

Avaliação da Possibilidade de Danos em Equipamentos de Baixa Tensão Causados por Surtos Atmosféricos e Seu Impacto nos Pedidos de Indenização

I. T. Domingues, A. J. Monteiro - AES Eletropaulo
N.M. Matsuo, N. Kagan, S.X. Duarte, E. L. Ferrari, USP

Resumo - Este artigo enfoca os estudos realizados para o desenvolvimento de uma metodologia de análise quanto à possibilidade de ocorrência de danos em equipamentos de consumidores de baixa tensão em decorrência de descargas atmosféricas, com o objetivo de inclusão dessa metodologia no sistema informatizado de análise de pedidos de indenização existente na AES Eletropaulo. Os estudos visaram incluir no sistema uma ferramenta que possa fornecer um diagnóstico da possibilidade ou não de queima de equipamento a partir de informações de descargas atmosféricas do sistema de detecção de raios e de dados de suportabilidade de equipamentos, em função da localização do consumidor e dos parâmetros de descarga. O estudo de sobretensões no sistema de distribuição foi realizado valendo-se de simulações computacionais de propagação de surtos em rede de distribuição utilizando o programa ATP (Alternative Transients Program). Para o levantamento das características de suportabilidade de equipamentos em relação a surtos foram realizados ensaios em laboratório. São propostos procedimentos de análise baseados nessas informações, que estão sendo incorporados no sistema informatizado de análise.

Palavras-chave - Pedido de indenização, danos em equipamentos, sobretensão, descarga atmosférica

I. INTRODUÇÃO

Trabalhos [1,2,3,4] tem sido publicados recentemente relativamente à questão de danos em equipamentos de consumidores de energia elétrica e ressarcimentos por parte da empresa concessionária, atestando a importância do assunto e a preocupação que isso suscita. A questão é originada pelo uso crescente de aparelhos eletro-eletrônicos em todas as camadas sociais, aparelhos esses que são suscetíveis a solicitações decorrentes de condições anormais nas tensões de alimentação, bem como a exigência crescente dos consumidores em relação aos padrões de atendimento de serviços públicos, que hoje em dia dispõem de canais para reivindicar os seus direitos e órgãos reguladores atentos à questão. Em consequência, as empresas de energia têm sofrido aumentos nos gastos para ressarcimentos de prejuízos devidos a danos em equipamentos de consumidores.

A Universidade de São Paulo vem desenvolvendo, em conjunto com algumas empresas de distribuição de energia elétrica, um sistema informatizado [4] de análise e suporte técnico para atendimento dos casos de pedidos de indenização por danos em equipamentos de consumidores causados por anomalia no sistema alimentador. Esse sistema visa tornar o processo de atendimento mais eficiente, ágil, uniforme e apoiado em resultados de estudos dos fenômenos da rede elétrica que podem causar danos em equipamentos e em informações de suscetibilidade de equipamentos levantadas por meio de ensaios em laboratório.

O sistema atualmente em funcionamento contempla ocorrências de curta e longa duração (curto-circuito, abertura do neutro, abertura de fase, etc.) e alguns fenômenos transitórios (chaveamento de capacitores e restabelecimento de circuito).

Dentre novos estudos e desenvolvimentos que vem sendo realizados destaca-se a análise quanto à possibilidade de danos de equipamentos por descargas atmosféricas a partir de informações do sistema de detecção de raios hoje disponíveis. Esta questão assume importância tendo em vista que a regulamentação vigente não isenta as concessionárias de energia de responsabilidade por danos em equipamentos de consumidores relacionados a raios.

Este artigo enfoca os estudos desenvolvidos sobre a potencialidade destrutiva das sobretensões atmosféricas em relação aos equipamentos de consumidores de baixa tensão.

