

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

SARA LETÍCIA FERREIRA ALVES

**ASPECTOS PRÁTICOS PARA ENSAIO DE TENSÃO DE
RADIOINTERFERÊNCIA EM TRANSFORMADORES DE CORRENTE**

**VOLTA REDONDA
2017**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ASPECTOS PRÁTICOS PARA ENSAIO DE TENSÃO DE
RADIOINTERFERÊNCIA EM TRANSFORMADORES DE CORRENTE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aluna:

Sara Letícia Ferreira Alves

Orientador:

Prof. D. Sc. Hélio de Paiva Amorim Júnior

VOLTA REDONDA

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluna:

Sara Letícia Ferreira Alves

Título de monografia:

Aspectos práticos para ensaio de tensão de radiointerferência em transformadores
de corrente

Orientador:

Prof. D. Sc. Hélio de Paiva Amorim Júnior

Banca Examinadora:

Prof. D. Sc. Hélio de Paiva Amorim Júnior

Prof.

Prof.

A Deus, ao meu pai e minha irmã, por todo apoio e incentivo nessa longa caminhada e a todos os meus amigos e professores que estiveram presentes contribuindo ao longo dessa minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois sem ele não chegaria nem perto de onde estou hoje, segundo a minha família em especial meu pai e minha irmã que sempre com palavras nunca me deixaram desistir e aos meus amigos que sempre me motivaram.

Ao meu orientador Prof. D. Sc. Hélio de Paiva Amorim Júnior pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho.

Ao CEPEL pela oportunidade de realizar este trabalho, a todos os funcionários que de forma direta ou indiretamente me ajudaram e em especial toda a equipe do laboratório de Alta Tensão 1 que sempre me ajudou sem medir esforços.

E ao UNIFOA, pela oportunidade de realizar este trabalho.

RESUMO

Este trabalho foi elaborado visando apresentar a realização de um ensaio de tensão de radiointerferência (TRI) ou em inglês que significa radio interference voltage (RIV).

Este ensaio é realizado em equipamentos de alta tensão, neste estudo foi utilizado um transformador de corrente (TC). A importância da medição do equipamento é verificar se ele sob um elevado nível de tensão pode vir interferir em equipamentos e sistemas de comunicação, especialmente na faixa de frequência de rádio, denominada radiointerferência.

Realiza-se o ensaio através de parâmetros exigidos pelas normas e circuito de medição utilizadas no laboratório de alta tensão do Centro de Pesquisas em Energia Elétrica da Eletrobrás, bem como as características técnicas deste laboratório.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Motivação	12
1.2 Objetivos.....	12
1.3 Contribuição.....	13
1.4 Descrição.....	13
2 O CONCEITO DA RADIOINTERFERÊNCIA.....	14
2.1 Causas da Radiointerferência.....	14
2.1.1 Ruído Devido á Descarga Corona.....	14
2.1.1.1 O Corona no semiciclo Positivo e Negativo	16
2.1.2 Ruído Devido ao Centelhamento	18
2.2 Formação da Radiointerferência.....	18
2.3 Grandezas Relativas à Radiointerferência.....	20
2.4 Influências da Radiointerferência nos Receptores de Rádio	21
2.5 Influências das Condições Meteorológicas nos Níveis de Rádio Interferência	22
3 ENSAIO DE TENSÃO DE RADIOINTERFERÊNCIA	23
3.1 Circuito de Ensaio.....	24
3.2 Objeto sob Ensaio	26
3.3 Modelo da impedância de RIV CEPEL.....	26
3.4 Procedimentos do Ensaio de RIV	30
3.4.1 Calibração	30
3.4.2 Execução do Ensaio.....	32
3.5 Comparações entre as Normas ANSI e IEC	33
3.5.1 Comparações no Circuito de Medição	33
3.5.2 Comparação da Execução do Ensaio	34
4 ESTUDO DE CASO	36

4.1 Ensaio de Tensão de Radiointerferência	36
4.2 Requisitos para Tensão de Radiointerferência (TRI)	41
4.3 Resultados do Ensaio	41
4.4 Curva do RIV	42
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das Características dos Medidores de RIV.....	34
Tabela 2 - Calibração das Impedâncias de RIV na Norma CISPR.....	38
Tabela 3 - Resultados do Ensaio da Norma CISPR.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Avalanche de Townsend.....	15
Figura 2 - Distorção do Campo Elétrico Causada por Cargas Espaciais.	17
Figura 3 - Espectro de Frequência Relativo aos Impulsos de Corrente.	19
Figura 4 - Circuito de Ensaio de Tensão de Radiointerferência.....	24
Figura 5 - Impedância de RIV Externamente.	27
Figura 6 - Impedância de RIV Internamente.	27
Figura 7 - Esquema Elétrico da Impedância de RIV.....	30
Figura 8 - Circuito de Ensaio de Tensão de Radiointerferência (Calibração).	31
Figura 9 - Circuito do Ensaio de Tensão de Radiointerferência.....	37
Figura 10 - Curva de Tensão de Radiointerferência do TC (1° ciclo).	42
Figura 11 - Curva de Tensão de Radiointerferência do TC (2° ciclo).....	43
Figura 12 - Curva de Tensão de Radiointerferência do TC (3° ciclo).	43

LISTA DE SIGLAS

CEPEL - Centro de Pesquisas em Energia Elétrica
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
RIV - Radio Interference Voltage
TRI - Tensão de radiointerferência
TC - Transformador de Corrente
NBR - Norma Brasileira
VHF - Very High Frequency (Frequência Muito Alta)
ZM - Impedância de medição
FM - Frequência de medição

1 INTRODUÇÃO

Os equipamentos utilizados no sistema elétrico de potência, sob elevado nível de tensão podem gerar interferências nas frequências de telecomunicações. Essas interferências se situam na formação contínua de pequenos pulsos de correntes de alta frequência, nas superfícies dos elementos energizados que geram ondas eletromagnéticas que podem vir se propagar e assim causar interferências nos equipamentos. As interferências ocorrem em equipamentos e sistemas de comunicação, especialmente na faixa de frequência de rádio, denominada por radiointerferência. [20]

Na década de 60 a comunicação de rádio era um recurso essencial para a sociedade, trazendo entretenimento e educação a população formando a espinha dorsal da defesa, planejamento e operações militares de uma nação. Por tanto a interferência de rádio, seja ela causada pelo homem ou pela natureza, apresentavam uma ameaça para a realização de uma rápida comunicação. Nos dias de hoje, a evolução dos meios de comunicação permitiu diminuir significativamente a dependência deste meio de comunicação, porém este ainda é um meio importante em locais afastados e em comunicações de emergência. [10]

Para verificar que a radiointerferência esteja dentro dos limites especificados por norma, os equipamentos do sistema elétrico devem ser submetidos aos ensaios de tensão de radiointerferência (RIV). Estes ensaios são realizados em laboratórios de alta tensão para detectar possíveis focos de radiointerferência. Devem ser utilizados circuitos e medidores conforme especificados por norma.

As normas utilizadas, que regem os ensaios de RIV, são a IEC CISPR 18-2/2010 além desta, têm-se também a NEMA 107/1987 e a NBR 7876/1983. Essas normas definem como devem ser realizados os ensaios, especificando as condições atmosféricas e físicas a que um equipamento deve ser submetido, assim como o circuito utilizado para captar os pulsos de correntes e também o medidor que trata o sinal enviado pelo circuito e mostra os resultados.

Apesar da abordagem das normas em relação ao ensaio de RIV serem bastante específicas, as equipes de ensaio se deparam com alguns inconvenientes durante a execução dos ensaios, mesmo seguindo rigorosamente as definições da

norma em questão. Com isso o presente estudo visa demonstrar esses ensaios realizados no laboratório do CEPEL (Centro de Pesquisas em Energia Elétrica - ELETROBRAS).

1.1 Motivação

Houve a necessidade em conhecer os distúrbios causados no sistema elétrico de potência, que entre eles é a geração dos sinais eletromagnéticos capazes de afetar os sistemas de comunicação tais como o rádio, a televisão e outros. A detecção desses incômodos levou a estudar sobre a radiointerferência o qual se propõe quantificar os níveis de ruídos que são indesejáveis e de determinar quais os níveis que serão gerados por um sistema em projeto.

1.2 Objetivos

- Compreender a finalidade do ensaio de radiointerferência.
- Analisar e interpretar a metodologia e as características do ensaio.
- Analisar o circuito de medição e o funcionamento do medidor.
- Elaborar uma síntese comparativa entre as normas NEMA e CISPR.
- Verificar os níveis de tensão de radiointerferência nos transformadores de corrente.
- Demonstrar os valores obtidos do ensaio, e analisar seus resultados.

1.3 Contribuição

- Relatório de aprovação ou reprovação, para o cliente ou fabricante do equipamento para o mesmo poder ser utilizado no sistema de potência.
- Avaliar seu nível de ruído para que não venha interferir na frequência de rádio e TV.

1.4 Descrição

O trabalho está estruturado como segue. No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o conceito da radiointerferência como suas causas, formação e influências da radiointerferência nos receptores de rádio e nas condições meteorológicas nos níveis de radiointerferência. O capítulo 3 menciona o objeto de ensaio e apresenta o ensaio de tensão de radiointerferência onde serão detalhados o funcionamento do circuito de ensaio, procedimento, calibração, execução do ensaio e o funcionamento do medidor de radiointerferência, neste mesmo capítulo, também veremos as comparações entre as normas ANSI e IEC. Além de estabelecer também comparações no circuito de medição e execução do ensaio.

