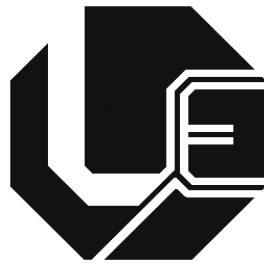


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



DESENVOLVIMENTO DE UMA
METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE
RESSARCIMENTOS DE APARELHOS DE
SOM, ASSOCIADOS AOS DISTÚRBIOS NA
REDE ELÉTRICA DA CEMIG, TESTANDO
DISPOSITIVOS MITIGADORES

Jonmil Marques Borges

Uberlândia
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA
METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE
RESSARCIMENTOS DE APARELHOS DE
SOM, ASSOCIADOS AOS DISTÚRBIOS NA
REDE ELÉTRICA DA CEMIG, TESTANDO
DISPOSITIVOS MITIGADORES**

Dissertação apresentada por Jonmil Marques Borges à Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

BANCA EXAMINADORA:

Antônio Carlos Delaiba, Dr. - UFU (Orientador)

Jose Carlos de Oliveira, PhD. - UFU

Carlos Eduardo Tavares, Dr. - UFU

Marcus Vinicius Borges Mendonça, Dr. - UNB

DESENVOLVIMENTO DE UMA
METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE
RESSARCIMENTOS DE APARELHOS DE
SOM, ASSOCIADOS AOS DISTÚRBIOS NA
REDE ELÉTRICA DA CEMIG, TESTANDO
DISPOSITIVOS MITIGADORES

Jonmil Marques Borges

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia como parte dos requisitos necessários á obtenção do título
de Mestre em Ciências.

Prof. Antônio Carlos Delaiba Dr.
Orientador - UFU

Prof. Alexandre Cardoso PHD.
Coordenador do Curso de Pós- Graduação

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG – Brasil

B732s Borges, Jonmil Marques, 1961-
2012

Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimentos de aparelhos de som, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores/ Jonmil Marques Borges. - 2012.

111 f. : il.

Orientador: Antônio Carlos Delaiba.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Sistemas de energia elétrica - Controle de qualidade - Teses. I. Delaiba, Antônio Carlos. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 621.3

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Waldo e Clarinda, a minha esposa Laelia e meus filhos Jonmil e Tayrine pelo apoio, compreensão, amor, dedicação e incentivo, essenciais para a realização desta dissertação, bem como para todos os obstáculos e desafios superados em minha vida.

AGRADECIMENTOS

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

De maneira muito especial, apresento meus sinceros agradecimentos ao Professor Antônio Carlos Delaiba pela orientação, apoio, incentivo e colaboração a mim dispensada, fundamental para a realização de todas as etapas desta dissertação. Agradeço também, pela confiança e a amizade consolidada que, com toda certeza, vão além desses horizontes.

Aos professores Jose Carlos de Oliveira, Carlos Eduardo Tavares pela amizade, auxílio e prontidão nos esclarecimentos.

Aos amigos Isaque Nogueira Gondim, João Areis Júnior e Marcus Vinicius Borges Mendonça, pelos apoios que tornam esta conquista, em nossa promissora trajetória, ainda mais significativa.

Aos colegas e amigos da CEMIG pelo companheirismo e importante apoio que me deram desde o início deste trabalho.

Aos demais colegas e professores de pós-graduação, pelo incentivo e apoio que em muito contribuíram para a conclusão desta dissertação.

RESUMO

Na atualidade, pesquisas e desenvolvimentos associados à Qualidade de Energia Elétrica, têm motivado uma grande parcela da sociedade voltada para os estudos da engenharia elétrica. Entre as diversas áreas de interesse, encontram-se as investigações relacionadas com a operação de grandes, médios e pequenos dispositivos, frequentemente encontrados nas instalações industriais, comerciais e residenciais. Somado às questões de análise de desempenho destes produtos, encontram-se intimamente atrelados, os aspectos relacionados com os níveis de sensibilidade e suportabilidade dos equipamentos face aos distúrbios de qualidade de energia. Estas preocupações encontram forte sustentação junto aos processos decisórios sobre os ressarcimentos de consumidores. Reconhecendo, pois, a importância destes fatos, esta dissertação de mestrado dedica-se ao levantamento dos limites admissíveis de tensão e de corrente de um aparelho de som. Uma proposta de metodologia e estruturação laboratorial para ensaios destrutivos é apresentada envolvendo ensaios à frequência industrial, simulação de queda de cabo da média na baixa tensão e transitórios impulsivos que balizaram a elaboração das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica do equipamento investigado. Com base nos resultados obtidos, alguns casos reais de pedidos de indenização junto a uma concessionária de energia elétrica são apresentados e simulados no aplicativo APR. Além disso, estudos complementares são realizados no sentido de avaliar a influência de dispositivos mitigadores nas análises técnicas e seus impactos na emissão de pareceres de pedidos de ressarcimento de danos elétricos.

Palavras-Chave: Ressarcimento de danos, Qualidade da Energia, Curvas de Suportabilidade Dielétrica e Térmica.

ABSTRACT

Nowadays, researches and developments related to Power Quality subject have motivated a great amount of work in many centers involved with studies on electrical engineering. Amongst the areas of interest, emerge the investigations associated to the operation of large, medium and small electric-electronic devices. These are frequently found in industrial, commercial and residential installations. Added to the questions of performance analysis of these products, the degree of equipment sensitivity, supportability and withstand capabilities are becoming major concerns in this context. These worries are quite relevant so as to define the equipment/process dependence with the supply conditions as well as the definition of compensation solutions such as consumers refunding. Recognizing, therefore, the importance of these facts, this work is devoted to obtaining the allowable limits of voltage and current of a stereo. A proposed methodology and structure for laboratory destructive testing is presented involving tests at power frequency, simulation of falling out of the high voltage in the low voltage cables and impulsive transients that guided the development of the thermal and dielectric withstand capability curves of the equipment under investigation. Based on the results obtained, some real cases of compensation claims along with an electric utility are presented and simulated in computer application APR. In addition, further studies are carried out to evaluate the influence of mitigating devices in analysis techniques and their impact on emission of reports for electrical damages claim.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

Introdução geral	11
1.1 - Considerações iniciais	11
1.2 - Estado da arte sobre o tema central desta pesquisa	14
1.3 – Contribuições desta dissertação	21
1.4 – Estrutura da Dissertação	22

CAPÍTULO II

Análises Quantitativas dos Ressarcimentos de Aparelhos de SOM.....	24
2.1 – Considerações iniciais.....	24
2.2 – Levantamentos quantitativos.....	25
2.3 - Considerações Finais	29

CAPÍTULO III

Análise da Suportabilidade Dielétrica e Térmica de Aparelhos de Som.....	30
3.1 – Considerações iniciais	30
3.2 - Curvas de suportabilidade existentes.....	31
3.3 – Metodologia para quantificação dos limites de suportabilidade dielétrica e térmica	36
3.4 - Sistematização de uma Metodologia e Estrutura laboratorial para a Realização de Ensaios de Sobretensões	41
3.5 – Ensaios de sobretensões na frequência industrial	47
3.6 - Ensaios de impulso de tensão e corrente experimentais e destrutivos oriundos do fenômeno associado com as descargas atmosféricas.	56
3.7 – Obtenção das curvas de suportabilidade dielétrica para inserção no APR.....	70
3.8 – Obtenção das curvas de suportabilidade térmica para inserção no APR.....	72
3.9 – Considerações Finais	75

CAPÍTULO IV

Estudos de Casos Reais	76
4.1 – Considerações iniciais	76
4.2 - Casos reais de pedidos de indenização	84
4.3 - Considerações finais.....	105

CAPÍTULO V

Conclusões	106
REFERÊNCIAS	110

CAPÍTULO I

Introdução geral

1.1 - Considerações iniciais

O grande número de pedidos de ressarcimento por danos em equipamentos elétricos e eletrônicos tem, nos últimos tempos, merecido a atenção das concessionárias de energia, agências de regulação, consumidores e outros órgãos governamentais. Tais preocupações estão associadas não apenas com os volumes financeiros envolvidos, mas, sobretudo, com os impactos sociais atrelados com solicitações, decisões, conflitos e outras questões que envolvem a relação entre as concessionárias de distribuição de energia elétrica e seus consumidores.

Atualmente, pelo crescente acesso à informação e maior divulgação dos direitos do consumidor, a população encontra-se melhor informada e mais consciente dos seus direitos enquanto consumidores. Diante destes aspectos, tem-se constatado um aumento significativo dos pedidos de ressarcimento feitos por consumidores atendidos em baixa tensão, às empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, devido aos danos em equipamentos eletroeletrônicos, possivelmente ocasionados por problemas na qualidade da energia elétrica de suprimento. Estas situações de conflitos entre consumidor e concessionárias têm crescido e se mostra com uma taxa extremamente elevada, fato este que permite concluir que, em um futuro próximo, o assunto em pauta se apresentará como um dos mais relevantes pontos impactantes sobre o relacionamento entre os fornecedores e os consumidores de energia [1]. Por conseguinte, o tema, como um todo, vem motivando: investigações direcionadas à melhoria do processo de análise das questões em foco, domínio e difusão do

conhecimento da correlação entre os distúrbios e efeitos [2], [3], assim como o fornecimento de diretrizes para o oferecimento de produtos que possuam um maior nível de suportabilidade diante dos distúrbios típicos nas redes elétricas [4], [5], [6].

De fato, a primeira destas frentes aponta no sentido do estabelecimento de um processo avaliativo dos pedidos de indenização de forma justa e coesa; a segunda visa à obtenção de dados que esclareçam sobre a relação entre as solicitações térmicas e dielétricas sobre os equipamentos; e a terceira contempla aspectos relacionados com melhorias da fabricação dos diversos componentes presentes nas instalações residenciais, comerciais e industriais, bem como a utilização de dispositivos mitigadores para minimizar os efeitos associados aos possíveis distúrbios ocorridos nas redes elétricas.

Em se tratando da questão das correlações entre distúrbios manifestados nas redes de distribuição e efeitos danosos em produtos e, por conseguinte, da problemática vinculada com a controvérsia área designada por PID's (Pedidos de indenização por danos), os processos de indenização passam, necessariamente, pela utilização de balizadores para orientar as análises. Neste particular ressaltam-se: os documentos produzidos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica); os procedimentos das empresas e; na experiência e no bom senso que norteiam as soluções de conflito.

Não obstante a busca pela verdade, os métodos comumente utilizados não encontram, via de regra, sustentação em princípios científicos ou técnicos e, diante desta situação, muitas vezes ocorrem incompreensões e insatisfações quanto aos pareceres finais. Neste sentido, a busca por mecanismos fundamentados na ciência e tecnologia, que permitam conduzir, de forma isenta aos interesses individuais, à respostas consistentes, constituem em grandes metas a serem alcançadas.

Da argumentação anterior desprende a necessidade do desenvolvimento de procedimentos sistematizados, em que pese o equilíbrio entre o emprego de recursos computacionais baseados em procedimentos aceitos como adequados ao processo da reprodução de fenômenos anômalos, modelagens e cálculos fundamentados na teoria e em informações advindas de ensaios laboratoriais. Estes, uma vez combinados, podem produzir ferramentas confiáveis destinadas a balizar as decisões das concessionárias quanto aos pedidos de ressarcimento de danos. Assim agindo, acredita-se, serão viabilizados meios para minimizar os desgastes

das empresas junto aos consumidores, e ainda, a quantidade e os altos custos associados com as demandas judiciais.

Desta maneira, a simulação em ambiente computacional para avaliar o desempenho de um sistema de distribuição e, conseqüentemente, qualificar e quantificar as perturbações ocorridas e seus efeitos e impactos nos equipamentos conectados ao sistema, apresenta-se como uma ferramenta fundamentada em princípios físicos e técnicos isentos de interesse de uma ou outra parte.

Seguindo esta filosofia, o Grupo de Pesquisadores da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, atuante na área da Qualidade da Energia Elétrica, ao longo dos últimos anos, através de dissertações, teses, projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) e artigos técnicos[7,8,9,10], concebeu, desenvolveu, implementou e realizou testes avaliativos em um aplicativo computacional destinado a cumprir as metas mencionadas.

A ferramenta computacional assim obtida foi denominada por “Analisador de Pedidos de Ressarcimento”- APR-1.0[7]. Esta primeira versão foi desenvolvida através de um P&D entre CEB-UFU. Posteriormente, foi elaborada a versão APR-2.0, a partir de um P&D entre LIGHT-UFU[8,9]. E por fim a versão APR-3.0 – CEMIG [11,12,13].

Dentro deste cenário, esta dissertação descreve os avanços, aprimoramentos e desenvolvimentos na metodologia computacional supramencionada, a qual está alicerçada em indicadores dos níveis de solicitações dielétricas e térmicas dos equipamentos eletroeletrônicos, quando submetidos à ação de distúrbios na rede elétrica. Tais indicadores constituem-se nas bases para o estabelecimento de um processo comparativo entre causas e efeitos, quando então os fenômenos manifestados nas redes são correlacionados com os padrões de suportabilidade dos produtos sob análise, conduzindo, por fim, a existência ou não donexo causal associado com a solicitação sob análise.

Comparativamente ao estágio original do mencionado aplicativo computacional, foram implementados os seguintes avanços técnicos e científicos: modelagem, implementação computacional e análise de dispositivos de proteção contra surto (DPS's), avaliação do DPS através de ensaios laboratoriais frente a transitórios impulsivos de tensão e corrente, levantamento, obtenção e inserção computacional de novos padrões de suportabilidade dielétrica e térmica, obtidos

através de ensaios laboratoriais destrutivos em aparelhos de som. Uma vez adicionadas tais melhorias na versão original do aplicativo computacional obteve-se um produto com maior identificação com a realidade operacional e os problemas de campo, e que recebeu a designação APR-3.0 – CEMIG [11,12].

1.2 - Estado da arte sobre o tema central desta pesquisa

Como consequência da realização de pesquisas e estudos na produção bibliográfica vinculada aos assuntos apresentados, a qual foi encontrada por meios tradicionais de acesso, obteve-se um considerável conjunto de informações acerca dos trabalhos e os avanços obtidos sobre o tema ressarcimento de danos. A partir desta pesquisa realizada, chegou-se a conclusão que os principais documentos consultados nesta área do conhecimento são a seguir discriminados:

Referência [1]

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

Autor(es): Anderson da Silva Jucá

Origem: Tese de Doutorado - USP, 2003.

Resumo: Este trabalho analisa o agravamento das relações entre consumidores e concessionárias a respeito dos pedidos de ressarcimento por danos em aparelhos elétricos provocados por distúrbios da rede elétrica.

A agência de regulação percebe um número crescente de conflitos entre as partes, e, atualmente, não dispõe de meios eficientes para resolvê-los.

A pesquisa mostra a experiência internacional, estuda aspectos técnicos, econômicos e jurídicos relevantes para o tema, e conclui que uma forma adequada de diminuir tais conflitos é reduzir a probabilidade de que os danos possam ocorrer. Propõe ações envolvendo concessionárias e sociedade para a proteção do sistema, equilibrando responsabilidades pela instalação de dispositivos protetores para diminuir a solicitação dos surtos transitórios motivadores dos conflitos, pela dificuldade de registro de ocorrência – sobre os aparelhos, e, por outro lado, buscando formas de que se diminua a susceptibilidade dos aparelhos.

Referência [2]

Título: Eletrical Power Systems Quality

Autor(es): Dugan, Roger C.; McGranaghan, M. F.; Santoso, S.; Beaty, H. W.

Origem: McGraw-Hill, Second Edition 2002.

Resumo: Excelente referência para o estudo e conhecimento dos problemas de qualidade da energia e sua prevenção. Aborda questões relativas às variações de tensão de curta duração, harmônicos, aterramento, sobretensões transitórias resultantes de descargas atmosféricas, analisando o impacto destes fenômenos nas cargas e fornecendo estratégias de mitigação utilizadas pelas concessionárias e consumidores.

Referência [3]

Título: An Approach for Consumers Refunding Analysis Associated to Voltage Disturbances and Equipment Damages

Autor(es): Carlos Eduardo Tavares, José Carlos de Oliveira, Marcus Vinícius Borges Mendonça, Antônio Carlos Delaiba, Rildo Marley Tavares da Silva

Origem: SOBRAEP - The Brazilian Journal of Power Electronics, Fevereiro/2008.

Resumo: Este artigo visa apresentar os fundamentos para uma metodologia computacional para ajudar no estabelecimento da análise de desempenho do dispositivo eletroeletrônica do ressarcimento dos consumidores. A estratégia é baseada no cálculo de estresses dielétrico e térmico do dispositivo com distúrbios diferentes do sistema de energia. Tal estratégia consiste em uma primeira orientação para suportar estudos, análise e relatórios sobre a decisão de reembolsar consumidores em um assunto tão complexo. A aproximação é baseada em modelagem no domínio de tempo e implementação computacional de dispositivos eletrônicos e de elementos diferentes da rede elétrica no programa do ATP para simular os distúrbios do sistema de energia e o desempenho do equipamento. Neste trabalho, um dispositivo típico de TV é usado para ilustrar a metodologia proposta. O estresses dielétrico e térmicos aqui considerados são relacionados com a ocorrência

de elevação da tensão, transitórios oscilatórios e do impulso de alta frequência relacionados às descargas elétricas.

Referência [4]

Título: Understanding Power Quality Problems.
Autor(es): Bollen, Math H. J..
Origem: IEEE Press Series on Power Engineering, 2000.

Resumo: Esta publicação apresenta uma análise detalhada das variações de tensão de curta duração (Voltage Sags) e interrupções, aplicando técnicas matemáticas na solução destes distúrbios. Métodos de mitigação, caracterização e comportamento de equipamentos sujeitos a estas variações de tensão também são comentados e ponderados.

Referência [5]

Título: Surge Immunity of Electronic Equipment
Autor(es): K. Ermeler, W. Pfeiffer, D. Schoen, M. Schocke
Origem: IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 14, 1998.

Resumo: Este artigo mostra os resultados de testes de aparelhos videos-cassete em laboratório com respeito à suportabilidade destes equipamentos contra sobretensões transitórias. O objetivo principal do experimento, realizado de acordo com as exigências da IEC, foi obter informações sobre o desempenho de um equipamento eletrônico de uso normal dos consumidores. O estudo revelou que apenas sete aparelhos passaram no teste sem nenhum dano, e quase todas as falhas observadas estavam situadas na entrada da fonte de alimentação. Embora o dano seja bem pequeno e limitado a alguns componentes, um dispendioso reparo é requerido em alguns casos, segundo o autor.

Referência [6]

Título: Uma Estrutura Laboratorial para Testes de Desempenho de Equipamentos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica
Autor(es): Mateus Duarte Teixeira

Origem: Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Julho, 2003.

Resumo: A realização de ensaios de desempenho é de fundamental importância para o conhecimento do comportamento dos mais distintos equipamentos quando estes se encontram submetidos a suprimentos elétricos não ideais, isto é, com perda da qualidade do padrão de alimentação. Estes trabalhos laboratoriais permitem obter, dentre outras características, os níveis de sensibilidade e suportabilidade das cargas para os mais diversos tipos de distúrbios. Dois aspectos devem ser considerados para atingir tais metas. Primeiramente, há de se reconhecer a inexistência de procedimentos normalizados que definam qualitativa e quantitativamente os testes a serem efetuados. Este fato, por si só, representa um grande desafio a ser vencido. Na sequência, estão as questões vinculadas com uma estrutura laboratorial que sistematize os procedimentos de ensaios então definidos. Nesta etapa, além dos recursos materiais que se fazem necessários, destaca-se, sobretudo, a obtenção de aplicativos destinados a representar os mais distintos fenômenos de qualidade classicamente conhecidos. Inserido, pois neste contexto, surge a essência desta dissertação, a qual, somado a outras contribuições, contempla os dois pontos fundamentais supramencionados.

Referência [7]

Título: An Approach for Consumers Refunding Analysis Associated to Voltage Disturbances and Equipment Damages

Autor(es): Carlos Eduardo Tavares, José Carlos de Oliveira, Marcus Vinícius Borges Mendonça, Antônio Carlos Delaiba, Rildo Marley Tavares da Silva

Origem: SOBRAEP - The Brazilian Journal of Power Electronics, Fevereiro/2008.

Resumo: Este artigo visa apresentar os fundamentos para uma metodologia computacional para ajudar no estabelecimento da análise de desempenho do dispositivo eletroeletrônica do ressarcimento dos consumidores. A estratégia é baseada no cálculo de estresses dielétrico e térmico do dispositivo com distúrbios diferentes do sistema de energia. Tal estratégia consiste em uma primeira

orientação para suportar estudos, análise e relatórios sobre a decisão de reembolsar consumidores em um assunto tão complexo. A aproximação é baseada em modelagem no domínio de tempo e implementação computacional de dispositivos eletrônicos e de elementos diferentes da rede elétrica no programa do ATP para simular os distúrbios do sistema de energia e o desempenho do equipamento. Neste trabalho, um dispositivo típico de TV é usado para ilustrar a metodologia proposta. Os estresses dielétrico e térmico aqui considerados são relacionados com a ocorrência de elevação da tensão, transitórios oscilatórios e do impulso de alta frequência relacionados às descargas elétricas.

Referência [8]

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

Autor(es): Carlos Eduardo Tavares

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

Resumo: Esta dissertação de mestrado dedica-se a investigar a relação existente entre a Qualidade da Energia elétrica de suprimento e o desempenho de Televisores, Vídeos Cassete e Aparelhos de Som. Distúrbios típicos, tais como: distorções da forma de onda, elevações e afundamentos de tensão, oscilações e interrupções do suprimento de energia e transitórios oscilatórios de alta frequência são utilizados para avaliar o desempenho dos dispositivos. Os estudos são realizados pelos métodos experimental e computacional. Além das análises funcionais, obtêm-se curvas representativas dos níveis de tolerância dos produtos frente aos distúrbios considerados.

Referência [9]

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

Autor(es): Carlos Eduardo Tavares

Origem: Tese de Doutorado - UFU, 2008.

Resumo: Esta tese de doutorado apresenta a concepção de uma metodologia computacional, com base em indicadores dos níveis de solicitações dielétricas e térmicas, os quais são impostos aos equipamentos eletroeletrônicos quando submetidos à ação de distúrbios na rede elétrica. Tais indicadores são confrontados com os padrões de suportabilidade dos produtos sob análise, fornecendo uma orientação técnica que permita avaliar se os impactos dielétricos e térmicos provocados pela rede de suprimento em cada dispositivo são capazes de causar os danos reclamados. De forma a automatizar o processo de análise dos pedidos de ressarcimento, todos os desenvolvimentos são inseridos em um software elaborado especificamente para o tema, denominado por APR – Analisador de Pedidos de Ressarcimento.

Referência [10]

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

Autor(es): Marcus Vinicius Borges Mendonça

Origem: Tese de Doutorado - UFU, 2010.

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

Referência [11]

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

Autor(es): Orlando Adolfo da Silva.

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

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

Referência [12]

Título: Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores" CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatórios Técnicos 01,02,03 / ano 02 ,agosto de 2009.

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

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

Resumo: Os relatórios técnicos fazem parte dos produtos do P&D 238, os quais propõem uma metodologia para análise de ressarcimento de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios da rede elétrica da CEMIG, novo produto apresenta melhorias em relação aos anteriores na forma da disponibilização de uma nova biblioteca contendo curvas de suportabilidade térmicas e dielétricas que foram extraídas de vários testes destrutivos conduzidos em alguns aparelhos, a saber: televisores, aparelhos de som e microcomputadores.

Referência [13]

Título: Metodologia para Análise de Ressarcimento de Equipamentos Eletroeletrônicos Incluindo Dispositivos Mitigadores

Autor(es): Delaiba A. C., Oliveira J. C., Borges J. M.

Origem: Citenel – VI congresso de inovação tecnológica em energia elétrica – agosto de 2011 – Fortaleza – Ceará.

Resumo: Este artigo visa sintetizar os trabalhos relacionados com o desenvolvimento de um projeto de P&D direcionado para a área de pedidos de indenização por danos (PID), a partir de uma base computacional existente e advinda de projetos de P&D já realizados que culminaram numa versão de aplicativo computacional denominado por APR-2.0. As atividades atreladas com o presente artigo mostram o aprimoramento do produto anterior, os quais resultaram numa nova versão do programa, denominado por APR-3.0 (Analisador de Pedidos de Ressarcimento - versão CEMIG). Este simulador, comparativamente ao programa original oferece melhorias através de: desenvolvimento e inserção de curvas de suportabilidade dielétrica e térmica através de ensaios laboratoriais destrutivos de equipamentos eletroeletrônicos (Televisores, Aparelhos de Som e Microcomputadores); modelagem, implementação computacional e análise dos efeitos de dispositivos mitigadores contra surtos de tensão (DPS). Para ilustrar a potencialidade e aplicabilidade do software o programa é utilizado para estudos avaliativos de um PID envolvendo um dos equipamentos contemplados nos estudos.

1.3 – Contribuições desta dissertação

Procurando contribuir para o avanço da pesquisa sobre o assunto ressarcimento e para a consolidação do mecanismo computacional contemplado nas discussões anteriores, os trabalhos realizados e apresentados nesta dissertação encontram-se centrados em seis pontos focais, quais sejam:

- Levantamento Quantitativo sobre PID`s;
- Sistematização de uma metodologia e estrutura laboratorial para a realização dos ensaios destrutivos;
- Levantamento das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de aparelhos de som;
- Dispositivos Mitigadores;
- Estudos de casos reais;
- Melhoria da qualidade do serviço prestado.

1.4 – Estrutura da Dissertação

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

CAPÍTULO II - ANÁLISES QUANTITATIVAS DOS RESSARCIMENTOS DE APARELHOS DE SOM

Este capítulo tem por objetivo abordar, de forma geral, algumas informações coletadas à partir das solicitações de ressarcimento de danos. Desta forma, destaca-se os principais distúrbios elétricos, os eletroeletrônicos que originaram os PID's e os custos financeiros associados aos ressarcimentos, enfatizando os aparelhos de som. Estas constatações foram fornecidas pela concessionária de energia elétrica CEMIG Distribuição S.A do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no período de 01/2008 à 09/2010.

CAPÍTULO III - CURVAS DE SUPORTABILIDADE TÉRMICA E DIELÉTRICA PARA APARELHOS DE SOM

Este capítulo tem por objetivo propor uma estratégia de uma estrutura laboratorial com vistas à obtenção de curvas típicas de suportabilidade dielétrica e térmica para aparelhos de som. As curvas assim obtidas e que refletem os limites de suportabilidade são aquelas inseridas e disponibilizadas na nova versão do aplicativo computacional para Análise de pedidos de Ressarcimento, ou seja, APR-3.0- CEMIG. Adicionalmente, esta seção apresenta a possibilidade da avaliação dos impactos térmicos e dielétricos sob a ação e sem a presença de dispositivos mitigadores (DPS's), os quais foram estudados, modelados, ensaiados e implementados computacionalmente.

CAPÍTULO IV - ESTUDOS DE CASOS

Esta seção destina-se a utilizar o Aplicativo Computacional versão APR-3.0-CEMIG para simulação de casos reais envolvendo os pedidos de ressarcimento de danos. Os resultados obtidos pelo programa serão comparados com as decisões tomadas pela concessionária de energia elétrica, através de seus procedimentos convencionais, de forma a verificar se o pedido de ressarcimento é realmente procedente ou não, de acordo com os resultados da plataforma computacional mencionada.

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES GERAIS

Este capítulo destina-se a sintetizar as análises e discussões sobre os principais resultados e constatações feitas durante o desenvolvimento desta dissertação. Finalmente, destacam-se alguns temas que podem ser desenvolvidos nesta área do conhecimento.

CAPÍTULO II

Análises Quantitativas dos Ressarcimentos de Aparelhos de SOM

2.1 – Considerações iniciais

As mudanças ocorridas no setor elétrico nos últimos tempos, aliadas a uma maior informação dos consumidores quanto aos seus direitos e a utilização maciça de dispositivos mais sensíveis a qualidade da energia elétrica de suprimento acabaram por despontar a área conhecida por PID “Pedidos de Indenização por Danos”.

Dentro deste contexto, o levantamento estatístico dos pedidos de ressarcimento, caracterizando os principais produtos solicitados pelos consumidores às concessionárias, torna-se de grande importância nos avanços das pesquisas direcionadas a melhor consubstanciar as análises. Muito embora, a enumeração estatística dos produtos já seja de grande valia, um detalhamento quanto às marcas, modelos, tempos de uso e desembolsos financeiros envolvidos em todo o processo de ressarcimento é também relevante para o momento atual.

Desta maneira, este capítulo apresenta o levantamento estatístico fornecido pela concessionária de energia CEMIG Distribuição S.A. do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. As quantidades e valores mostrados nas tabelas correspondem aos anos de 2008, 2009 e 2010. A partir da observação das figuras, foram tecidos comentários visando destacar os principais equipamentos, bem como as marcas e os modelos mais relevantes nos pedidos de ressarcimento por danos.

A apresentação do levantamento estatístico foi realizada de forma a permitir uma comparação entre o custo financeiro e a quantidade indenizada de cada produto. Para tanto, os gráficos estão dispostos de modo a possibilitar uma fácil interpretação dos dados apresentados.

2.2 – Levantamentos quantitativos

Na sequência apresentam-se as informações coletadas nos processos de ressarcimento quanto às ocorrências que deram origem aos pedidos de indenização e também quanto aos equipamentos envolvidos. Tais informações são apresentadas de maneira a expor, para cada produto eletroeletrônico, o montante financeiro custeado pela CEMIG Distribuição do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, envolvendo uma área geográfica de 106.000 km², e uma população de 3 milhões de pessoas.

2.2.1 – Desembolsos financeiros em função das causas que originaram os pedidos de ressarcimento de danos

As figuras 2.1 e 2.2 mostram, respectivamente, a quantidade de bens indenizados e identifica os valores financeiros dos bens materiais, para um determinado fenômeno elétrico que originou um pedido de ressarcimento.

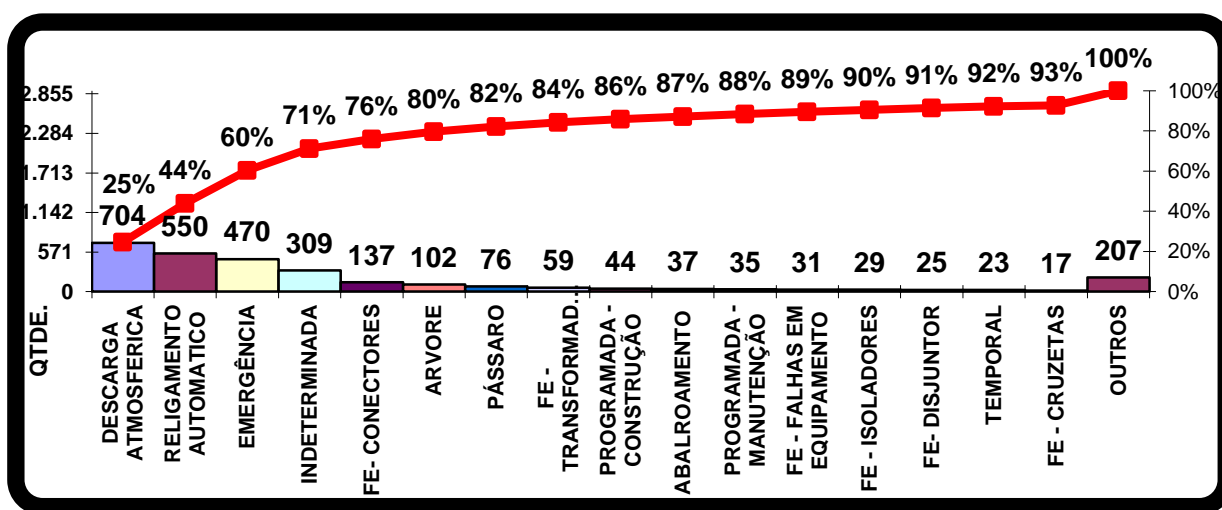


Figura 2.1 – Quantidade em função das causas envolvidas nos processos de ressarcimento

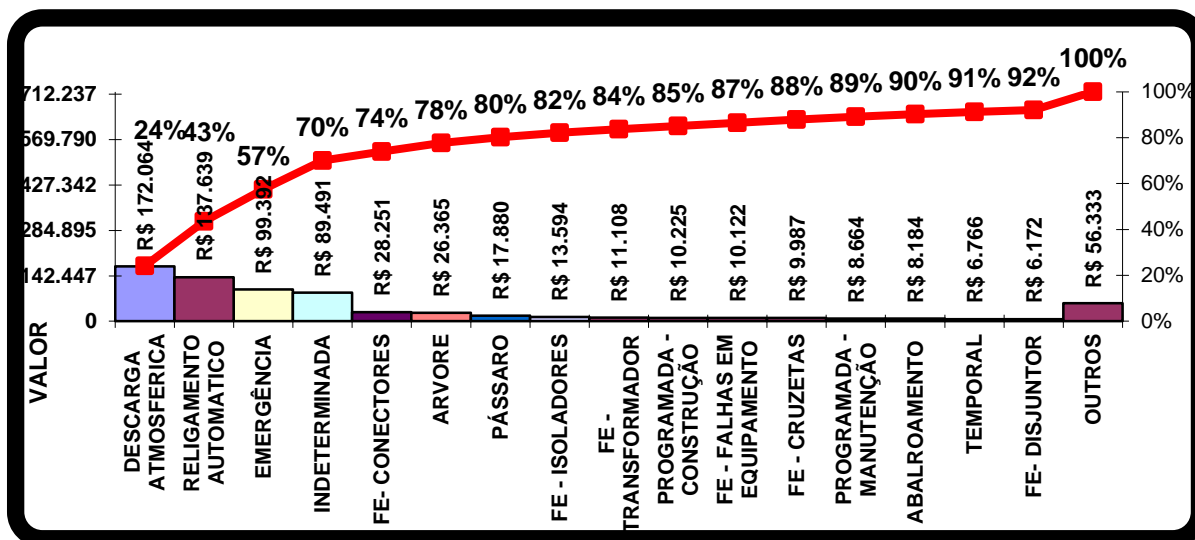


Figura 2.2 – Valores financeiros para cada tipo de ocorrência dos processos de ressarcimento

Como pode ser visto, as descargas atmosféricas e os religamentos automáticos constam como as principais causas de reclamação dos consumidores à concessionária associadas aos pedidos de ressarcimento de danos. Deve-se salientar que houve 2.855 bens indenizados que originaram um ressarcimento total de R\$ 712.237,00.

