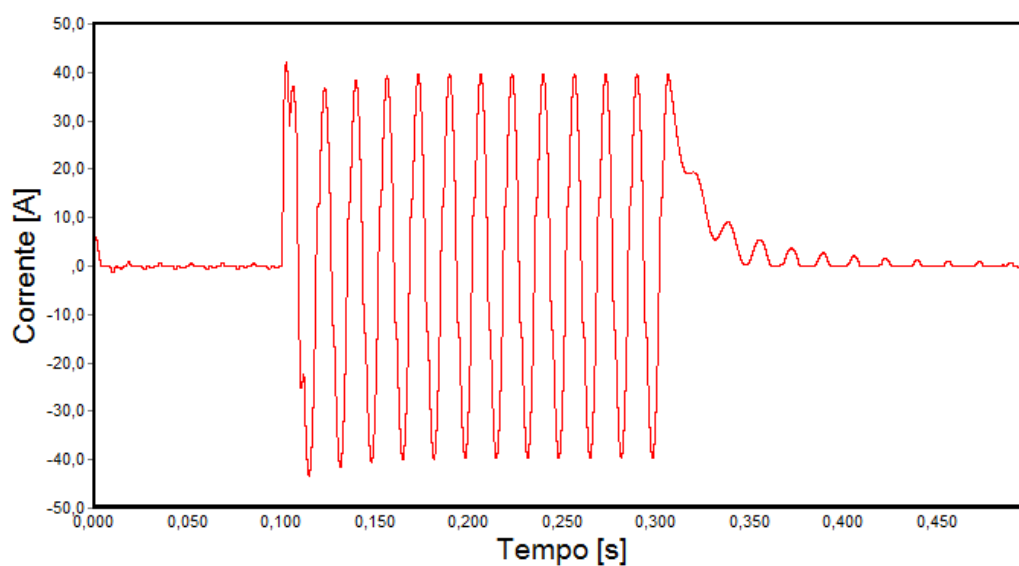


Figura 4.34 – Corrente na entrada do equipamento - Caso 3.

As tensões e correntes impactantes sobre o equipamento danificado e os respectivos limites considerados admissíveis encontram-se indicadas nas figuras 4.35 e 4.36.

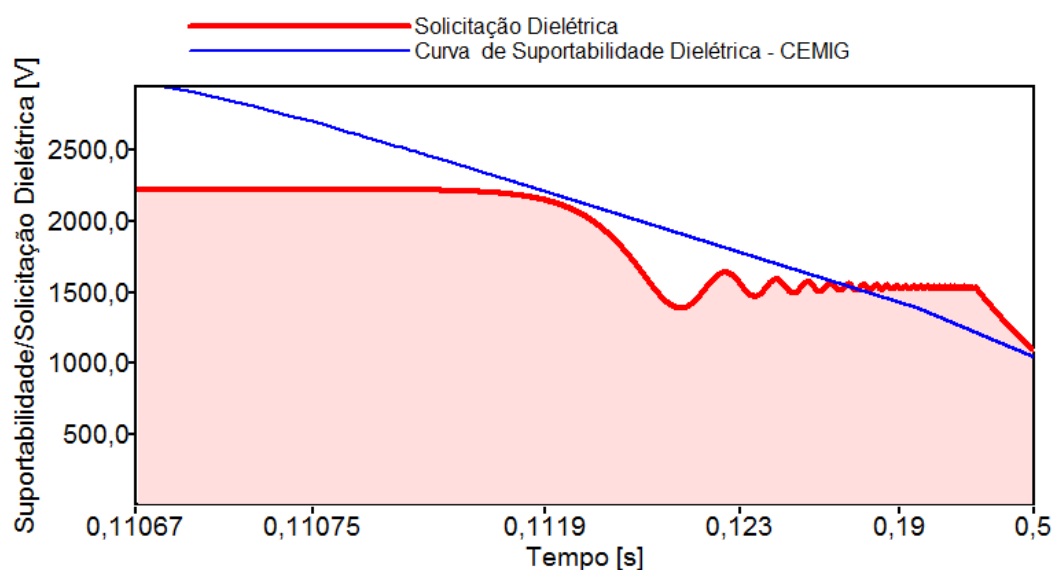


Figura 4.35 – Solicitações dielétricas impostas versus níveis de suportabilidade do aparelho de som - Caso 3.