O ensaio de RIV e seus resultados serão abordados no capítulo 4, enquanto o capítulo 5 apresenta as conclusões e por fim no capítulo 6 as referências bibliográficas.

2 O CONCEITO DA RADIOINTERFERÊNCIA

A radiointerferência é a degradação da recepção de um sinal pretendido, por outro sinal, que na maioria das vezes pode ser considerado indesejado, na faixa de frequências de rádio. Esta degradação do sinal desejado limita o desempenho de equipamentos eletroeletrônicos e dos meios de comunicação. Estes sinais presumidos são chamados de radiointerferência, que é definida pela NBR 5464/1981 como a perda na recepção de um sinal útil, causado por perturbação eletromagnética na faixa de radiofrequência.

Essas perturbações eletromagnéticas podem ser provenientes de fenômenos naturais, como trovões e ruídos cósmicos, de equipamentos elétricos como máquinas rotativas, computadores, equipamentos de raios-X entre outros, mas sua principal fonte são as linhas de transmissão e os equipamentos de alta tensão. [6]

Além das linhas de transmissão, os equipamentos em subestações, acessórios de linhas e isoladores também são fontes de radiointerferência. [12]

2.1 Causas da Radiointerferência

A radiointerferência proveniente das linhas de transmissão e equipamentos de alta tensão se devem principalmente as descargas corona e ao centelhamento. [12]

2.1.1 Ruído Devido á Descarga Corona

Um condutor sobre um determinado nível de tensão gera em sua volta um campo elétrico superficial. Quando o gradiente de potencial elétrico deste campo excede um valor crítico, ultrapassando a rigidez dielétrica do ar, os átomos de ar circunvizinhos a este condutor se ionizam, gerando o efeito corona. Este processo de ionização é iniciado devido a um campo elétrico ser capaz de acelerar elétrons

livres em um meio gasoso, estes elétrons se encontram e colidem com átomos e moléculas, gerando íons positivos e novos elétrons livres, que por sua vez irão novamente colidir com átomos e moléculas, e assim por diante, este processo em cadeia é chamado de Avalanche de Townsend e pode ser visto na figura1. [8,13,21]

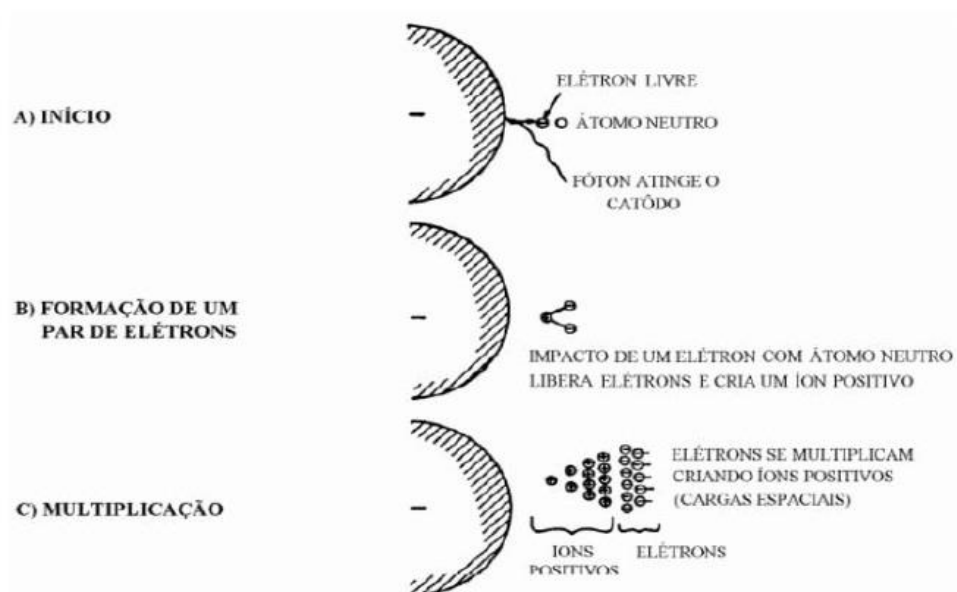


Figura 1 - Avalanche de Townsend.

Fonte: Senna Filho (2011).

Um elétron pode colidir fortemente com um átomo, fazendo que ocorram mudanças de nível de energia de um ou mais elétrons deste átomo, doando a este parte de sua energia. O átomo excitado posteriormente pode retornar ao seu estado inicial, resultando na radiação do excesso de energia na forma de luz (corona) e ondas eletromagnéticas (radiointerferência). [8]

O efeito corona depende da intensidade do campo elétrico na superfície do condutor. Os fatores que afetam sua intensidade são: [6]

- Tamanho e número dos condutores. Quanto maior o diâmetro do condutor, menor será a força do campo elétrico em sua superfície.

Podem ser utilizados feixes de condutores, aumentando assim o diâmetro eficaz;

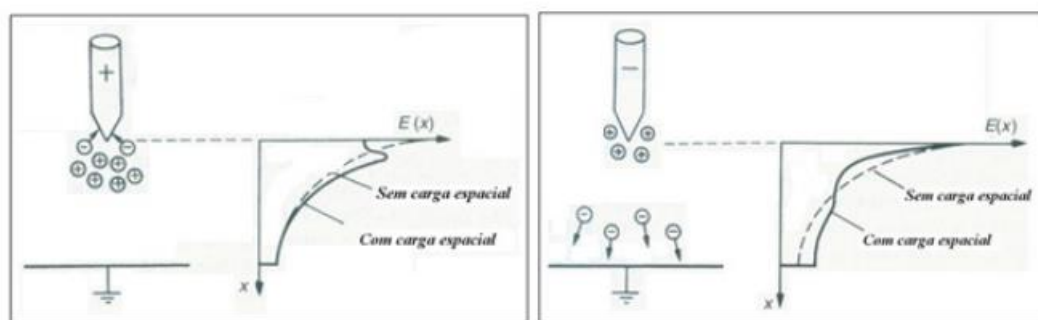
- O espaçamento dos condutores de fase entre si, da linha de suporte e do terra;
- Condições da superfície. Qualquer irregularidade da superfície como fios quebrados, cortes, ou corpos estranhos que possam aderir ao condutor, pode dar origem a intensas descargas corona;
- Condições atmosféricas. Gotas de água e poluição na superfície do condutor influenciam na intensidade do campo. A tensão de ruptura do ar que circunda o condutor é influenciada pelas condições atmosféricas locais.

Sabe-se ainda, que o processo de descarga corona é pulsatório, produzindo pulsos de corrente nos condutores. Esses pulsos se caracterizam pelo seu curto tempo de duração e por ocorrerem de forma repetitiva, ou seja, são pulsos de correntes a alta frequência. A faixa de frequência desses pulsos varia desde dezenas de kHz a centenas de MHz, causando assim os ruídos que intervêm na frequência de rádio. Em outras palavras, o efeito corona pode ser uma fonte de ruído na faixa de radiofrequência. [12,13]

Esses pulsos se comportam de maneiras diferentes em virtude da polaridade existente no condutor. Este comportamento é visto a seguir.

2.1.1.1 O Corona no semiciclo Positivo e Negativo

Quando o condutor é submetido a condições de tensão alternada, este altera sua polaridade a cada semiciclo, para cada uma das polaridades são criadas cargas espaciais diferentes. Estas cargas distorcem o campo elétrico na superfície do condutor. A figura 2 apresenta essa distorção do campo elétrico causada por cargas espaciais, bem como as cargas espaciais criadas por cada polaridade. [21]



(a) Tensão + (Positiva)

(b) Tensão – (Negativa)

Figura 2 - Distorção do Campo Elétrico Causada por Cargas Espaciais.

Fonte: Senna Filho (2011).

Na figura 2(a) ilustra a ocorrência do semiciclo positivo, uma ponta com a tensão positiva representando o ânodo e uma placa aterrada representando o cátodo. Nesta situação, as linhas de campo serão direcionadas do ânodo para o cátodo. A distribuição espacial deste campo elétrico pode ser vista no gráfico através da linha pontilhada, na presença deste os elétrons nas proximidades do condutor, devido a sua mobilidade, serão acelerados rapidamente na direção oposta a do campo, deixando uma nuvem de cargas positivas para trás. As cargas espaciais acabam criando um campo elétrico no sentido oposto ao campo original, isto faz com que a intensidade deste campo diminua próximo a superfície do condutor, porém aumenta a intensidade do mesmo após as cargas espaciais. A linha cheia no gráfico apresenta o campo elétrico na ocorrência destas cargas espaciais. [21]

Na figura 2(b) ilustra a ocorrência do semiciclo negativo, logo na ponta têm-se tensão negativa, isso faz com que os elétrons sejam repelidos para a região onde o campo apresenta pouca intensidade, deixando as cargas positivas perto do eletrodo negativo, com isso aumenta a intensidade do campo elétrico próximo á ponta, como se apresenta na linha cheia do gráfico. [21]