2.2.2 – Desembolsos Financeiros por Equipamento

Com vistas a dar sequência a apresentação dos dados extraídos dos processos de ressarcimento da CEMIG-D, a figura 2.3 mostra os custos de ressarcimento despendidos em função dos tipos de equipamentos indenizados.

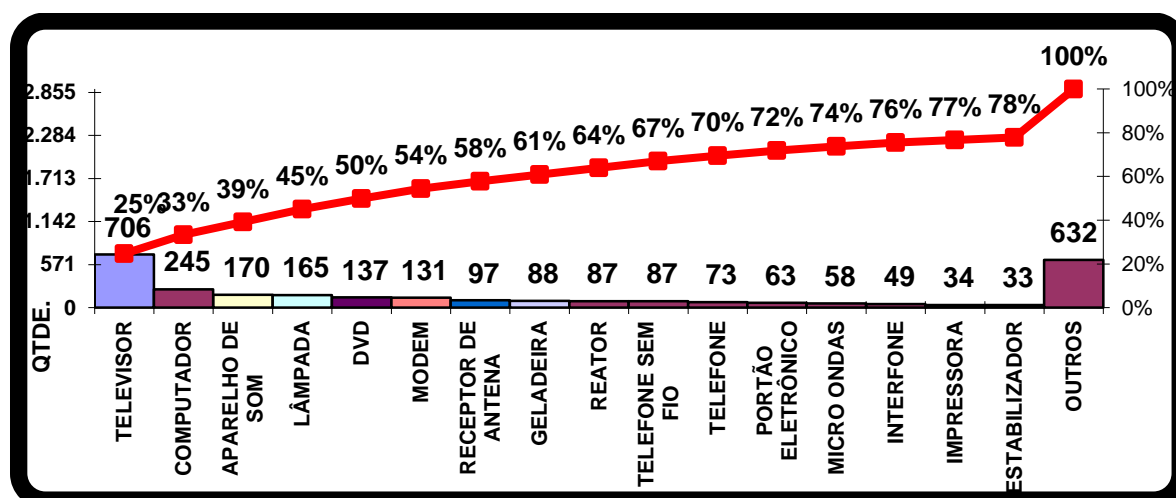


Figura 2.3 – Quantidade em função dos tipos de equipamentos indenizados por danos

Observa-se que, os televisores, computadores e aparelhos de som representam 39% dos principais produtos eletrônicos que foram objeto de ressarcimento.

Na figura 2.4 estão disponibilizados os custos totais vinculados com os pedidos de ressarcimento para cada equipamento mencionado. Deve-se salientar que o valor total associado às indenizações é de R\$ 712.737,00. Deste total, percebe-se que o Aparelho de Som contribuiu com 6%, envolvendo R\$39.921,00.

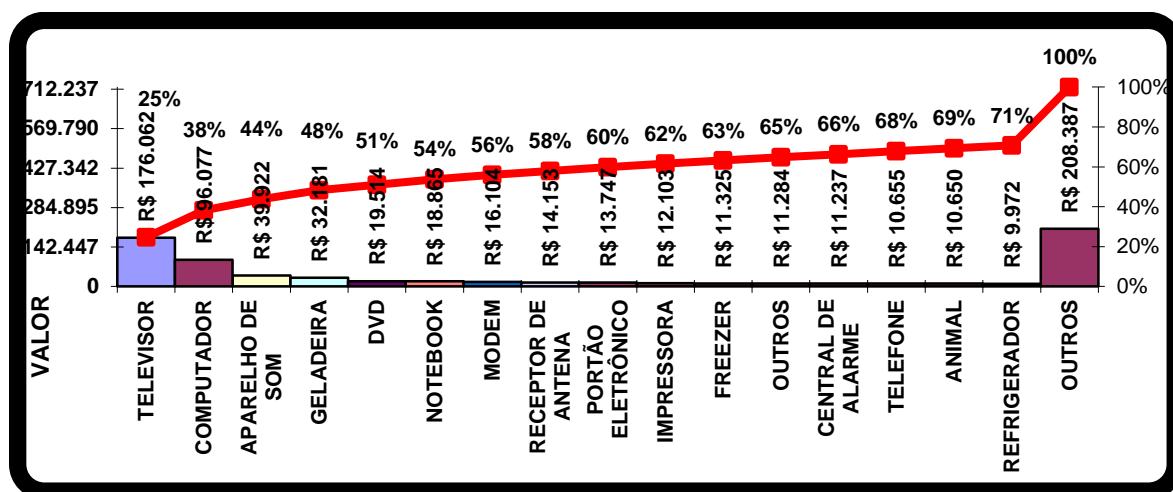


Figura 2.4 – Valores financeiros em função dos tipos de equipamentos indenizados

Tendo em vista a grande participação do aparelho de som nas quantidades e valores envolvidos e também a existência de trabalhos sobre televisores e computadores, optou-se em focar o aparelho de som.

2.2.3 - Aparelho de Som

A figura 2.5 identifica a quantidade de aparelhos de som ressarcidos por dano, evidenciando que as três primeiras (A,B e C) são responsáveis por 48% do total das indenizações.

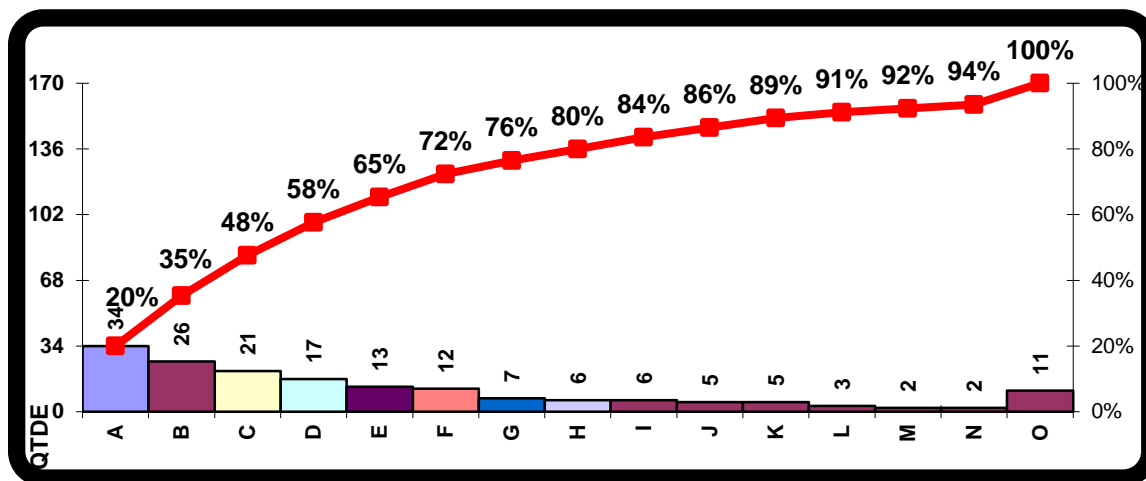


Figura 2.5 – Quantidade em função da marca do equipamento de som ressarcido

Na sequência, a figura 2.6 ilustra os valores pagos por cada marca de aparelho de som, sendo enaltecido que 49% do total indenizado, ou seja: R\$39.291,00 estão atrelados aos fabricantes A, B e C.

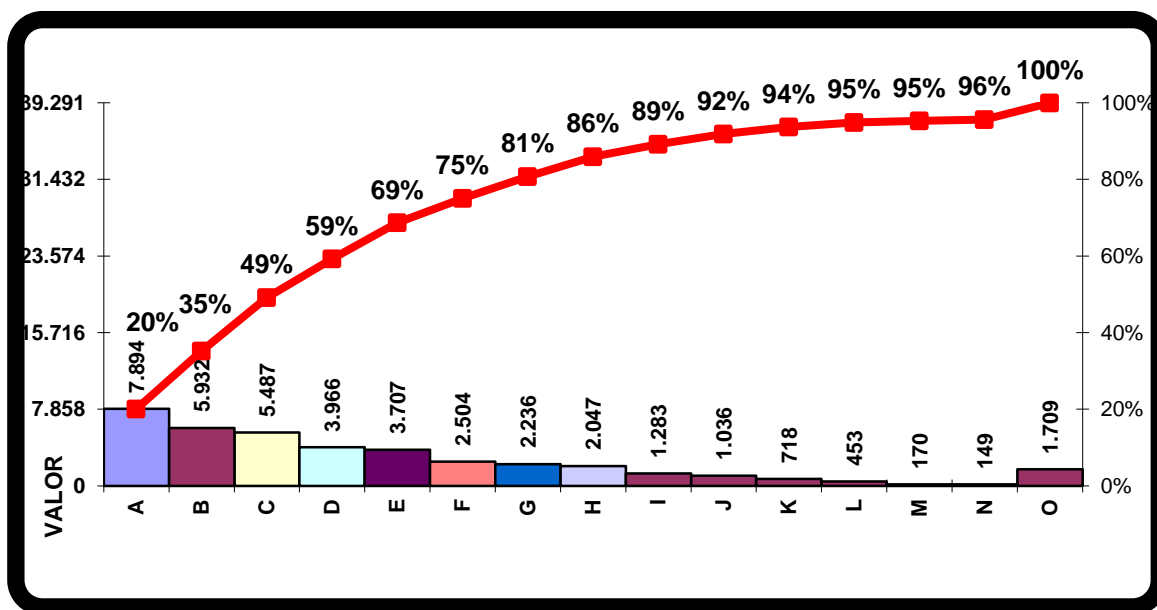


Figura 2.6 – Valor ressarcido em função da marca do equipamento de som

Em relação ao tempo de uso dos aparelhos de som objeto de ressarcimento, a figura 2.7 identifica que os equipamentos entre 12 a 24 meses de uso tem o maior percentual de contribuição (25%) na quantidade de aparelhos de som analisados. O eletroeletrônico pesquisado com mais de 60 meses de uso, representando um percentual de 19%.

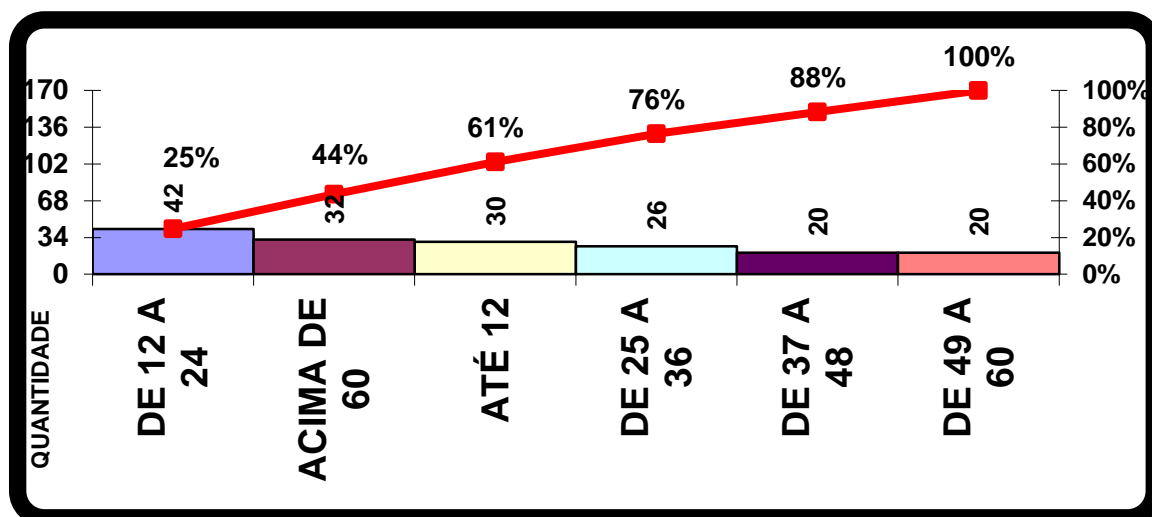


Figura 2.7 – Quantidade versus tempo de uso do equipamento

2.3 - Considerações Finais

Conforme mencionado anteriormente, a obtenção de dados associados aos 2.855 pedidos de ressarcimentos, caracterizando os produtos e suas respectivas marcas, é de grande valia para a verificação da necessidade de estudos avaliativos do desempenho de determinados equipamentos diante de distúrbios na rede de distribuição.

Desta maneira, após a análise dos gráficos apresentados, conclui-se que os equipamentos presentes em grande parte dos pedidos procedentes de ressarcimento foram os aparelhos de TV, microcomputadores e aparelhos de som.

Considerando o aparelho de som, nota-se que 4 marcas correspondem a maioria dos processos de ressarcimento.

Para os equipamentos de som indenizados, verifica-se também que o tempo médio de uso entre 12 e 24 meses é o mais representativo.

Análise da Suportabilidade Dielétrica e Térmica de Aparelhos de Som

3.1 – Considerações iniciais

Este capítulo segue na direção de estabelecer os procedimentos experimentais destinados a obtenção das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica representativas dos limites admissíveis de aparelhos de som.

Diante destes objetivos, a estratégia empregada para a obtenção das curvas de suportabilidade do dispositivo focado neste trabalho consiste na realização de ensaios destrutivos com a aplicação de situações operacionais típicas que determinam, para os distintos valores de duração dos eventos, seus respectivos níveis de tolerância para as tensões e correntes.

Para tanto, os trabalhos compreendem as seguintes etapas:

1. Sistematização de uma metodologia e estrutura laboratorial para a realização de ensaios de sobretensões na frequência industrial;
2. Sistematização de uma metodologia e estrutura laboratorial para a realização de ensaios de sobretensões nas redes de baixa tensão, atreladas com a ocorrência de defeitos que poderiam impor níveis de tensão muito superior às condições nominais, a exemplo da queda de cabos da média tensão sobre a rede de baixa tensão;
3. Sistematização de uma metodologia e estrutura laboratorial para a realização de ensaios envolvendo os transitórios impulsivos, vinculados com as descargas atmosféricas.

Assim procedendo, poder-se-á obter resultados (curvas típicas) que ratificam ou contestariam os indicativos dos limites de tolerância até então publicados na literatura específica sobre esse assunto, citadas ao longo desta dissertação.

Desta forma, esses trabalhos contemplam e completam, sobremaneira, o oferecimento de meios para consubstanciar os processos computacionais destinados a avaliação da consistência dos nexos causais entre os distúrbios manifestados nas redes e eventuais danos físicos ocorridos em diversos produtos. A aplicabilidade do processo e dos resultados se justifica pela crescente necessidade de obtenção de procedimentos sistematizados, à base de simulações computacionais, que ofereçam meios para um processo decisório dos PID'S, em que pese os fundamentos da ciência e tecnologia, assim como também a isenção de interesse de uma ou outra parte.

3.2 - Curvas de suportabilidade existentes

Embora se reconheça a existência de procedimentos de testes de aprovação de produtos/equipamentos no âmbito das fábricas e algumas orientações gerais que determinam padrões mínimos a serem atendidos pelos mais distintos produtos/equipamentos comerciais disponibilizados no mercado, há de se destacar a inexistência de dados que ofereçam as informações requeridas pelos procedimentos propostos por este trabalho. De fato, dificilmente se consegue, na atualidade, os limites de suportabilidade dielétrica e térmica para aparelhos de som.

A seguir, são mostradas curvas advindas de artigos técnicos já publicados em respeitáveis veículos de divulgação sendo, por tal motivo, consideradas confiáveis.

3.2.1 – Curvas de Suportabilidade Dielétrica

De uma forma geral, as curvas de suportabilidade dielétrica estão, em sua essência, atreladas aos valores de tensão verificados nos terminais de um componente elétrico. Tais dispositivos ficam submetidos às variações desta grandeza durante a ocorrência de eventuais distúrbios da qualidade da energia

elétrica no sistema de suprimento, oferecendo, por conseguinte, dados próprios ao processo de análise aqui proposto.

No que tange à questão dos limites de tensão, os documentos e referências encontradas permitiram extrair as seguintes orientações para a questão em pauta:

A – CURVA ITIC [14]

A maioria das publicações relacionadas ao tema utiliza como referência a curva ITIC, publicada pelo Comitê Técnico 3 (TC3) do Information Technology Industry Council, anteriormente conhecido como Computer & Business Equipment Manufacturers Association.

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

A figura 3.1 apresenta a curva ITIC relacionada com os níveis de suportabilidade física para equipamentos, que pode ser dividida em 4 (quatro) regiões de acordo com a duração do fenômeno:

1. Região 1: Transitórios impulsivos de alta frequência que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas;
2. Região 2: Transitórios oscilatórios de baixa frequência, os quais possuem uma duração característica de aproximadamente $\frac{1}{4}$ ciclo;
3. Região 3: Elevações de tensão com amplitudes de até 120% da tensão nominal RMS com duração do distúrbio até 0,5 segundos;
4. Região 4: Regime permanente de forma a descrever uma tensão eficaz constante máxima de 10% do valor nominal por um período indefinido de tempo.

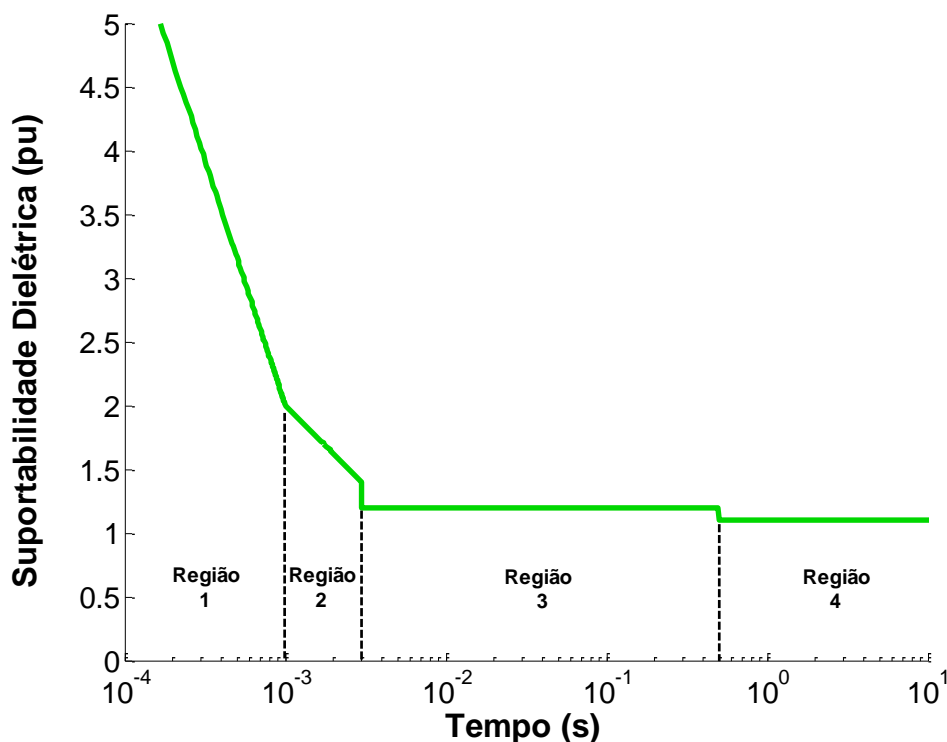


Figura 3.1 – Curva de suportabilidade ITIC.

Embora a curva anterior seja amplamente utilizada, devido ao fato de ser originalmente elaborada para equipamentos da área de tecnologia da informação, a crescente necessidade de procedimentos técnicos específicos para a análise de pedidos de ressarcimento tem incentivado novas buscas de limites suportáveis para outros equipamentos eletroeletrônicos. Dentro deste contexto, é que esse trabalho busca uma curva de suportabilidade dielétrica específica para aparelhos de som.

B – CURVAS DE SUPORTABILIDADE DA REFERÊNCIA [15]

A referência supra identificada apresenta os principais resultados de testes através da aplicação de sobretensões em equipamentos eletrônicos.

Para verificação das condições de operação e suportabilidade dos mesmos, foram conduzidos ensaios de sobretensões na frequência industrial nesta categoria de produtos. A partir destes experimentos, estabeleceu-se a curva de suportabilidade dielétrica evidenciada na figura 3.2.

A curva em questão representa degraus limites de suportabilidade em função de níveis específicos de tensão aplicados.

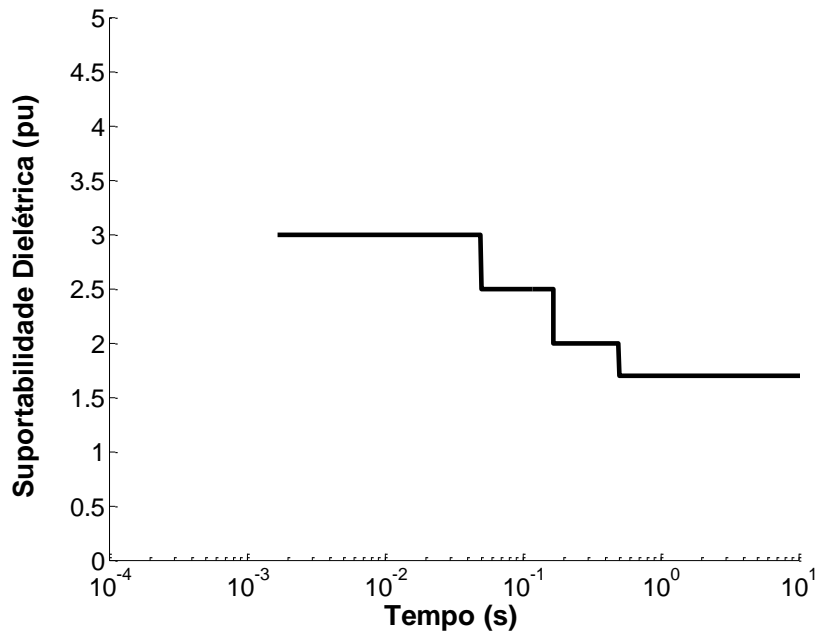


Figura 3.2 – Curva de suportabilidade para aparelhos de Som – Referência 14.

C – CURVAS DE SUPORTABILIDADE DA REFERÊNCIA [16]

A referência [3] apresenta a curva de tolerância a eventos de tensão, obtida experimentalmente, via ensaios de impulsos e de variações de tensão em aparelhos de som em consonância com os procedimentos estabelecidos nos documentos IEC 61000-4-5 e IEC 61000-4-11 (figura 3.3). Este estudo objetivou investigar quais os principais distúrbios de qualidade da energia elétrica causadores de danos em equipamentos, bem como os níveis aceitáveis para prevenir a violação dos seus limites dielétricos.

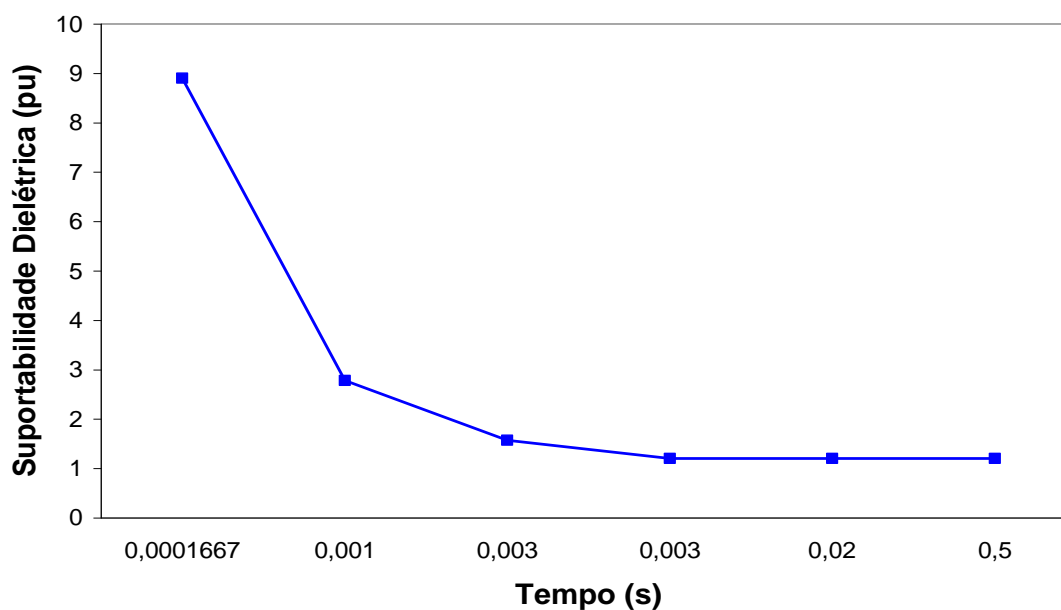


Figura 3.3 – Curva de suportabilidade para aparelhos eletro/eletrônicos - Referência 15.

3.2.2 – Curvas de Suportabilidade Térmica

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

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

Por tal motivo a referência [9] sugere tais elementos como componentes limitantes. A título de exemplo a figura 3.4 expressa os níveis de suportabilidade térmica obtidos através de dados de fabricantes (datasheet) das pontes retificadoras. Como a questão térmica também pode impactar nos elementos fusíveis, as características destes podem, alternativamente, substituir a característica sugerida.

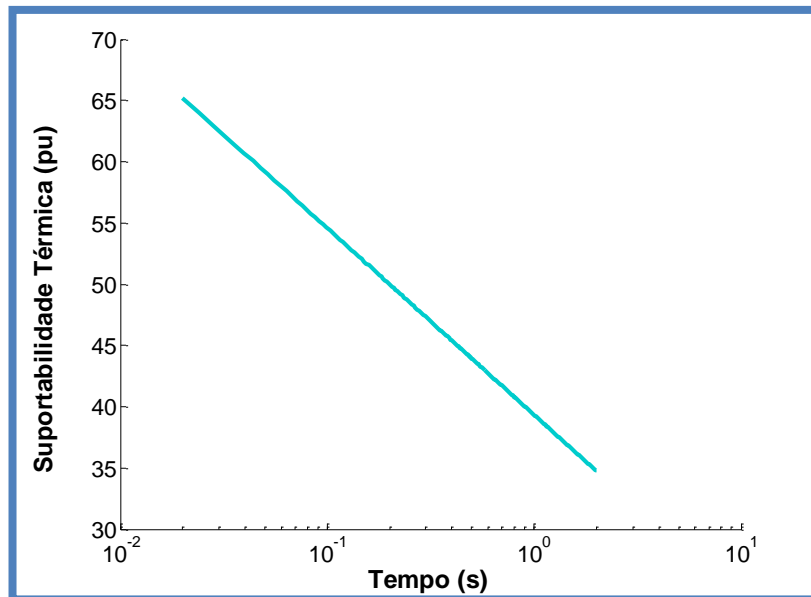


Figura 3.4 – Curva de suportabilidade térmica da ponte retificadora.

3.3 – Metodologia para quantificação dos limites de suportabilidade dielétrica e térmica

3.3.1 – Curvas de Suportabilidade Dielétrica

Conforme citado anteriormente as curvas de suportabilidade dielétrica estão, em sua essência, atreladas aos valores de tensão verificados nos terminais de um componente elétrico. Nesta dissertação optou-se por compor a curva com três funções que delimitam as regiões de suportabilidade física do equipamento, utilizando-se de duas funções logarítmicas e uma reta, como destacado na figura 3.5.

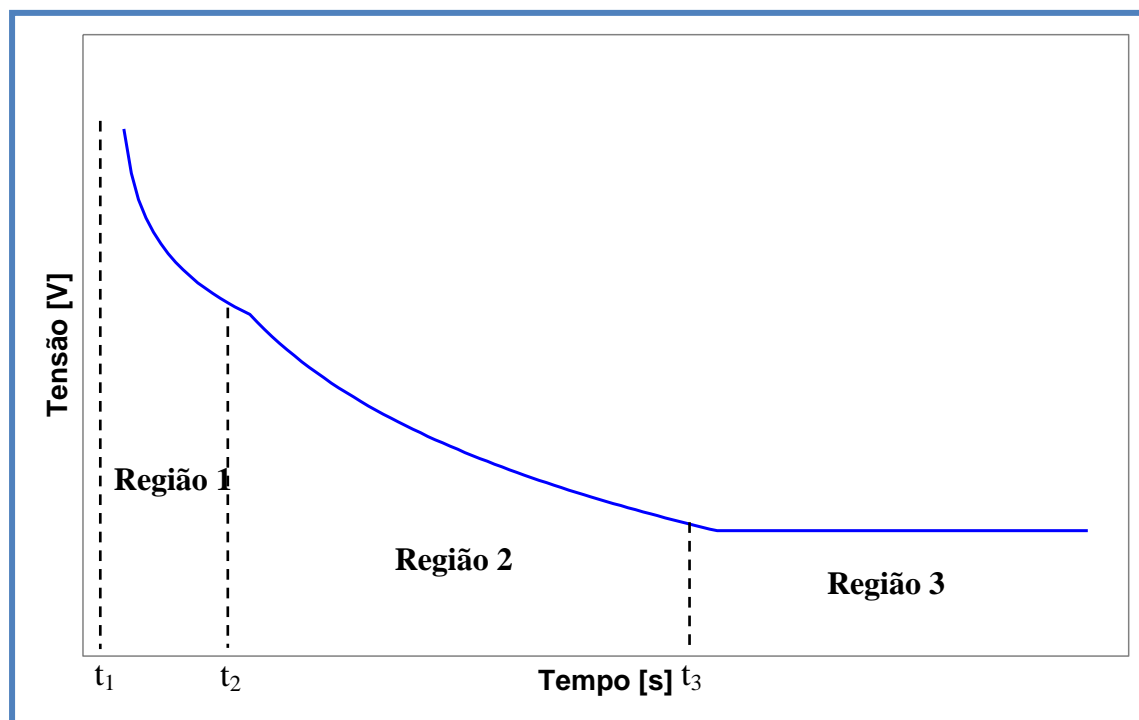


Figura 3.5 - Modelagem da curva de suportabilidade dielétrica.

- Região 1:

Esta parte da curva está relacionada aos transitórios impulsivos de alta frequência que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas em um sistema elétrico e é detalhada com a amplitude do fenômeno e a sua duração.

- Região 2:

Descreve a característica de suportabilidade de eventos que vão dos transitórios oscilatórios de baixa frequência, os quais possuem uma duração característica de aproximadamente $\frac{1}{4}$ ciclo, até os eventos de elevações de tensão com amplitudes de até 120% da tensão nominal RMS com duração do distúrbio de 30 ciclos.