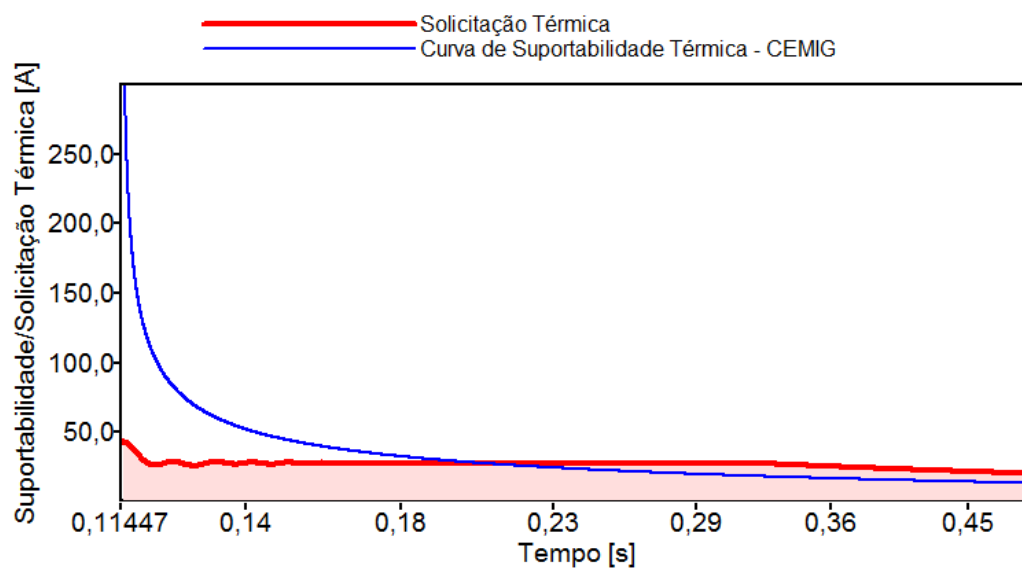


Figura 4.36 – Solicitações térmicas impostas versus níveis de suportabilidade do aparelho de som - Caso 3.

As figuras anteriores permitem constatar que:

- Houve violação dos níveis de tensão admissíveis pelo aparelho.
Portanto, quanto às questões dielétricas, pode-se verificar que há

evidências de que o fenômeno em pauta poderia ter causado os danos físicos reclamados;

- No que tange às questões térmicas, também foram encontradas justificativas para os problemas reclamados;
- Parecer final: Solicitação procedente.

e) Considerações finais

O resultado obtido através do aplicativo APR indica que o PID em questão é considerado como procedente.

4.5 –Considerações finais

O presente capítulo apresentou uma proposta de estratégia voltada para a melhoria do processo de análise de pedidos de ressarcimento por danos através do Aplicativo APR, em que pese questões relacionadas com a agilização do processo da configuração e parametrização da rede elétrica atrelada com a unidade consumidora reclamante, assim como também, um mecanismo mais confiável para os estudos. De fato, nos termos atuais, o usuário do APR, uma vez identificado o consumidor objeto do PID deve, manualmente, identificar a topologia da rede elétrica que o alimenta, parametrizar todos os componentes que perfazem o arranjo, desde a alta ou média tensão até o ponto de conexão do mesmo, e, por fim, a realização da avaliação nonexo causal propriamente dito. À luz destes fatos segue, pois, que tal trabalho exigiria horas ou mesmo dias até a completude da análise e respectiva emissão do parecer sobre a consistência ou não do pedido. Diante disto fica latente que, muito embora os resultados positivos e encorajadores até então obtidos através do *software* APR, reconhece-

se que, a utilização de um mecanismo direcionado para uma automatização de tal procedimento seria de grande relevância para a agilidade do estudo, confiabilidade e exatidão dos resultados.

Dentro do contexto, contando com *softwares* de gerenciamento comercialmente em uso pela grande maioria das empresas, surgiu a ideia do procedimento aqui contemplado. Este, como visto, fundamentou-se no estabelecimento de meios que proporcionassem, a partir da identificação do cliente reclamante, seu posicionamento físico no complexo de distribuição, e ainda, uma pronta caracterização da rede ou do alimentador que o supre. Essa estratégia, nos termos descritos, pode primar pela configuração do suprimento a partir da alta tensão ou da média tensão, conforme opção feita pelo usuário do programa. A partir da importação das informações de caráter físico e inserção no APR, os distintos componentes que perfazem o arranjo são parametrizados em consonância com bancos de dados internos ao Aplicativo de Análise e as ações subsequentes são realizadas de acordo com a estrutura original do programa.

Muito embora o reconhecimento que a filosofia da correlação entre um *software* de gerenciamento e o APR possa ser considerada genérica e aplicável a qualquer programa comercial, para fins do presente trabalho, optou-se pela aplicação da metodologia para o denominado GEMINI, em uso pela concessionária do estado de Minas Gerais.

Os trabalhos de identificação do consumidor, reconhecimento da rede, etc, foram feitos com base em recursos disponibilizados pelo GEMINI, o qual permite exportar os dados requeridos, como explicado no decorrer deste capítulo.

Ao final, para melhor entendimento dos desenvolvimentos e da eficácia do processo, foram consideradas três situações reais de PIDs vivenciadas pela

empresa e que foram reproduzidas e consideradas para evidenciar a usabilidade e aplicabilidade do método.