Portanto, sob tensão alternada, as cargas espaciais podem modificar a intensidade e o tipo do corona que irá ocorrer a cada semiciclo. As descargas de corona no semiciclo positivo da tensão a frequência de 60 Hz, denominado corona positivo, têm coloração mais intensa e esbranquiçada, ruído audível mais intenso e maior amplitude. As descargas de corona no semiciclo negativo possuem coloração

mais avermelhada, ocorrem com menos amplitudes que o corona positivo e são menos intensas. [21]

2.1.2 Ruído Devido ao Centelhamento

O ruído ocasionado devido ao centelhamento pode ocorrer, em isoladores entre as partes metálicas das estruturas e em equipamentos com defeito, projetados ou instalados incorretamente. Isso acontece devido ao gap formado nessas condições, neste gap ocorre uma diferença de potencial que ioniza o ar diminuindo assim sua resistência ao atingir determinado valor, permitindo assim a condução de corrente elétrica pelo ar ionizado. A resistência do ar ionizado varia significativamente, podendo causar variações de corrente, que podem ser induzidas nas linhas de transmissão e propagadas por elas, além de ser possível a irradiação em uma larga faixa de frequências. Essas centelhas também podem originar contínuos pulsos fracos, causando interferência severa até na faixa de frequência de VHF, porém o ruído ocasionado geralmente diminui com o aumento da frequência. [12]

Ao contrário do efeito corona, o ruído provocado pelo centelhamento em geral ocorre em boas condições climáticas, podendo desaparecer durante períodos de chuva, pois a precipitação provoca o curto circuito nos gaps. [12]

2.2 Formação da Radiointerferência

A radiointerferência, como visto é tanto originada pelo efeito corona quanto pelo centelhamento, e é causada basicamente pela ionização do ar em torno do equipamento, causada pela existência de um campo elétrico. [13]

Pode-se considerar a existência de uma corrente elétrica no ar devido aos elétrons livres existentes e criados neste processo de ionização que são cargas que estão em constante movimento, que podem ser estabelecidas em qualquer lugar ao

longo do condutor e principalmente nos pontos onde o campo elétrico se apresenta mais intenso.

Estas correntes que se formam nos locais onde o campo elétrico é mais intenso, estão associadas a ondas eletromagnéticas que se propagam em ambas as direções ao longo do condutor e também são irradiadas no espaço a partir do ponto de sua formação, pode-se associar cada componente dessas correntes a um vetor.

A intensidade espectral de um pulso positivo a uma frequência de 1 MHz é maior do que a de um pulso negativo, apresentando uma diferença de 15 a 18 dB. Para frequências maiores de 10 MHz os espectros dos pulsos negativos possuem maior influência, portanto influenciam nas faixas de FM e TV, que vão de 88 a 108 MHz. Já as faixas de frequência AM, que compreendem a faixa de 550 a 1600 kHz, são influenciadas pelas intensidades espectrais positivas. Esse comportamento relativo aos positivos e negativos num espectro de frequência de 0,1 a 70 MHz conforme mostrado na figura 3.

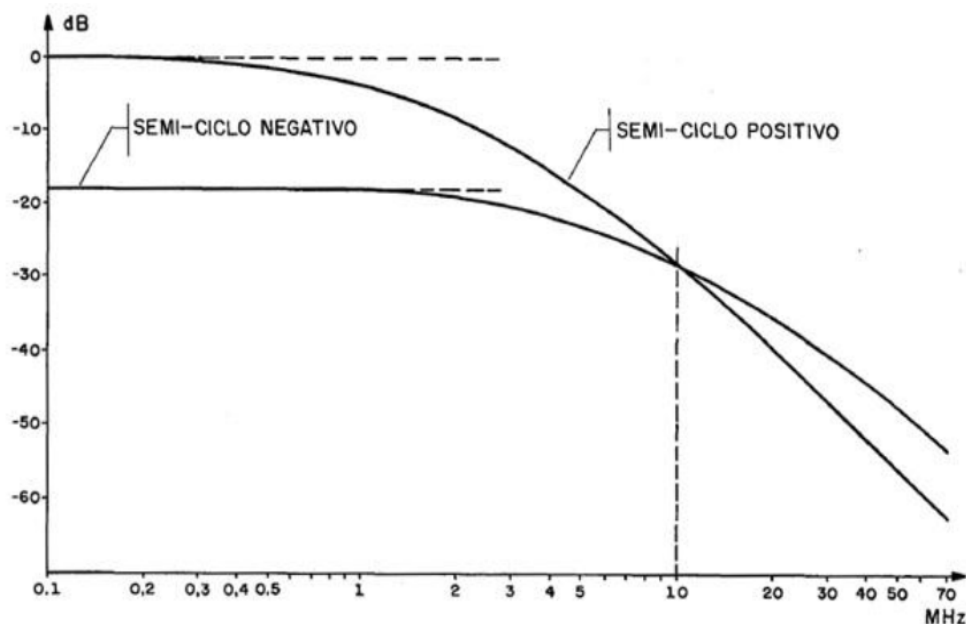


Figura 3 - Espectro de Frequência Relativo aos Impulsos de Corrente.

Fonte: Levy (1985), adaptado pela autora (2017).

Os problemas mais críticos de interferências radioelétricas encontram-se nas faixas de frequências AM e que estes são originados dos condutores de linha, têm-se procurado colher dados que possibilitem a execução de projetos que não ultrapassem níveis de interferência que venham a causar transtornos á população e que ao mesmo tempo sejam mais acessíveis financeiramente.

As interferências na faixa de frequências FM são geralmente de origem local sendo devidas, entre outras causas, ao centelhamento em isoladores avariados ou poluídos, em elementos metálicos energizados com contato em falso ou sob ferrugem, entre outros. Essas interferências podem ser minimizadas, fazendo-se uma manutenção periódica do sistema de transmissão.

2.3 Grandezas Relativas à Radiointerferência

A unidade de medida utilizada para saber os níveis de ruídos que provocam a radiointerferência, é o decibel (dB), grandeza que descreve uma razão entre duas quantidades. [13]

As interferências causadas pelos impulsos de corrente nos receptores de rádio são função da potência captada por um resistor, numa determinada faixa de frequência, assim os níveis de radiointerferência são dados pela equação 2.3. [13]

$$dB = 10 * \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \quad (2.3)$$

Onde:

P_1 = É a potência transmitida pelos pulsos de corrente, em Watts (W);

P_2 = É a potência de referência que pode ser escolhida livremente, em Watts (W).

Os equipamentos utilizados para medição de radiointerferência lêem sinais de tensão, como a potência é função da tensão pode-se organizar a equação da seguinte forma:

$$dB = 20 * \log\left(\frac{V_1}{V_2}\right) \quad (2.4)$$

Onde:

V_1 = É a tensão de radiointerferência medida, em Volts (V).

V_2 = É a tensão de referência, que geralmente é igual a 1 μ V, em Volts (V).

2.4 Influências da Radiointerferência nos Receptores de Rádio

Em um receptor de rádio, o que determina a qualidade da recepção de um sinal pretendido é a relação sinal/ruído captada por este. Portanto, os níveis absolutos de radiointerferência não ditam uma recepção de qualidade ruim, pois esta é dependente também da potência do sinal emitido pela emissora. [18]

Em um determinado local são recebidos sinais de várias estações de rádio, esses sinais possuem diferentes níveis de potência, padrões de antenas diferentes, etc. Levando esses fatores em consideração, tornando-se conveniente considerar a mediana da distribuição de intensidade do sinal para determinar a relação sinal/ruído em um local específico.

2.5 Influências das Condições Meteorológicas nos Níveis de Rádio Interferência

As condições meteorológicas alteram expressivamente os níveis de radiointerferência. No caso de transformadores de corrente submetidos á corrente alternada, os níveis de rádio interferência se mostram menores em condições de tempo bom do que sob chuva pesada. Isso acontece porque as gotas d'água que aderem à superfície do condutor provocam variações na geometria do mesmo, alterando então o campo elétrico local. [13]

De acordo com Leão o campo elétrico é alterado não só sob condição de chuva pesada, mas também em qualquer condição de alta precipitação, como em tempos chuvosos, nevoeiros, precipitações de orvalho entre outros, onde gotículas de água se depositam na superfície dos condutores. [12]

Além do efeito da chuva sobre a radiointerferência outra condição meteorológica que influencia os níveis de radiointerferência é a umidade relativa.

3 ENSAIO DE TENSÃO DE RADIOINTERFERÊNCIA

Os transformadores de corrente antes que sejam inseridos no sistema elétrico devem ser sujeitos ao ensaio de tensão de radiointerferência a fim de verificar a presença de ruídos gerados pelos mesmos e também conhecer o seu provável desempenho. [13]

De acordo com a norma da ABNT NBR 7876 (1985) a realização dos ensaios de tensão de radiointerferência (RIV) em laboratórios de alta tensão requer a disponibilidade de instalações de grande porte e instrumentos de medição bastante sofisticados. O laboratório deve ser eletrostaticamente blindado para que não haja interferências externas nas medições realizadas. Além disso, as medições normalmente devem ser efetuadas sob condições climáticas controladas conforme norma pertinente. [3]

Segundo a norma pertinente a temperatura deve estar entre 15°C a 35°C, a pressão barométrica entre 870 e 1070mbar; e sua umidade relativa (para ensaio de objetos em estado a seco) de 45% a 75%. [2]

As normas que regem o ensaio não determinam fórmulas de correção atmosférica para adequar os resultados do ensaio as condições atmosféricas a que o equipamento será submetido quando for instalado em campo, entretanto, essas condições climáticas devem ser anotadas, para fins de pesquisa.