- Região 3:

Esta região caracteriza as tolerâncias de regime permanente de forma a descrever uma tensão eficaz constante máxima de 10% do valor nominal por um período indefinido de tempo.

As distintas regiões que compõem a curva caracterizada na figura 3.5 são matematicamente descritas como:

- Região 1:

$$V(t) = \alpha_1 \cdot \log t + \beta_1 \quad (3.1)$$

onde:

$$\alpha_1 = \frac{V(t_2) - V(t_1)}{\log t_2 - \log t_1} \quad (3.2)$$

$$\text{e: } \beta_1 = V(t_1) - \alpha_1 \cdot \log t_1 \text{ ou } \beta_1 = V(t_2) - \alpha_1 \cdot \log t_2 \quad (3.3)$$

Sendo:

$V(t_1)$ – valor da tensão admitida durante um intervalo de tempo t_1 ;

$V(t_2)$ – valor da tensão admitida durante um intervalo de tempo t_2 .

- Região 2:

$$V(t) = \alpha_2 \cdot \log t + \beta_2 \quad (3.4)$$

sendo:

$$\alpha_2 = \frac{V(t_3) - V(t_2)}{\log t_3 - \log t_2} \quad (3.5)$$

e

$$\beta_2 = V(t_2) - \alpha_2 \cdot \log t_2 \text{ ou } \beta_2 = V(t_3) - \alpha_2 \cdot \log t_3 \quad (3.6)$$

Sendo:

$V(t_3)$ – valor da tensão admitida pelo aparelho de som durante um intervalo de tempo t_3 .

-
- Região 3:

$$V(t) = \beta_3 \quad (3.7)$$

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

3.3.2 – Curvas de Suportabilidade Térmica

Para a definição da curva da suportabilidade térmica optou-se pela utilização do conceito da integral de joule (I^2t), por representar os esforços térmicos reais impostos a um componente submetido a uma situação de sobrecorrente. A grandeza I^2t tem sido amplamente empregada em trabalhos com problemas térmicos resultantes da circulação de corrente de valores elevados, tais como, sobrecargas, falta direta em circuitos elétricos e outras condições que levem ao aquecimento de condutores, componentes e atuação das proteções.

Assim, para os estudos contemplados neste trabalho considera-se que a curva I^2t corresponde a máxima energia suportável pelo equipamento, sendo constante em qualquer instante de tempo e calculada conforme a equação 3.8).

$$\int_0^t [i(t)]^2 \cdot dt = I^2t = J = cte \quad (3.8)$$

Sendo:

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

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

A figura 3.6 ilustra que esta grandeza é proporcional à área compreendida entre a curva $i^2 = f(t)$ e o eixo das abscissas, podendo ser calculável ou mensurável para vários tipos de casos.

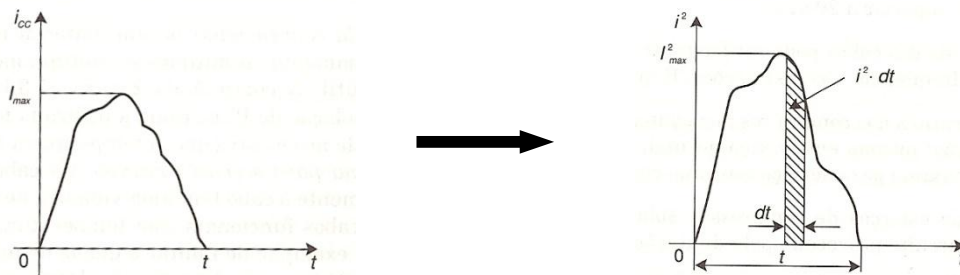


Figura 3.6 – Definição da Integral de Joule.

Após a determinação do valor da energia máxima admissível pelo equipamento a curva de suportabilidade térmica é obtida pela equação 3.8 e reescrita conforme equações (3.9) e (3.10).

$$J = I^2 t \quad (3.9)$$

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \quad (3.10)$$

Desta forma, para fins de comparação com a curva de solicitação térmica, a equação (3.10) permite traçar a curva de suportabilidade térmica com os correspondentes parâmetros de corrente e tempo ($I \times t$). Esta é mostrada na figura 3.7.

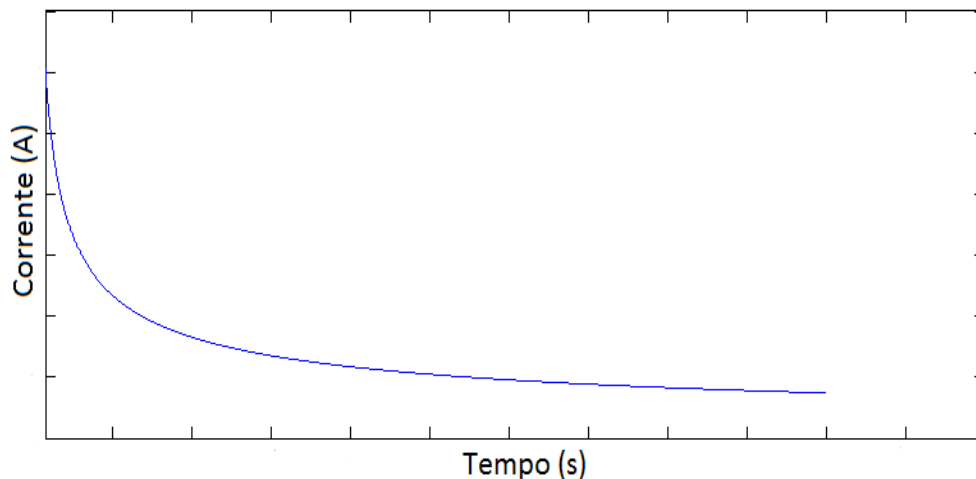


Figura 3.7 – Curva Típica de Suportabilidade Térmica

Para as figuras 3.5 e 3.7, que representam curvas típicas de Suportabilidade Dielétrica e Térmica respectivamente, valem as seguintes observações:

-
- As curvas delimitam os níveis de tensão ou corrente que, estatisticamente, apresentam alta probabilidade de ocasionar danos físicos para os aparelhos elétricos;
 - O eixo vertical indica o valor da tensão ou corrente, enquanto que o eixo horizontal se refere ao tempo de duração do fenômeno;
 - Caso o fenômeno ocorrido na rede conduza a valores de tensão ou corrente abaixo da curva indicada, então uma condição operacional sem riscos probabilísticos de que danos teriam ocorrido nos aparelhos;
 - Todavia, caso o distúrbio tenha conduzido a um ponto acima da curva, isto poderá ocasionar uma eventual falha no funcionamento do aparelho, justificando, assim, a procedência do pedido de ressarcimento pelo dano causado.

3.4 - Sistematização de uma Metodologia e Estrutura laboratorial para a Realização de Ensaios de Sobretensões

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

Em particular, são recorrentes os trabalhos que se utilizam das curvas citadas no item 3.2 para análise de suportabilidade física dos equipamentos eletroeletrônicos.

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

Dentro deste cenário e em consonância com a proposta desse trabalho, realizou-se uma grande gama de ensaios de acordo com a metodologia já mencionada, buscando a obtenção das curvas de suportabilidade.

3.4.1 – Metodologia para Sistematização de Testes de Suportabilidade

As recomendações e/ou normas nacionais e internacionais não apresentam metodologias específicas para a realização de testes, tampouco padronizam os patamares a serem considerados.

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

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

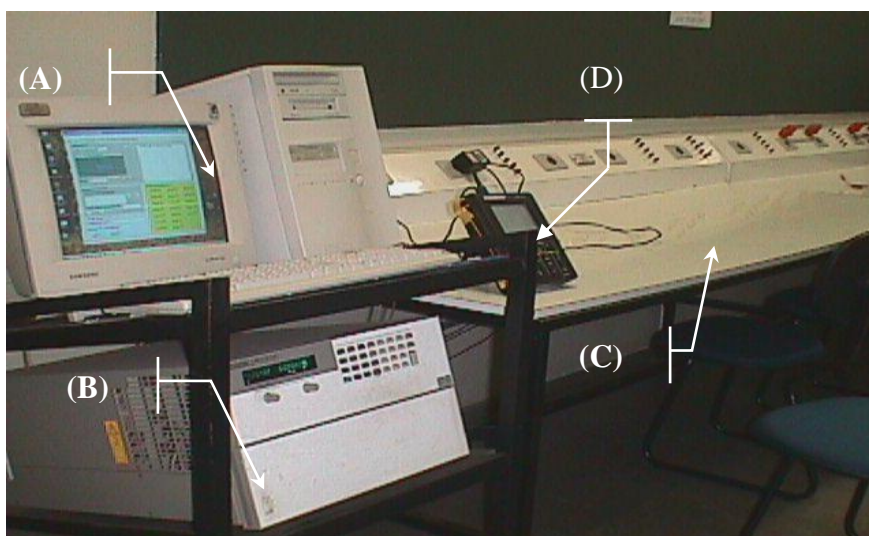
Os ensaios a serem enfocados ao longo do trabalho visam levantar as curvas de suportabilidade dos aparelhos de som tendo por alvo distúrbios do tipo: Variações de Tensão em Curta Duração, Variações de Tensão em Regime Permanente e Transitórios.

Tendo em mente as dificuldades atreladas com a inexistência de maiores e mais completas orientações que permitam o estabelecimento de procedimentos laboratoriais para o estudo de desempenho de equipamentos eletroeletrônicos observando-se a correlação entre a sua sensibilidade e/ou suportabilidade quando estes encontram-se supridos por redes elétricas com distúrbios associados à qualidade no fornecimento, procede-se, neste item a uma proposição para tal. Esta sugestão encontra sustentação nos seguintes pontos:

- Nos documentos para a execução de testes descritos anteriormente;
- Nos limites estabelecidos, nacional e internacionalmente, pelas normas e recomendações existentes;
- Para alguns dos ensaios a norma utilizada foi a IEC61000-4-11.

3.4.2 – Estrutura Laboratorial para a Realização de Ensaios de Sobretensões na Frequência Industrial

Uma vez definidas as direções qualitativas e quantitativas para a realização dos testes, estes devem ser laboratorialmente implementados. Na referencia (12) foi mostrada a estrutura laboratorial para efeito da validação do modelo computacional dos aparelhos de som. Nessa etapa, há um detalhamento maior da estrutura montada para os devidos ensaios laboratoriais. A figura 3.8 mostra parte da estrutura laboratorial da UFU, utilizada para os testes mencionados.



- (A) *Microcomputador destinado ao controle da fonte*
- (B) *Unidade geradora de testes de Qualidade de Energia HP Series 6800*
- (C) *Bancada de ensaios para disposição dos equipamentos a serem testados*
- (D) *Osciloscópio Digital*

Figura 3.8 – Foto ilustrativa mostrando a estrutura Laboratorial para ensaios dos equipamentos.

3.4.2.1 - A HP Series 6800A

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

Outro ponto importante a ser ressaltado, está na questão do software de operação. O aparelho enfocado não disponibiliza tal tipo de recurso, cabendo ao usuário elaborar a programação dos sinais via teclado frontal ou desenvolver um software com os recursos necessários.

A. Descrição Geral

A Fonte HP Série 6800A – “AC Power Source/Analyzers” – modelo HP6834A é um aparelho que combina três diferentes instrumentos em uma única unidade. Isto é mostrado na figura 3.9.

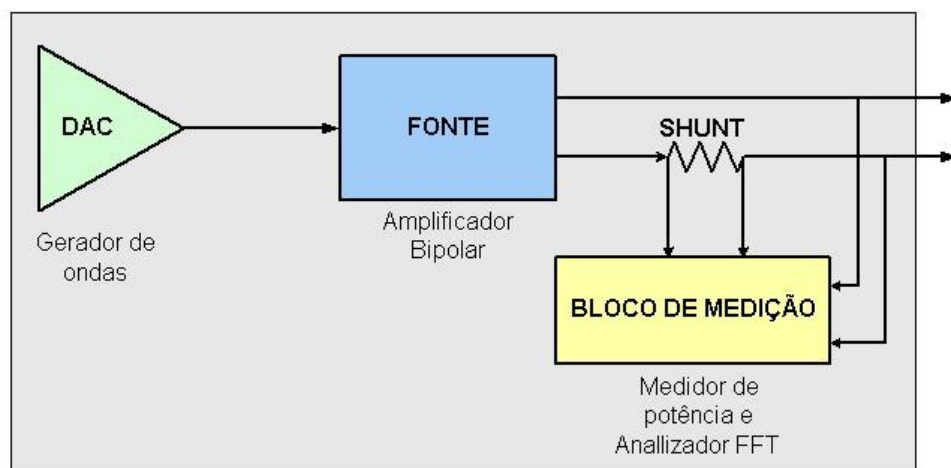


Figura 3.9 – Elementos funcionais da fonte AC.

Da Figura 3.9 temos:

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

B. Principais Características

A HP 6834A apresenta uma variada capacidade de recursos para a programação de sinais de tensão permitindo uma grande flexibilidade para o manuseio de tensões AC, frequências, ângulos fases e limites de corrente, sendo, desta forma, instrumento de grande eficiência para a execução dos mais diferentes distúrbios relacionados à tensão. Neste sentido, lista-se abaixo suas principais características:

- Fabricante: HP – USA;
- Modelo: HP6834A / 4500 VA Three-Phase;
- Programação de tensão c.a. frequência, fase e limite de corrente;
- Formas de onda senoidal, quadradas, etc., e definidas pelo usuário;
- Controle da taxa de crescimento/decrescimento de frequência e tensão;
- Capacidade de gerar transitórios como surtos, VTCD's e outros distúrbios;
- Lista de programação não volátil permitindo gerar transitórios de saída com complexidade, bem como seqüência de testes;
- Ampla capacidade de medição, dentre as quais:
 - valores eficazes c.a., c.c., c.a.+c.c., de tensão e corrente;
 - valores de pico;
 - Potência ativa, reativa e aparente; etc.
- Análise harmônica de tensão e corrente fornecendo amplitude, ângulo de fase e THD's até a 50a ordem;
- Aquisição de tensão e corrente sincronizada por gatilhamento (trigger) e possibilidade de cálculos posteriores;
- Medições adicionais de potência total e de corrente de neutro no modo trifásico;
- Medições feitas com resolução de 16 bits;
- Sincronização de eventos transitórios por gatilhamento (Trigger In, Trigger Out) ou medições com sinais externos;
- Programação local no próprio painel via teclado ou por microcomputador. Built-in HP-IB e interface de programação RS-232 com a linguagem de comandos SCPI;

-
- Painel frontal com display fluorescente de 14 caracteres;
 - Proteção contra sobretensão, sobre-potência, sobrecorrente, sobre-temperatura e proteção RI/DFI (remote inhibit/discrete fault indicator);
 - Relés de desconexão internos;
 - Autoteste, indicação de status e software para calibração.

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

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

- Fabricante: RMS Sistemas Eletrônicos – Brasil;
- Portátil, mostrador de cristal líquido alfanumérico;
- Memória de 4Mb;
- Tensão alimentação: CA 70 a 600V, frequência: 50Hz ou 60Hz;
CC 11 a 600V.
- Exatidão: Classe 0,5 para tensões e correntes e classe 1 para potências;
- Avaliação de perturbações na rede elétrica (conteúdo harmônico de tensão e corrente, variações momentâneas de tensão, “sag”, “swell”, etc);
- Obtenção da forma de onda de tensão e corrente;
- Amostragem das formas de onda e espectro harmônico;
- Transferência das informações para microcomputador;
- Gráficos com as variações das grandezas medidas ao longo do tempo.

3.4.2.3 – Osciloscópio digital

As principais características do osciloscópio digital são:

- Fabricante: Tektronix;
- Modelo: THS720P;
- Número de canais: 2 (isolados);
- 2500 amostras para cada canal.

3.5 – Ensaios de sobretensões na frequência industrial

Conforme mencionado anteriormente, a realização de ensaios é fundamental para conhecer o comportamento dos equipamentos, quando submetidos a condições de perda da qualidade da energia de suprimento.

Desse modo, os resultados encontrados através dos testes conduzem ao levantamento de curvas de suportabilidade dos aparelhos de som e os diversos distúrbios presentes no fornecimento da energia. As figuras 3.10 e 3.11 ilustram a estrutura laboratorial montada para o levantamento de um ponto da curva de suportabilidade dielétrica dos aparelhos de som.



Figura 3.10 – Detalhes da Montagem Laboratorial e da Equipe.

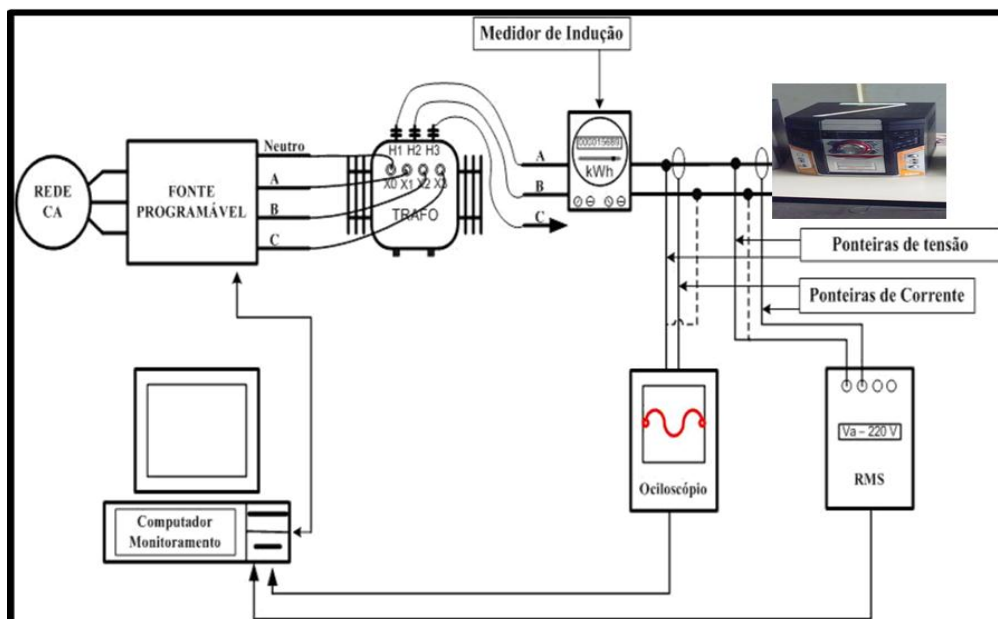


Figura 3.11 – Exemplo de Montagem Laboratorial para Ensaio Destrutivo.

3.5.1 – Aplicação de sobretensão no aparelho de Som Philips novo.

a) Objetivo do ensaio

Este ensaio destrutivo tem por objetivo determinar um ponto da curva de suportabilidade de um aparelho de som Philips novo.

b) Caracterização do ensaio

Na frequência de 60 Hz, através da fonte de tensão variável citada anteriormente, aumenta-se a tensão gradativamente até que a suportabilidade do aparelho seja ultrapassada, conseqüentemente resultando em danos físicos.

As características dos ensaios de sobretensões (tensão aplicada) na frequência industrial estão mostrados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Ensaio com sobretensões na frequência industrial.

Tensão Aplicada (pu)	Tempo de duração do evento (s)	Forma de Onda/Comentários
1,0	3600	Este ensaio foi realizado com dois objetivos: ✓ Verificar se o aparelho de som estava funcionando nas condições nominais; ✓ Garantir que o aparelho atingiu seu equilíbrio térmico.
1,2	60	Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.
1,5	60	Durante este ensaio não ocorreu nenhuma anormalidade.
2	4	Queima do equipamento.

c) Resultados

As figuras 3.12 e 3.13 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente, tomando-se como base o ensaio destrutivo, no qual aplicou-se uma tensão de 2 pu. Para melhor correlação a figura 3.14 mostra as duas grandezas no mesmo gráfico.

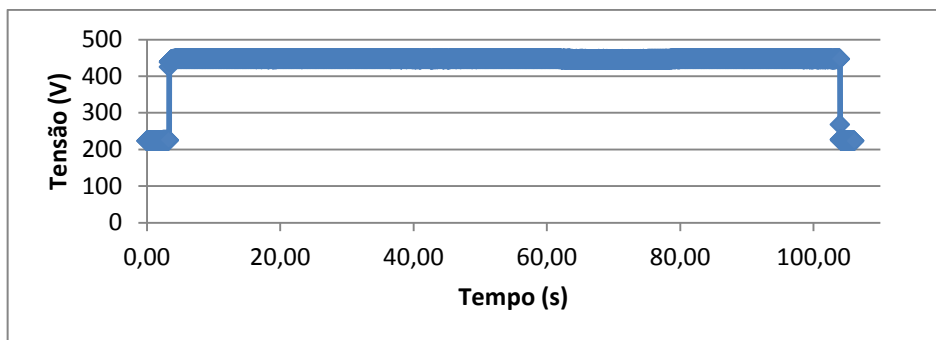


Figura 3.12 – tensão aplicada.

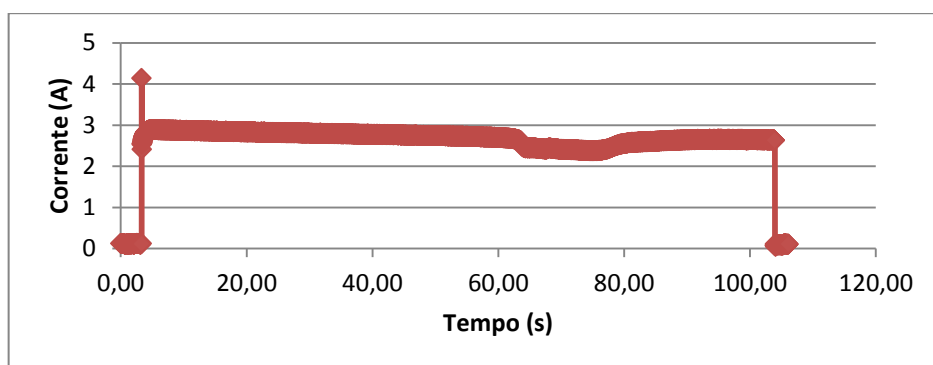


Figura 3.13 – corrente aplicada.

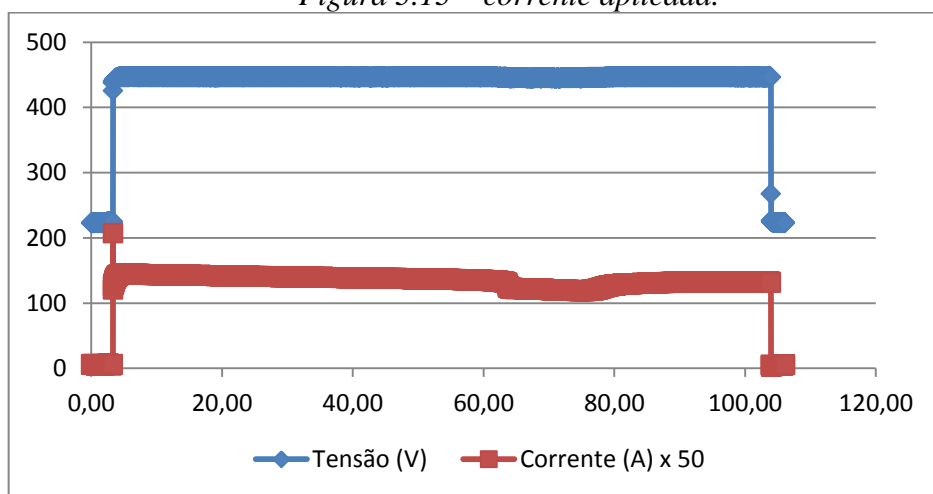


Figura 3.14 – tensão e corrente aplicadas.

d) Conclusões

Tomando-se como base a figura 3.12, observa-se que a tensão foi elevada até 2 pu em relação ao seu valor nominal no instante de 4 segundos. Nestas condições, a corrente começou a aumentar no instante de 4,01667 segundos,

indicando o dano ao equipamento. Desta forma obtém o ponto da curva de suportabilidade dielétrica, com Tensão: 2,0 pu e Tempo: 4 segundos.

A título de ilustração, a figura 3.15 mostra um aparelho de som Philips novo danificado após o ensaio.



Figura 3.15 – Ensaio de suportabilidade com o aparelho de som Philips novo.

3.5.2 - Ensaio relativo à queda dos cabos da média tensão na baixa – Som Philips usado

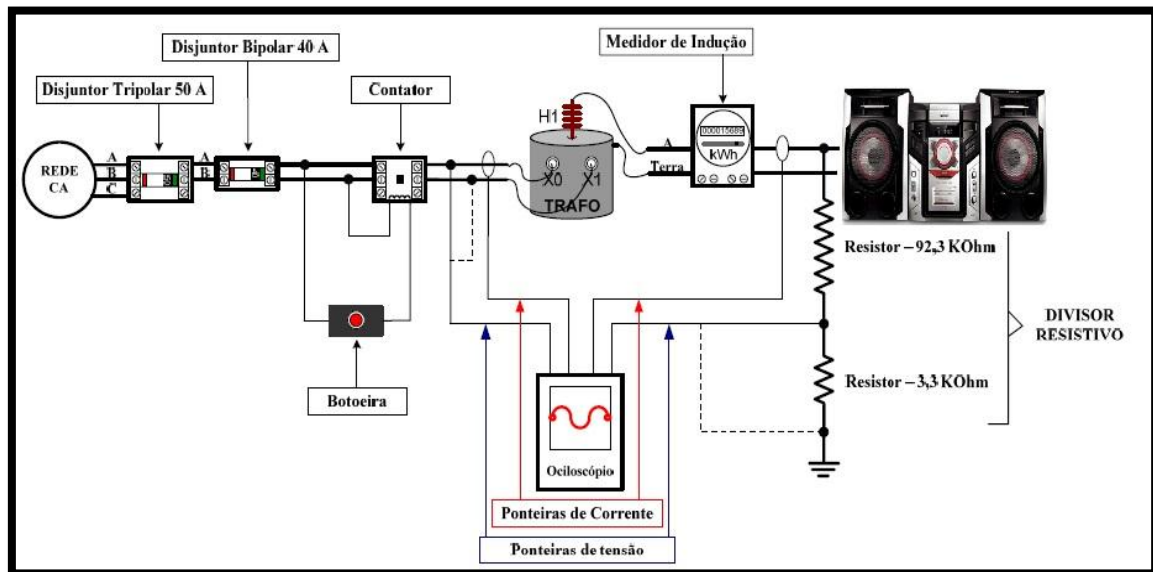


Figura 3.16 – Exemplo de montagem laboratorial para ensaio destrutivo



Figura 3.17 – Detalhes da montagem laboratorial

a) Objetivo do ensaio

Este ensaio de sobretensão, provocado pela queda dos cabos da média tensão na baixa, tem por objetivo verificar a suportabilidade térmica e dielétrica de um aparelho de som, durante a simulação em laboratório do referido evento.

b) Caracterização do ensaio

Na frequência de 60 Hz, através de um transformador monofásico utilizado para eletrificação rural, aplica-se por um curto espaço de tempo – fazendo uso de uma botoeira para tal – uma tensão fase-neutro de 220 V no lado da baixa tensão do transformador monofásico, de maneira tal que no lado de alta tensão, a tensão que será aplicada nos terminais dos equipamentos eletroeletrônicos será 7.967 V. Neste ensaio, foi utilizado como carga o aparelho de som Philips (usado), sendo que o mesmo foi conectado no lado de alta tensão do transformador.

c) Resultados

A figura 3.18 ilustra as formas de onda da tensão e da corrente, sendo que tais grandezas foram medidas no lado de alta tensão (lado em que os equipamentos eletroeletrônicos foram conectados) e baixa tensão do transformador (onde foi feita a conexão do esquema laboratorial, mostrado anteriormente, a rede de alimentação da concessionária CEMIG).

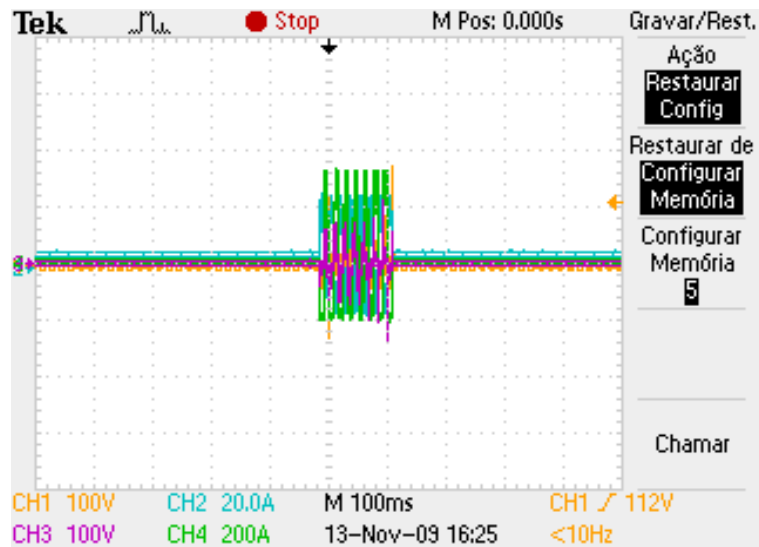


Figura 3.18 – Formas de onda das tensões e correntes medidas durante a realização do ensaio com o aparelho de som Philips.

d) Conclusões

Tomando-se como base a figura 3.18, pode-se observar que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 127 V. O valor eficaz da tensão medida no lado de alta do transformador foi de 2.399 V, na qual houve danos ao equipamento após 0,1 segundos de sua aplicação. Sendo assim, para a condição sob carga, o transformador não manteve sua relação de transformação para as tensões. No que tange as correntes, no lado de baixa do transformador, o valor de pico apresentado por esta ficou em torno de 320 A, enquanto que no lado da alta do transformador, esta foi de 24 A. Assim como para as tensões, o transformador não conseguiu manter a relação de transformação para as correntes, durante a realização do ensaio.

A figura 3.19 ilustra a montagem laboratorial no exato instante da ocorrência do evento que simula a queda dos cabos da média tensão na baixa. Nesta foto, pode-se observar a ocorrência de um centelhamento na parte interna do aparelho de som, durante a ocorrência do evento. A realização deste ensaio resultou na queima do aparelho de som. O equipamento danificado foi levado à oficina Eletrônica Eletromar em Araguari-MG para avaliação e conserto, sendo esta realizada por um

técnico especializado. Assim, pôde-se observar que os componentes eletrônicos danificados do aparelho de som foram uma fonte de stand by e o microprocessador.

Os custos estimados para substituir os componentes eletrônicos danificados e a mão de obra por este serviço são de R\$ 200,00. A figura 3.20 ilustra o circuito elétrico danificado.



Figura 3.19 - Momento do teste

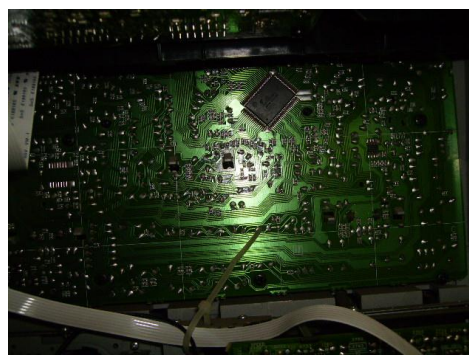


Figura 3.20 - componentes danificados

3.5.3 – Ensaio relativo a queda dos cabos da média tensão na baixa – Som Sony novo

a) Resultados

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

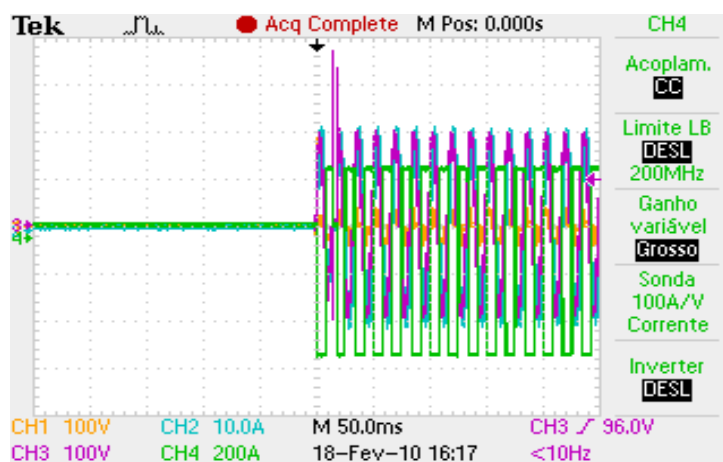


Figura 3.21 – Formas de onda das tensões e correntes medidas durante a realização do ensaio com o aparelho de som Sony.

b) Conclusões

Tomando-se como base a figura 3.21, pode-se observar que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 140 V. O valor eficaz da tensão medida no lado de alta do transformador foi de 2.000 V, na qual houve danos ao equipamento após 0,25 segundos de sua aplicação. Sendo assim, para esta condição, o transformador não manteve sua relação de transformação para as tensões. No que tange as correntes, no lado de baixa do transformador, o valor de pico apresentado por esta ficou em torno de 280 A, enquanto que no lado da alta do transformador, esta foi de 22 A. Assim como para as tensões, o transformador não conseguiu manter a relação de transformação para as correntes, durante a realização do ensaio.