II. ESTUDO DE SOBRETENSÕES ATMOSFÉRICAS EM INSTALAÇÕES DE BAIXA TENSÃO

Tendo em vista que a regulamentação vigente (Resolução 61, de 29 de abril de 2004, da ANEEL), que não isenta as concessionárias de energia elétrica de responsabilidade nos casos de danos em equipamentos de consumidores relacionados ao fenômeno mencionado, levantou-se a possibilidade de inclusão da análise quanto a danos de equipamentos por descargas atmosféricas a partir de informações do sistema de detecção de raios hoje disponíveis.

A inclusão da análise de descargas atmosféricas no sistema informatizado de suporte ao atendimento de pedidos de indenização visa criar nesse sistema uma ferramenta que forneça um diagnóstico quanto à possibilidade de “queima” de equipamentos por descargas, em função da localização da instalação do consumidor em relação ao local e os parâmetros da descarga, considerando a rede de suprimento de energia onde o consumidor se encontra e as características de suportabilidade do equipamento a surtos atmosféricos.

Uma metodologia mais viável para essa análise consiste em avaliar por meio de simulações computacionais as possíveis sobretensões nas instalações elétricas provocadas por descargas atmosféricas e avaliar por meio de ensaios em laboratório os níveis de suportabilidade de equipamentos às sobretensões e, assim, indiretamente, a possibilidade ou não de dano.

Entretanto, devido às incertezas associadas aos diversos fatores envolvidos na propagação de surtos atmosféricos na rede de distribuição e ao processo de “queima” de equipamentos, não é possível dizer de uma maneira determinística e precisa o efeito que uma descarga atmosférica teria sobre um determinado equipamento ligado à rede.

Por esse motivo, parece razoável adotar, como princípio, procedimento de análise que forneça resultados no geral pessimistas, dentro do razoável, de forma a evitar prejudicar consumidores que tenham seus equipamentos danificados por descargas atmosféricas. Esse posicionamento considera a necessidade de estabelecer critérios de análise que, embora sujeitos a imprecisões, permitam classificar os pedidos de indenização em procedentes ou não, por meio de procedimento que venha a ter o aval de órgãos reguladores de energia elétrica.

Na prática, devido à margem de incerteza na localização do ponto de queda de raio, em grande parte das situações não é possível determinar se a descarga atingiu a rede de distribuição ou apenas um ponto próximo à rede, principalmente em redes urbanas. Por isso, os estudos de simulação consideraram a situação mais pessimista, que é a descarga direta, que engloba casos em que o raio atinge a linha de distribuição primária e secundária, incluindo ramais de ligação. Engloba, também, os casos em que o raio atinge instalações, edificações e estruturas alimentadas pela rede de distribuição, pois, nesses casos é possível a propagação das sobretensões à rede de distribuição através de ligações existentes na instalação atingida ou por caminhos abertos pelas disrupções que ocorrem em consequência da descarga.

III. SIMULAÇÕES

Para realizar as simulações foi utilizado o programa ATP (Alternative Transients Program). Essas simulações foram fundamentais para um melhor entendimento do processo de propagação de surtos de tensão e de corrente resultantes de descargas diretas em redes de distribuição. Diferentemente do que ocorre normalmente com linhas de transmissão de alta tensão, as descargas diretas em linhas de distribuição provocam múltiplas disrupções em isoladores, tornando difícil realizar uma análise ou mesmo obter um entendimento qualitativo da questão sem recorrer a uma simulação detalhada, pois as ondas de tensão e de corrente são resultantes de inúmeras interações e reflexões em muitos pontos de descontinuidade.