Além do ambiente de ensaio e das condições climáticas, a limpeza do objeto sob ensaio é fundamental, segundo a norma da ABNT NBR 7876 (1985) antes que se inicie o ensaio, é de grande importância que o objeto a ser ensaiado esteja limpo. A limpeza deve ser feita com pano seco, para remover poeiras e fibras que possam estar sobre a superfície do objeto. É de suma importância que o objeto sob ensaio esteja limpo, pois qualquer poeira em sua superfície pode causar a alteração do campo elétrico durante a realização do ensaio, levando a níveis irreais de radiointerferência. Deve-se atentar também que o objeto seja montado em laboratório o mais fielmente possível a sua posterior instalação em campo. Na norma 6856/2015 o TC deve ser montado em um nível acima do solo não superior á altura da estrutura-suporte usada em serviço. A altura máxima permitida para a estrutura-suporte utilizada é de 2m. Essa altura máxima para ensaio corresponde á altura mínima de segurança utilizada nas subestações. [2]

Após definidas as condições de realização do ensaio, faz-se necessário conhecer os componentes e equipamentos elétricos utilizados na detecção e na medição da radiointerferência. Esses elementos são definidos pelas normas que regem o ensaio de radiointerferência, estas serão mencionadas nos próximos capítulos.

3.1 Circuito de Ensaio

Para determinar os níveis de ruídos emitidos pelo equipamento sob ensaio, utiliza-se o circuito apresentado na figura 4.

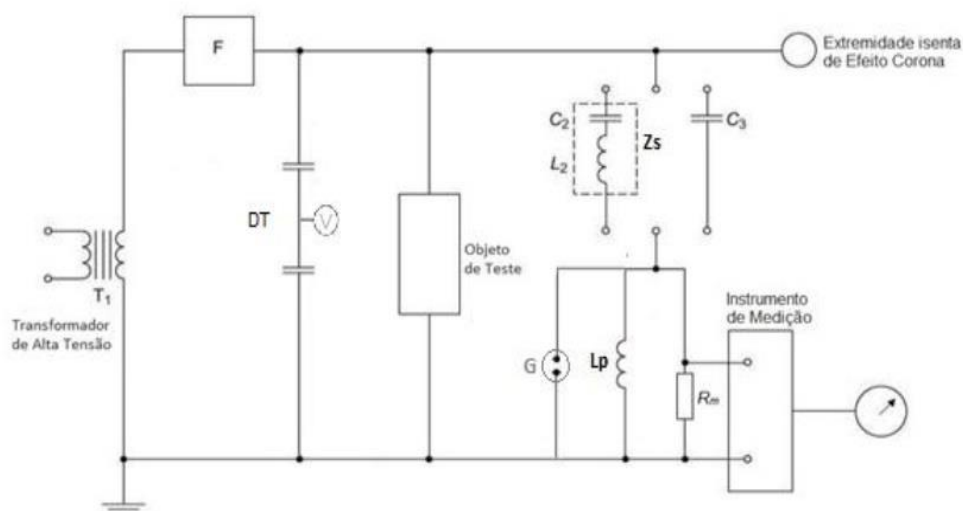


Figura 4 - Circuito de Ensaio de Tensão de Radiointerferência.

Fonte: CISPR 18-2 (2010), adaptado pela autora (2017).

O primeiro componente do circuito de ensaio é o transformador de ensaio, este é responsável por elevar a tensão a níveis necessários para realização do ensaio e o primário desse transformador deve ser ligado a um regulador de tensão, no qual varia o nível de tensão para execução do ensaio. [13]

O próximo equipamento utilizado é um divisor de tensão (DT), este é conectado ao lado de alta do transformador de ensaio, e tem por objetivo converter os níveis de alta tensão em níveis de baixa tensão, para que possam ser medidos por medidores convencionais. [13,7]

O transformador de ensaio e o divisor de tensão são elementos do circuito que gera e mede a tensão de ensaio, respectivamente, eles são utilizados em qualquer ensaio de alta tensão em 60 Hz, e devem obedecer as normas IEC 60060-1 e IEC 60060-2, para que os ensaios tenham validade.

No que tange a medição da tensão de radiointerferência, os equipamentos utilizados são os seguintes:

O filtro (F) impede a circulação de correntes de radiofrequência, provindas do transformador de ensaio e do sistema de alimentação, para que estas não interfiram nos resultados do ensaio de radiointerferência. Este se constitui de uma indutância de alguns mH, que é praticamente um curto-circuito para tensão a frequência industrial, porém apresenta alta impedância para os impulsos de alta frequência. Isso faz com que qualquer impulso provindo da fonte de alimentação não influencie na medição da radiointerferência, e também, que os impulsos provenientes do objeto de ensaio sejam obrigados a passar pela impedância Z_s . [13]

Esta impedância (Z_s) pode ser formada pela associação de um capacitor e um indutor em série, neste caso a impedância Z_s é sintonizada numa dada frequência, sendo que o filtro também deve ser sintonizado nesta mesma frequência. Porém esta configuração possui o inconveniente de medir a tensão de radiointerferência numa só frequência. A impedância Z_s pode ainda ser constituída apenas por um capacitor de acoplamento (C_m), neste caso a capacitância deste deve ser elevada, fazendo com que o valor deste equipamento se torne elevado, por outro lado, as medições se tornam fáceis e flexíveis. A função deste capacitor é oferecer alta impedância a tensão em frequência industrial e permitir a passagem dos impulsos de corrente a alta frequência. De acordo com a norma este capacitor deve possuir capacitância no mínimo cinco vezes maior do que a capacitância do objeto sob ensaio. [13,3]

Após a impedância Z_s tem-se o resistor R_m , o indutor L_p e o gap G , conectados em paralelo. O resistor R_m é utilizado para medição da radiointerferência e varia conforme a norma utilizada. O indutor L_p é um dispositivo de proteção que tem por finalidade fornecer um caminho de baixa impedância para a

corrente em frequência industrial que passar pela impedância Z_s , o gap G também funciona como um dispositivo de proteção adicional, atuando sempre que um certo limite de tensão a frequência industrial for alcançado. [12,3]

O elemento final do circuito de ensaio é o medidor de radiointerferência, este é conectado paralelamente ao resistor R_m através de um cabo coaxial, e será mostrado mais adiante. [3]

3.2 Objeto sob Ensaio

O equipamento de teste a ser ensaiado é o transformador de corrente (abreviadamente TC), é um objeto que em seu enrolamento primário é ligado em série com seu circuito elétrico, e que reproduz, no seu circuito secundário, uma corrente proporcional à do seu circuito primário, com sua posição fasorial substancialmente mantida. Os transformadores de corrente, também chamados de transformadores de instrumentos, destinam-se à proteção e a medição.

O seu tipo construtivo é bucha e consiste de um núcleo em forma de anel (núcleo toroidal), com enrolamentos secundários.

O nível de tensão do objeto a ser ensaiado é de 550 kV.

3.3 Modelo da impedância de RIV CEPEL

O principal objetivo desta impedância é proporcionar maior agilidade nos ensaios realizados, facilitando os processos de calibração e execução do ensaio, além de possibilitar a alternância entre as normas NEMA e CISPR através da simples comutação de uma chave. A impedância de RIV é apresentada na figura 5 e 6.



Figura 5 - Impedância de RIV Externamente.

Fonte: Autora (2017).

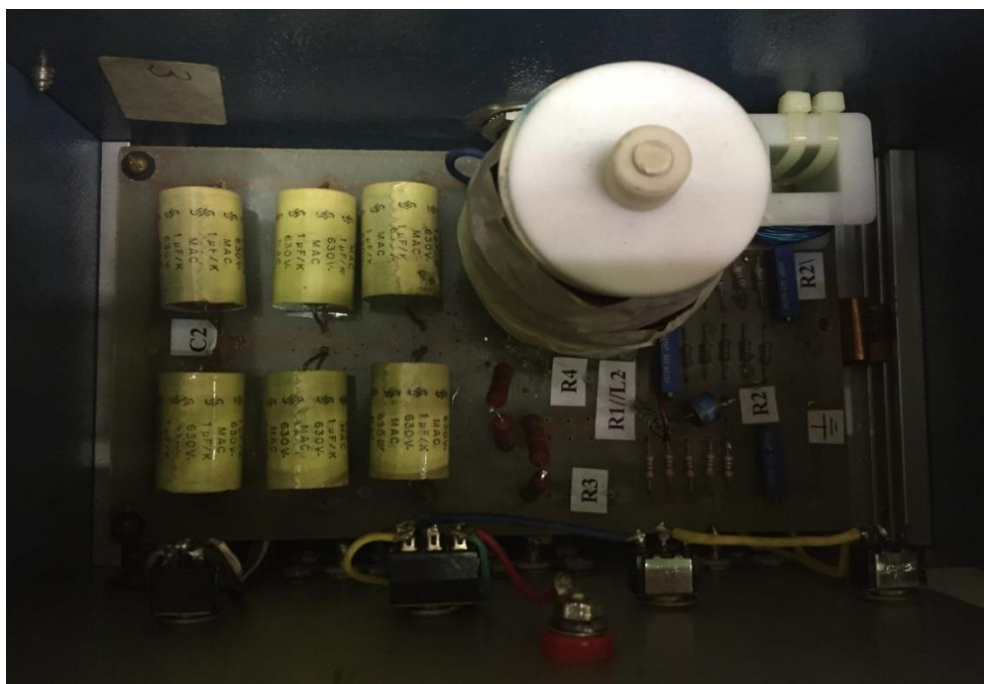


Figura 6 - Impedância de RIV Internamente.