4.6 – Os avanços oferecidos por este capítulo

As principais contribuições oferecidas por este capítulo compreendem:

- Avaliação e análise das informações contidas no banco de dados de um *software* de gerenciamento comercial e existente numa empresa concessionária;
- Estabelecimento de uma estratégia para a importação das informações relacionadas com a rede elétrica envolvida no suprimento do consumidor reclamante para o aplicativo APR;
- Implementação do processo de transferência de dados do *software* geo-referenciado com o Aplicativo APR;
- Realização de estudos de desempenho do processo e metodologia implementados através de situações práticas ocorridas em campo.

CAPÍTULO V

Conclusões

Muito embora ao longo de cada capítulo tenha-se explorado aspectos relacionados com as constatações próprias aos desenvolvimentos feitos, é conveniente, neste momento, apresentar uma síntese dos principais pontos associados com os desenvolvimentos, propostas, metodologias, implementações computacionais, e outros aspectos gerais e conclusivos sobre os trabalhos até então realizados. Dentro deste enfoque, pode-se reconhecer que a presente pesquisa, nos termos atuais, evidencia significativas contribuições ao estabelecimento de um processo computacional sistematizado para fins da análise dos pedidos de indenização por danos elétricos, em consonância com as diretrizes propostas pelo PRODIST, em seu módulo 9.

Como pôde ser constatado ao longo do texto elaborado, a versão original do Aplicativo APR, passa, a partir de agora, a contar com os seguintes avanços:

a) Quanto aos limites de suportabilidade dielétrica e térmica

Nesta fase inicial da pesquisa foram realizados trabalhos voltados para o estabelecimento de novas proposições para a caracterização dos limites de suportabilidade de televisores, aparelhos de som e microcomputadores, obtidos através da realização de ensaios

destrutivos e uma proposta de modelagem matemática compatível com os requisitos do *software* de análise. De fato, a importância do assunto se reveste de que, até o momento, a literatura nacional e internacional, como esclarecido ao longo desta tese, divulgou um conjunto de informações, as quais, certamente se mostraram aplicáveis aos produtos avaliados. Não obstante a isto, as divergências encontradas entre as curvas limites para as questões dielétricas e térmicas orientaram para a necessidade de desenvolvimentos e aprofundamentos na matéria. Ao término dos trabalhos ficou evidenciado que as curvas de suportabilidade tradicionalmente utilizadas se apresentam em proporções bastante inferiores às aquelas propostas pela presente pesquisa. A título de ilustração, tomando por base o caso dos computadores, na região associada com fenômenos atmosféricos, um dos limites mais clássicos, qual seja, a curva ITIC se apresenta com limites de até nove vezes abaixo daquele encontrado nos ensaios realizados. Para a região representativa de fenômenos transitórios mais lentos ou mesmo os dinâmicos, a diferença constatada ficou nas imediações de seis vezes. Por fim, a região representativa das sobretensões associadas aos de distúrbios em regime permanente, a diferença se apresentou como sendo da ordem de três vezes. Portanto, este exemplo evidencia a relevância da busca de limites de suportabilidade compatíveis com os produtos disponibilizados no mercado nacional. Quanto aos limites térmicos, a inexistência de referências sobre o assunto resultou em que os valores limites encontrados se mostram absolutos. Diante destas constatações ficou evidenciado que uma primeira contribuição desta investigação culminou na proposição de limites dielétricos e térmicos,

sistematizados na forma de equações, que se mostram mais condizentes com a realidade do mercado;

b) Quanto aos meios para a reprodução dos distúrbios representativos das anomalias operacionais

Esta fase da pesquisa foi direcionada à proposição de uma metodologia alternativa para a inserção, no aplicativo APR, dos distúrbios ocorridos e supostamente responsáveis pelos danos reclamados pelos consumidores. Na sua forma original, o programa de análise contemplava tão apenas meios computacionais para a reprodução dos fenômenos representativos das anomalias operacionais, fato este que pode ser, para algumas situações, motivo de questionamento pelos consumidores e órgãos de proteção ou mesmo regulamentação. Como resultado dos trabalhos realizados nesta etapa, o *software* passa agora a disponibilizar meios para o fornecimento de informações próprias aos distúrbios através de medições em campo em tempo real e respectiva inserção no aplicativo de análise. Com isto fica evidenciado que a nova versão do aplicativo APR se apresenta com dois meios para a inserção das ocorrências manifestadas em campo, uma via simulação do distúrbio, e outra, através dos registros feitos junto aos barramentos e respectivas importações para o aplicativo.

c) Quanto ao estabelecimento de um processo sistematizado para agilização e confiabilidade do processo de análise