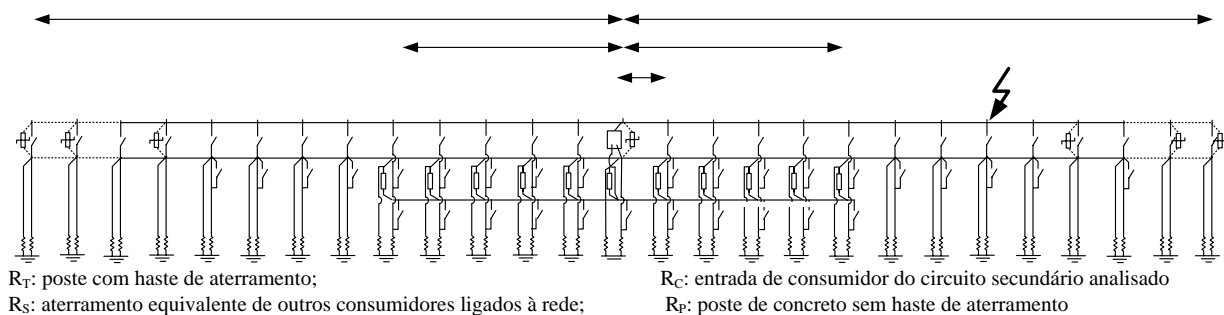


Fig. 1. Configuração da rede utilizada para as simulações

Rede simulada

A rede elétrica básica considerada para as simulações é representada na Fig. 1 e consiste em:

- uma linha de distribuição primária de 10 km, com condutores de fase de 3x336,4 MCM – Al e condutor de neutro de 1x1/0 AWG – Al, com neutro aterrado a cada 300 m;
- transformador de distribuição que supre o circuito secundário analisado localizado no ponto médio do circuito primário;
- circuito secundário com extensão de 150 m em cada lado do transformador, acoplado à linha primária, com condutor de fase 1/0 AWG – Al; neutro comum com a linha primária;
- derivações de consumidores secundários no circuito estudado a cada 30 m;
- neutro aterrado nas entradas de consumidores;
- transformador de distribuição protegido por pára-raios no lado do primário;
- existência de pára-raios ao longo da linha primária, tendo sido considerados pára-raios nas 3 fases a cada 300 m e nas extremidades do alimentador;
- ramais de ligação de consumidores do circuito secundário analisado de 10 m (admitido cabo multiplexado de 10 mm²);
- não considerada existência de qualquer dispositivo de proteção de baixa tensão (BT);
- considerada a possibilidade de ocorrência de interrupção em isoladores da rede primária e do circuito secundário estudado, mas não nas instalações de consumidores de BT e nos ramais de ligação.

Redes reais geralmente apresentam ramificações e interligações dos neutros de diferentes alimentadores, que contribuem para uma maior efetividade do aterramento do sistema. Esse efeito pode ser levado em consideração, caso se deseje obter resultados mais realísticos, principalmente em redes com neutro contínuo interligado.

Modelos de representação dos componentes da rede

As linhas primária e secundária foram representadas utilizando o modelo disponível no ATP que leva em consideração a variação dos parâmetros com a frequência. As linhas foram representadas em trechos de 30 m cada, sendo esse espaçamento aumentado a partir de 900 m do transformador.

Nos estudos foram considerados transformadores monofásico e trifásico. Para a representação do transformador monofásico foi utilizado o modelo de Rajotte/Fortin/Cyr [5] e para transformador trifásico foi utilizado o modelo de Kanashiro [6].

Os pára-raios foram representados por um modelo disponível no programa ATP. Utilizou-se uma curva típica VxI de um pára-raios de ZnO.

Os isoladores foram modelados por meio de chaves normalmente abertas que se fecham quando determinadas condições de tensão são alcançadas, simulando a ocorrência de interrupção. Foi utilizado o modelo descrito em [7], em que é definida uma grandeza chamada efeito disruptivo (DE), dada pela expressão:

$$DE = \int_{t_0}^t [U(t) - U_0]^k dt$$

onde $U(t)$ é a tensão aplicada, t_0 é o instante de tempo em que $U(t) > U_0$; U_0 é a tensão de início de atuação e k é uma constante.