Fonte: Autora (2017).

As normas de radiointerferência definem o circuito de medição a ser utilizado no ensaio. Então, a impedância de RIV deve obedecer aos parâmetros propostos por elas. No Cepel a impedância de RIV é projetada de modo a atender as especificidades das duas normas. Outro fator relevante na caixa de RIV consiste na inclusão de um método simples para realizar a calibração do circuito de ensaio, sendo necessária apenas a comutação de uma chave, que altera o circuito da condição de ensaio para a condição de calibração. Além disso, foi incluída uma unidade secundária do divisor de tensão para medição de corrente alternada em 60 Hz, dispensado assim a necessidade de outro equipamento para medição do nível de tensão aplicado ao objeto sob ensaio.

O circuito da figura 7 tem como entrada um terminal que recebe o sinal do capacitor de acoplamento através de um cabo coaxial, este terminal é utilizado para facilitar a conexão entre a impedância de RIV e o cabo coaxial. A alma do terminal foi conectada aos capacitores C_{m1} e C_{m2} , estes constituem um divisor de tensão quando a entrada da impedância de RIV for conectada ao capacitor de acoplamento. Em série com o capacitor C_{m1} tem-se a chave CH4, com esta podemos alterar a capacitância da unidade secundária, de modo alterar o fator de escala do divisor de tensão, adequando-a ao nível de tensão de ensaio. Ainda existe a chave CH3 que permite curto-circuitar os capacitores C_{m1} e C_{m2} , caso não seja pertinente à utilização da unidade secundária, este artifício pode ser utilizado em ensaios de corrente contínua. O sinal em 60 Hz na unidade secundária passa por um filtro passa-baixa de segunda ordem, para assegurar que o sinal enviado a saída MED.CA não sofra influência dos sinais de alta frequência, pois estes podem alterar o valor lido e até mesmo danificar o equipamento de medição. O terminal utilizado na saída MED.CA é um terminal tipo rosca, onde se conecta o cabo coaxial que transmite o sinal em 60 Hz ao voltímetro para medir os níveis de tensão do ensaio, localizado na sala de controle.

Após os capacitores pertencentes a unidade secundária do divisor de tensão, tem-se a chave CH2 a qual é uma chave HH que possibilita a comutação entre os modos de ensaio e calibração, quando esta chave é comutada para posição de calibração o sinal injetado na entrada “calibração” é direcionado para impedância de medição, para que seja lido no medidor de radiointerferência. Já o sinal injetado na entrada “Ensaio” é direcionado as impedâncias R3 e R4 que apresentam a mesmo valor ôhmico da impedância de medição a fim de equilibrar a corrente do circuito,

sendo este sinal desprezado. Quando a chave é alterada para posição de ensaio o inverso ocorre, o sinal injetado na entrada é direcionado para a impedância de medição e posteriormente lido no medidor e o sinal da entrada “calibração” é escoado para o terra.

Os próximos componentes do diagrama elétrico, são os resistores R1, R2 e R'2, a associação dessas resistências juntamente com a impedância interna do medidor de radiointerferência que é de 50Ω , formam a impedância de medição exigida nas normas, onde os pulsos de radiointerferência são medidos. A chave CH1 que está em série com resistência R'2, permite alternar a impedância do circuito, quando esta chave estiver aberta, a impedância equivalente será 300Ω , neste caso utiliza-se a norma CISPR e quando esta chave estiver fechada, a impedância equivalente será de 150Ω , utilizando-se assim a norma NEMA.

Prosseguindo a continuidade à análise do circuito, serão abordados o indutor L2 e o gap G2, estes se encontram em paralelo com o resistor R1. O indutor L2 apresenta-se como um curto-circuito para baixas frequências e como circuito aberto para altas frequências, desta forma garante-se que na resistência R1 passaram somente os pulsos de radiointerferência na frequência desejada. Já o gap G2 tem por função proteger o circuito contra possíveis sobretensões.

Por último este circuito consiste na saída MED. Vi. Nesta saída também se utiliza um terminal tipo rosca para a conexão do cabo coaxial, que transmitirá os sinais ao medidor de radiointerferência localizado na sala de controle.

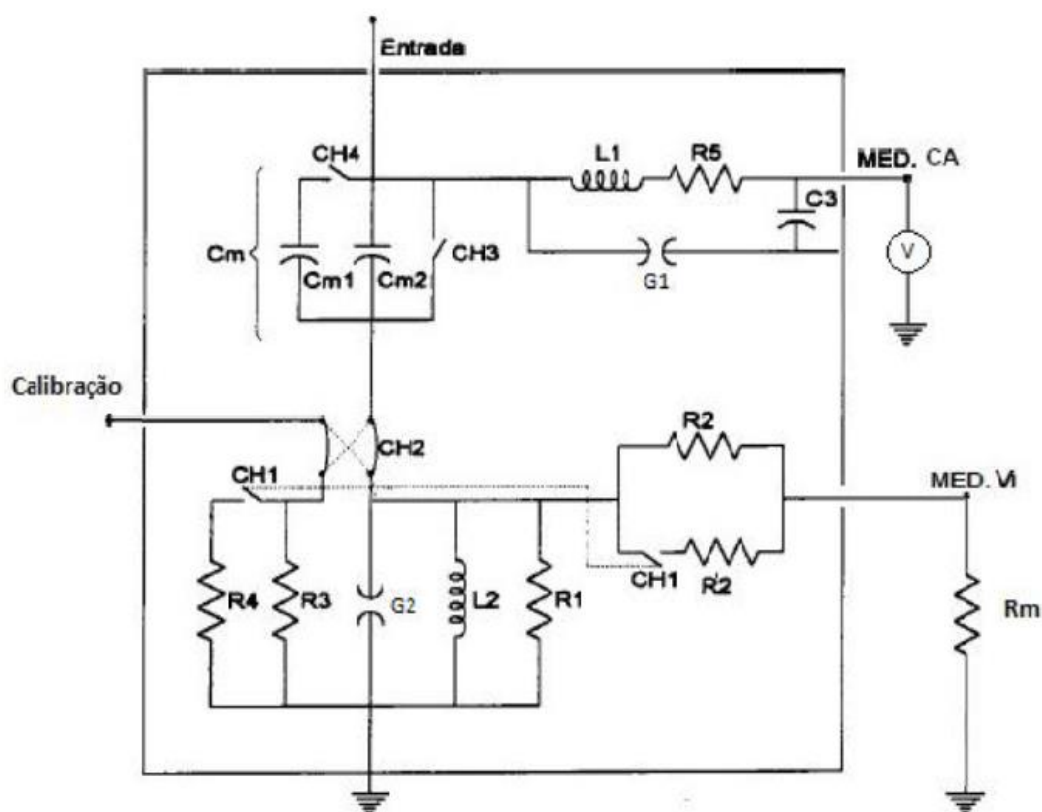


Figura 7 - Esquema Elétrico da Impedância de RIV.

Fonte: CEPEL (1994).

3.4 Procedimentos do Ensaio de RIV

Além do circuito de ensaio as normas também determinam o procedimento para a realização do ensaio, que consiste na calibração do circuito de ensaio, na execução do ensaio, feita em ciclos específicos e na análise dos resultados do ensaio.

3.4.1 Calibração

Ocorrem atenuações ao percorrer o circuito até a impedância de medição, provocados por pulsos de correntes que são gerados pelo objeto sob ensaio, assim

sendo registrado no medidor o sinal menor do que aquele realmente gerado pelo objeto. Torna-se assim necessário estabelecer um parâmetro para correção dos valores lidos do medidor.

Para corrigir essa atenuação deve ser feita a determinação prática de um fator de atenuação, conforme a norma. Então, aplica-se no circuito de ensaio um sinal de forma senoidal com amplitude conhecida e na frequência de medição do nível de ruído.

O sinal deve ser injetado entre os pontos "ab" e "cd" do circuito de ensaio conforme visto na figura 8, e sua medição é feita com o medidor de radiointerferência. Para obter o fator de atenuação do circuito, os resultados lidos no medidor tanto no ponto "ab" (E_{ab}), quanto no ponto "cd" (E_{cd}) devem ser tratados conforme a norma utilizada no ensaio, às especificidades de cada norma serão apresentadas mais a frente neste trabalho.