Uma vez entregue a documentação exigida pela empresa concessionária, nos termos definidos pela agência reguladora, a distribuidora deve apresentar um parecer sobre o pedido em um dia útil para os equipamentos considerados essenciais (refrigeradores, freezers, e outros correlatos) e 45 dias para os demais produtos. Tipicamente, o processo de análise em prática consiste meramente numa avaliação do nexos causal através de uma inspeção em oficina autorizada, respectiva emissão de laudo e a existência de um fenômeno ocorrido na rede. Reconhecido que tal procedimento pode se mostrar falho, surgiu a ideia da fundamentação técnica e científica para o processo de análise, concretizado através do aplicativo APR. Não obstante o fato de que esta proposta se apresenta com um embasamento mais sólido, muito embora o *software*, na atualidade, não seja homologado pela ANEEL, as informações relativas a rede de alta, média e baixa tensão até o ponto de conexão da unidade consumidora reclamante devem ser inseridas de forma manual pelo usuário do programa. Assim sendo, além das possibilidades de equívocos, o tempo necessário para os estudos pode durar horas, dias ou mesmo semanas. Portanto, a implementação de um procedimento sistematizado visando a importação das informações de caráter topológico e parametrização dos componentes, desde a subestação responsável pelo suprimento até o cliente, elimina, assim, as morosidades do processo de análise, e ainda, facilita o cumprimento das determinações da ANEEL. Nesse contexto, os trabalhos descritos no Capítulo IV mostraram, de forma objetiva e inequívoca, a

factibilidade da sistematização do processo de modelagem do consumidor e sua rede elétrica de suprimento. Naturalmente, visando ilustrar a usabilidade do método, os trabalhos foram conduzidos e exemplificados através de um *software* específico de uma empresa concessionária que emprega o sistema geo-referenciado conhecido por GEMINI. Os casos empregados para o processo avaliativo deixaram claro que, somado a uma maior confiabilidade dos trabalhos de modelagem, a emissão de pareceres sobre os pedidos passou a ser oferecida em alguns minutos.

d) Quanto às investigações futuras sobre o tema

Através dos avanços atingidos ficou evidenciado que o aplicativo APR, na sua versão atual, se mostra com propriedades mais atrativas e adequadas aos estudos avaliativos de desempenho da rede e seus componentes, assim como também para a análise das solicitações atreladas com os conhecidos PID's. Não obstante a isto, é importante reconhecer que estudos complementares, certamente, ainda se fazem necessários para se atingir o devido e necessário grau de maturidade e aceitação pelos agentes envolvidos na questão sob foco.

Dentro destes aspectos destacam-se, na sequência, alguns pontos considerados relevantes e meritórios para investigações futuras:

- Maiores aprofundamentos e levantamentos voltados para a obtenção de curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de outros dispositivos contemplados no aplicativo APR, a exemplo dos equipamentos da linha branca;

- Realização de estudos e implementação dos efeitos causados por descargas atmosféricas indiretas na rede elétrica de distribuição;
- Obtenção de circuitos equivalentes, implementação e validação das propostas de modelagem para outros equipamentos que perfazem o complexo que forma o conjunto de cargas elétricas. A exemplo disto ressaltam-se produtos como: aparelhos de TV à LCD, LED E PLASMA, elevadores residenciais, etc;
- Estabelecimento de estratégia para obtenção de curvas de sensibilidade de equipamentos industriais e sua inserção no aplicativo APR para análise dos impactos de afundamentos de tensão em unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais;
- Por fim, o desenvolvimento de meios para inserção da ação dos dispositivos de chaveamento, manuais e automáticos, em consonância com as condições reais manifestadas nas redes elétricas quando da ocorrência de faltas e/ou manobras.

PUBLICAÇÕES

a) Aprovada em periódico

- [1] GONDIM I. N., TAVARES C. E., BARBOSA JUNIOR J. A. F., DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., MENDONÇA M. “Uma Estratégia Para Obtenção Dos Limites De Suportabilidade Dielétrica E Térmica De Equipamentos Com Foco Aos Pedidos De Indenização Por Danos”, SOBRAEP Transactions, 2012. (ACEITO).
- [2] GONDIM I. N., REZENDE P. H. O., OLIVEIRA J. C., MACEDO JUNIOR. J. R., SALOMÃO A. C. O., KAGAN N., “Reimbursement Procedure due to Electrical Damages: the Subject Relevance, Juridical Fundamentals, Agency Standards, Analysis Procedures and Trends”, Renewable Energy and Power Quality Journal, v. 10, p. 1/6, 2012.
- [3] GONDIM I. N., TAVARES C. E., BARBOSA JUNIOR, J. A. F., OLIVEIRA J. C., OLIVEIRA A., REZENDE P. H. O., “A proposal for Computational Refunding Analysis based on real time disturbances measurements”, Renewable Energy and Power Quality Journal, v. 10, p. 1/6, 2012.
- [4] GONDIM I. N., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., DELAIBA A. C., BARBOSA JUNIOR, J. A. F., MENDONÇA M. V. B., “Grounding System Modelling and its Impact on Computational Refunding Analysis for Equipment Damages”, Renewable Energy and Power Quality Journal, v. 09, p. 1/6, 2011.
- [5] BACCA, I. A., MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., GONDIM I. N., OLIVEIRA J. C., “ATP-MODELS Language to Represent Domestic Refrigerators Performance With Power Quality Disturbances”, Renewable Energy and Power Quality Journal, v. 07, p. 1/6, 2009.