Na literatura existem menções de diferentes modelos de representação de carga, como resistência [8], indutância [8,9], capacitância [8] e composições de elementos como os apresentados em [9,10]. Nas simulações básicas realizadas neste trabalho, foram considerados 5 diferentes modelos de representação de cargas de consumidores: resistência ($R=30 \Omega$), indutância ($L=3,5 \mu\text{H}$ [9]), capacitância ($C=4 \text{ nF}$), modelo Hoidalén [9] e modelos Bassi [10]).

O ramal de derivação do circuito secundário para o consumidor (cabo multiplexado) foi representado utilizando o modelo de linha com parâmetros distribuídos.

Os aterramentos foram representados por resistências em série com indutâncias que representam as descidas de aterramento. Foram utilizados alguns diferentes valores de resistências de aterramento, para análise paramétrica.

A descarga atmosférica foi representada como uma fonte de corrente conectada à linha. Foi utilizada a forma de onda triangular (crescimento constante até a crista e decaimento constante após a mesma). O tempo de frente até a crista considerado nas simulações básicas é de 2,25 μs e o tempo de cauda até o meio valor de crista é 80 μs (Fig. 2).

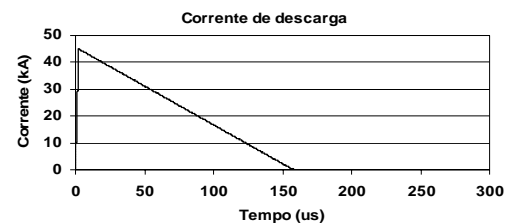


Fig. 2. Corrente de descarga. Descarga a 600 m do transformador

Sobretensões nas entradas de consumidores de BT – Resultados das simulações

A Fig. 3 mostra exemplos de resultados obtidos em uma simulação em que foram admitidos os valores de resistências de aterramento $R_T, R_S, R_C = 100 \Omega$ e $R_P = 200 \Omega$ e descarga a 600 m do transformador.

As simulações mostraram que as formas de onda e as amplitudes das sobretensões variam consideravelmente em função do modelo de representação das cargas de consumidores. Dentre diferentes modelos utilizados nas simulações, para a representação das cargas, foi considerado como particularmente apropriados, para este estudo, os modelos Bassi fornecidos na referência [10], que foram baseados em ensaios em laboratório.

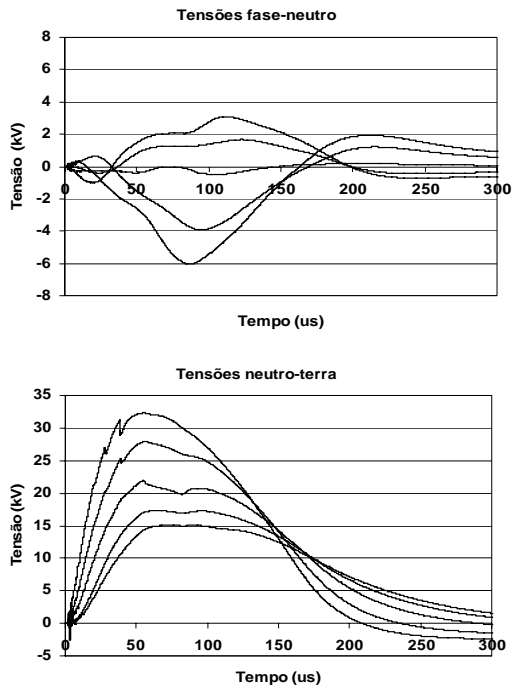


Fig. 3. Tensões em pontos de ligação de consumidores (exemplos)

Com as simulações foram avaliadas as tensões nos pontos de conexão de consumidores do circuito secundário da rede estudada em função da amplitude da corrente de descarga e da distância do ponto de descarga na linha primária em relação ao transformador.