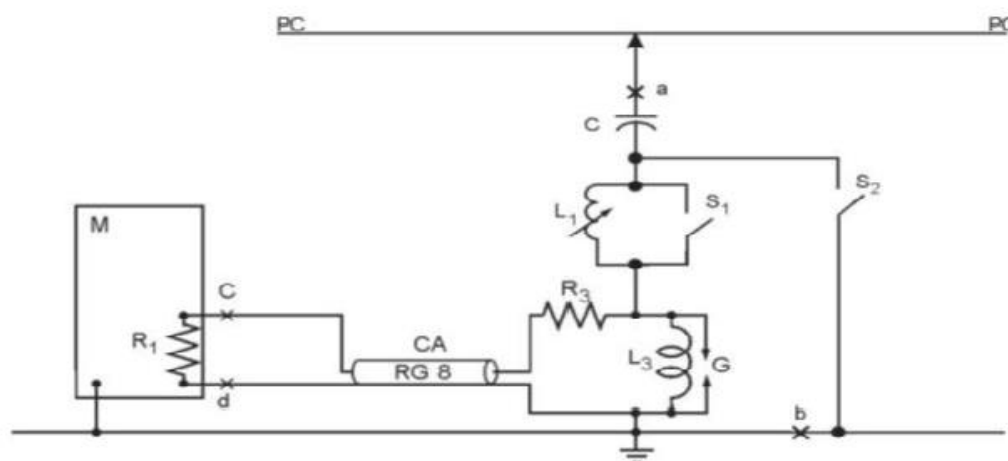


Figura 8 - Circuito de Ensaio de Tensão de Radiointerferência (Calibração).

Fonte: Adaptado da NEMA, por autora (2017).

3.4.2 Execução do Ensaio

O nível de ruído de radiointerferência gerado por um TC sob ensaio não é inteiramente determinado por um valor particular de tensão de ensaio. Um efeito de histerese ocorre frequentemente, com resultado que o ruído pode ou não se apresentar numa dada tensão de ensaio, por isso depende se a tensão foi alcançada pelo decréscimo ou pelo acréscimo de valores. O pré-condicionamento do TC sob ensaio, aplicando-se uma tensão, a qual é igual a ou maior do que a tensão de ensaio especificada por um período de tempo específico também pode ter um efeito sobre o nível medido de ruído de radiointerferência. Então se faz necessário a utilização de um ciclo de medição, para assegurar a eficácia do ensaio de tensão de radiointerferência.

Os ensaios de radiointerferência realizados em transformadores de corrente de alta tensão (TC) utilizam a tensão de ensaio, que é normalmente especificada na norma NBR 6856/2015. De acordo com esta norma os ensaios em TC's devem ser realizados aplicando uma tensão de 20% acima da tensão de fase nominal do TC sob ensaio. Este nível de tensão deve ser mantido por no mínimo 5 minutos. A seguir a tensão deve ser reduzida em degraus de 10% até atingir 30% da tensão de fase nominal, em seguida, a tensão é novamente elevada repetindo-se os mesmo degraus. Este ciclo é repetido três vezes, e o valor da tensão de radiointerferência é o maior valor tomado, quando o nível de tensão for 10% acima da tensão nominal. [2]

O ciclo de medição da norma NBR 6856/2015 é utilizado exclusivamente para ensaios de TC's. Em alguns casos, a tensão de teste pode ser combinada entre o fabricante e o comprador em um valor entre 10% e 40% acima da tensão de fase nominal do sistema ou do equipamento.

O ciclo regulamentado pela CISPR para os equipamentos de alta tensão em geral preconiza que uma tensão de 10% mais elevada do que a tensão de ensaio especificada seja aplicada ao objeto sob ensaio, sendo mantida durante pelo menos 5 minutos. A tensão deve ser então diminuída em passos até chegar a 30% da tensão de ensaio especificada e em seguida elevada, também em passos, até o valor inicial, mantendo-se neste valor de tensão por um minuto. Cada degrau de tensão deve ser de aproximadamente 10% da tensão de ensaio especificada. A cada

passo uma medição de ruído deve ser tomada e o resultado do ensaio é obtido através dos valores de tensão de radiointerferência anotados durante a última descida de tensão do ensaio.

O objeto sob ensaio (TC) deve ser considerado aprovado no ensaio se o nível de radiointerferência na tensão de ensaio específica, quando lido a partir da característica de radiointerferência, não ultrapassar o valor especificado na norma ou o valor previamente acordado entre o fabricante e o comprador.

3.5 Comparações entre as Normas ANSI e IEC

Nos dias de hoje, têm-se em exercício as normas da IEC CISPR, conjunto de normas europeias que lidam da radiointerferência, as normas mais importantes para este trabalho são a CISPR 18-2/2010 e a CISPR 16/2010, pois estas dispõem sobre os ensaios de alta tensão, na primeira são determinados o circuito de ensaio que deve ser utilizado, a metodologia aplicada, em fim todas as condições do ensaio, a segunda norma traz as especificações do medidor utilizado para a leitura dos níveis de radiointerferência, definindo o tipo de medidor, a largura de banda de passagem, entre outros parâmetros.

Além das normas da IEC CISPR, existe também a norma ANSI NEMA 107/1987, está é uma norma americana, muito utilizada na realização dos ensaios de radiointerferência e apesar de estar cancelada, existem ainda muitos fabricantes e compradores de equipamentos que exigem a realização do ensaio sob suas orientações.

3.5.1 Comparações no Circuito de Medição

As principais e mais importantes diferenças entre as duas normas são a frequência e a impedância de medição. Segundo a norma NEMA os ensaios devem ser executados a uma frequência de 1MHz, utilizando uma impedância de medição

de 150Ω. Já a norma CISPR traz como referência uma frequência de 0,5 MHz, utilizando uma impedância de medição de 300Ω.

A norma NEMA justifica a utilização desta frequência de medição por esta estar no centro da faixa de frequência AM que varia de 0,5 MHz a 1,7MHz. A norma CISPR não traz o motivo pelo qual utiliza esses parâmetros, mas entende-se que com uma frequência menor, os níveis de radiointerferência conduzida são mais convincentes, com isso conclui-se que a norma CISPR utiliza o limite inferior da faixa de frequência de rádio AM, para assim obter uma eficácia maior nos resultados do ensaio.

A impedância de medição utilizada pelas normas é uma resistência que representa a impedância característica de uma linha de transmissão, pois os pulsos de corrente gerados nos equipamentos são injetados nas linhas de transmissão. [8]

Tabela 1 - Comparação das Características dos Medidores de RIV.

Parâmetros dos medidores	NEMA	CISPR
Impedância de medição (Ω)	150	300
Frequência de medição (MHz)	1	0,5
Faixa de passagem (kHz)	9	9
Tempo de carga (ms) - do medidor	1	1
Tempo de descarga (ms) - do medidor	600	160

Fonte: Norma CISPR 18-2:2010.

3.5.2 Comparação da Execução do Ensaio

A diferença que as normas apresentam na execução do ensaio está na obtenção do fator de atenuação, mais especificamente como são tratados os valores obtidos durante a calibração executada antes do ensaio.

Contudo os cálculos utilizados para obter o fator de atenuação do circuito, dependem da norma adotada.

Na norma NEMA o fator de atenuação é dado pela relação entre a tensão V_a e a tensão V_m , podendo ser vista na equação.

$$\text{Fator de atenuação} = \frac{V_a}{V_m} \quad (3.1)$$

Onde:

V_a = É a tensão aplicada nos terminais do medidor, em (V).

V_m = É a tensão aplicada nos terminais do objeto, em (V).

Esse fator de atenuação é multiplicado pelos resultados lidos no medidor de radiointerferência durante o ensaio. É importante salientar também que os resultados obtidos de acordo com a norma NEMA devem ser expressos em μV , utilizando essas fórmulas caso seja necessário converter para a unidade.

$$\text{Valor em } \mu V = 10^{\frac{\text{leitura em dB}}{20}} \quad (3.2)$$

Na norma CISPR este fator é obtido fazendo-se a diferença entre a tensão V_a e a tensão V_m , vista na seguinte equação.

$$\text{Fator de atenuação} = V_m - V_a \quad (3.3)$$

O fator de atenuação obtido deve ser somado aos valores lidos no medidor de radiointerferência ao decorrer da execução do ensaio, mas os resultados segundo a norma CISPR são expressos em dB.

$$\text{Valor em dB} = 20 \log(\mu V) \quad (3.4)$$

4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta o ensaio de tensão de radiointerferência realizado no laboratório de alta tensão (AT1) do CEPEL, utilizando como objeto sob ensaio o transformador de corrente. O principal objetivo deste teste é verificar o nível de emissão de radiointerferência do transformador de corrente.

4.1 Ensaio de Tensão de Radiointerferência

Para realizar este ensaio utilizou-se o sistema de alta tensão em 60 Hz composto por uma fonte de tensão regulável que varia de 0 a 8 kV, esta fonte alimenta dois transformadores de ensaio ligados em cascata que atingem a tensão de 1200 kV, também foi utilizado um divisor de tensão da marca Passoni & Villa, com relação de transformação, para a leitura do sinal de 60 Hz do divisor utilizou-se o voltímetro da marca Fluke modelo 45. O capacitor de acoplamento P&V foi conectado a saída do transformador de ensaio através do filtro de altas frequências, e na saída deste capacitor foi ligada a impedância de RIV.

A saída Med. CA da impedância de RIV conectou-se ao voltímetro da marca Fluke modelo 45. E a saída Med. TRI da impedância de RIV conectou-se o medidor de RIV, e utilizou para a norma CISPR o medidor da marca RohdeSchwarz modelo ESPI3.

A figura 9 ilustra o circuito de ensaio utilizado.

Tabela 2 - Calibração das Impedâncias de RIV na Norma CISPR.

Impedância de RIV	Va (dB)	Vm (dB)	Fator de correção (p)
Cepel	55,1	51,78	-3,32

Fonte: Autora (2017).