b) Congressos, seminários e conferências internacionais

- [1] GONDIM I. N., REZENDE P. H. O., OLIVEIRA J. C., MACEDO JUNIOR J. R., “Reimbursement Procedure due to Electrical Damages: the Subject Relevance, Juridical Fundamentals, Agency Standards, Analysis Procedures and Trends”, International Conference on Renewable Energies and Power Quality – ICREPQ, Santiago de Compostela– Espanha, Março de 2012.
- [2] GONDIM I. N., TAVARES C. E., BARBOSA JUNIOR, J. A. F., OLIVEIRA J. C., REZENDE P. H. O., “A Proposal for Computational Refunding Analysis based on Real Time Disturbances Measurements”, International Conference on Renewable Energies and Power Quality – ICREPQ, Santiago de Compostela– Espanha, Março de 2012.
- [3] GONDIM I. N., TAVARES C. E., BARBOSA JUNIOR J. A. F., DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., MENDONÇA M. V. B., “Electronic Equipment Dielectric and Thermal Withstand Capability Curves for Refunding Analysis Purposes”, Electrical Power Quality and Utilization – EPQU, Lisboa – Portugal, Outubro de 2011.
- [4] REZENDE P. H. O., OLIVEIRA J. C., GONDIM I. N., BACCA I. A., “Air Conditioner ATP Time Domain Model and Validation Focusing Reimbursement Requests Associated to System Disturbances”, Electrical Power Quality and Utilization – EPQU, Lisboa – Portugal, Outubro de 2011.
- [5] GONDIM I. N., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., DELAIBA A. C., BARBOSA JUNIOR, J. A. F., MENDONÇA M. V. B., “Grounding System Modelling and its Impact on Computational Refunding Analysis for Equipment Damages”, International Conference on Renewable Energies and Power Quality – ICREPQ, Gran Canária – Espanha, Abril de 2011..
- [6] MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., GONDIM I. N., TAVARES C. E., “Modelagem e Avaliação dos Impactos dos Sistemas de Aterramento nas Análises Computacionais de PID’s” IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition - T&D Latinamerica, São Paulo – Brasil, Novembro de 2010.
- [7] GADENZ F., QUADRADO JUNIOR J. N., SILVA O. A., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., TAVARES C. E., GONDIM I. N., MENDONÇA M. V. B.,

- “Aplicativo Computacional para Análise da Consistência de Solicitações de Ressarcimento por Danos Elétricos: A Relevância dos Aterramentos” VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais – INDUSCON, São Paulo – Brasil, Novembro de 2010.
- [8] BACCA I. A., MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., GONDIM I. N., OLIVEIRA J. C., “ATP-MODELS Language to Represent Domestic Refrigerators Performance with Power Quality Disturbances”, International Conference on Renewable Energies and Power Quality – ICREPQ, Valencia – Espanha, Abril de 2009.
- [9] BACCA I. A., OLIVEIRA J. C., CHAVES M. L. R., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., FLACH E., “Modelagem de Motores de Indução Monofásicos via ATP-MODELS para Estudos de Desempenho de Refrigeradores no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, VII Conferência Internacional de Aplicações Industriais – INDUSCON, Poços de Caldas – Brasil, Agosto de 2008.
- [10] GONDIM I. N., DIAS G. S., BACCA I. A., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., RODRIGUES K. D., FLACH E., “Modelagem de Condicionadores UPS Estático (No Break) sob Condições Não Ideais de Alimentação na Plataforma ATP”, VII Conferência Internacional de Aplicações Industriais – INDUSCON, Poços de Caldas – Brasil, Agosto de 2008.
- [11] MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E. , RODRIGUES K. D., GONDIM I. N., SILVA R. M. T., “A Case Study of Electronic Device Modeling and Performance Analysis with Non Ideal Supply Conditions Using ATP Simulator”, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Chicago – USA, Abril de 2008.