Foram obtidos, assim, os valores de crista das tensões fase-neutro e neutro-terra em função da distância, para diferentes valores de corrente de descarga. A Fig. 4 apresenta gráficos com esses valores, obtidos para a rede da Fig. 1, com os valores das resistências de aterramento $R_T=R_C=R_S=100\Omega$.

IV. SUPORTABILIDADE DE EQUIPAMENTOS A SURTOS ATMOSFÉRICOS

Solicitações em equipamentos de BT

As sobretensões podem aparecer nos equipamentos de dois modos: comum e diferencial. As sobretensões de modo diferencial aparecem em função das diferenças nas tensões transitórias das diferentes fases ou entre fase e neutro. As sobretensões de modo comum aparecem em função das elevações de potencial nos condutores (fase e neutro) da rede de alimentação em relação à terra.

É necessário considerar o fato de que em muitos equipamentos não há conexão da sua massa ou do seu referencial de "terra" ao condutor de proteção da instalação, seja por não haver terminal de aterramento, seja pelo fato de não ter sido realizada a conexão apesar de existir esse terminal. Por esse motivo, dependendo do local onde estão instalados, esses equipamentos podem ficar sujeitos às solicitações de ambos os modos, comum e diferencial, tanto em instalações com esquema de aterramento TN ou TT.

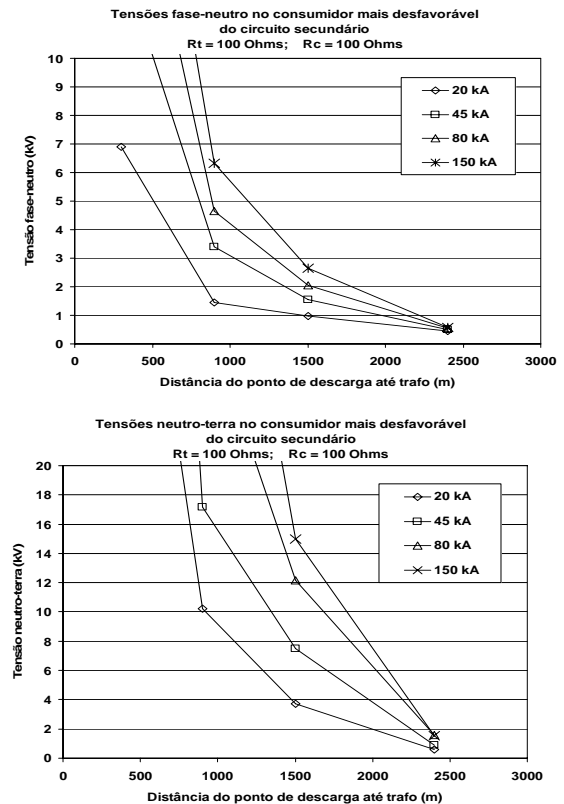


Fig. 4 Exemplos de resultados de tensões fase-neutro e neutro-terra no consumidor localizado no ponto mais desfavorável (ponto D5), obtidas de simulações, para a rede da Fig. 1

Normas relativas à imunidade de equipamento

As normas da série IEC 61000 (Compatibilidade Eletromagnética) tratam da questão de imunidade de equipamentos a perturbações do ponto de vista do seu desempenho operativo/funcional e servem como uma referência aos estudos e objetivos enfocados neste artigo.

A IEC 61000-6-1 especifica os seguintes níveis de imunidade, relativos a surtos, para entradas de alimentação em CA de equipamentos para ambientes residencial, comercial e industrial leve: linha-terra: $\pm 2 \text{ kV}$ e linha-linha: $\pm 1 \text{ kV}$. Embora não haja nenhuma exigência para os equipamentos existentes no mercado nacional quanto ao atendimento aos valores especificados na IEC 61000-6-1, os níveis de imunidade especificados nesta norma podem servir como referência para a definição dos níveis de suportabilidade a serem utilizados nas análises, junto com os níveis obtidos nos testes em laboratório.