Os valores obtidos de R1 e R2 é 830Ω e 420Ω respectivamente, logo, ao utilizar a fórmula de correção (α), encontra-se o seu fator de correção no valor de 22,78, este fator na norma CISPR é somado com o valor de Vi achando então o valor de Vri expresso em dB.

O fator de correção (α) é obtido pela equação abaixo.

$$\alpha = 20 \log [(R2 + 50) / 50] - p \quad (4.1)$$

Encerrada a calibração deu-se início ao ensaio, este foi executado com a tensão nominal do equipamento de 550 kV. O ciclo realizado constituiu em elevar a tensão $1,2 U_m/\sqrt{3}$ do TC e manter por no mínimo 5 min. e depois reduzi-la em degraus de $0,1 U_m/\sqrt{3}$ até atingir $0,3 U_m/\sqrt{3}$, e novamente elevar seguindo os mesmos degraus. O ciclo é repetido três vezes, sendo anotados os valores da tensão de radiointerferência a cada degrau. A norma NBR 6856:2015 cita para seguir os instrumentos de medição e os procedimentos utilizados na norma CISPR/TR18-2.

O valor da tensão de radiointerferência, para efeito deste teste, é o maior valor tomado a $1,1 U_m/\sqrt{3}$ da tensão nominal. Os demais valores, meramente informativos, constituem a curva de radiointerferência do TC e se prestam a estudos de distribuição de campo elétrico do equipamento. Os valores obtidos da realização do ensaio estão representados na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do Ensaio da Norma CISPR.

TENSÃO	Vmult	Vi	Vri	TEMPO	Vri
(kVef)	(Vef)	(μ V)	(μ V)	(s)	(dB)
381,05	128,88	23	194,54	300	45,78
349,30	118,14	13,3	63,68	60	36,08
317,54	107,40	11	48,87	15	33,78
285,79	96,66	9	38,82	15	31,78
254,03	85,92	8,4	36,22	15	31,18
222,28	75,18	7,6	33,04	15	30,38
190,53	64,44	8,1	34,99	15	30,88
158,77	53,70	8,2	35,4	15	30,98
127,02	42,96	8,6	37,07	15	31,38
95,26	32,22	7,8	33,81	15	30,58
127,02	42,96	7,6	33,04	15	30,38
158,77	53,70	8,7	37,5	15	31,48
190,53	64,44	8,2	35,4	15	30,98
222,28	75,18	9,3	40,18	15	32,08
254,03	85,92	11,2	50	15	33,98
285,79	96,66	13,5	65,16	15	36,28
317,54	107,40	15,3	80,17	15	38,08
349,30	118,14	13,8	67,45	60	36,58
381,05	128,88	11,2	50	15	33,98
349,30	118,14	8,8	37,93	60	31,58
317,54	107,40	8,3	35,81	15	31,08
285,79	96,66	7,8	33,81	15	30,58
254,03	85,92	7	30,83	15	29,78
222,28	75,18	7,1	31,19	15	29,88
190,53	64,44	8	34,59	15	30,78
158,77	53,70	7,9	34,1	15	30,68
127,02	42,96	8,2	35,4	15	30,98
95,26	32,22	7,9	34,1	15	30,58
127,02	42,96	12,1	55,46	15	34,88
158,77	53,70	12,2	56,1	15	34,98

190,53	64,44	11,2	50	15	33,98
222,28	75,18	11,1	49,43	15	33,88
254,03	85,92	12,3	56,75	1	35,08
285,79	96,66	11,4	51,17	15	34,18
317,54	107,40	12,2	56,1	15	34,98
349,30	118,14	13,0	61,52	60	35,78
381,05	128,88	11,1	49,43	15	33,88
349,30	118,14	13,2	62,95	60	35,98
317,54	107,40	12,2	56,1	15	34,98
285,79	96,66	12,1	55,46	15	34,88
254,03	85,92	8,5	36,64	15	31,28
222,28	75,18	8,2	35,4	15	30,98
190,53	64,44	8,1	34,99	15	30,88
158,77	53,70	9,3	40,18	15	32,08
127,02	42,96	7,6	33,04	15	30,38
95,26	32,22	7,8	33,81	15	30,58
127,02	42,96	7,9	34,2	15	30,68
158,77	53,70	8,1	35	15	30,88
190,53	64,44	9,6	41,59	15	32,38
222,28	75,18	8,5	36,64	15	31,28
254,03	85,92	7,4	32,28	15	30,18
285,79	96,66	6,5	29,11	15	29,28
317,54	107,40	8,9	38,37	15	31,68
349,30	118,14	7,9	34,2	60	30,68
381,05	128,88	7,8	33,81	15	30,58

Fonte: Autora (2017).

4.2 Requisitos para Tensão de Radiointerferência (TRI)

O limite máximo do nível de tensão de radiointerferência medido a $1,1 U_m/\sqrt{3}$, para TC com tensão máxima igual ou superior a 72,5 kV, é de 500 μ V, referidos a 300 Ω , ou 250 μ V, referidos a 150 Ω .

Porém o equipamento foi aprovado, pois o maior valor tomado foi abaixo deste valor.

4.3 Resultados do Ensaio

Analisando os resultados obtidos no ensaio, a tensão de radiointerferência deste ensaio que é o valor de $1,1 U_m/\sqrt{3}$ não foi maior, cumprindo assim a norma e o equipamento passando no teste. Verificando assim seu pleno funcionamento e ratificando a capacidade de atender os requisitos das normas.

Os resultados do ensaio realizado no transformador de corrente foram plenamente satisfatórios, pois os resultados observados ficaram dentro dos limites estabelecidos pelas normas, já mencionadas neste trabalho no item 4.2.

4.4 Curva do RIV

Para estudos da distribuição do campo elétrico do TC, nos gráficos a seguir mostram-se os níveis de tensão de radiointerferência (μV) em relação com os níveis de tensão em (kVef). Assim demonstrando em cada gráfico, os 3 ciclos correspondente.

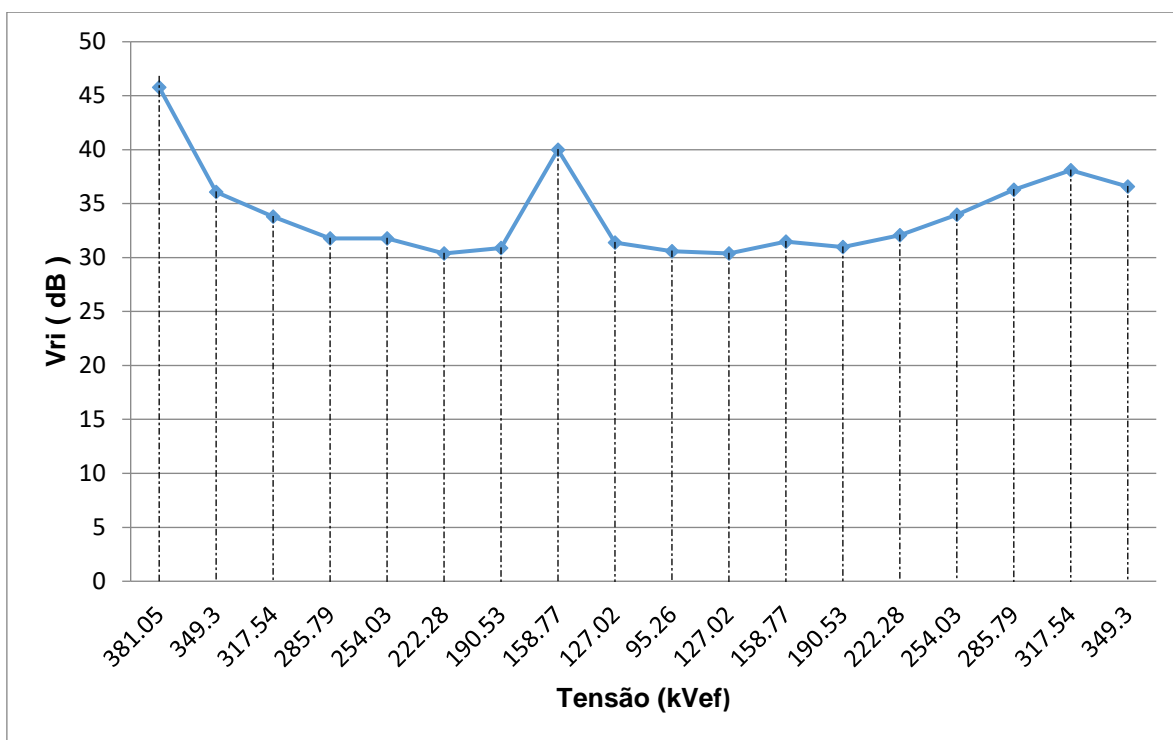


Figura 10 - Curva de Tensão de Radiointerferência do TC (1º ciclo).

Fonte: Autora (2017).