c) Congressos, seminários e conferências nacionais

- [1] GONDIM I. N., REZENDE P. H. O., OLIVEIRA J. C., MACEDO JUNIOR. J. R., SALOMÃO A. C. O., KAGAN N., “ Relevância, Fundamentos Jurídicos, Regulação e Procedimentos de Análise Associados com Pedidos de Ressarcimentos por Danos Elétricos no Brasil”, Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE, Goiânia, 2012.
- [2] REZENDE P. H. O., OLIVEIRA J. C., GONDIM I. N., BACCA I. A., “Modelagem de Aparelhos Condicionadores de Ar no Simulador ATP para Avaliações de Pedidos de Ressarcimento”, IX CBQEE, Cuiabá/MT, Agosto de 2011.
- [3] GONDIM I. N., MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., BARBOSA JUNIOR, J. A. F., OLIVEIRA J. C., OLIVEIRA A., ROCHA JUNIOR L., “ Uma proposta para avaliação computacional de pedidos de ressarcimento fundamentada em medições de distúrbios em tempo real”, IX CBQEE, Cuiabá/MT, Agosto de 2011.
- [4] GONDIM I. N., MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., BARBOSA JUNIOR, J. A. F., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., BORGES J., MARTINS E., “Modelagem e Avaliação de Desempenho de Supressores de Surto e suas Influências nas Análises Computacionais de PIDs”, IX CBQEE, Cuiabá/MT, Agosto de 2011.
- [5] REZENDE P. H. O., OLIVEIRA J. C., GONDIM I. N., DELAIBA A. C., BACCA I. A., “Análise Computacional de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos da Linha Branca: Estudos de Casos”, IX CBQEE, Cuiabá/MT, Agosto de 2011.
- [6] GONDIM I. N., MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., BARBOSA JUNIOR, J. A. F., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., BORGES J., MARTINS E., “Propostas de Curvas de Suportabilidade Dielétrica e Térmica para Equipamentos Eletroeletrônicos” , IX CBQEE, Cuiabá/MT, Agosto de 2011.
- [7] OLIVEIRA J. C., MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., GONDIM I. N., DELAIBA A. C., “Aplicativo Computacional para Suporte Técnico à Análise e Parecer de Pedidos de Ressarcimento”, Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE, Belém, 2010.

- [8] GONDIM I. N., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., BACCA I. A., “ATP-Based Modeling to Represent Dishwasher Performance with Power Quality Disturbances”, 10º Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência – COBEP, Bonito /MS, Setembro de 2009.
- [9] GONDIM I. N., MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., OLIVEIRA J. C., CHAVES M. L. R., BACCA I. A., “Uma proposta de modelagem de máquinas de lavar roupas na plataforma ATP para estudos de desempenho sob condições não ideais de suprimento”, VIII CBQEE, Blumenau/SC, Agosto de 2009.
- [10] MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., TAVARES C. E., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., “Análise Computacional de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos Elétricos: Estudo de Caso”, VIII CBQEE, Blumenau/SC, Agosto de 2009
- [16] MENDONÇA M. V. B., GONDIM I. N., TAVARES C. E., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., “Simulação Computacional de Pedido de Ressarcimento por Danos em Aparelhos Eletroeletrônicos”, VII CEEL, Uberlândia/MG, Setembro de 2009.
- [17] GONDIM I. N., DIAS G. S., BACCA I. A., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., RODRIGUES K. D., FLACH E., “Modelagem de Condicionadores UPS Estático (No Break) sob Condições Não Ideais de Alimentação na Plataforma ATP”, VI CEEL, Uberlândia/MG, Agosto de 2008.
- [18] MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., TAVARES C. E., RODRIGUES K. D., GONDIM I. N., SILVA R. M. T., “Projector Modeling and Performance Analysis with Non Ideal Supply Conditions Using ATP Simulator”, IX COBEP, Blumenau/SC, Outubro de 2007.
- [19] MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., GONDIM I. N., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., SILVA R. M. T., “Proposta de Metodologia Computacional para Auxiliar na Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento”, V CEEL, Uberlândia/MG, Setembro de 2007.
- [20] GONDIM I. N., TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., RODRIGUES K. D., SILVA R. M. T., “Modelagem e Análise de Desempenho de

Fontes Chaveadas sob Condições Não Ideais de Alimentação na Plataforma ATP”, V CEEL, Uberlândia/MG, Setembro de 2007.