As normas IEC 61000-4-5 e IEC 61000-4-12, que tratam de métodos de ensaios de imunidade de equipamentos relativos a surtos atmosféricos, serviram para a definição dos testes realizados em laboratório, neste estudo.

Ensaio de suportabilidade

Foram realizados ensaios com vários equipamentos eletro-eletrônicos com a finalidade de levantar os níveis de suportabilidade.

a) Formas de onda e níveis de tensão aplicados

As seguintes ondas foram utilizadas nos ensaios: onda combinada (tensão de 1,2 x 50 ms e corrente de 8/20 μ s) e “ring wave”.

O gerador combinado (IEC 61000-4-5) apresenta uma tensão de saída em vazio com tempo de frente de 1,2 μ s e tempo até o meio valor de 50 μ s e corrente de curto-circuito com tempo de frente de 8 μ s e tempo até o meio valor de 20 μ s. O gerador de impulsos de onda “ring wave” (IEC 61000-4-12) apresenta características de saída oscilatória.

b) Formas de aplicação das ondas

Os aparelhos foram ensaiados com os terminais de alimentação conectados à fonte e contemplando os estados: ligado (em funcionamento), em estado “stand-by” (aparelho conectado à alimentação, mas em estado desligado, nos casos com essa possibilidade, como: TV, DVD, etc.) e desligado (por um interruptor mecânico, quando existente no aparelho).

Nos ensaios de modo diferencial as tensões são aplicadas entre os condutores de alimentação do aparelho.

Nos ensaios de modo comum as tensões são aplicadas entre os condutores de alimentação do aparelho e o seu terminal de aterramento, quando existir. Em aparelhos sem terminal de aterramento foram realizados ensaios aplicando tensão entre os condutores de alimentação e uma placa condutora colocada sob o equipamento, em contato com a carcaça do equipamento. Para aparelhos de uso em mesa, foram também considerados ensaios com o plano de terra colocado sob um dos pés da mesa onde fica o aparelho.

Os testes foram aplicados aumentando gradualmente a severidade dos impulsos a fim de se obter o valor de impulso até o qual o equipamento suporta. A severidade foi aumentada até que o equipamento fosse danificado.

c) Resultados de ensaios

A Tabela I apresenta os resultados dos testes realizados até o momento.

TABELA I – Suportabilidade a surtos de alguns aparelhos de acordo com testes

Aparelho	Tensão suportável de surto (kV)	
	Modo comum (linha-linha)	Modo diferencial (linha-terra)
Video-cassete ⁽¹⁾	2 ⁽⁴⁾	1
DVD ⁽²⁾	≥ 6 ⁽⁴⁾	2
TV ⁽²⁾	≥ 6 ⁽⁴⁾	2
PC ⁽¹⁾	2	3,5
Impressora Multifuncional ⁽²⁾	≥ 6	2
Forno micro-ondas ⁽¹⁾	4	
Aparelho de som micro system ⁽¹⁾	≥ 6 ⁽⁴⁾	2
Fax ⁽¹⁾	2	4
Ar condicionado ⁽¹⁾	≥ 6	2
Refrigerador ⁽³⁾	≥ 6	≥ 6
UPS (no-break) ⁽¹⁾	2	≥ 6

⁽¹⁾ entrada com tensão fixa

⁽²⁾ entrada regulada automaticamente

⁽³⁾ refrigerador sem controle eletrônico

⁽⁴⁾ equipamento sem terminal terra (tensão aplicada entre condutores ativos e uma placa sob o aparelho)

Os ensaios indicaram que de uma maneira geral a onda combinada é mais severa para os equipamentos do que a “ring wave” de mesma amplitude. Assim, as suportabilidades obtidas nos ensaios foram determinadas pela onda combinada.

Nos ensaios realizados os equipamentos apresentaram, em geral, suportabilidades superiores aos valores de imunidade especificados na norma IEC-61000-6-1 (linha-terra: ± 2 kV, e linha-linha: ± 1 kV).