A figura 3.22 ilustra a montagem laboratorial no exato instante da ocorrência do evento que simula a queda dos cabos da média tensão na baixa. A realização deste ensaio resultou na queima do aparelho de som. O equipamento danificado foi levado à oficina Eletrônica Eletromar em Araguari-MG para avaliação e conserto, sendo esta realizada por um técnico especializado. Assim, pode se observar que os componentes eletrônicos danificados do aparelho de som foram um Microprocessador e a Placa controladora.

Os custos estimados para substituir os componentes eletrônicos danificados e a mão de obra por este serviço são de aproximadamente R\$ 300,00. A figura 3.23 ilustra o circuito elétrico danificado.



Figura 3.22 - Momento do teste



Figura 3.23 - Componentes danificados

3.5.4 – Ensaio relativo a queda dos cabos da média tensão na baixa – Aparelho de Som CCE usado

a) Resultados

A figura 3.24 ilustra as formas de onda da tensão e da corrente, sendo que tais grandezas foram medidas no lado de alta tensão (lado em que os equipamentos eletroeletrônicos foram conectados) e baixa tensão do transformador (onde foi feita a conexão do esquema laboratorial, mostrado anteriormente, a rede de alimentação da concessionária CEMIG).

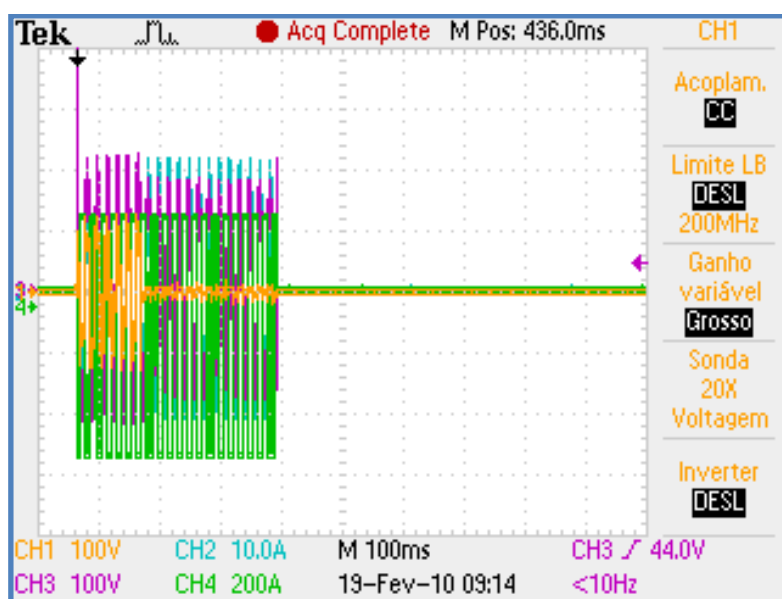


Figura 3.24 – Formas de onda das tensões e correntes medidas durante a realização do ensaio com o aparelho de som CCE.

b) Conclusões

Tomando-se como base a figura 3.24, pode-se observar que no instante em que a botoeira permaneceu acionada, o valor eficaz da tensão aplicada no lado de baixa do transformador foi de 140 V. A tensão medida no lado de alta do transformador foi de 2.400 V, na qual houve danos ao equipamento após 0,1 segundos de sua aplicação. Sendo assim, para esta condição sob carga, o transformador não manteve sua relação de transformação para as tensões. No que tange as correntes, no lado de baixa do transformador, o valor de pico apresentado por esta ficou em torno de 280 A, enquanto que no lado da alta do transformador,

esta foi de 22 A. Assim como para as tensões, o transformador não conseguiu manter a relação de transformação para as correntes, durante a realização do ensaio.

A figura 3.25 ilustra a montagem laboratorial no exato instante da ocorrência do evento que simula a queda dos cabos da média tensão na baixa. A realização deste ensaio resultou na queima do aparelho de som. O equipamento danificado foi levado à oficina Eletrônica Eletromar em Araguari-MG para avaliação e conserto, sendo esta realizada por um técnico especializado. Assim, pode se observar que os componentes eletrônicos danificados do aparelho de som foram uma Fonte de alimentação, Trafo de força e a Placa de processamento e controles.

Os custos estimados para substituir os componentes eletrônicos danificados e a mão de obra por este serviço superam o valor comercial do aparelho, tornando inviável o conserto do mesmo. A figura 3.26 ilustra o circuito elétrico danificado.



Figura 3.25 - Momento do teste

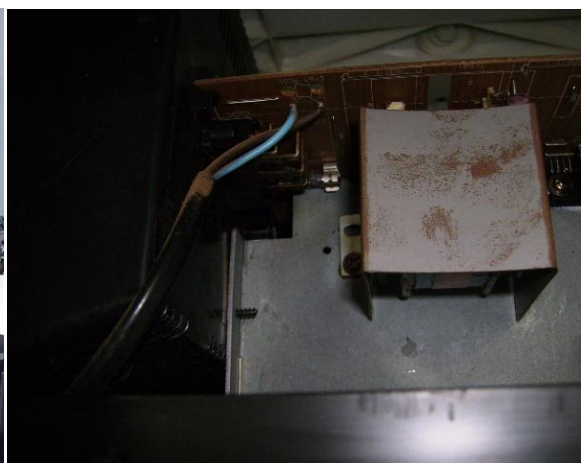


Figura 3.26 - Componentes danificados

3.6- Ensaio de impulso de tensão e corrente experimentais e destrutivos oriundos do fenômeno associado com as descargas atmosféricas

As descargas atmosféricas correspondem a uma das principais causas de queimas de equipamentos eletroeletrônicos, pois apresentam um alto poder destrutivo, dada a intensidade da corrente do raio (2 a 200 kA), apesar do seu

reduzido tempo de duração, cujo período crítico esta na faixa de dezenas de microssegundos.

As sobretensões de origem atmosférica podem atingir as cargas consumidoras fundamentalmente através de quatro diferentes ocorrências: as descargas indiretas que originam tensões induzidas na baixa tensão, a transferência de surtos originados na média tensão através do transformador de distribuição, a incidência de descargas diretamente sobre as edificações, bem como na rede de baixa tensão.

Com relação às descargas diretas, estas podem ocorrer sobre as redes de média e baixa tensão, bem como sobre edificações. Elas são mais comuns em redes de média tensão rurais ou em regiões periféricas de cidades. No entanto, são mais raras em áreas urbanas em decorrência da existência de edificações elevadas. A ocorrência de descargas diretas em redes de baixa tensão é pouco frequente, já que estas estão instaladas sob as redes de média tensão. Os efeitos da incidência de descargas diretas em redes de distribuição possuem elevada severidade, podendo provocar diversos danos no sistema.

Descargas que incidam em regiões circunvizinhas a redes de média e baixa tensão podem originar sobretensões induzidas nas mesmas. O grau de severidade dos fenômenos associados a este tipo de ocorrência é menor que os originados por descargas diretas, mas sua frequência de ocorrência é muito superior àquela das descargas diretas, o que torna as sobretensões induzidas o elemento crítico de desempenho das redes de distribuição.

A disseminação de um surto na média tensão, gerado por uma descarga direta ou indireta, pode se estender até a rede de baixa tensão através do transformador de distribuição. A intensidade e a forma das solicitações associadas a este processo são dependentes de inúmeros fatores. Seu grau de severidade pode alcançar níveis críticos, tanto do ponto de vista dos equipamentos instalados na rede de baixa tensão, quanto dos consumidores a ela conectados. A figura 3.27 ilustra tais afirmações.



Figura 3.27 – Interação entre as descargas atmosféricas e as redes de distribuição.

Estudos efetuados por instituições de pesquisa e desenvolvimento indicam que nas áreas urbanas, com relação à definição dos valores de corrente que finalmente atingem uma unidade consumidora em baixa tensão, o valor mediano da corrente de surto é de 1,2 kA e que em apenas 15% dos casos, as correntes excederiam 5 kA, sendo que a probabilidade de ocorrência de uma corrente com valor superior a 25 kA na entrada do consumidor numa localidade com altas incidência de raios é de “uma” ocorrência a cada 4115 anos, segundo informações de catálogos de fabricantes de dispositivos de proteção [12].

A caracterização da onda de tensão e corrente solicitante junto ao consumidor em termos de sua forma de onda, representando a ocorrência dos inúmeros fenômenos observados na rede elétrica, é internacionalmente padronizada (IEEE C6241, IEEE C6234, IEEE C6245, IEC 61643-1, IEC 61000-4-5 e etc.), como uma onda que necessita de 1,2 microssegundos para atingir o valor máximo diminuindo em 50 microssegundos à metade para tensão, e 8 microssegundos para atingir o valor máximo diminuindo em 20 microssegundos à metade para a corrente.

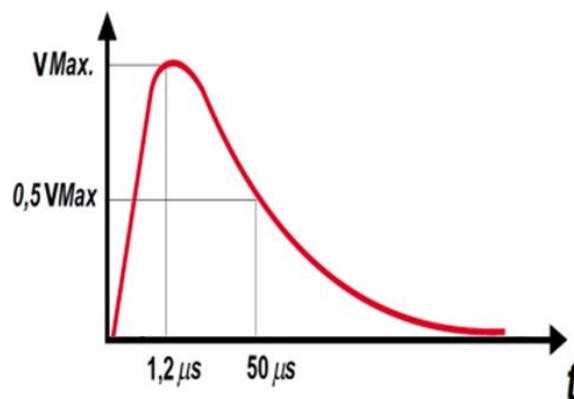


Figura 3.28 – Forma de Onda para Impulso de Tensão.

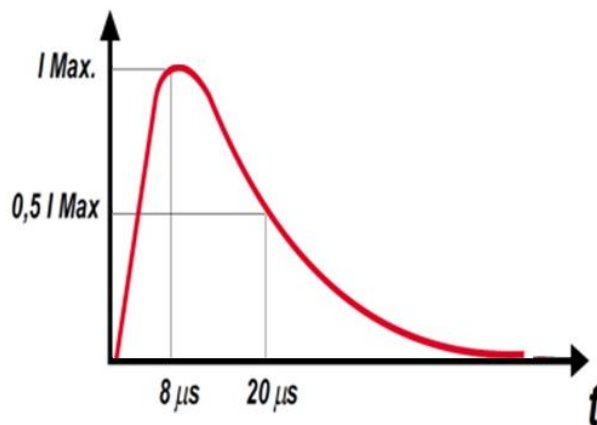


Figura 3.29 – Forma de Onda para Impulso de Corrente.

3.6.1 – Sistematização de testes de impulso de tensão e corrente

As curvas de suportabilidade dielétrica e térmica são modeladas através da composição de três funções que delimitam as regiões de suportabilidade física do equipamento, estando a região 1 da figura 3.5 relacionada aos transitórios impulsivos de alta frequência, que tipicamente ocorrem a partir da incidência de descargas atmosféricas em um sistema elétrico. Assim, para aplicar transitórios impulsivos de alta frequência foi utilizado um gerador de impulso de tensão e corrente do laboratório de alta tensão da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Para os ensaios de impulso de tensão foi utilizado o gerador de impulso Haefely 1,2 KJ – 450 kV em sua conexão 6p – 1s (um estágio de seis capacitores em paralelo), na qual a tensão máxima de ensaio é de 75 kV. Os oscilogramas foram registrados com o osciloscópio Tektronix TDS3034 2,5 G/s, sendo o canal 1 o sinal de tensão e o canal 2 o sinal da corrente resultante. A figura 3.30 ilustra o gerador de impulso de tensão.



Figura 3.30 - Gerador de impulso de tensão Haefely 1,2 KJ – 450 kV.

Para os ensaios de impulso de corrente foi utilizado o gerador de impulso de corrente de curta duração do laboratório de alta tensão da Universidade Federal de Itajubá. Os oscilogramas foram registrados com o osciloscópio Tektronix, sendo o canal 1 o sinal de impulso de corrente e o canal 2 a tensão resultante. A figura 3.31 ilustra o gerador de corrente.



Figura 3.31 - Gerador de impulso de corrente.

As figuras 3.32 e 3.33 ilustram os responsáveis pelos ensaios experimentais realizados no laboratório de alta tensão na Universidade Federal de Itajubá no período de 17 a 20 de agosto de 2009.



Figura 3.32 – Equipe da UFU e UNIFEI responsável pelos ensaios laboratoriais.



Figura 3.33 – Ensaio laboratorial em Itajubá.

3.6.2 – Ensaio de impulso de corrente em aparelhos de som

Conforme já mencionado anteriormente, para o levantamento das curvas de suportabilidade dos equipamentos eletroeletrônicos foram utilizados dois geradores, sendo que um produzia impulso de tensão e o outro impulso de corrente. Para este caso, foi utilizado o gerador de impulso de corrente, sendo que, a figura 3.34 ilustra

a montagem laboratorial necessária para o levantamento de um ponto da curva de suportabilidade térmica de aparelhos eletroeletrônicos.

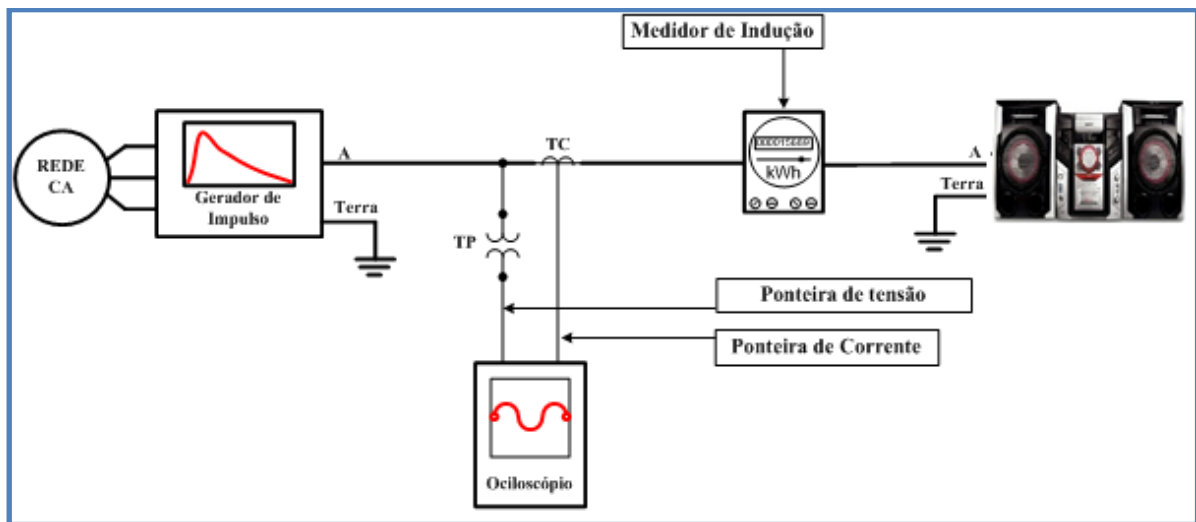


Figura 3.34 – Diagrama Esquemático da Montagem Laboratorial para Ensaio Destrutivo para Levantamento de Curva de Suportabilidade Térmica em Aparelhos Eletroeletrônicos.

A figura 3.35 ilustra a montagem laboratorial indicada pelo diagrama esquemático da figura 3.34.



Figura 3.35 – Detalhes da Montagem Laboratorial

3.6.2.1 – Ensaios realizados no aparelho de Som Sony usado – modelo (HCD-DX10D)

a) Objetivo

Este ensaio destrutivo tem por objetivo determinar um ponto da curva de suportabilidade térmica do aparelho de som. Neste caso, foi avaliado o desempenho do dispositivo de proteção contra surtos (DPS). Ao final, pode se observar os principais componentes eletrônicos danificados do aparelho de som mencionado, quando submetido a uma descarga atmosférica. A partir da figura 3.36, pode-se observar o equipamento submetido ao ensaio.



Figura 3.36 – Equipamento submetido ao ensaio de suportabilidade térmica.

b) Caracterização

Nesta situação, com o gerador citado anteriormente é aplicado um impulso de corrente padrão (8/20 μ s), simulando uma descarga atmosférica, conseqüentemente resultando em danos físicos ao equipamento.

c) Resultados

Uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.37 (a) ilustra o ensaio realizado com a presença do DPS, enquanto a figura 3.37 (b) ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, sem a presença do DPS, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e tensão. A escala da corrente é dada por 200 A/Volts, ou seja, cada 1 Volt representa 200 Ampères. Enquanto que a escala de tempo corresponde a 5µs/divisão. A fim de que se obtenha o valor real para corrente e tensão aplicado durante os ensaios, o valor de corrente deverá ser multiplicado por uma constante igual a 200, enquanto o valor de tensão deverá ser multiplicado por 311, sendo tais constantes válidas para todos os ensaios.

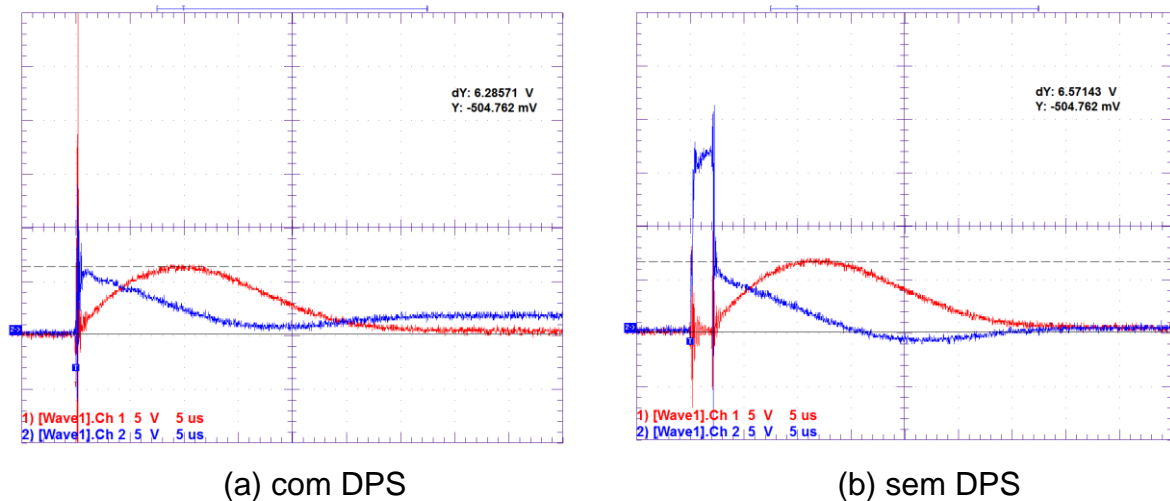


Figura 3.37 – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida neste ensaio.

Os resultados apresentados pela figura 3.37 demonstram que o impulso de corrente aplicado no primeiro ensaio, com a presença do DPS, não causou nenhum dano ao equipamento ensaiado. No segundo ensaio, sem a presença do DPS, o impulso de corrente obteve um valor de pico de 1400A. Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 7,06µs.

d) Análises e Conclusões

Diante dessa primeira situação, a aplicação do impulso de corrente resultou na queima do aparelho de som, sendo o equipamento danificado levado à oficina

Eletrônica Eletromar em Araguari-MG para avaliação e conserto. A partir de análises realizadas por um técnico especializado, pode se observar que neste caso, o único componente eletrônico danificado no aparelho de Som mencionado foi o Microprocessador.

Neste caso, vale ressaltar que, segundo o técnico responsável pelo conserto do equipamento, a fonte primária não foi danificada, porém os picos de tensão alcançaram o microprocessador danificando o mesmo.

Após a substituição do componente queimado, o aparelho de som foi testado, sendo que o mesmo voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar nenhum problema. A figura 3.38 ilustra o circuito elétrico danificado.

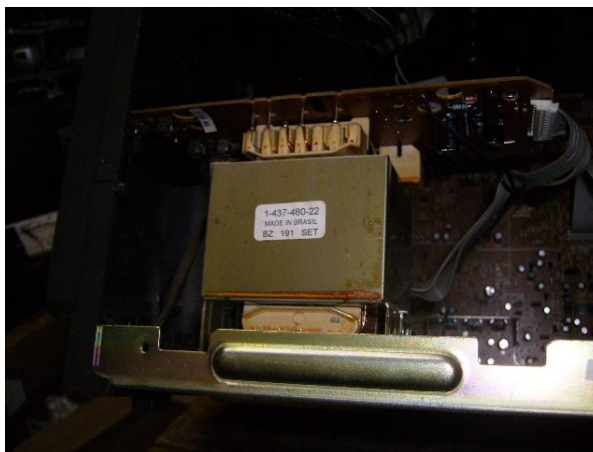


Figura 3.38 – Componente elétrico danificado no Aparelho de Som.

3.6.2.2 – Ensaio realizado no Aparelho de Som Phillips novo

a) Objetivo

Este ensaio destrutivo tem por objetivo determinar um ponto da curva de suportabilidade térmica do aparelho de som. Neste caso, foi avaliado o desempenho do dispositivo de proteção contra surtos (DPS). Ao final, pode se observar os principais componentes eletrônicos danificados do aparelho de som mencionado, quando submetido a uma descarga atmosférica. A partir da figura 3.39, pode-se observar o equipamento submetido ao ensaio.



Figura 3.39 – Equipamento submetido ao ensaio de suportabilidade térmica.

b) Caracterização

Nesta situação, com o gerador citado anteriormente é aplicado um impulso de corrente padrão ($8/20 \mu\text{s}$), simulando uma descarga atmosférica, consequentemente resultando em danos físicos ao equipamento.

c) Resultados

Uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.40 (a) ilustra o ensaio realizado com a presença do DPS, enquanto a figura 3.40 (b) ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, sem a presença do DPS, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e tensão. A escala da corrente é dada por 200 A/Volts, ou seja, cada 1 Volt representa 200 Ampères. Enquanto que a escala de tempo corresponde a $5\mu\text{s}/\text{divisão}$.

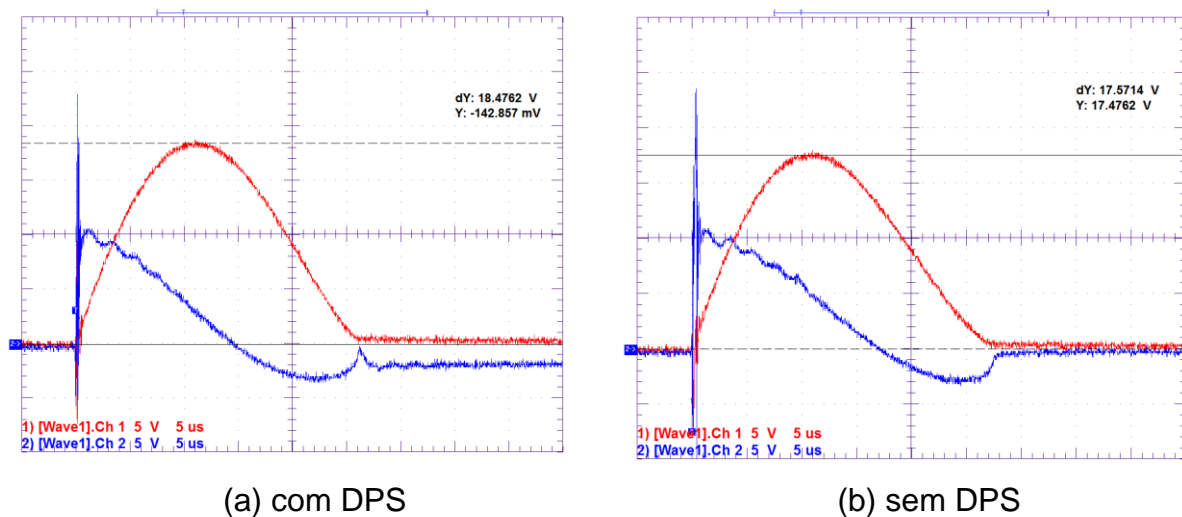


Figura 3.40 – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida neste ensaio.

Os resultados apresentados pela figura 3.40 demonstram que o impulso de corrente aplicado no primeiro ensaio, com a presença do DPS, não causou nenhum dano ao equipamento ensaiado. No segundo ensaio, sem a presença do DPS, o impulso de corrente obteve um valor de pico de 3560A. Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 10,71 μ s.

d) Análises e Conclusões

Diante dessa primeira situação, a aplicação do impulso de corrente resultou na queima do aparelho de som, sendo o equipamento danificado levado à oficina Eletrônica Eletromar em Araguari-MG para avaliação e conserto. A partir de análises realizadas por um técnico especializado, pode se observar que os componentes eletrônicos danificados no aparelho de Som mencionado foram, um Fusível e o Transformador de rede.

Após a substituição do componente queimado, o aparelho de som foi testado, sendo que o mesmo voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar nenhum problema. A figura 3.41 ilustra o circuito elétrico danificado.



Figura 3.41 – Componente elétrico danificado no Aparelho de Som.

3.6.2.3 – Ensaios realizados no Aparelho de Som Nell novo

a) Objetivo

Este ensaio destrutivo tem por objetivo determinar um ponto da curva de suportabilidade térmica do aparelho de som. Neste caso, não foi avaliado o desempenho do dispositivo de proteção contra surtos (DPS). Ao final, pode se observar os principais componentes eletrônicos danificados do aparelho de som mencionado, quando submetido a uma descarga atmosférica. A figura 3.42 mostra o equipamento submetido ao ensaio.



Figura 3.42 – Equipamento submetido ao ensaio de suportabilidade térmica.

b) Caracterização

Nesta situação, com o gerador citado anteriormente é aplicado um impulso de corrente padrão (8/20 μ s), simulando uma descarga atmosférica, conseqüentemente resultando em danos físicos ao equipamento.

c) Resultados

Uma vez realizado o procedimento descrito anteriormente, a figura 3.43 ilustra os resultados obtidos para as formas de onda da tensão e da corrente tomando-se como base o ensaio destrutivo, sem a presença do DPS, no qual os canais 1 e 2 representam respectivamente a corrente e tensão.

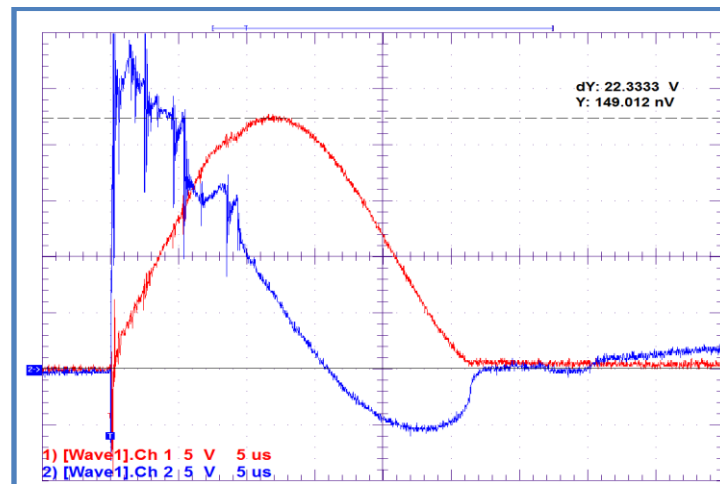


Figura 3.43 – Forma de onda da corrente aplicada e tensão obtida neste ensaio.

Os resultados apresentados pela figura 3.43 demonstram que o impulso de corrente aplicado obteve um valor de pico de 4580A. Nestas condições, pode-se observar que o dano ao equipamento ocorreu no instante de 9,38 μ s.

d) Análises e Conclusões

Diante dessa primeira situação, a aplicação do impulso de corrente resultou na queima do aparelho de som, sendo o equipamento danificado levado à oficina Eletrônica Eletromar em Araguari-MG para avaliação e conserto. A partir de análises realizadas por um técnico especializado, pode se observar que os componentes eletrônicos danificados no aparelho de Som mencionado foram o Fusível e o Transformador de rede.

Após a substituição do componente queimado, o aparelho de som foi testado, sendo que o mesmo voltou a funcionar, permanecendo ligado por horas sem apresentar problema. A figura 3.44 ilustra o circuito elétrico danificado.

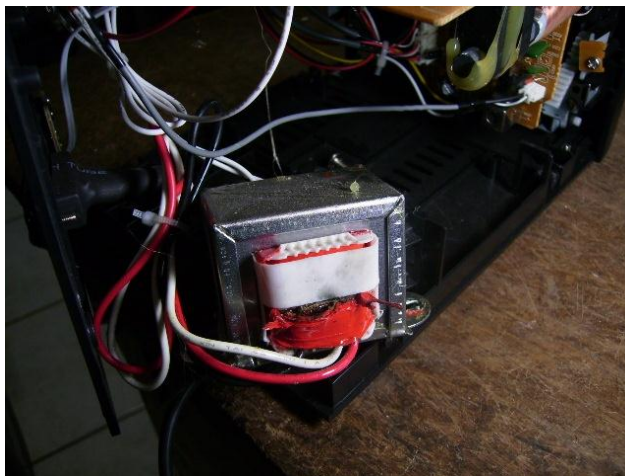


Figura 3.44 – Componente elétrico danificado no Aparelho de Som.

3.7– Obtenção das curvas de suportabilidade dielétrica para inserção no APR

De posse dos valores de tensão e tempo de exposição dos equipamentos aos testes supracitados até a ocorrência do dano elétrico, a curva de suportabilidade dielétrica pode ser delineada pela aplicação da equação (3.1). Neste contexto, as tabelas 3.2 e 3.3 descrevem uma síntese da relação de tensão (V) versus tempo de exposição (t).

Tabela 3.2 – Resultados dos testes da aplicação da média na baixa tensão

Aparelho de Som	Tensão (V)	Duração t(s)
Philips usado	2399	0,1
Sony novo	2000	0,250
CCE usado	2400	0,1

Tabela 3.3 – Resultado dos testes de aplicação de impulsos

Aparelho de Som	Tensão (V)	Duração t(μ s)
Philips novo	3436,5	10,71
Sony usado	5616,7	7,06
Nell novo	5598,0	9,38

Com base nos dados apresentados nas tabelas 3.2 e 3.3 a figura 3.45 mostra a curva de suportabilidade dielétrica representativa dos aparelhos de som investigados, obtida a partir dos valores mais conservativos (menores valores) quando da sobreposição das curvas individuais.

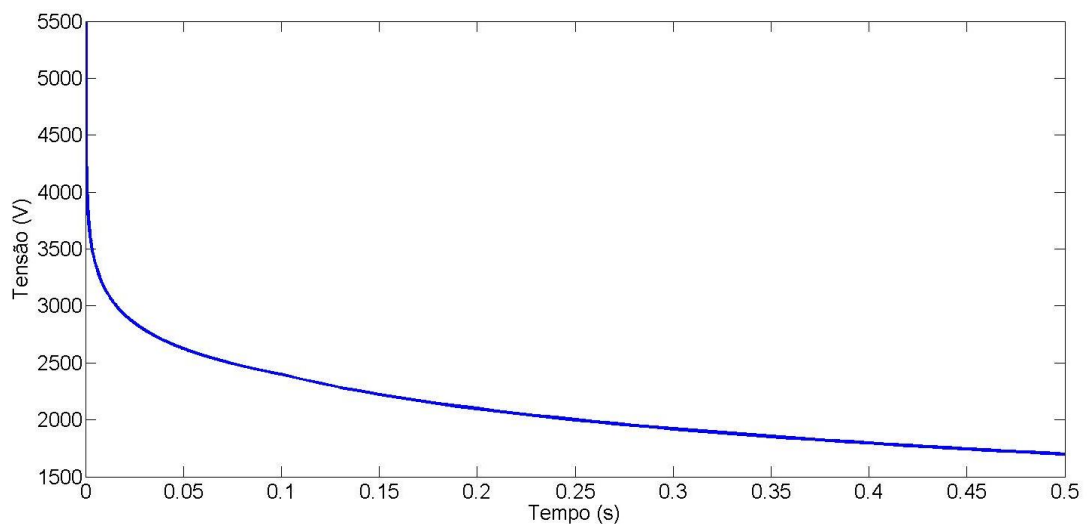


Figura 3.45 – Curva de Suportabilidade Dielétrica do Aparelho de Som

Além das curvas de suportabilidade dielétrica sugeridas por referências bibliográficas e as curvas obtidas para a CEMIG, os limites dielétricos dos equipamentos investigados em ensaios laboratoriais podem ser inseridos, no aplicativo APR através das expressões logarítmicas com o preenchimento dos campos específicos de tensão e tempo. A figura 3.46 ilustra o campo para selecionar as curvas CEMIG.