- [21] MENDONÇA M. V. B., TAVARES C. E., GONDIM I. N., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., RODRIGUES K. D., SILVA R. M. T., “Modelagem de Equipamentos Eletroeletrônicos Utilizando Fontes Lineares e Chaveadas sob Condições Não Ideais de Alimentação na Plataforma ATP”, VII CBQEE, Santos/SP, Agosto de 2007.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DUGAN R. C., MCGRANAGHAN M. F., SANTOSO S., BEATY H. W., “Electrical power systems quality”, 2nd ed., McGraw-Hill, Nova York, 2003.
- [2] BOLLEN M. H. J., “Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions”, Piscataway, IEEE Press, 2000.
- [3] OLIVEIRA H. R. P. M., JESUS N. C., MARTINEZ M. L. B., “Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos Durante Ensaio de Sobretensões”, XVIII SNPTEE, Curitiba/PR, outubro de 2005.
- [4] TEIXEIRA M. D., ARAÚJO R. L., ARDJOMAND L. M., AOKI A. R., QUOIRIN N. S. R., WUNDERLICH I., “Acceptable Power Quality Limits to Avoid Damages in Appliances”, WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Issue 5, vol. 4, maio de 2005.
- [5] ERMELER K., PFEIFFER W., SCHOEN D., SCHOCKE M., “Surge Immunity of Electronic Equipment”, IEEE - Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, 1998.
- [6] 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 Universidade de São Paulo, USP, São Paulo/SP, 2003.
- [7] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Normativa N^o 61, de 29 de Abril de 2004.
- [8] ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, “Submódulo 2.2 – Padrões de Desempenho da Rede Básica”, dezembro de 2002.
- [9] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica - Resolução Normativa N^o 360, de 14 de abril de 2009.

-
-
- [10] ARRILLAGA J. and ARNOLD C.P., "Power Systems Electromagnetic Transients Simulation", IEE Power & Energy Series, 39 - Institution of Electrical Engineers, 2002.
- [11] KENNEDY B. W., "Power Quality Primer", McGraw-Hill, 2000.
- [12] KUSKO A., THOMPSON M. T., "Power Quality in Electrical Systems" 12st ed., McGraw-Hill Professional, Nova York, 2007.
- [13] SANTOS A. C. D., "Desempenho de Fontes Lineares e Chaveadas no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, setembro de 2001.
- [14] 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.
- [15] PENICHE R. A., "Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos diante de Distúrbios da Qualidade da Energia – Enfoque: Aparelhos de DVD, Fax e Telefone sem fio", dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, maio de 2004.
- [16] CORNICK K. J., LI, H. Q., "Power Quality and Voltage Dips: problem, Requeriments, Responsibilities", Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM 2000, pp 149 – 156, Hong Kong, outubro de 2000.
- [17] REID, W. EDWARD, "Power Quality Issues – Standards Guidelines", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 32, pp 625 – 632, maio/junho de 1996.
- [18] PQTN BRIEF 39: "Ride-trough Performance of Programmable Logic Controllers", EPRI Power Eletronics Applications Center, Knoxville, TN, novembro de 1996.
- [19] HERMES R. P. M., OLIVEIRA., JESUS N. C., VIECILI G. B., "Sensibilidade de Equipamentos Eletrodomésticos Submetidos a Afundamentos de Tensão" - XVIII

SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba-PR, outubro de 2005.

- [20] SMITH J. C., LAMOREE J., VINETT P., DUFFY T. AND KLEIN M., “The Impact of Voltage Sags on Industrial Plant Loads”, Int. Conf. Power Quality: End-use applications and perspectives (PQA-91), pp. 171 – 178.
- [21] ITIC (CBEMA) Curve Application Note. Disponível *online* em: “<http://www.itic.org/clientuploads>”, acessado em junho de 2012.
- [22] SEKINE Y., YAMONOTO T., MORI S., SAITO N., KUROKAWA H., “Presents State of Momentary Voltage Dip Interferences and the Countermeasure in Japan”.Inc. Conf. On Large Electric Networks (CIGRE), 34th Session, Paris, França, 1992.
- [23] ANDERSON LISA M., Northeast Utilits, and Bowes, Kenth B., “The Effects of Power Line Disturbances on Consumer Eletronic Equipment”, IEEE Transation on Power Delivery, vol. 5, pp. 1062 – 1065, abril de 1990.
- [24] SMITH, STHEPHEN B. AND STANDLER, RONALD B., “The Effects of Surges on Eletronic Appliances”, IEEE Transation on Power Delivery, vol. 7, pp. 1275 – 1282, julho de 1992.
- [25] ARSENEAU, R., OUELLETTE, M., “The Effects of Supply Harmonics on the Performance of Compact Fluorescent Lamps”, IEEE Transation on Power Delivery, vol. 8, pp. 473 – 479, abril de 1993.
- [26] FUCHS, E. F., ROESLER, D. J. E KOVACS, K. P., “Sensibility of Eletrical Appliances to Harmonics and Fractional harmonics of the Power Systems Voltage. Part: Television sets, Induction Wathour and Universal Machines”, IEEE Transaction on Power Delivery, vol. PWRD-2, pp. 1275 – 1282, abril de 1987.
- [27] CARVALHO, B. C., “Desempenho de Aparelho Condicionador de Ar no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, julho de 2002.