V. PROCEDIMENTO DE ANÁLISE QUANTO À POSSIBILIDADE DE QUEIMA

Para a análise dos casos de pedidos de indenização por queimas de equipamentos relacionados com as descargas atmosféricas, buscou-se estabelecer procedimentos que permitam realizar a análise das sobretensões em função da distância do ponto de queda do raio em relação ao consumidor e do nível de suportabilidade do equipamento em questão. Dessa forma, dado um nível de suportabilidade haveria uma distância crítica para uma certa corrente de descarga.

A rigor, a amplitude de uma sobretensão poderia ser comparada com o valor da tensão de suportabilidade de um equipamento somente se as formas de onda forem iguais. Porém, tendo em vista que pode ocorrer uma grande variedade de formas de onda diferentes, propõe-se que os valores de pico das sobretensões obtidos nas simulações sejam comparados diretamente com os valores de suportabilidade obtidos em ensaios.

a. Determinação da distância crítica do ponto de queda do raio em função da suportabilidade de equipamento

O procedimento proposto busca determinar a distância mínima (distância crítica) do ponto de queda do raio até o transformador de distribuição que alimenta o consumidor reclamante, abaixo da qual pode haver dano em equipamento, com base nos resultados de simulações. Essa distância crítica é obtida em função da amplitude de corrente de descarga e da tensão de suportabilidade do equipamento analisado.

b. Elipse de confiança

No sistema de detecção de descargas atmosféricas a localização de uma descarga é dada por uma elipse de confiança que circunscreve uma região, centrada na posição calculada, na qual existe uma certa probabilidade de que a descarga tenha ocorrido em seu interior. Normalmente a elipse é dada para a probabilidade de 50%, mas elipses de outras probabilidades podem ser utilizadas.

c. Critério para diagnóstico quanto à queima ou não de equipamento

Tendo-se a distância crítica e a elipse de segurança para um caso sob análise, o diagnóstico é obtido em função da localização do transformador em relação à elipse considerada e a distância crítica obtida. Se a probabilidade de que a descarga tenha ocorrido dentro da distância crítica for significativa considera-se que o equipamento em questão pode sofrer dano em consequência da descarga.

Na aplicação desse método, pode-se medir a distância crítica pelo caminho elétrico (linha), ou, caso se deseje uma aplicação mais conservativa, pode-se medir essa distância geograficamente. Neste caso, a área situada dentro da circunferência com centro no transformador e raio igual à distância crítica pode ser chamada de área de vulnerabilidade.

O critério proposto é que se houver intersecção entre a elipse de confiança e essa circunferência seja considerado que o equipamento pode sofrer dano (Fig. 5). Utilizando a elipse de probabilidade de 50%, a condição de não haver intersecção com a circunferência resulta em probabilidade em geral bastante baixa de que a descarga tenha ocorrido dentro da área de vulnerabilidade.

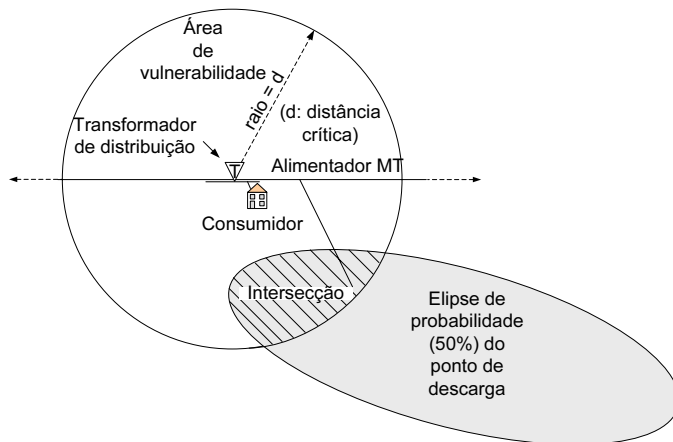


Fig. 5. Ilustração da posição relativa entre a elipse de probabilidade (50%) e a circunferência da área crítica