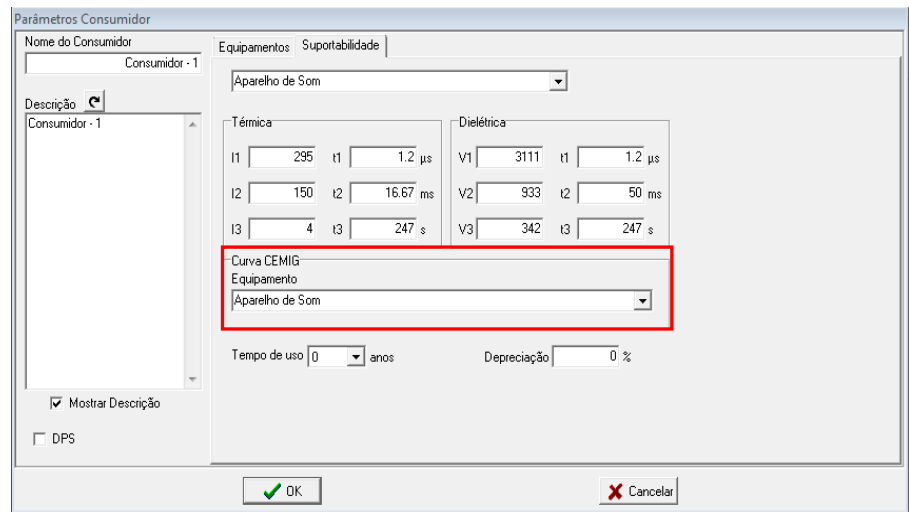


Figura 3.46 – Inserção da Curva de Suportabilidade Dielétrica

3.8– Obtenção das curvas de suportabilidade térmica para inserção no APR.

Obtidos os valores de corrente (I) e de tempo (t) para a máxima energia admissível (J) para os aparelhos de som, pela equação (3.8) foram calculados os valores da tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Síntese dos resultados laboratoriais

Aparelho de Som	Duração t(s)	Energia J(A ² · s)
Sony usado	7,06 μs	77,35
Philips novo	10,71 μs	69,69
NELL novo	9,38 μs	72,59

Conforme mencionado, utilizando-se a equação (3.10) e a energia máxima admissível pelo equipamento indicado na tabela 3.4, na sequência são traçadas as curvas de suportabilidade térmica para cada aparelho de som investigado:

- a) A curva de suportabilidade do Aparelho de Som Philips novo está mostrada na figura 3.47.

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \Rightarrow I(t) = \sqrt{\frac{69,69}{t}}$$

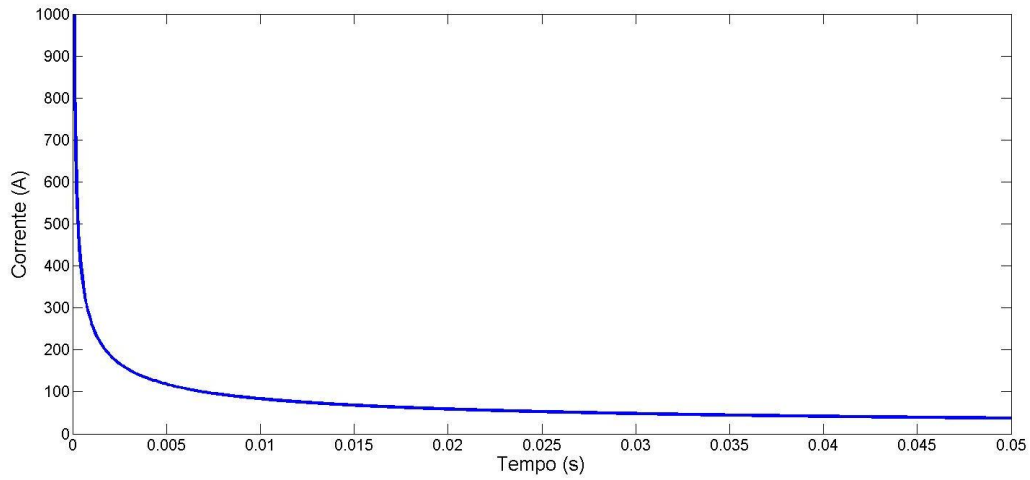


Figura 3.47 – Curva de Suportabilidade Térmica do Aparelho de Som Philips

b) A curva de suportabilidade do Aparelho de Som NELL está mostrada na figura 3.48.

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \Rightarrow I(t) = \sqrt{\frac{72,59}{t}}$$

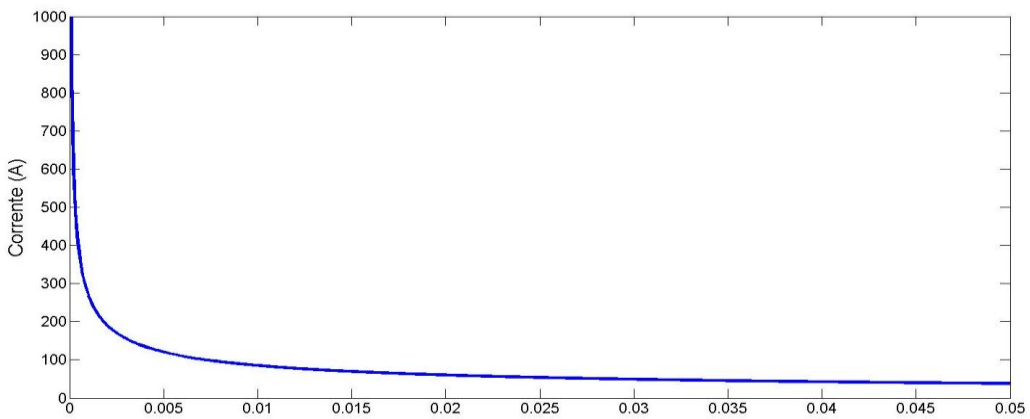


Figura 3.48 – Curva de Suportabilidade Térmica do Aparelho de Som NELL

c) A curva de suportabilidade do Aparelho de Som Sony usado está mostrada na figura 3.49.

$$I(t) = \sqrt{\frac{J}{t}} \Rightarrow I(t) = \sqrt{\frac{77,35}{t}}$$

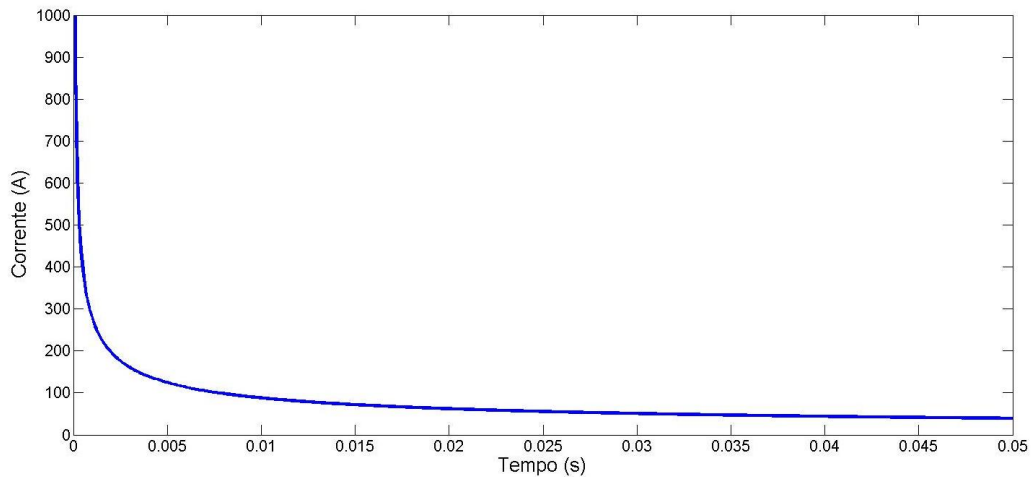


Figura 3.49 – Curva de Suportabilidade Térmica do Aparelho de Som Sony usado

Além da possibilidade de incluir a curva de suportabilidade térmica por expressões logarítmicas, o aplicativo APR possui também um campo específico para a inserção da curva que utiliza o valor da energia máxima admissível pelo equipamento sob análise que, através da equação (3.10), irá traçar as curvas de suportabilidade térmica supramencionadas. A figura 3.50 ilustra este processo.



Térmica		Dielétrica	
I1	295	t1	1.2 µs
I2	150	t2	16.67 ms
I3	4	t3	247 s
V1	3111	t1	1.2 µs
V2	933	t2	50 ms
V3	342	t3	247 s

Curva CEMIG
Equipamento: Aparelho de Som

Tempo de uso: 0 anos Depreciação: 0 %

Figura 3.50 – Inserção da Curva de Suportabilidade Térmica

3.9 – Considerações Finais

O presente capítulo apresentou os desenvolvimentos relativos ao levantamento das curvas de suportabilidade dielétrica e térmica de aparelhos de som. Dentre as atividades desenvolvidas para se atingir tais objetivos, pode-se destacar, o estabelecimento de uma metodologia laboratorial empregada para obter as curvas de suportabilidade física do eletroeletrônico.

No que se refere aos procedimentos voltados para as questões dos limites dielétricos e térmicos, foram então propostas e utilizadas estruturas laboratoriais especiais para a realização de ensaios de sobretensões à frequência industrial e os testes associados com os transitórios impulsivos vinculados com as descargas atmosféricas.

A partir dos resultados advindos dos ensaios experimentais foram então obtidas as informações necessárias 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 então traçados e avaliados sob à luz das referências até então disponibilizadas pela literatura.

Constatou-se, 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 mostraram com níveis de suportabilidade superiores àquelas até então empregadas.

Os novos limites térmicos e dielétricos obtidos foram incorporados ao aplicativo APR, o qual, a partir destas contribuições, passa a contar com novos meios para correlacionar os esforços advindos das ocorrências nas redes elétricas, com as tolerâncias destes produtos.

Finalmente, deve-se destacar também que testes laboratoriais com um dispositivo mitigador comercial foram considerados e realizados, com o objetivo de evidenciar a eficácia do DPS. Assim, conforme mostrado ao longo deste capítulo, em todos os ensaios realizados na presença do DPS, não houve a queima de nenhum aparelho de som.

CAPÍTULO IV

Estudos de Casos Reais

4.1 – Considerações iniciais

Nos capítulos anteriores apresentaram-se os pontos relevantes das contribuições, mudanças e respectivas implementações computacionais realizadas no aplicativo destinado às análises de pedidos de ressarcimento. Não obstante os detalhes já apresentados, para melhor entendimento do processo e da funcionalidade do mesmo, antes da apresentação dos resultados dos estudos de casos reais, são descritas na sequencia algumas características importantes sobre o processo de análise do APR. As alterações realizadas produziram uma nova versão do aplicativo passando a receber a designação de APR-3.0 que, com as contribuições desta dissertação, passa a se constituir numa versão mais atualizada, consistente com a realidade atual, precisa, e outras características que tornam o software mais atrativo e confiável para os fins almejados. Baseado nestas premissas, através de situações reais ocorridas na CEMIG-D do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, procede-se, nesta etapa dos trabalhos, ao processo da análise de desempenho desta nova versão do aplicativo computacional APR.

Assim, este capítulo tem dois objetivos, quais sejam:

- Identificar e caracterizar situações práticas atreladas com o tema central desta pesquisa;
- Simular, analisar e comparar os resultados computacionais oriundos dos casos reais vivenciados com os pareceres obtidos pela CEMIG- D- Uberlândia.

Dentre um grande conjunto de casos reais obtidos foram selecionadas algumas situações típicas para as análises subsequentes.

4.1.1 – Ferramenta de comunicação com sistemas georeferenciados

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 PID's, 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.

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 desde, por exemplo, a subestação de onde advém o alimentador em media 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 dias ou mesmo semanas para a realização dos estudos em foco. Reconhecendo tais limitações ao longo do desenvolvimento deste trabalho surgiu a ideia da busca de mecanismos que poderiam representar meios para uma agilização dos processos de análise, e ainda, com maior confiabilidade, exatidão e isenção de interesses de uma ou outra parte. Diante desta realidade surgiu a 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, em fim, todos os dados necessários para a modelagem da rede elétrica até o cliente final.

Esta estratégia 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 do APR, os distintos componentes que perfazem o arranjo são parametrizados em consonância com bancos de dados internos ao Aplicativo de Análise e as ações subseqüentes são realizadas de acordo com a estrutura original do programa.

Muito embora o reconhecimento que a filosofia da correlação entre um software geo-processado 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, passaram então a serem feitos com base em recursos disponibilizados pelo GEMINI, o qual permite exportar os dados requeridos.

Com o uso desta nova ferramenta, os trabalhos de análise de pedidos de ressarcimento que serão apresentados na sequencia tiveram uma redução média de tempo de análise de 3 (três) dias para 4 (quatro) minutos. Percebe-se que esta função do APR garante uma grande agilidade no processo, além de representar os dados das redes com maior fidelidade. Os detalhes sobre os desenvolvimentos podem ser verificados na referência [12]. Contudo, a título de ilustração apresentam-se, na sequencia, os procedimentos empregados para a caracterização, configuração e parametrização de uma rede de alimentação de um determinado consumidor reclamante, já com esta nova função, de acordo com os termos requeridos pelo APR. A caracterização da rede e do consumidor passou a ser feita de forma simples e direta, conforme descrito pela sequencia dos passos a, b e c:

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 possui como identificador o nº XXX, este é identificado no ambiente do GEMINI, o qual o caracteriza conforme mostrado na figura 4.1.

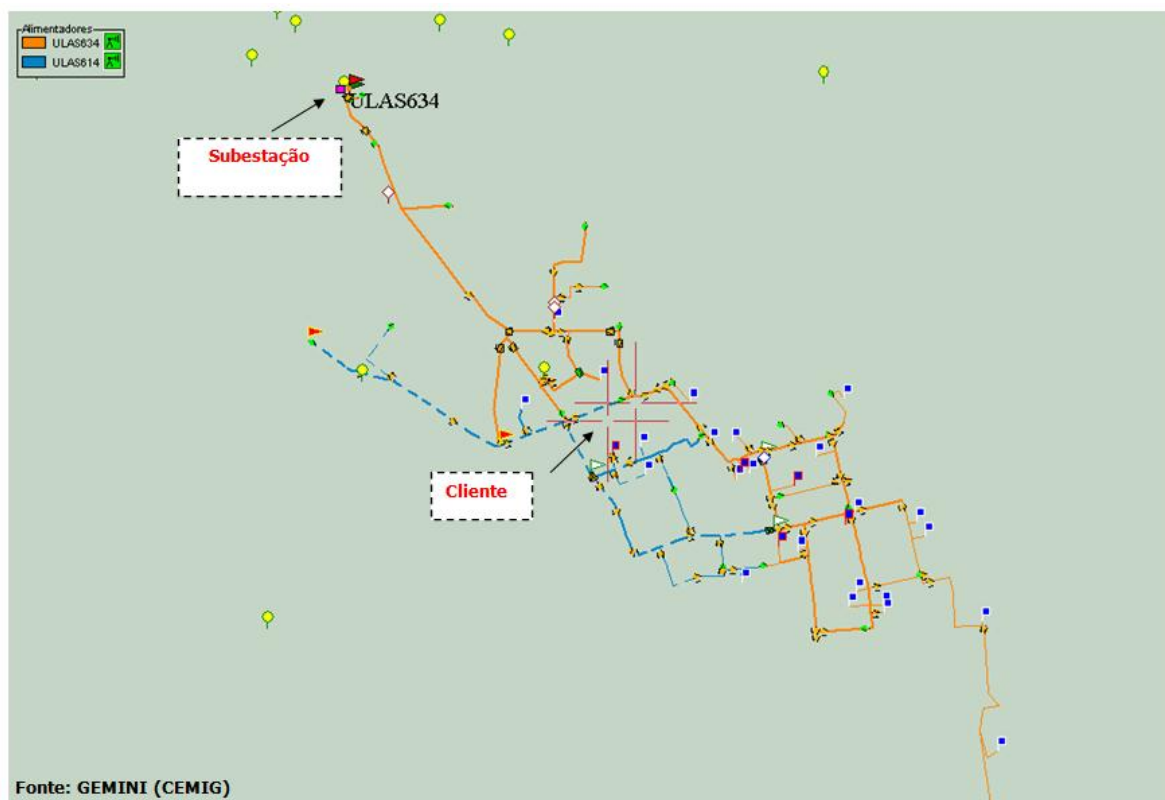


Figura 4.1 – Posicionamento físico do consumidor na rede de distribuição.

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 e o ponto de conexão do mesmo.

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 4.2. Uma vez feita tal opção a caracterização física e elétrica do consumidor é feita de forma automática. Assim agindo, as 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.

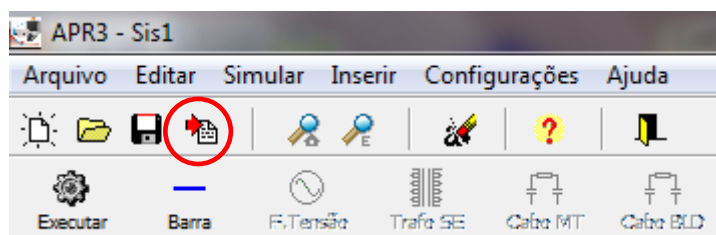


Figura 4.2 – Ícone para importação de dados do sistema geo-referenciado da empresa para o aplicativo APR

O processo de importação é iniciado pela inserção do código de identificação do cliente reclamante conforme apresentado pela figura 4.3.

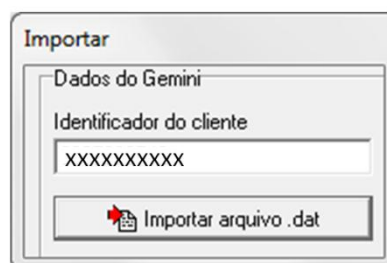


Figura 4.3 – Campo para inserção do identificador do cliente reclamante.

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 onde se encontra conectado o requerente do PID. A figura 4.4 mostra esta última tela.

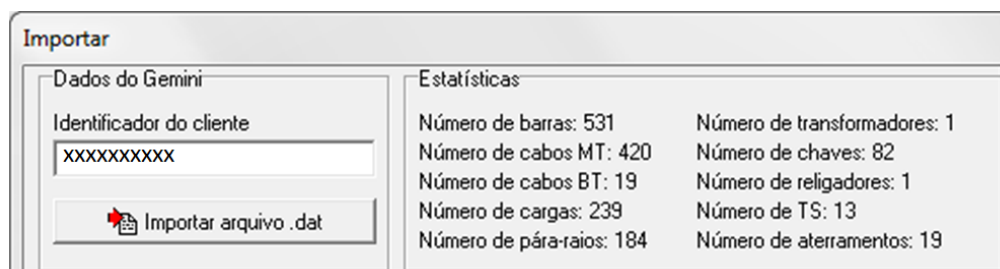


Figura 4.4 – Síntese da rede de distribuição importada.

Considerando-se 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 referido aplicativo passa a reconhecer o diagrama unifilar da figura 4.5 na forma de seu respectivo equivalente elétrico. Isto substitui um exaustivo trabalho manual de implementação da rede elétrica e possíveis equívocos de preenchimentos de dados.

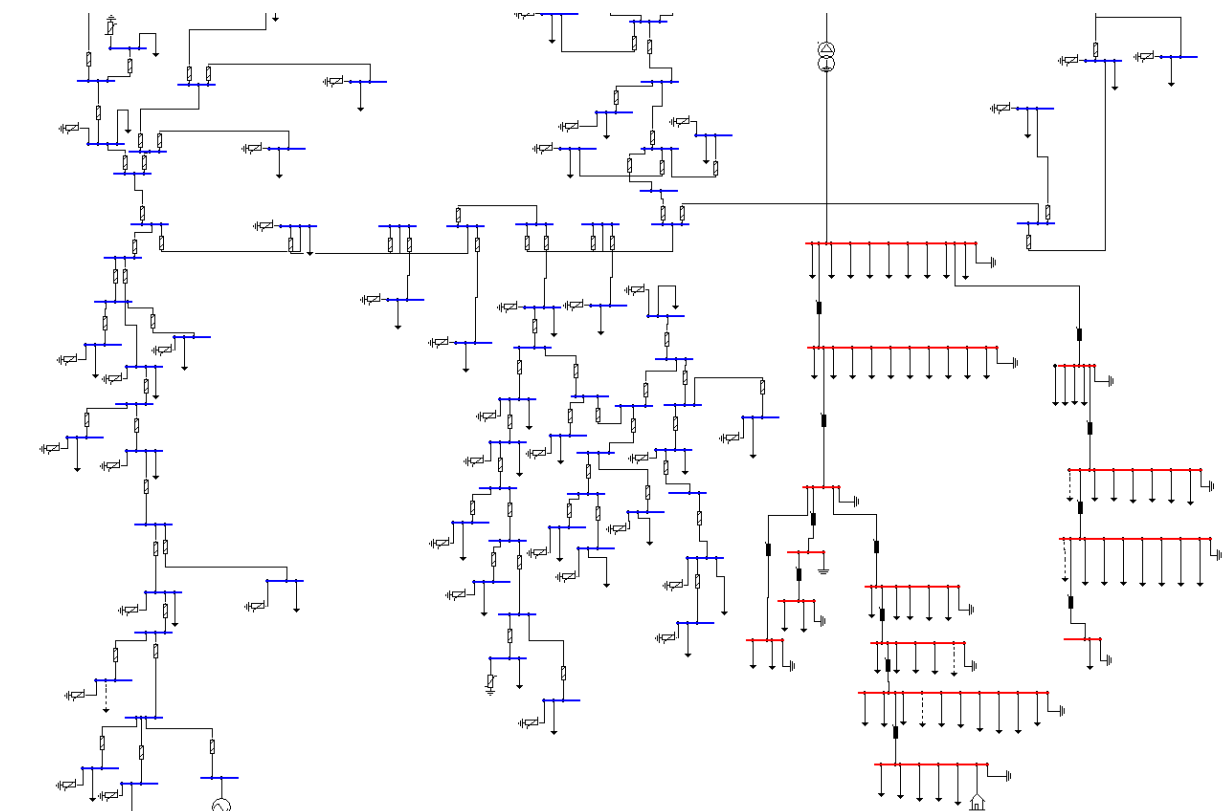


Figura 4.5 – Sistema elétrico importado para o aplicativo APR.

4.1.2 – Curvas de solicitação dielétrica e térmica

A fundamentação física da metodologia empregada pelo APR para a análise da procedência do pedido de ressarcimento está alicerçada na determinação de duas grandezas básicas vinculadas ao funcionamento dos equipamentos. Uma delas tem por propósito expressar as exigências dielétricas impostas ao equipamento, e a outra, as condições térmicas relacionadas com a anormalidade

ocorrida na rede. Uma vez obtidas tais informações, estas são confrontadas com os níveis de suportabilidade dos equipamentos contemplados na análise.

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

Conforme detalhado na referência [9], o cálculo utilizado pelo APR para obtenção das curvas de solicitação dielétrica e térmica são realizados através do emprego da equação 4.1.

$$X_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n}} \quad (4.1)$$

onde:

- X_k - valor da solicitação dielétrica/térmica para um instante de tempo qualquer;
- X_i - valor instantâneo da tensão/corrente para um instante de tempo qualquer;
- n - número de amostras de acordo com o passo de integração escolhido para a simulação no domínio do tempo.

Dentro do princípio exposto, a expressão (4.1) pode ser diretamente aplicada a qualquer distúrbio que venha a se manifestar na tensão de suprimento, isto é: distorções harmônicas, variações de tensão de curta e longa duração, oscilações de tensão, etc. e, de forma similar, procede-se à transformação dos efeitos manifestados nas formas de onda das correntes de suprimento dos equipamentos em impactos térmicos.

Uma vez estabelecido o processo de conversão das tensões e correntes ao longo do tempo em curvas de solicitações dielétricas e térmicas, o critério utilizado pelo APR para a análise da possibilidade de danos consiste na comparação destes indicadores com os respectivos níveis de suportabilidade do equipamento sob análise. Para melhor ilustrar este princípio, as Figuras 4.1 e 4.2 mostram, de modo genérico, a aplicação da metodologia para um caso hipotético de um pedido de ressarcimento devido a um distúrbio qualquer ocorrido na rede de distribuição de energia elétrica.

Na Figura 4.6 é apresentada a comparação da solicitação dielétrica imposta ao equipamento (curva na cor vermelha) com a curva de suportabilidade dielétrica (curva em azul).

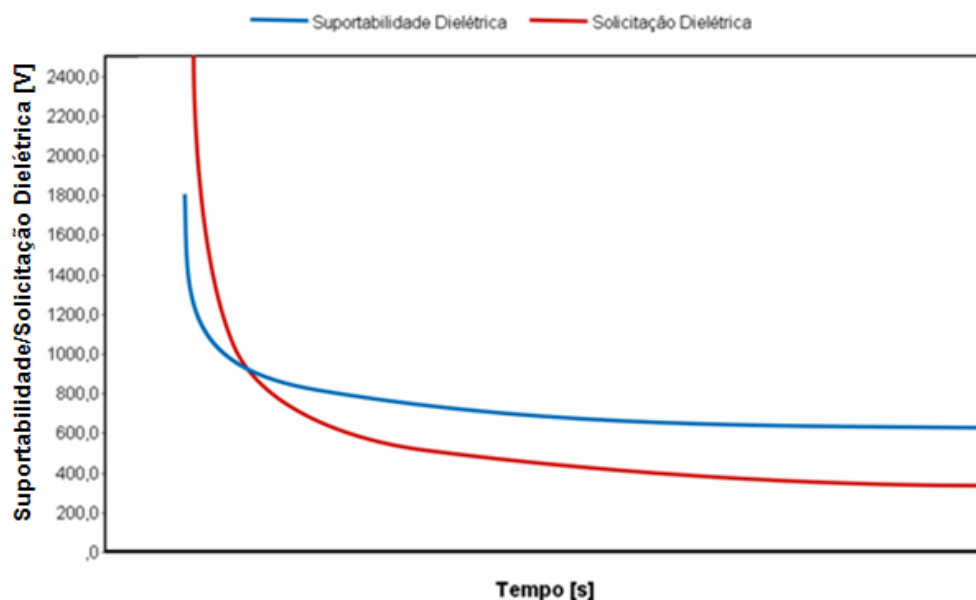


Figura 4.6 – Análise comparativa das solicitações dielétricas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento.

De forma similar, a Figura 4.7 indica a solicitação térmica (na cor vermelha) em comparação à suportabilidade térmica (em azul).

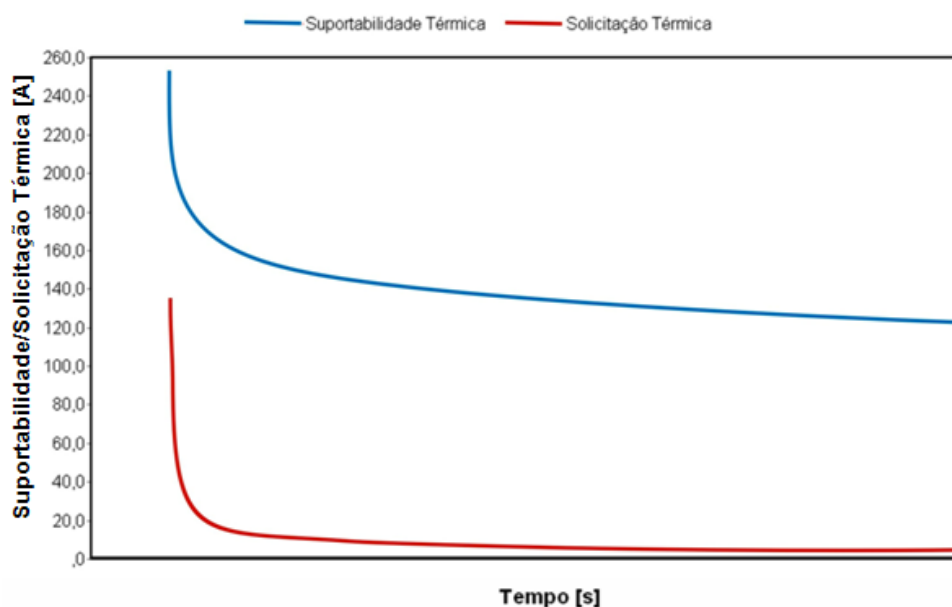


Figura 4.7 – Análise comparativa das solicitações térmicas diante dos níveis de suportabilidade do equipamento.

As informações advindas das figuras anteriores permitem, hipoteticamente, concluir que:

- De acordo com a Figura 4.6, para os primeiros instantes ocorre uma violação dos níveis de tensão admissíveis pelo equipamento, portanto: ***há possibilidade de danos físicos na forma de rompimento da isolação do equipamento;***
- Quanto às questões térmicas, indicadas na Figura 4.7, em nenhum momento se verifica uma violação dos limites tolerados pelo equipamento, portanto: ***não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.***

Baseado nestas premissas, na sequencia são apresentados os resultados de estudos de casos reais de pedidos de indenização por danos elétricos a consumidores.

4.2 - Casos reais de pedidos de indenização

Objetivando sintetizar os estudos, foram selecionados, apresentados e discutidos cinco casos reais de pedidos de ressarcimento vivenciados pela concessionária de energia elétrica.

Para cada caso foram feitas as seguintes investigações:

- Identificação do cliente e respectivo alimentador, incluindo os parâmetros da rede elétrica, desde a subestação até o ramal de ligação do cliente;
- Caracterização do distúrbio ao qual estaria associada à ocorrência sobre o aparelho de som danificado;
- Estudos avaliativos através dos recursos fornecidos pelo APR, para obter os esforços dielétricos e térmicos impostos aos equipamentos com e sem a presença dos dispositivos mitigadores de surto (DPS`s);
- Comparação entre os resultados obtidos pela metodologia computacional, com aqueles oriundos dos pareceres (procedentes ou improcedentes) da concessionária, os quais são baseados na existência ou não denexo causal.

4.2.1 – Caso 1 – Ressarcimento procedente para um aparelho de som sem DPS

Este caso mostra um pedido de ressarcimento procedente devido a uma reclamação de queima de um aparelho de som. O imóvel do cliente reclamante está localizado à rua Eduardo Marquez em Uberlândia-MG. Na documentação da CEMIG, consta que a causa que originou esta reclamação foi uma descarga atmosférica na rede primária de distribuição ocorrida no dia 21/11/2008. Após análise da solicitação por meio dos estudos internos existentes na data mencionada, o pedido foi considerado procedente, ou seja: decidiu-se pelo pagamento da indenização ao cliente.

Objetivando realizar os estudos investigativos sobre a correlação dos fatos e as consequências registradas, a utilização do APR requer o cumprimento dos seguintes passos:

a) Diagrama Unifilar do Sistema de Distribuição Analisado

A figura 4.8 mostra uma parte do diagrama unifilar do alimentador 606, caracterizando o local da incidência do distúrbio no sistema elétrico de distribuição, responsável pelo suprimento do consumidor. Os parâmetros associados com este arranjo foram inseridos no APR.