-
-
- [28] AZEVEDO, A. C., “Desempenho de Refrigeradores Domésticos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, julho de 2002.
- [29] MAGALHÃES, R. N., “Controlador Lógico Programável no Contexto da Qualidade da Energia”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, julho de 2003.
- [30] TAVARES, C. E., “Uma Proposta Computacional para a Análise Técnica da Consistência de Pedidos de Ressarcimento por Danos em Equipamentos”, tese de doutorado, UFU, Uberlândia/MG, maio de 2008.
- [31] IEC 61000-4-5 (“Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurements Techniques – Section 5: Surge Immunity Test”) 29/11/2005.
- [32] IEC 61000-4-11 (“Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and Measurements Techniques – Section 11: Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests”), 24/03/2004.
- [33] Alternative Transients Program (ATP) Rule Book, julho de 1987.
- [34] BACCA, I. A., “Modelagem para Análise de Desempenho de Equipamentos da Linha Branca diante de Distúrbios de Qualidade da Energia”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, setembro de 2008.
- [35] ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, “Procedimento para Análise de Solicitação de Ressarcimento de Danos Materiais a Terceiros”, 2003.
- [36] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – Superintendência de Mediação Administrativa Setorial – “Ressarcimento de Danos em Equipamentos Elétricos Causados por Descargas Atmosféricas e Manobras” – Brasília, março de 2002.
- [37] PAZOS, F. J., AMANTEGUI, J., FERRANDIS, F., BARONA, A., “Sobretensões em Sistemas de BT devidas a manobras na média tensão”, Revista Eletricidade Moderna, abril de 2008.

-
-
- [38] COSTA, B. R., LUCIANO, V. J., “Uma Nova Abordagem Técnica sobre a Queima de Equipamentos em Análises de Ressarcimento de Danos” XVII SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Belo Horizonte-MG, agosto de 2006.
- [39] SCHEIBE, K., SCHIMANSKI, J., WETTER, M., ALTMAIER, H., “Danos a Equipamentos Eletroeletrônicos Causados por Raios a Longas Distâncias”, Revista Eletricidade Moderna, agosto de 2007.
- [40] SHIGA A.A., PIANTINI A. E PEGOLLO C.A.G., “Custos Relativos a Descargas Atmosféricas em Sistemas de Distribuição de Energia”, SBSE - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, Campina Grande/PB, julho de 2006.
- [41] ABNT NBR 5410 – Norma Brasileira de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, 2ª Edição, 30/09/2004.
- [42] CIPOLI J. A., NOGUEIRA E. D. B., RIOS A. J. S., “Ressarcimento de Danos Elétricos”, II CITENEL – Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Salvador/BA, novembro de 2003.
- [43] GARCEZ, J. N., OLIVEIRA, R. C. L., OLIVEIRA, L. A. H. G., TOSTES, M. E., MORAES, J. R. B., A., SANTOS, N. P., TUPIASSU, A. A. A., SANTOS, D. P., MULLER, E., “Rede Neural de Ativação Interativa Competitiva – IAC para Auxílio à Tomada de Decisão sobre Responsabilidade por Danos em Consumidores de Energia Elétrica”, II CITENEL – Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Salvador/BA, novembro de 2003.
- [44] TEIXEIRA M. D., “Uma Estrutura Laboratorial para Testes de Desempenho de Equipamentos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG, julho de 2003.
- [45] MENDONÇA, M. V. B., “Contribuições ao Processo Computacional para Análise de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos Elétricos”, tese de doutorado, UFU, Uberlândia/MG, fevereiro de 2010.
- [46] REZENDE P. H. O., OLIVEIRA J. C., GONDIM I. N., DELAIBA A. C., BACCA I. A., “Análise Computacional de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos da Linha Branca: Estudos de Casos”, IX CBQEE, Cuiabá/MT, Agosto de 2011.

-
-
- [47] DELAIBA A. C., OLIVEIRA J. C., GONDIM I. N., TAVARES C. E., “Metodologia para Análise de Ressarcimento de Equipamentos Eletroeletrônicos Incluindo Dispositivos Mitigadores”, CITENEL, Fortaleza, Agosto 2011.
- [48] IEEE C62.41 (“IEEE Recommended Practice for Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits”) 1991.
- [49] IEEE C62.34 (“IEEE Standard for Performance of Low-Voltage Surge-Protective Devices”) 1996.
- [50] IEEE C62.45 (“IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage(1000 V and less) AC Power Circuits”) 2002.
- [51] IEC 61643-1 (“Low-voltage surge protective devices Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Requirements and test”) 26/11/2007.
- [52] ÁVILA 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, 2011.
- [53] BORGES J. M., “Desenvolvimento de uma Metodologia para Análise de Ressarcimento de Aparelhos de Som Associados aos Distúrbios na Rede Elétrica da CEMIG Testando Dispositivos Mitigadores ”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG,2012.
- [54] MARTINS E. A., “Elaboração de Curvas de Suportabilidade para Microcomputadores e Estudos de Desempenhos de Dispositivos Mitigadores para Subsidiar PIDs”, dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia/MG,2012.