d. Aplicação do critério proposto

Embora o critério proposto permita distinguir situações com maior probabilidade de ocorrência de dano em equipamentos de outras situações de menores probabilidades, não se trata de um indicador absoluto da possibilidade de dano, tendo em vista as incertezas envolvidas. Por esse motivo, nas análises de pedidos de indenização, não deve ser descartada a utilização de dados adicionais, tais como aqueles referentes às ocorrências de manutenção/operação na rede de suprimento ou informações colhidas nas instalações do consumidor reclamante e na sua vizinhança, pois esses dados podem auxiliar para diagnósticos mais apurados.

Evidentemente, as análises de pedidos de indenização não se restringem às questões técnicas, envolvendo aspectos jurídicos e regulatórios que devem ser considerados, mas, os procedimentos aqui propostos permitem uma melhor avaliação do problema.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou os estudos realizados para avaliação da possibilidade de danos em equipamentos em consequência de descargas atmosféricas. Os critérios propostos estão sendo incorporados no sistema informatizado de auxílio à análise de pedidos de indenização de algumas empresas de distribuição.

Existem trabalhos de continuidade a esses estudos visando novos desenvolvimentos, em que estão previstos estudos incluindo realização de medições de eventos de surtos no sistema de distribuição, pesquisas de medidas para redução de casos de pedidos de indenização incluindo instalações de dispositivos de proteção e novos ensaios de laboratório relativos à suportabilidade de equipamentos.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] Jucá, A. S. – Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação – Tese de Doutorado – EPUSP – São Paulo – 2003
- [2] Teixeira, M. D.; Araújo, R. L.; Ardjomand, L. M. – Avaliação do Limites de Parâmetros de Qualidade de Energia Aceitáveis para Prevenir Danos em Eletrodomésticos – VI SBQEE – Belém/Pará – 2005
- [3] Oliveira, H. R. P. M.; Jesus, N. C.; Martinez, M. L. B. – Análise comparativa do Desempenho e Suportabilidade de Equipamentos Eletro-Eletrônicos Frente a Solicitações de Sobretensões Impulsivas – VI SBQEE – Belém/Pará – 2005
- [4] Kagan, N.; Matsuo, N. M.; Ferrari E. L.; Duarte, I.T. Domingues; A. J. Monteiro – Methodology for Support and Analysis of Indemnity Requests due to Electrical Equipment Damaged in Eletropaulo Costumers – 10th ICHQP – Rio de Janeiro – 2002 – Brazil
- [5] Rajotte, Y.; Fortin, J.; Cyr, B. – Lightning overvoltages on LV networks fed by MV lines with a multigrounded neutral – Cired 2001.
- [6] Kanashiro, A. G. – Modelagem de transformadores de distribuição para altas frequências – Tese de Doutorado - Escola Politécnica da USP – São Paulo – 2001.
- [7] Darveniza, M; Vlastos, A. E. - The generalized integration method for predicting impulse volt-time characteristics for non-standard wave shapes e a theoretical basis. IEEE Trans. on Electrical Insulation, vol. 23, n.3, June 1988
- [8] Bassi, W. – Estudo de surtos em redes secundárias de distribuição devido a descargas atmosféricas diretas na rede primária – Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da USP – 1999.
- [9] Hoidalén, H. K. – Lightning-induced voltages in low-voltage systems and its dependency on voltage line terminations – ICLP – International Conference on Lightning Protection, 1998, Birmingham
- [10] Bassi, W.; Burani, G. F.; Janiszewski, J. M. – Impedance frequency characteristics and modeling of residential appliances for lightning transient analysis – VIII International Symposium on Lightning Protection – November 2005 – São Paulo, Brasil