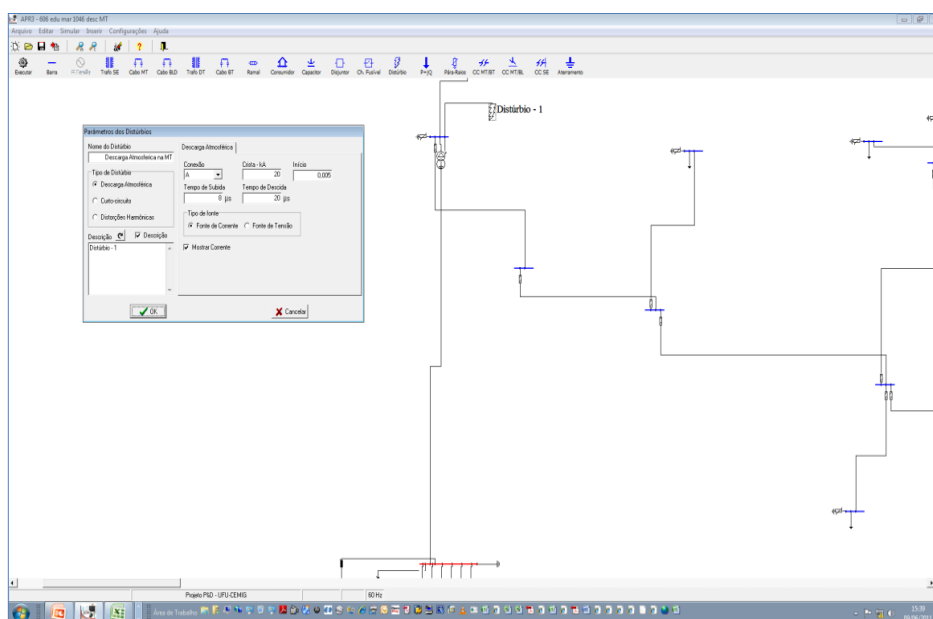


Figura 4.8 – Parte do Diagrama Unifilar do Alimentador 606 – caso 1

b) Diagrama unifilar da baixa tensão

O diagrama unifilar simplificado da baixa tensão que atende o cliente está identificado na figura 4.9

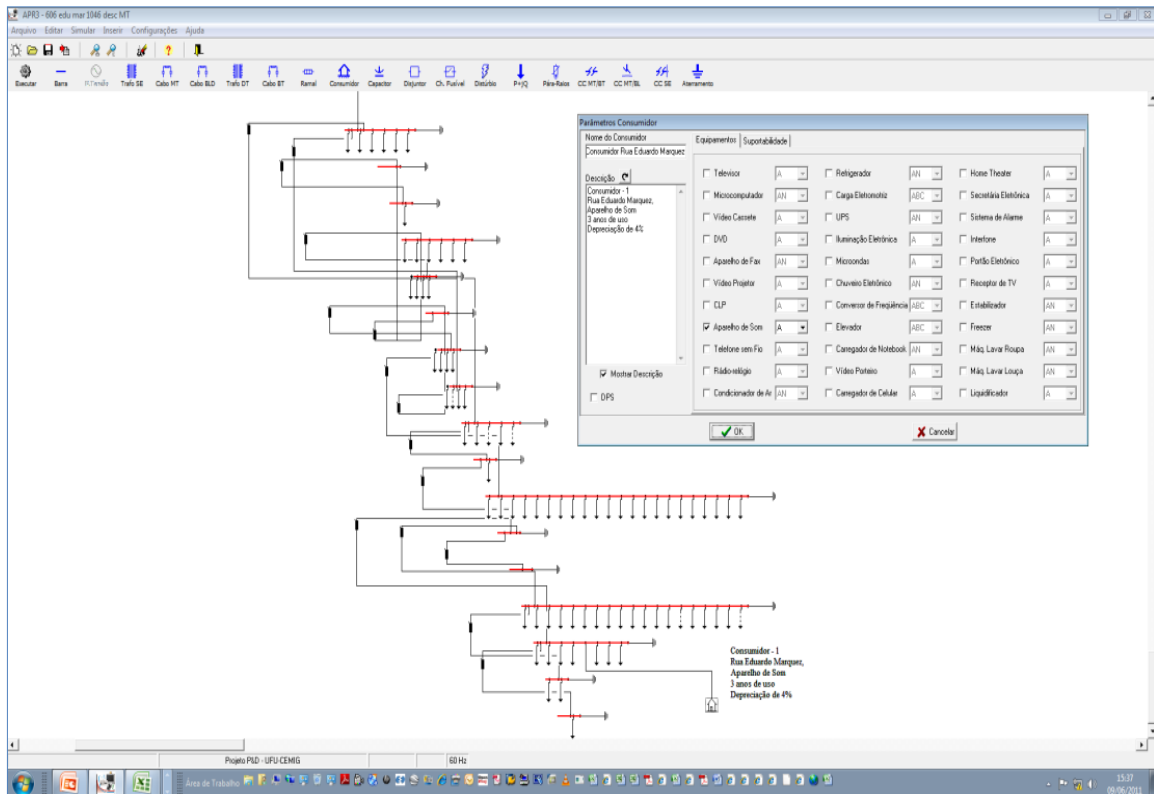


Figura 4.9 – Diagrama unifilar da baixa tensão que atende o cliente – caso 1

c) Configuração da Unidade Consumidora

A figura 4.10 detalha as informações do cliente e do equipamento de som.

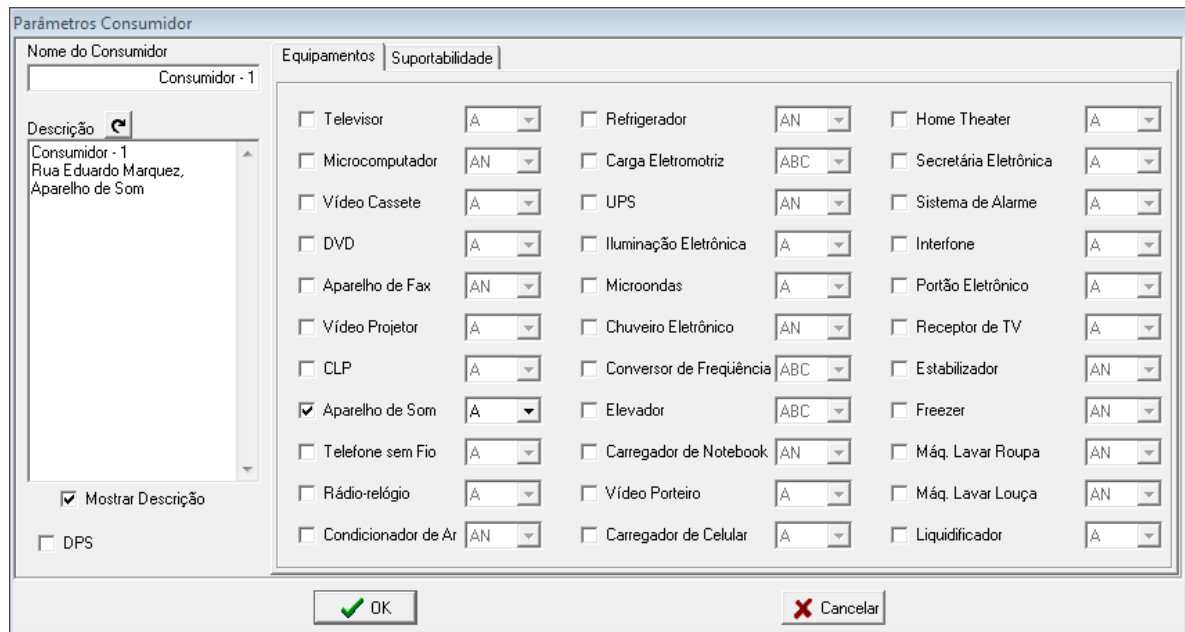


Figura 4.10 – dados do cliente e equipamento – caso 1

d) Configuração e parametrização da perturbação elétrica

O estabelecimento dos parâmetros da descarga atmosférica estão evidenciados na figura 4.11.

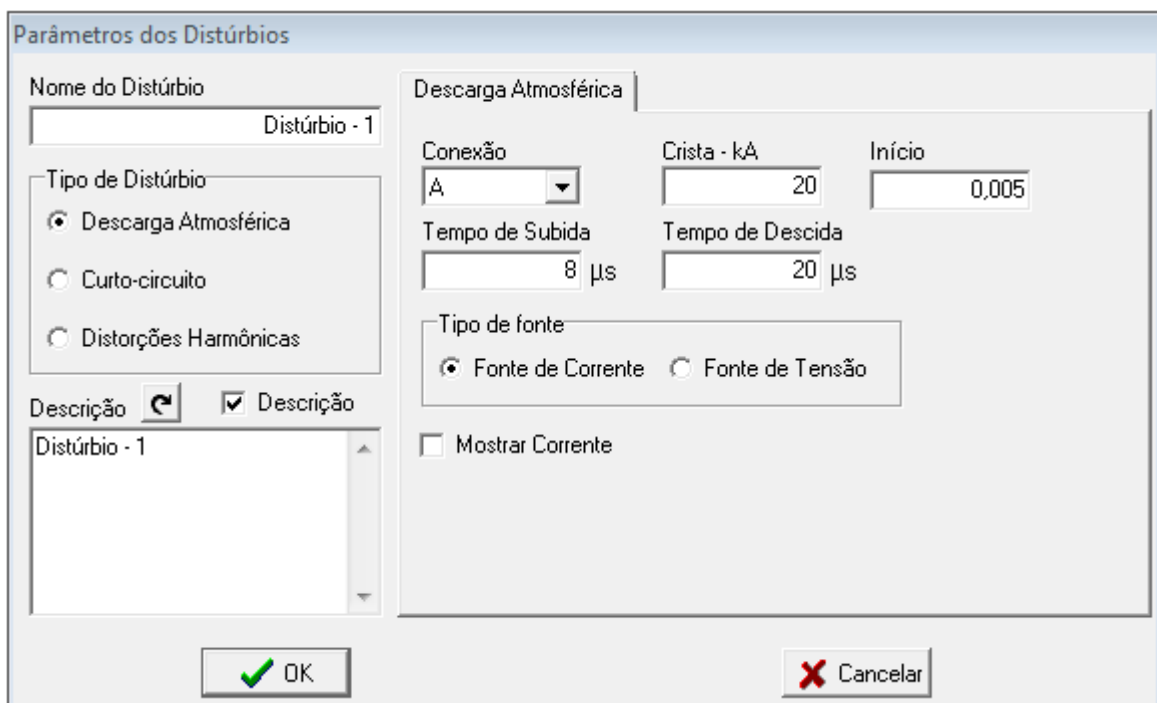


Figura 4.11 – Parâmetros do distúrbio elétrico – caso 1

A título de ilustração a Figura 4.12 mostra a forma de onda da corrente de surto associada com a descarga atmosférica, admitindo que este fenômeno ocorreu na média tensão.

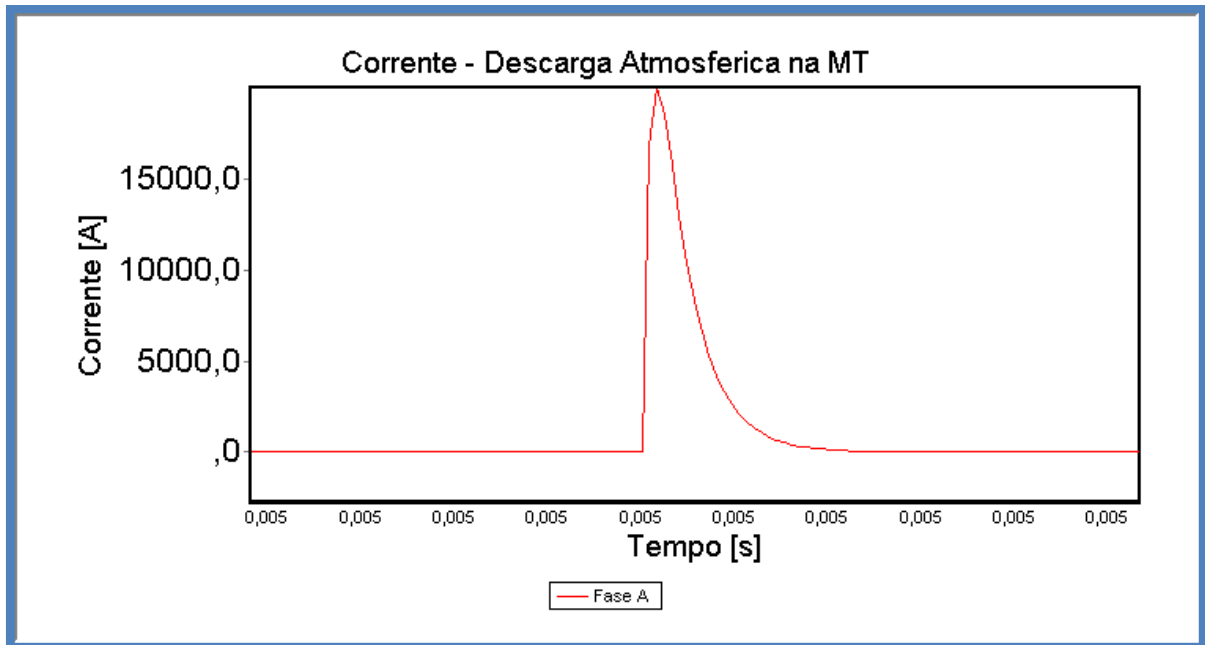


Figura 4.12 – Corrente da descarga atmosférica na MT – caso 1

e) Resultados Computacionais

As figuras 4.13 e 4.14 mostram, respectivamente, as formas de onda da corrente e tensão na entrada de alimentação do aparelho de som após a aplicação do distúrbio elétrico à rede de distribuição.

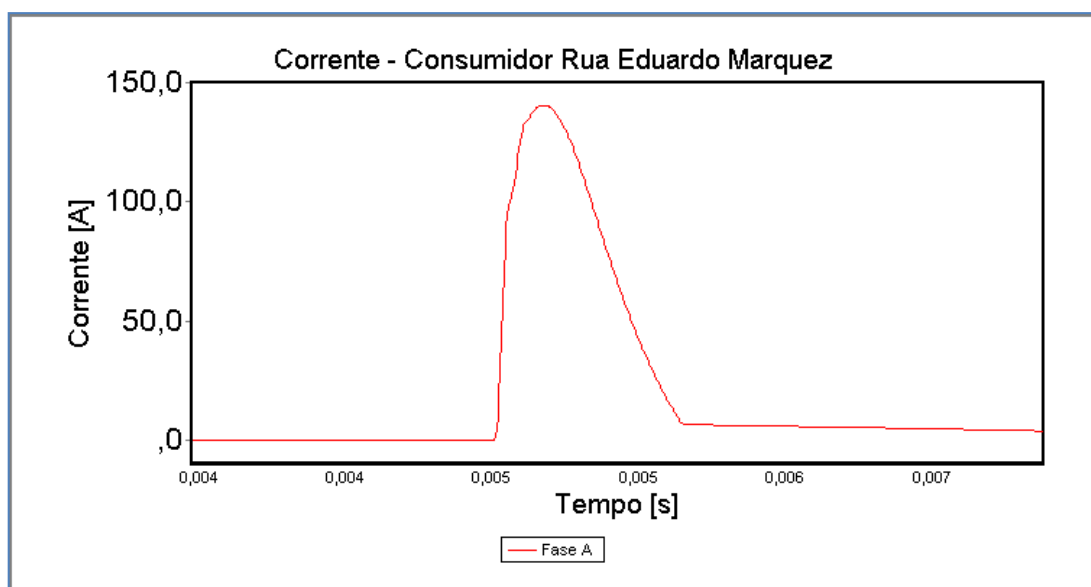


Figura 4.13 – Corrente na entrada do consumidor - caso 1

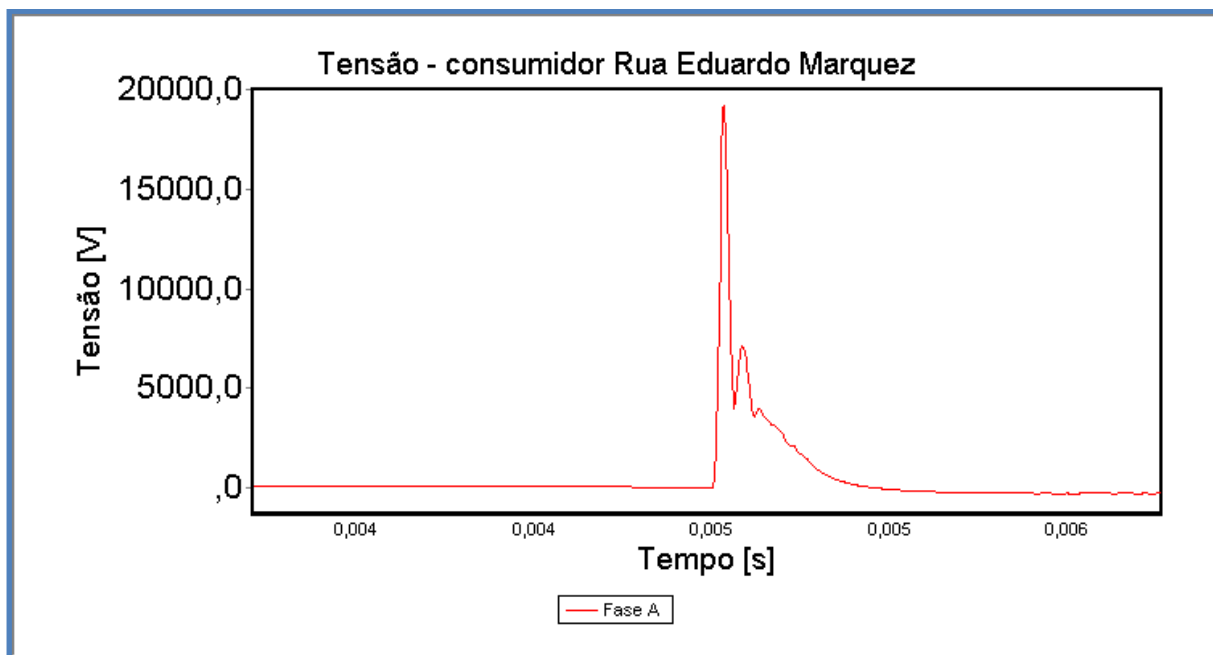


Figura 4.14 – Tensão na entrada do consumidor- caso 1

f) Esforços dielétricos e térmicos impostos ao aparelho de som

Aplicando-se a metodologia de cálculo das solicitações dielétricas e térmicas e as respectivas comparações com os limites de suportabilidade do aparelho de som, têm-se as figuras 4.15 e 4.16. Caso o fenômeno ocorrido na rede conduza a uma solicitação abaixo da curva de suportabilidade do eletroeletrônico, então uma condição operacional sem riscos probabilísticos de danos teria acontecido. No entanto, caso o distúrbio tenha gerado níveis de solicitação com valores superiores aos da suportabilidade, isto seria um indicativo sobre a possibilidade do distúrbio ocasionar uma falha do produto sob investigação, justificando o ressarcimento solicitado pelo dano causado.

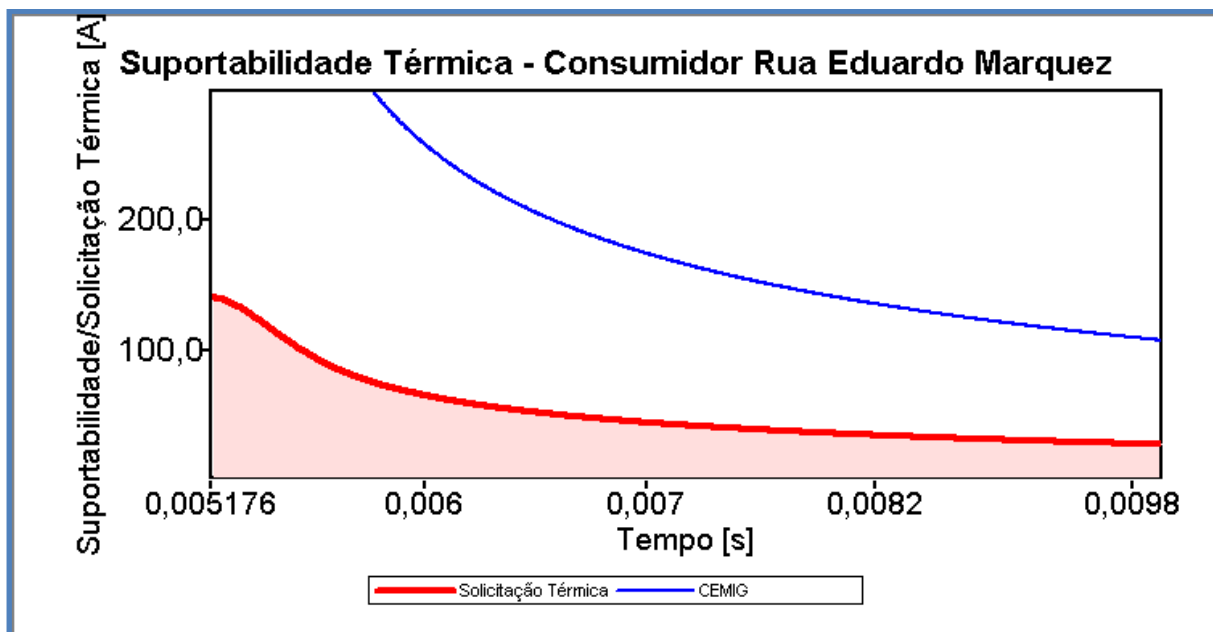


Figura 4.15 – Solicitação/Suportabilidade térmica do aparelho de som – caso 1

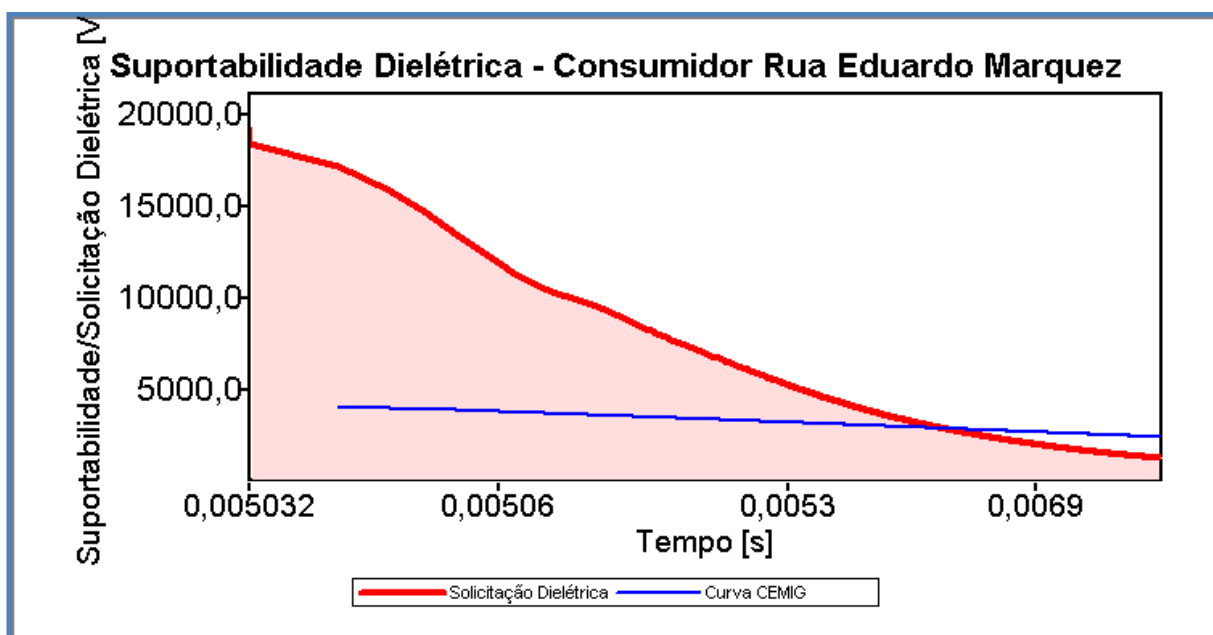


Figura 4.16 – Solicitação/Suportabilidade dielétrica do aparelho de som – caso 1

Tomando-se como base as figuras 4.15 e 4.16, pode-se concluir que:

- Em relação às questões térmicas, em nenhum momento ocorreu uma violação dos limites tolerados pelo equipamento. Assim, verifica-se que não há possibilidade de danos físicos na forma de sobreaquecimentos.

- Para a situação das suportabilidade dielétrica, observa-se que há possibilidade de danos físicos no aparelho de som.

Diante desses resultados, pode-se constatar que o pagamento do ressarcimento definido pela CEMIG-D, tomando-se como base o nexa causal foi procedente.

4.2.2 – Caso 2 – Simulação do caso 1, porém com dispositivos mitigadores (DPS`s)

Tomando-se como base as mesmas condições da simulação anterior, realizou-se um outro estudo, com o objetivo de verificar a eficácia do dispositivo mitigador, instalado no consumidor, de maneira a proteger o aparelho de som contra os surtos atmosféricos. Os detalhes sobre a modelagem e implementação computacional e validação do DPS podem ser consultados na referencia [11].

a) Resultados

Diante do exposto, os resultados fornecidos pelo APR-3.0 estão mostrados nas figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20.

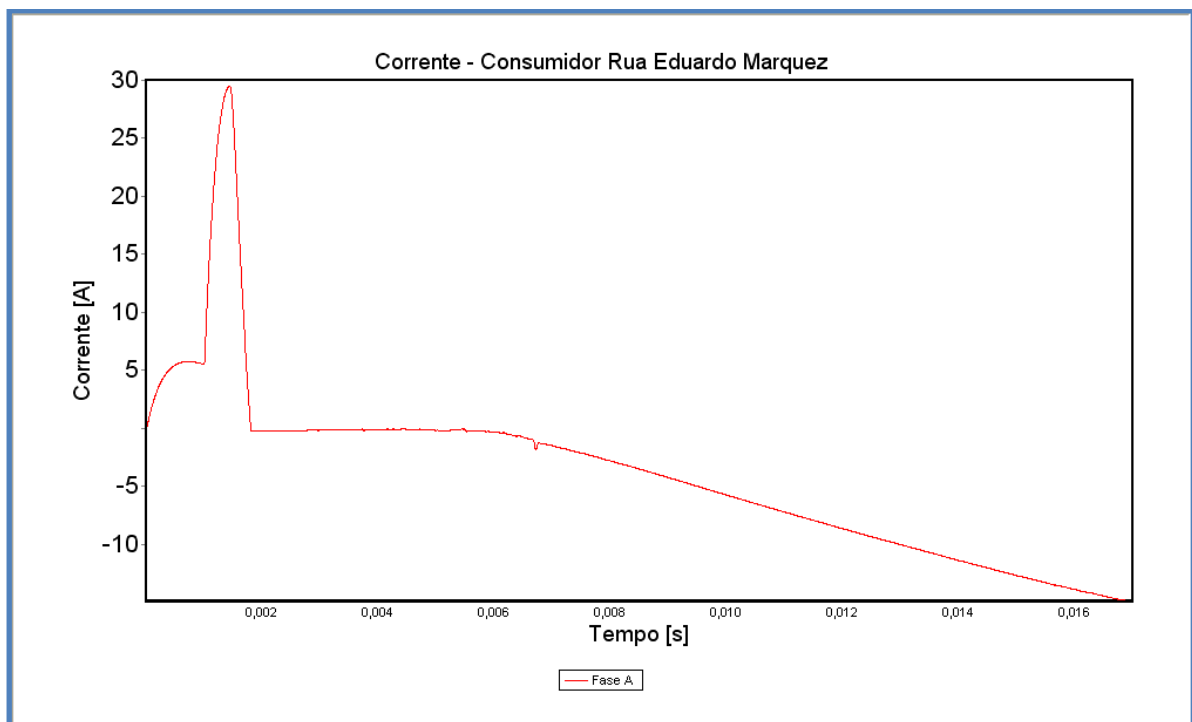


Figura 4.17 – Corrente no cliente com DPS – caso 2

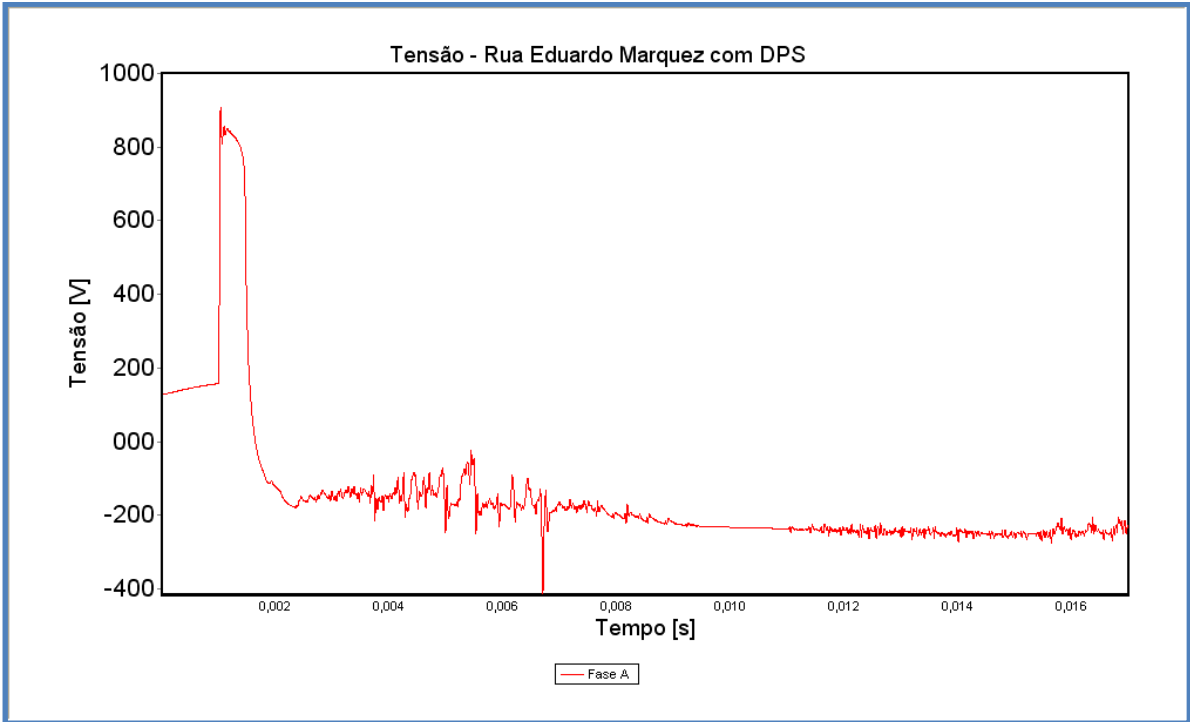


Figura 4.18 – Tensão no cliente com DPS – caso 2

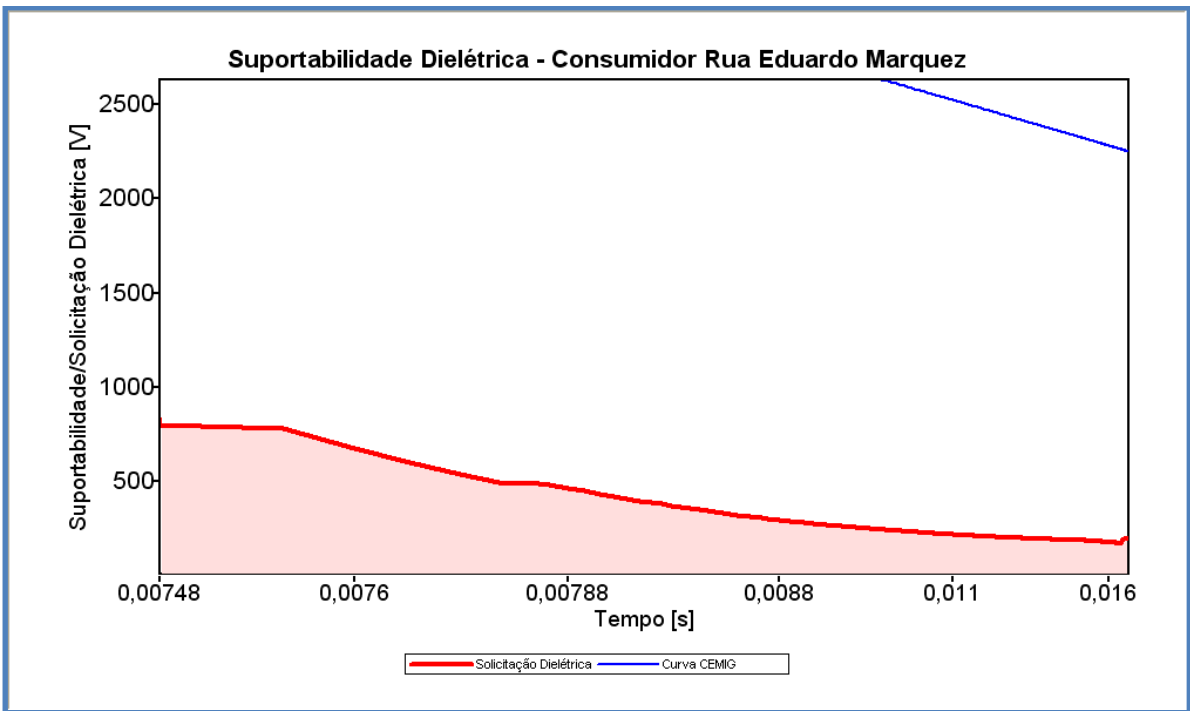


Figura 4.19 – Solicitação/Suportabilidade térmica com DPS – caso 2

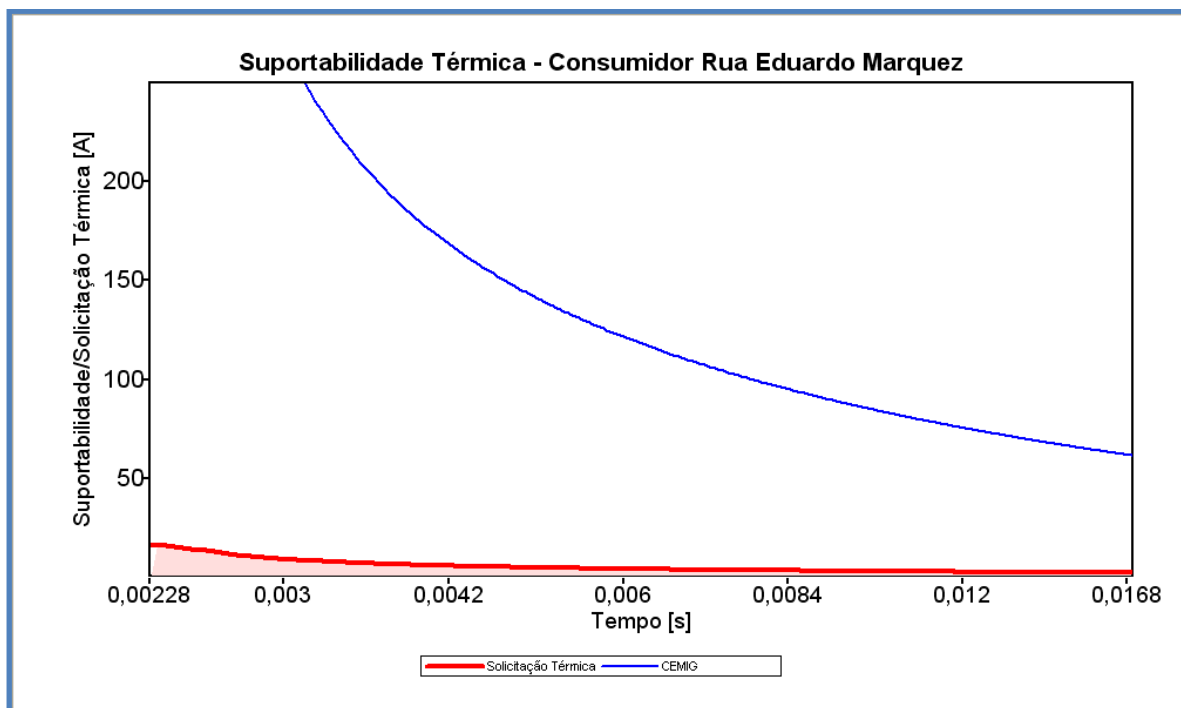


Figura 4.20 – Solicitação/Suportabilidade dielétrica com DPS – caso 2

Tomando-se como base as figuras 4.17 a 4.20, pode-se concluir que:

- Em relação às questões térmicas, o equipamento não sofre danos, pois, em nenhum momento ocorreu uma violação dos limites tolerados;
- Para a situação das suportabilidade dielétrica, observa-se que com o DPS não há possibilidade de danos físicos no aparelho de som;
- Em relação à corrente, houve um decréscimo, passando de 140 A para 28 no valor máximo.

4.2.3 – Caso 3 – Pedido de ressarcimento improcedente de um aparelho de som

Este caso retrata uma solicitação improcedente de um pedido de ressarcimento de danos de um aparelho de som. O endereço residencial do cliente está localizado à rua Princesa Isabel em Uberlândia/MG. A causa que originou esta reclamação foi uma descarga atmosférica na rede primária de distribuição ocorrida no dia 17/01/2011, juntamente com um religamento automático.

Objetivando realizar os estudos investigativos sobre a correlação dos fatos e as consequências registradas, a utilização do APR requer o comprimento dos seguintes passos:

a) Diagrama Unifilar da Rede de Distribuição Analisada

A figura 4.21 mostra o diagrama unifilar do alimentador 606, desde a SE até a unidade consumidora do cliente. A figura 4.22 evidencia o diagrama unifilar simplificado a ser inserido no APR. Enquanto que a figura 4.23, ilustra a configuração da unidade consumidora, as quais também são inseridas no pacote computacional mencionado.

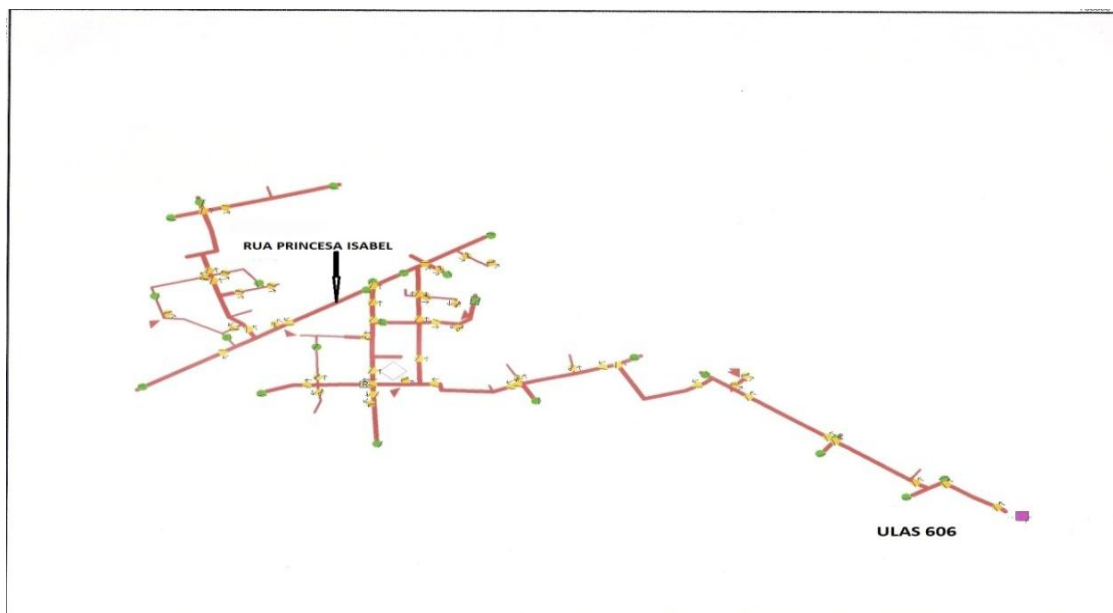


Figura 4.21– Diagrama unifilar do alimentador 606 – caso 3

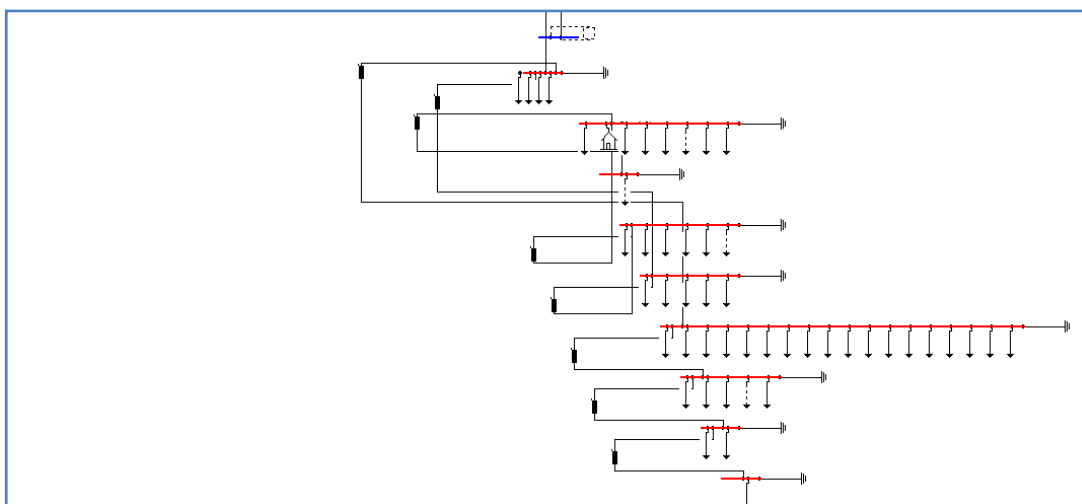


Figura 4.22 – Diagrama unifilar simplificado do alimentador no APR – caso 3

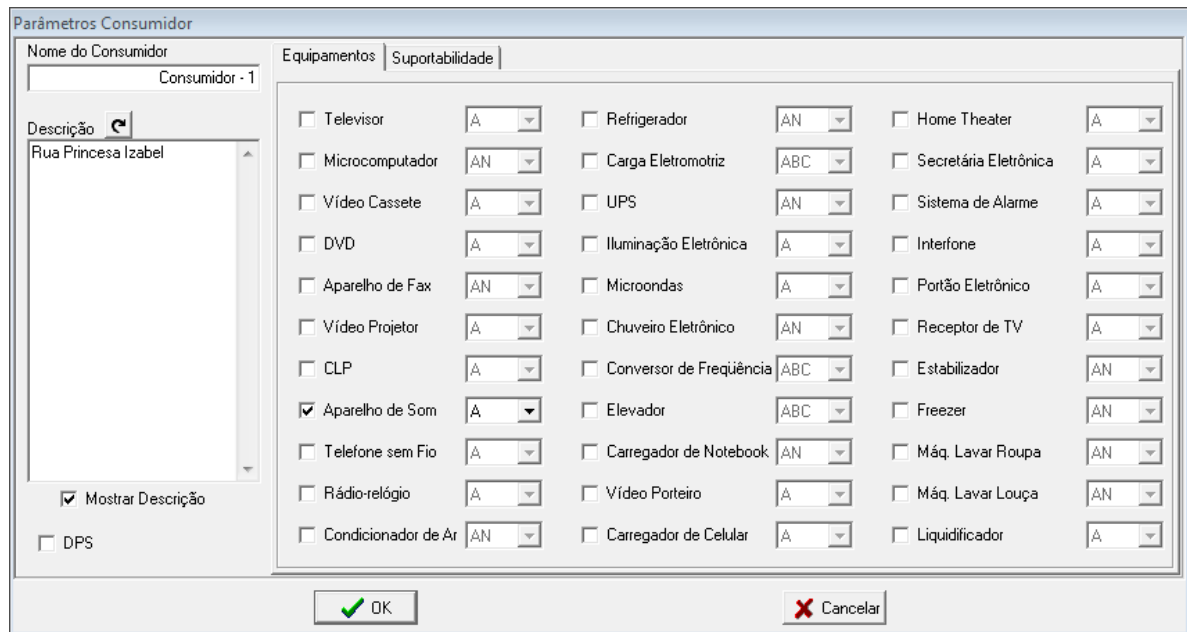


Figura 4.23 – Informações do cliente e do equipamento de som – caso 3

b) Configuração e parametrização da descarga atmosférica

As figuras 4.24 e 4.25 indicam os parâmetros básicos da descarga atmosférica aplicada para a análise desta situação.

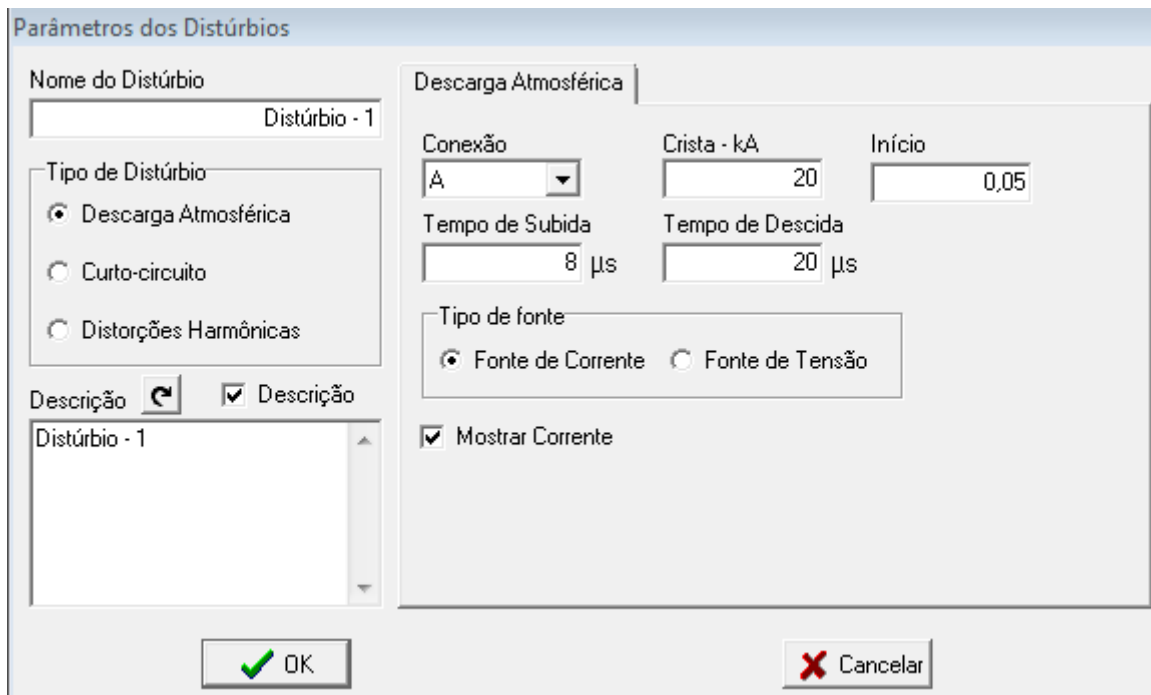


Figura 4.24 – Tipo do Distúrbio – caso 3

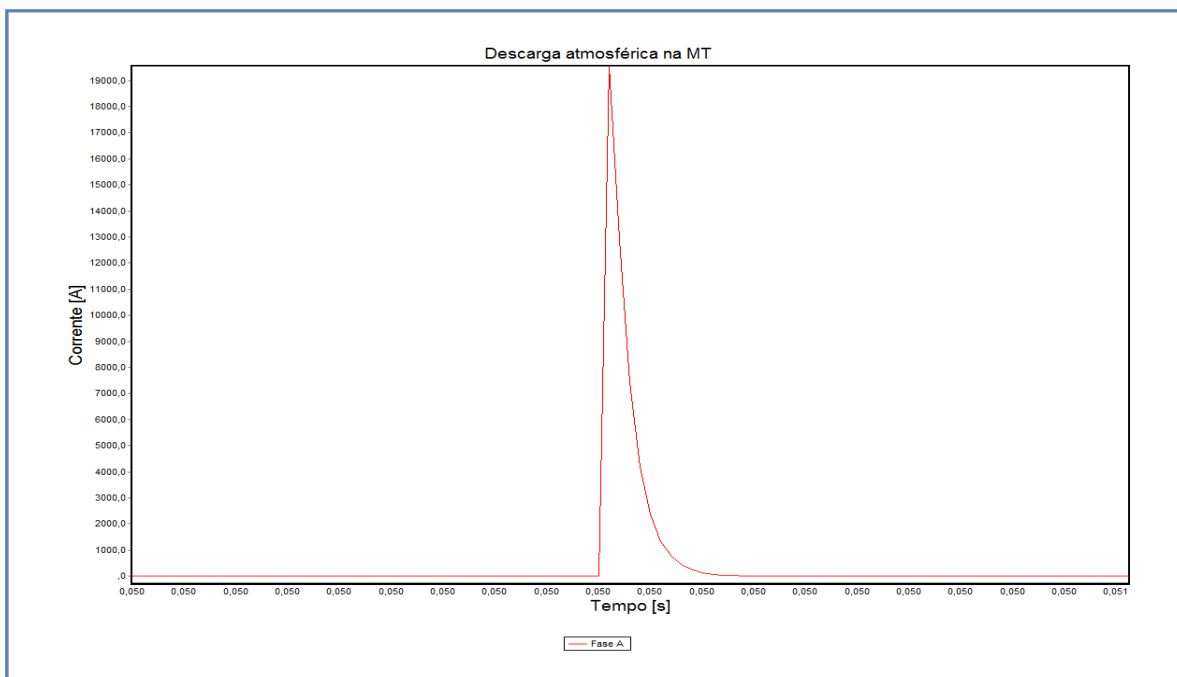


Figura 4.25 – Corrente associada com as descargas atmosféricas – caso 3

c) Suportabilidades térmica e dielétrica impostas ao aparelho de som

Dentro da metodologia apresentada anteriormente, mostra-se nas figuras 4.26 e 4.27, respectivamente, as formas de onda da corrente e da tensão na entrada da instalação do cliente reclamante.

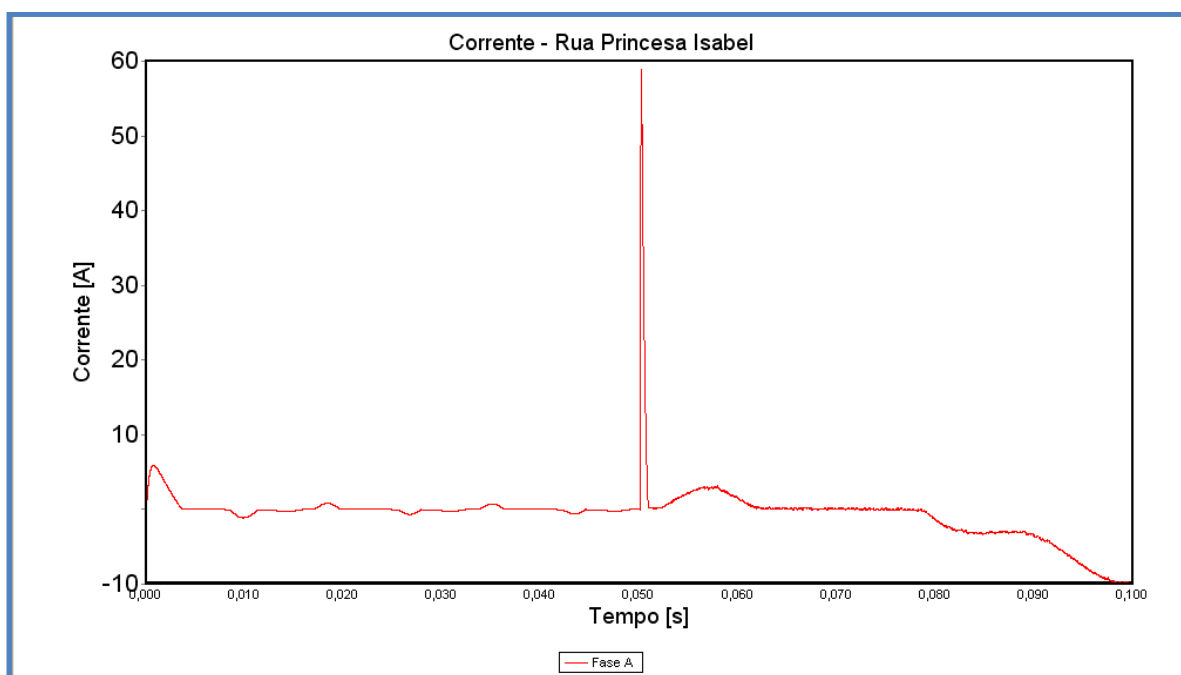


Figura 4.26 – Corrente na entrada do equipamento de som – caso 3

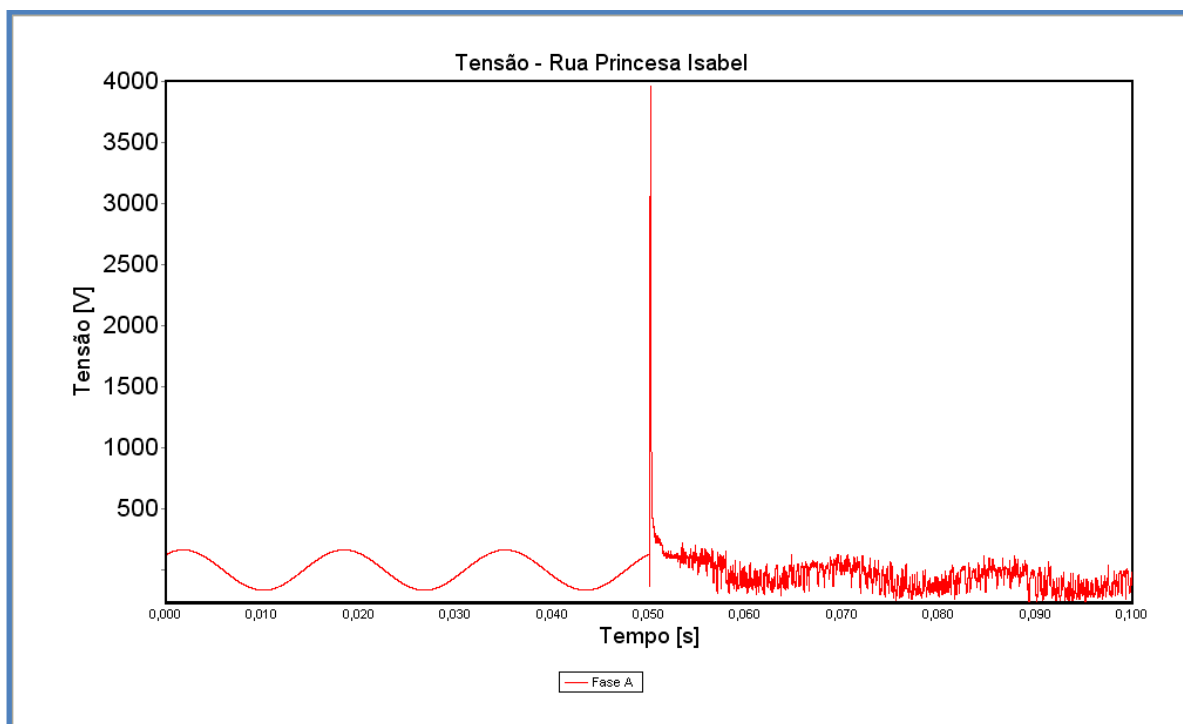


Figura 4.27 – Tensão aplicada no equipamento de som – caso 3

Dentro deste contexto, na figura 4.28 observa-se que, em nenhum momento ocorre uma violação dos limites tolerados pelo equipamento. Assim, em relação das questões atreladas às elevações de temperatura e respectivos impactos térmicos, não há possibilidade de ocorrer danos físicos na forma de aquecimentos.

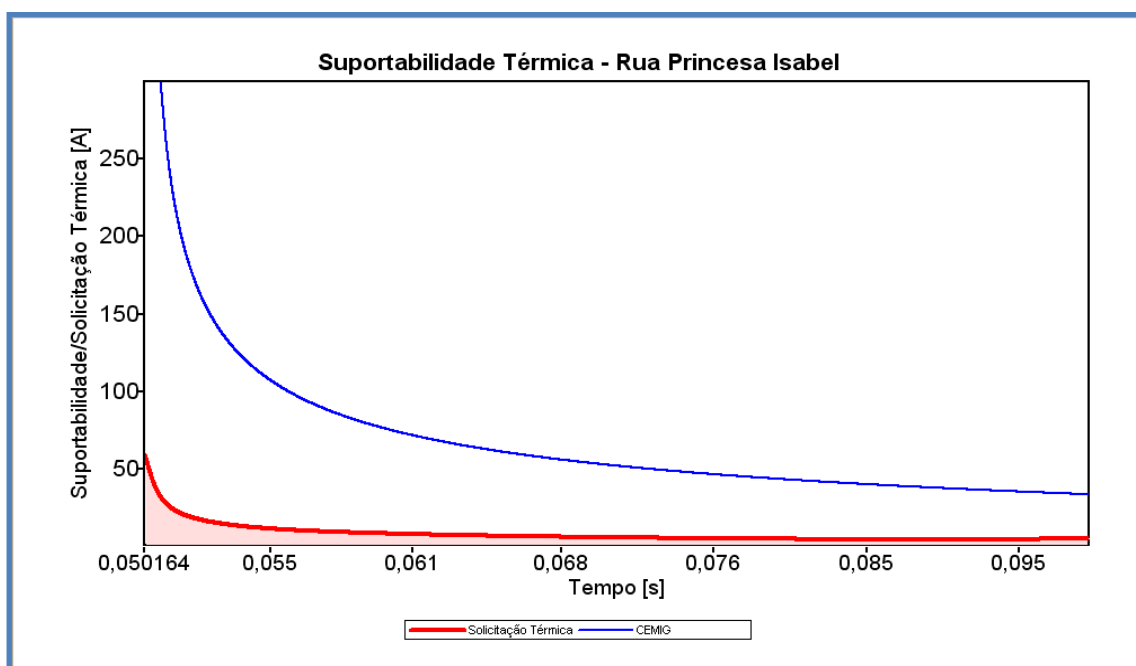


Figura 4.28 – Suportabilidade térmica do aparelho de som – caso 3

A figura 4.29 mostra que não ocorreu violação dos níveis de tensão admissíveis, portanto também não há possibilidade de danos físicos no aparelho de som.

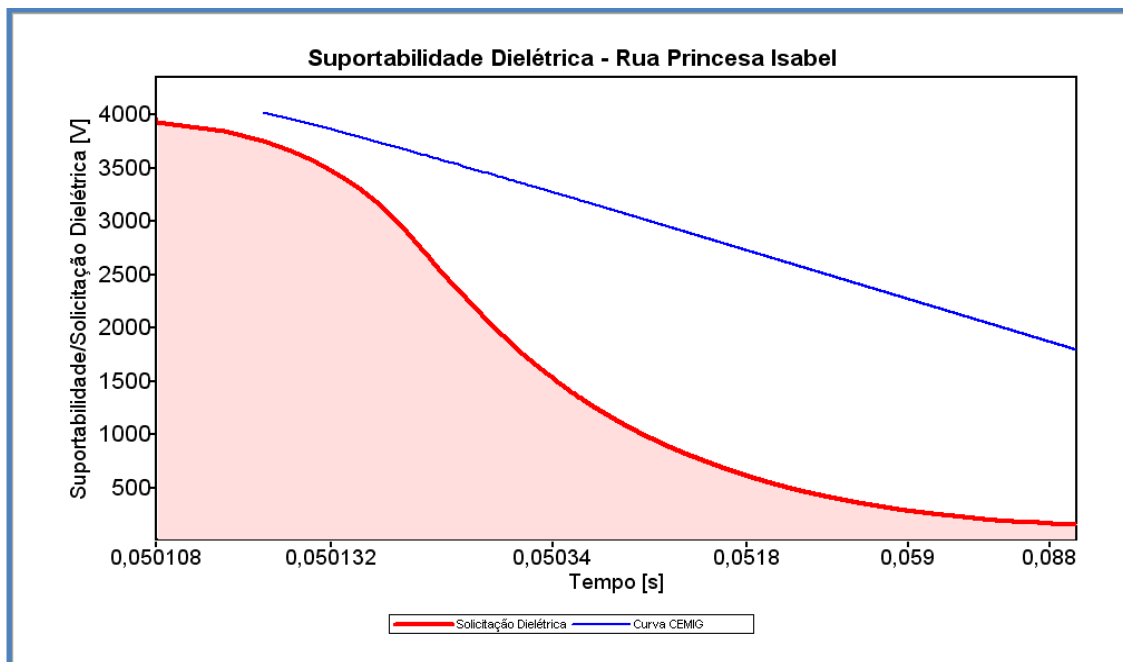


Figura 4.29 – Solicitação/Suportabilidade dielétrica do aparelho de som – caso 3

Diante dos resultados computacionais apresentados, pôde-se constatar que o cliente teve o seu pedido de ressarcimento negado (improcedente), tecnicamente, pois os esforços dielétricos e térmicos foram inferiores às curvas de suportabilidade física do aparelho de som. A concessionária de energia elétrica também considerou esse pedido improcedente.

4.2.4 – Caso 4 – Queima de um aparelho de som de cliente que não reclamou

Este caso mostra uma queima de um aparelho de som de um cliente cujo imóvel está situado à rua Rafael Rinaldi em Uberlândia/MG. A causa que originou a reclamação foi uma descarga atmosférica na rede primária de distribuição ocorrida no dia 25/02/2011, juntamente com um religamento automático. Deve-se salientar que para este caso o cliente é o próprio autor desta dissertação e não registrou reclamação no prazo de 90 dias da perturbação ocorrida no sistema elétrico.

Objetivando realizar os estudos investigativos sobre a correlação dos fatos e as consequências registradas, a utilização do APR requer o cumprimento dos seguintes passos:

a) Caracterização do sistema de distribuição vinculado ao Caso 4

Os principais parâmetros necessários à modelagem da rede elétrica de distribuição a que está conectada a unidade consumidora estão identificados nas figuras 4.30 e 4.31. O sistema elétrico evidencia que o alimentador foi representado desde a subestação principal até as instalações do cliente.

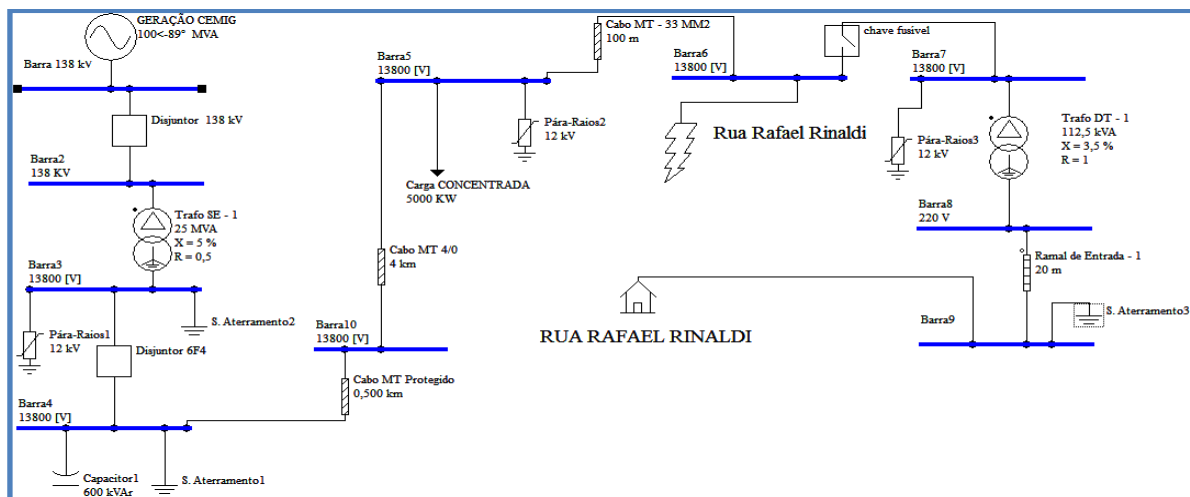


Figura 4.30 – Diagrama Unifilar do alimentador 606 – caso 4

Figura 4.31 – Informações do cliente e do equipamento – caso 4

b) Caracterização do distúrbio – Descarga Atmosférica

As figuras 4.32 e 4.33 mostram, respectivamente, os parâmetros vinculados com o fenômeno associado com os distúrbios atmosféricos, bem como a curva da corrente originada de uma descarga atmosférica.

Parâmetros dos Distúrbios

Nome do Distúrbio: Distúrbio - 1

Tipo de Distúrbio:

- Descarga Atmosférica
- Curto-circuito
- Distorções Harmônicas

Descrição: Rua Rafael Rinaldi

Descarga Atmosférica

Conexão: A

Crista - kA: 20

Início: 0,05

Tempo de Subida: 8 μs

Tempo de Descida: 20 μs

Tipo de fonte:

- Fonte de Corrente
- Fonte de Tensão

Mostrar Corrente

OK Cancelar

Figura 4.32 – Caracterização do distúrbio – caso 4

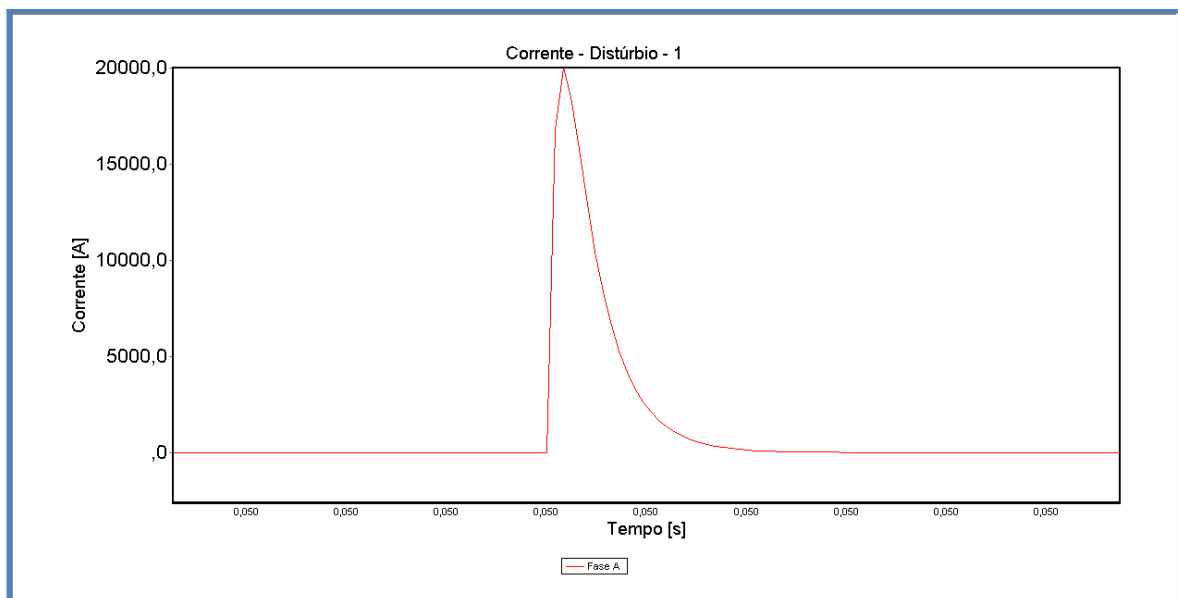


Figura 4.33 – Corrente vinculada com a descarga atmosférica – caso 4

c) Esforços térmico e dielétrico impostos ao aparelho de som

As figuras 4.34 e 4.35 mostram, respectivamente, as formas de onda da corrente e da tensão na entrada do aparelho de som submetido ao distúrbio em questão.

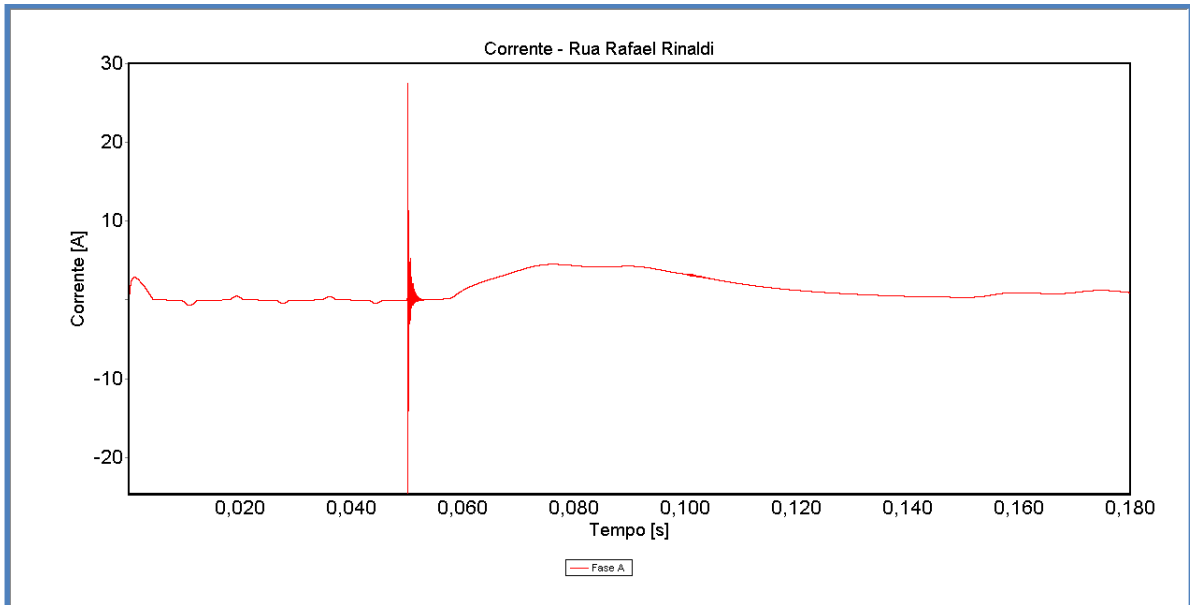


Figura 4.34 – Corrente na entrada do equipamento – caso 4

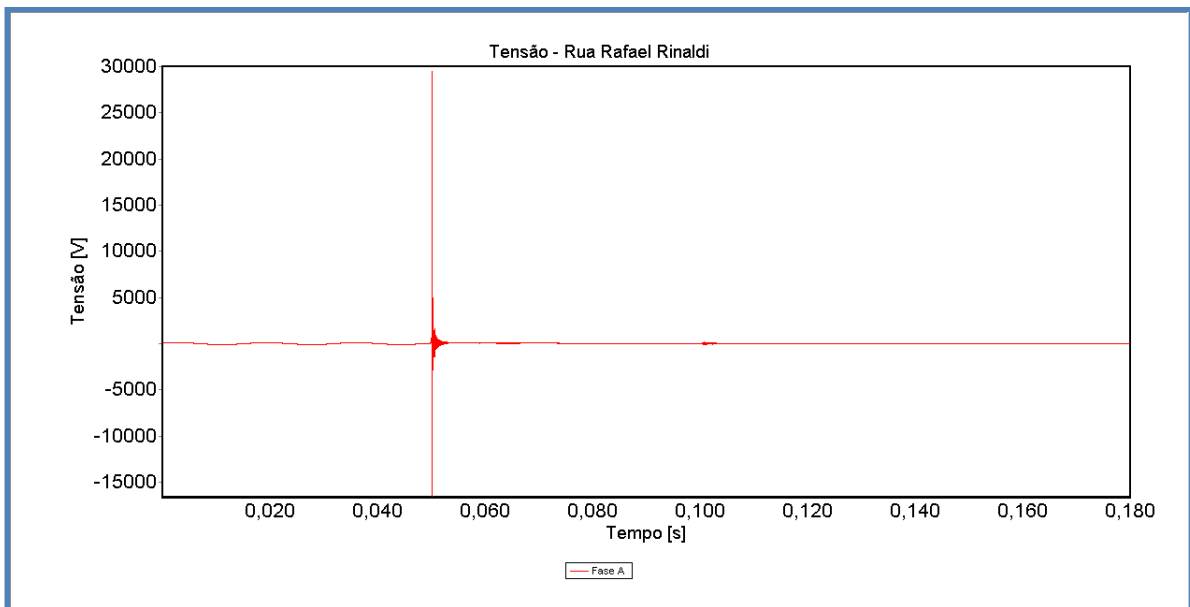


Figura 4.35 – Tensão aplicada no equipamento – caso 4

A figura 4.36 identifica que os valores das solicitações térmicas são inferiores a suportabilidade térmica do eletroeletrônico, e, portanto, fica evidenciada a impossibilidade de danos físicos ao equipamento.

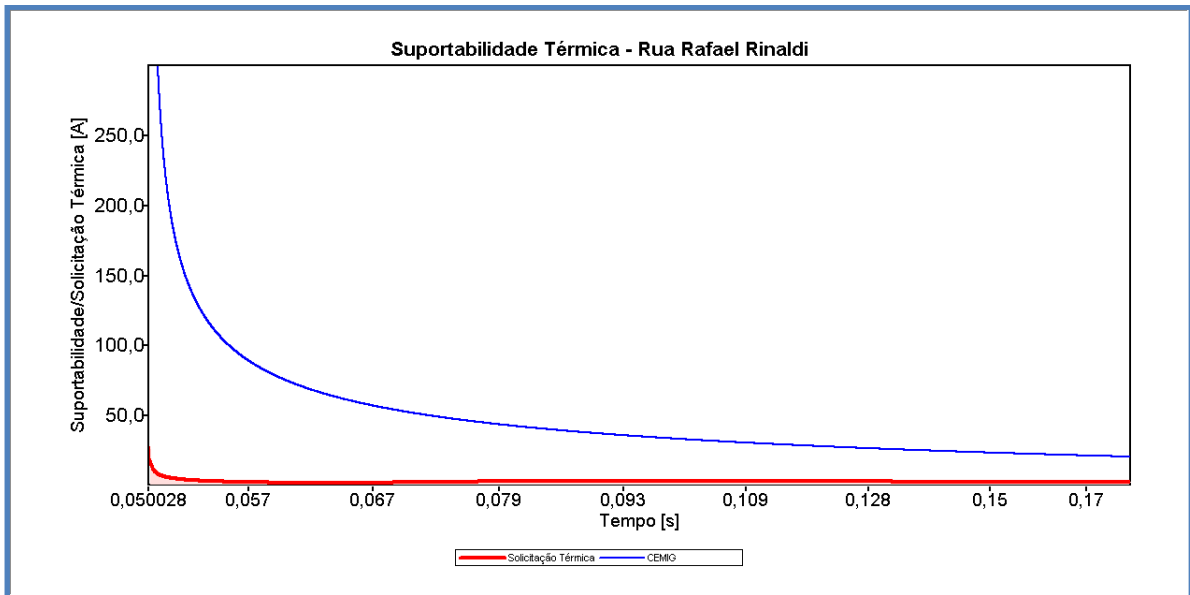


Figura 4.36 – Solicitação/Suportabilidade Térmica do aparelho de som – caso 4

A figura 4.37 mostra que os valores das solicitações dielétricas foram superiores à suportabilidade dielétrica do equipamento, caracterizando um provável dano físico ao aparelho de som.

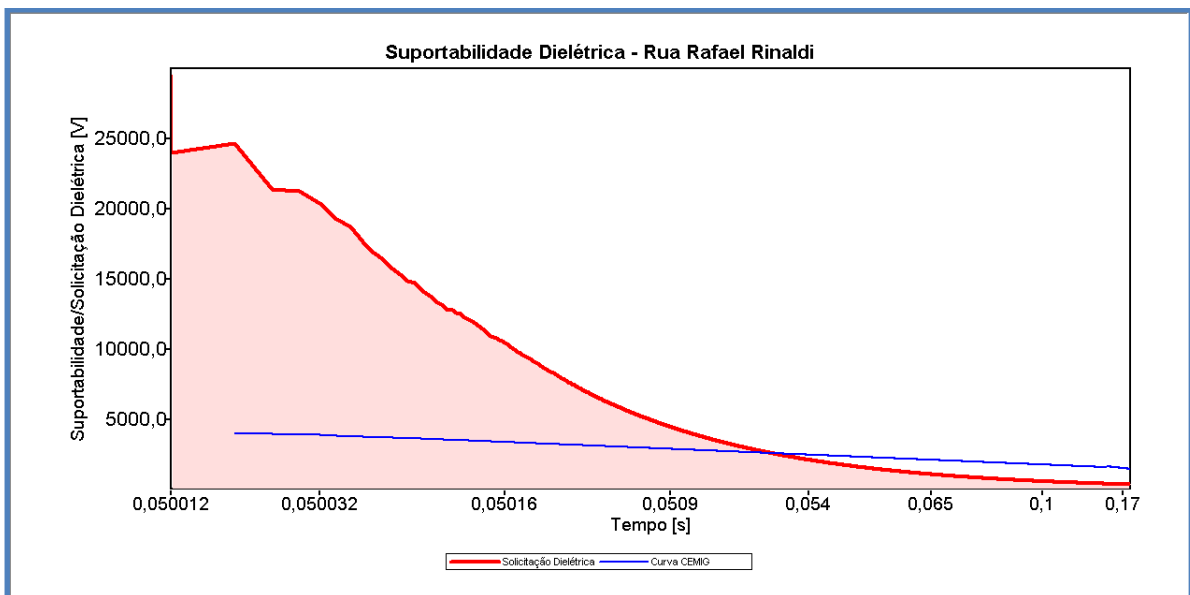


Figura 4.37 – Solicitação/Suportabilidade dielétrica do aparelho de som – caso 4

Diante dos resultados computacionais apresentados, ficou evidenciado que se o cliente tivesse protocolado o pedido de ressarcimento por danos, a concessionária entenderia que sua solicitação seria procedente segundo o APR.

4.2.5 – Caso 5 – Simulação do caso 4, porém com instalação de dispositivos mitigadores (DPS`s)

Esta situação é semelhante ao caso 4, porém a simulação computacional foi realizada, admitindo-se a instalação do DPS junto ao cliente.

a) Corrente e tensão no aparelho de som com DPS

As figuras 4.38 e 4.39 mostram, respectivamente, as formas de onda da corrente e da tensão na entrada do aparelho de som submetido ao distúrbio em questão.

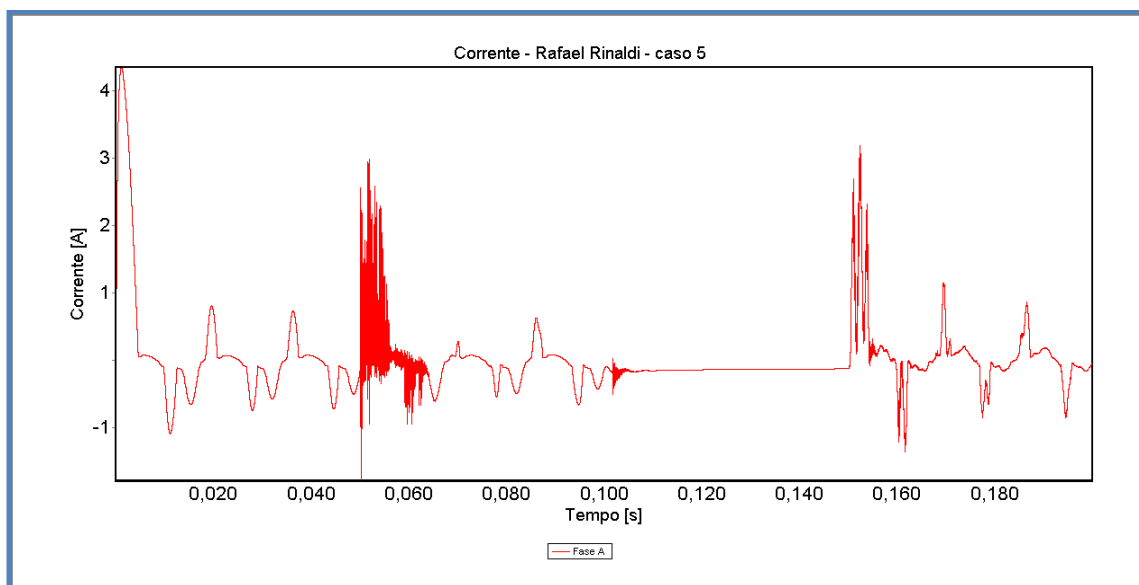


Figura 4.38 – Corrente do equipamento com DPS – caso 5

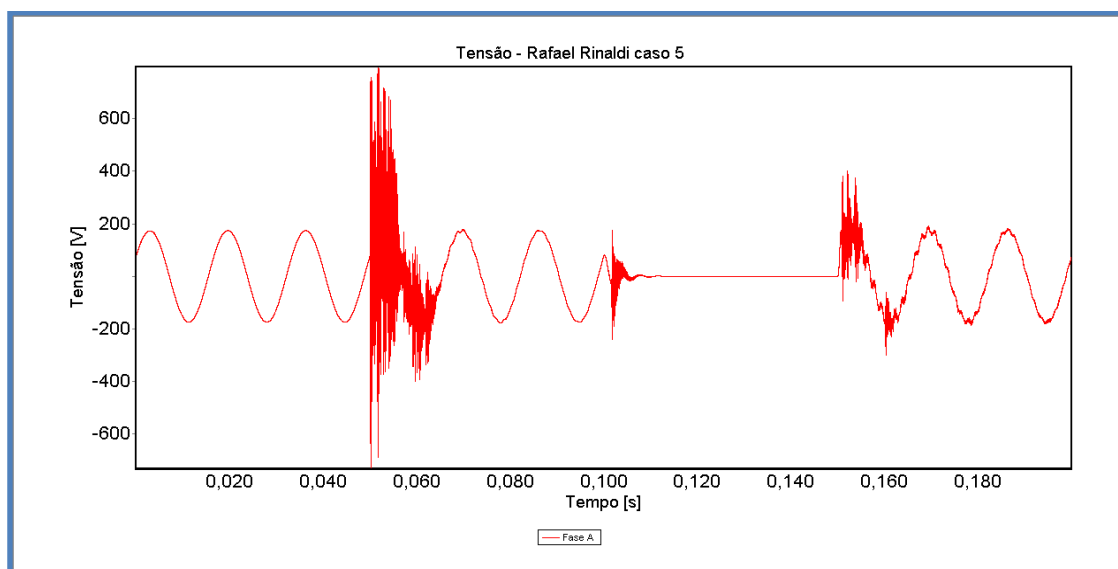


Figura 4.39 – Tensão no equipamento com DPS – caso 5

a) Suportabilidade dielétrica e térmica

Analogamente ao realizado nos estudos de casos anteriores, as figuras 4.40 e 4.41 mostram que os valores das solicitações térmicas e dielétricas são inferiores a suportabilidade do eletroeletrônico, e, portanto, fica evidenciada a impossibilidade de danos físicos ao equipamento.

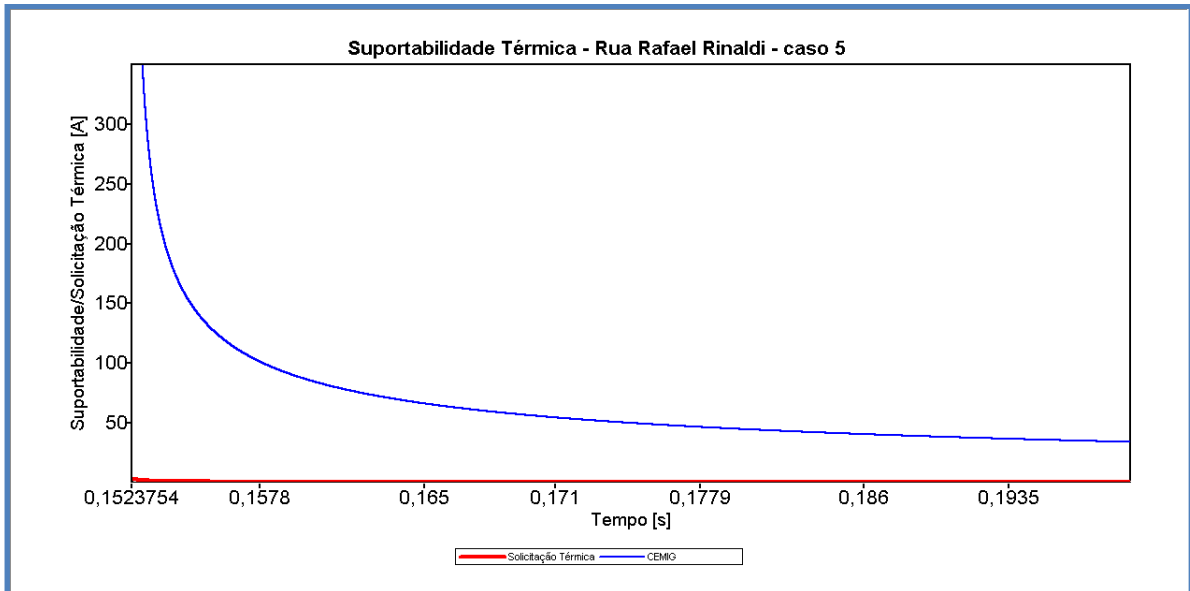


Figura 4.40 – Solicitação/Suportabilidade térmica do aparelho de som com DPS – Caso 5

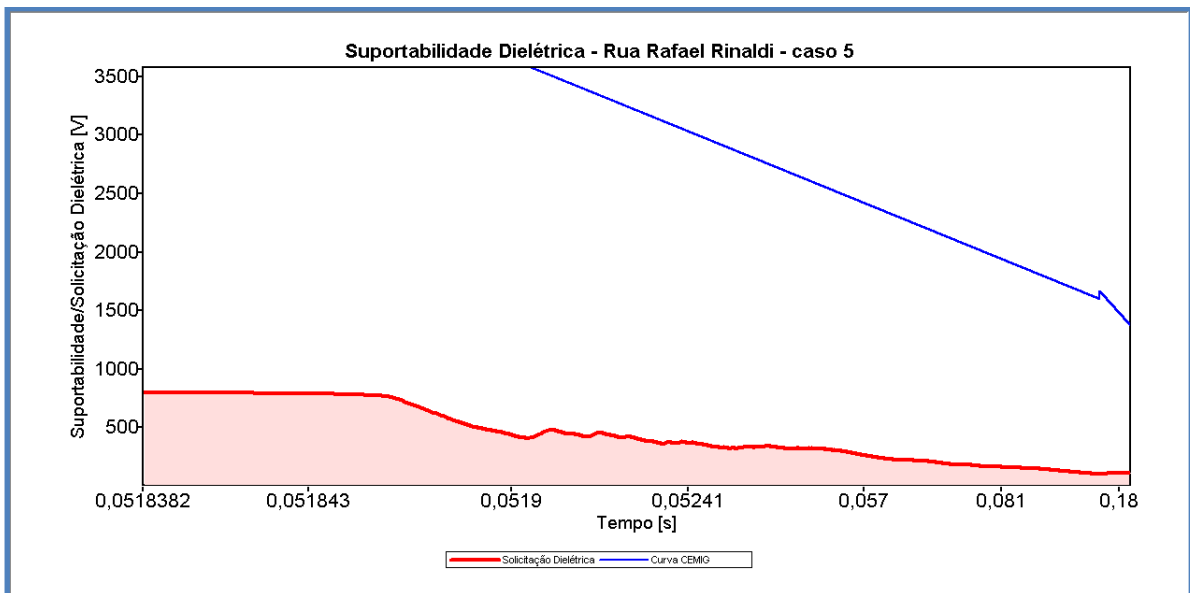


Figura 4.41 – Solicitação/Suportabilidade dielétrica-aparelho de som c/ DPS – Caso 5

Diante dos resultados computacionais apresentados, ficou evidenciado que se o cliente tivesse em sua instalação um DPS, o equipamento de som certamente não teria sido danificado.

4.3 - Considerações finais

Este capítulo analisou a funcionalidade da nova versão do APR-3.0, a qual foi verificada através de simulações computacionais de cinco casos reais de pedidos de ressarcimento registrados pela CEMIG –D- Uberlândia/MG. Os estudos foram realizados em duas situações: instalações elétricas sem e com dispositivos mitigadores.

Os casos reais de pedidos de indenização analisados anteriormente comprovaram que o APR-3.0 apresenta grande potencial de aplicação pelas concessionárias de energia elétrica para auxílio à tomada de decisão nas solicitações de ressarcimento, haja vista que nos cinco casos estudados houve uma concordância entre os resultados obtidos pelas simulações computacionais e as conclusões oriundas da concessionária através das análises baseadas unicamente em nexos causais.

Finalmente, deve-se salientar que após as investigações analisadas neste capítulo, ficou demonstrado que o modelo do DPS apresenta boa resposta na limitação das sobretensões preservando, desta forma, a integridade física dos eletroeletrônicos.

Conclusões

Apesar de constar nos capítulos anteriores toda uma sequência de análises, estudos, propostas, metodologias e estudos de caso torna-se relevante enaltecer os principais comentários e conclusões sobre os trabalhos auferidos.

Neste contexto, o capítulo I aborda a importância dos assuntos ligados aos pedidos de ressarcimento de danos, bem como lista os principais documentos sobre o assunto, fazendo um breve relato do estado da arte, resumindo-se em 12 referências. No final do capítulo I apresenta-se a estrutura desta dissertação.

O capítulo II focou nas análises quantitativas dos ressarcimentos de danos ocorridos na Cemig Distribuição do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, envolvendo 2.855 equipamentos, e destes, 170 foram aparelhos de som, abrangendo 30 meses de amostragem, sendo identificadas 4 marcas de aparelhos de som que mais foram susceptíveis a distúrbios e também os valores financeiros envolvidos.

O capítulo III mostrou o desenvolvimento de uma metodologia que transformou os eventos originados na rede de energia elétrica, em indicadores de solicitações dielétricas e térmicas aplicadas aos aparelhos de som, quantificando os danos físicos, sendo que os seguintes estágios foram pesquisados:

- Curvas de suportabilidade existentes;
- Sistematização de uma metodologia e estrutura laboratorial para a realização de ensaios de sobretensões na frequência industrial;
- Ensaios de sobretensões na frequência industrial;
- Ensaios de impulso de tensão e corrente experimentais e destrutivos oriundos do fenômeno associado com as descargas atmosféricas;

-
- Obtenção das curvas de suportabilidade térmica e dielétrica para inserção no APR.

Os produtos obtidos neste trabalho foram:

- Desenvolvimento de uma estrutura laboratorial para a realização de ensaios destrutivos em eletroeletrônicos;
- Elaboração de uma metodologia para a realização dos ensaios de sobretensões na frequência industrial em eletroeletrônicos;
- Aplicação da metodologia para os testes laboratoriais nos aparelhos de som novos e usados;
- Obtenção de pontos da curva de suportabilidade térmica e dielétrica.

Finalmente, os resultados aqui descritos e exemplificados, aliados a ensaios laboratoriais, foram inseridos no aplicativo APR de forma a modificar e atualizar as curvas já existentes compondo as curvas CEMIG.

Embora não tenha sido explorado neste documento é válido destacar que também foram realizados ensaios de campo na rede de distribuição da CEMIG-D, em Uberlândia, sendo obtidas medições de transitórios oriundos do chaveamento de banco de capacitores na rede primária de distribuição, bem como de variações de tensão de curta duração e também de interrupções em uma instalação tipicamente residencial. Durante estas medições não foram identificados pedidos de ressarcimento.

O capítulo IV mostrou cinco casos reais de pedidos de indenização vivenciados pela concessionária de energia elétrica, sendo que para cada caso foram feitas as seguintes investigações:

- Identificação do cliente e respectivo alimentador, incluindo os parâmetros da rede elétrica, desde a subestação até o ramal de ligação do cliente;
- Caracterização do distúrbio ao qual estaria associada a ocorrência sobre o aparelho de som danificado;

-
- Estudos avaliativos através dos recursos fornecidos pelo APR, para obter os esforços dielétricos e térmicos impostos aos equipamentos com e sem a presença dos dispositivos mitigadores de surto (DPS's);
 - Comparações entre os resultados obtidos pela metodologia computacional, com aqueles oriundos dos pareceres (procedentes ou improcedentes) da concessionária, os quais são baseados na existência ou não denexo causal.

Os casos reais de pedidos de indenização analisados anteriormente comprovaram que o APR-3.0 pode e deve ser utilizado pelas concessionárias de energia elétrica para a tomada de decisão nas solicitações de ressarcimento, haja vista que nos 5 casos houve uma concordância de resultados. Além disso, com o desenvolvimento do aplicativo de importação de softwares geo-referenciados, o APR se mostra como uma ferramenta de grande potencial no que tange à agilidade e confiabilidade na emissão dos pareceres de pedidos de ressarcimento, tão almejadas pelas concessionárias e órgãos reguladores do setor.

As investigações citadas neste capítulo demonstram que o uso do DPS pode atenuar em muito as consequências de variações de corrente e tensão sofridas pelos equipamentos.

No que tange ao produto final obtido é de compreensão que o aplicativo computacional, nos termos delineados até o presente momento, passa a se constituir numa versão mais atualizada, consistente com a realidade atual, ágil, precisa, e outras características que tornam o software mais atrativo e confiável para os fins almejados.

Mesmo diante dos avanços oferecidos por esta dissertação, os desenvolvimentos e discussões feitos ao longo deste trabalho deixaram lacunas a serem preenchidas. Desta forma, como sugestões para pesquisas futuras, podem ser destacadas:

- Avaliar o custo/benefício em utilizar DPS em todos os circuitos residenciais, ou seja, no padrão de entrada, nos circuitos, e na própria tomada de energia;

-
- Avaliar a suportabilidade dos novos medidores eletrônicos de faturamento, visto que sua tecnologia emprega dispositivos eletrônicos similares aos utilizados em equipamentos domésticos como os aparelhos de som aqui investigados, cuja sensibilidade/suportabilidade merece a devida atenção.
 - Investigações mais detalhadas sobre os circuitos eletrônicos dos equipamentos, principalmente, no que diz respeito a sensibilidade e/ou suportabilidade dos componentes eletrônicos empregados em tais circuitos;
 - Avaliar o uso das tensões 127/220 volts no tange ao tema ressarcimento de danos.

Referências

- [1] Anderson da Silva Jucá, “Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação”, Tese de Doutorado - USP, São Paulo, 2003.
- [2] Dugan, Roger C.; McGranaghan, M. F.; Santoso, S.; Beaty, H. W., *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, Second Edition 2002.
- [3] Carlos Eduardo Tavares, José Carlos de Oliveira, Marcus Vinícius Borges Mendonça, Antônio Carlos Delaiba, Rildo Marley Tavares da Silva, An Approach for Consumers Refunding Analysis Associated to Voltage Disturbances and Equipment Damages, *SOBRAEP - The Brazilian Journal of Power Electronics*, Fevereiro/2008.
- [4] Bollen, Math H. J., *Understanding Power Quality Problems*, IEEE Press Series on Power Engineering, 2000.
- [5] K. Ermeler, W. Pfeiffer, D. Schoen, M. Schocke, Surge Immunity of Electronic Equipment, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 14, 1998.
- [6] Mateus Duarte Teixeira, *Uma Estrutura Laboratorial para Testes de Desempenho de Equipamentos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica*, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Julho, 2003.
- [7] Carlos Eduardo Tavares, José Carlos de Oliveira, Marcus Vinícius Borges Mendonça, Antônio Carlos Delaiba, Rildo Marley Tavares da Silva, An Approach for Consumers Refunding Analysis Associated to Voltage Disturbances and Equipment Damages, *SOBRAEP - The Brazilian Journal of Power Electronics*, Fevereiro/2008.

-
- [8] Carlos Eduardo Tavares, Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos diante de Distúrbios de Qualidade da Energia Elétrica. Enfoque: Televisores, VCR`s e Som, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia Maio, 2004.
- [9] Carlos Eduardo Tavares, Uma Estratégia Computacional para a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento de Danos a Consumidores, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2008.
- [10] Marcus Vinicius Borges Mendonça, Contribuições ao Processo Computacional para Análise de Pedidos de Indenização por Danos em Equipamentos Elétricos, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2010.
- [11] Orlando Adolfo da Silva, Metodologia Para Subsidiar a análise de Solicitações de Ressarcimento por Danos, utilizando-se Dispositivos de Proteção Contra Surtos, Tese de Mestrado - UFU, outubro de 2010.
- [12] Delaiba A. C., Oliveira J. C., Tavares C. E., Mendonça M. V. B., Gondim I. N., Barbosa Jr. J. A. F, Borges J. M., Avila C. J., Martins E. A., Desenvolvimento de uma metodologia para análise de ressarcimentos de equipamentos eletroeletrônicos novos e usados, associados aos distúrbios na rede elétrica da CEMIG, testando dispositivos mitigadores" CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatórios Técnicos 01,02,03 / ano 02 ,agosto de 2009, CEMIG-UFU, Uberlândia/MG, Relatórios Técnicos, 2009 e 2010.
- [13] Delaiba A. C., Oliveira J. C., Borges J. M., Metodologia para Análise de Ressarcimento de Equipamentos Eletroeletrônicos Incluindo Dispositivos Mitigadores. Citenel – VI congresso de inovação tecnológica em energia elétrica – agosto de 2011 – Fortaleza – Ceará.

-
- [14] ITI (CBEMA) Curve Application Note. Disponível online em: “<http://www.itic.org/archives/iticurv.pdf>”, acessado em janeiro de 2007.
- [15] OLIVEIRA H. R. P. M., JESUS N. C., MARTINEZ M. L. B., “Avaliação do Desempenho de Equipamentos Eletrodomésticos Durante Ensaios de Sobretensões” - XVIII SNPTEE, Curitiba/PR, outubro de 2005.
- [16] 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.