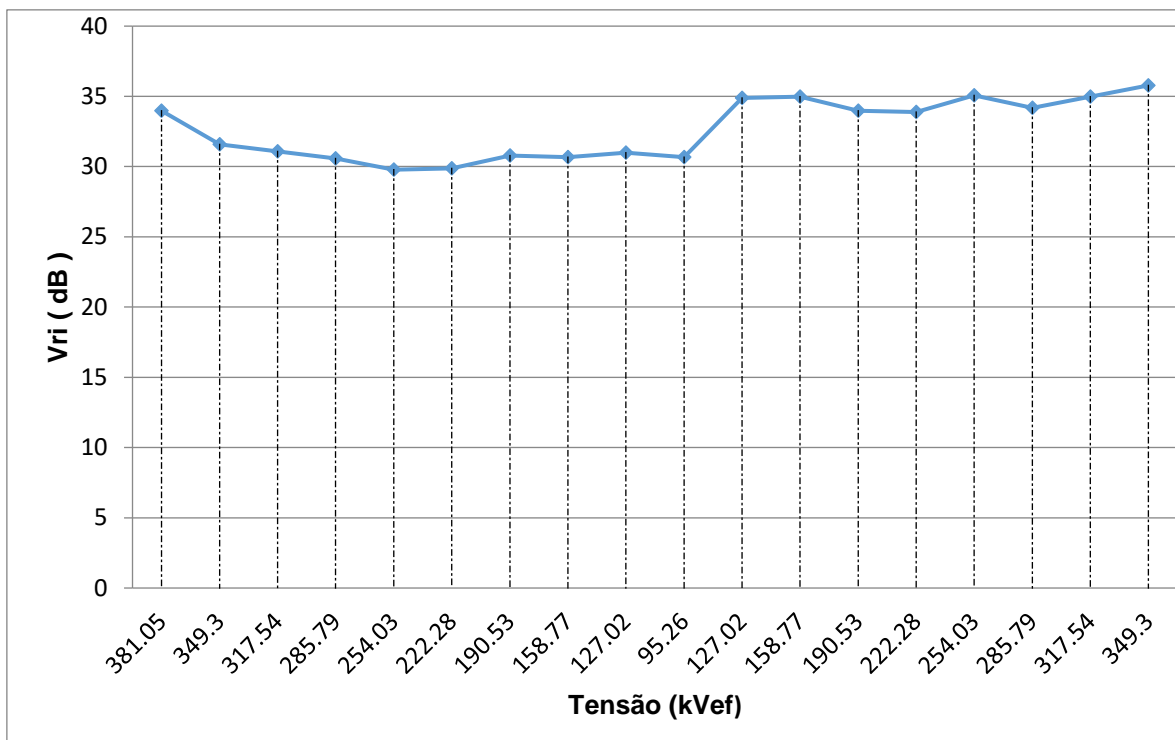


Figura 11 - Curva de Tensão de Radiointerferência do TC (2° ciclo).

Fonte: Autora (2017).

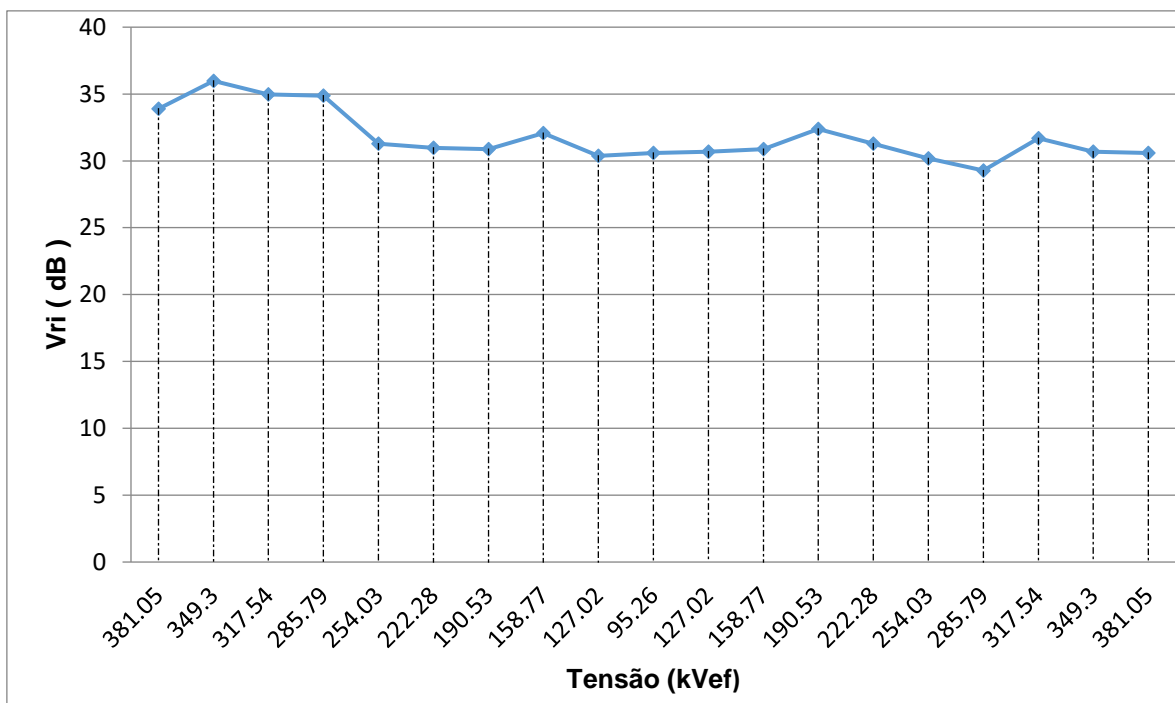


Figura 12 - Curva de Tensão de Radiointerferência do TC (3° ciclo).

Fonte: Autora (2017).

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho apresentou o ensaio de tensão de radiointerferência em um transformador de corrente realizado no laboratório de alta tensão do CEPEL. Sua montagem e realização cumpriu as normas.

Pela análise dos resultados obtidos através do ciclo (Tabela 3), pode-se comprovar que o equipamento cumpriu os requisitos exigidos pela norma. Seu adequado funcionamento demonstrado pelos resultados do ensaio de tensão de radiointerferência fez com que seu ensaio fosse positivo.

Dessa forma, o ensaio no transformador de corrente com tensão de 550 kV realizado, foi aprovado, podendo ser utilizado no sistema elétrico de potência.

Por fim, sugere-se em trabalhos futuros verificar a influência da sujeira no RIV em TC e em outros equipamentos. Sugere-se ainda realizar uma comparação exaustiva entre as Normas NEMA e CISPR.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Eletrotécnica e eletrônica - Interferências Eletromagnéticas – Terminologias**. Apresentação: ABNT NBR 5464:1981. Rio de Janeiro: ABNT, 1981.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Transformador de corrente - Especificação e ensaios** - Apresentação: ABNT NBR 6856:2015. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Linhas e equipamentos de alta tensão - Medição de radiointerferência na faixa de 0,15 a 30MHz** - Apresentação: ABNT NBR 7876:1983. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão - Parte 1: Definições gerais e requisitos de ensaio**. Apresentação: ABNT NBR IEC60060-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão - Parte 2: Sistemas de Medição**. Apresentação: ABNT NBR IEC60060-2. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

[6] FAULKNER, Malcolm G. **Radio Interference from transmission - line conductors**, Manchester. Rio de Janeiro, 1970.

[7] FONSECA, Michel Pinheiro; FERREIRA, Ueslei Lanchin. **Construção e calibração de um divisor de tensão capacitivo para medição de tensão alternada com amplitude de 2 a 30 kV**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado) – Centro Universitário de Volta Redonda, 2015.

[8] GIUDICE FILHO, Edino Barbosa. **Estudo da aplicação dos condutores compactos em linhas urbanas de 138kV : aspectos elétricos de corona e ri**. 2005. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

[9] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Radio interference characteristics of overhead power lines and high-voltage equipment - Part 2: Methods of measurement and procedure for determining limits.** CISPR 18-2:2010. Geneva: IEC, 2010.

[10] JACOBS, G. - **Radio Interference - Suicide or Challenge** - 1963.

[11] KUFFEL, E.; Aktekin, I. and Allan R. N - **Radio Interference from high-voltage insulators and factors which the interference level** - PROC. IEE, v. 112 no 5 p. 925-930, May 1965.

[12] LEÃO, Ricardo Micheleto. **Rádio Interferência proveniente de linhas de alta tensão.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.

[13] LEVY, Alain François Sanson. **Radiointerferência causada pelos sistemas de transmissão de energia elétrica em extra tensão e ultra alta tensão.** 1985. Tese (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1985.

[14] LEVY, Alain François Sanson. **Conceitos básicos relativos à teoria e aos ensaios de rádio-interferência.** 1984. Relatório Técnico - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL. 1984.

[15] LEVY, Alain François Sanson; RODRIGUES, José Antônio P.; OLIVIERI, Marta Maria de A. **Medição de radiointerferência conduzida - Comparação entre instrumentos de medição, métodos de calibração e valores limites.** 1989. Relatório Técnico - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL. 1989.

[16] LEVY, Alain François Sanson. **Comparação entre as normas NEMA e CISPR nas medições de RIV em cadeia de isoladores.** 1986. Relatório Técnico - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL. 1986.

[17] LIU, Lei; Li, Min; Li, Ruihai; YU, Zhanqing; Liu, Zhihong; Zeng, Rongand Liu, Xiangshi- **Influence of meteorological parameters on the EM Enviroment of UHVDC Transmission Line at High Altitude.** 2012.

- [18] MARUVADA, P. Sarma; Trinh, N. Giao. A basis for setting limits to radio interference from high voltage transmission lines. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Québec**, v. PAS-94, no. 5, September/October. 1975.
- [19] NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. **Methods of measurement of radio influence voltage (RIV) of high-voltage apparatus**. NEMA 107: 1987. Washington D.C., 1987.
- [20] SALLES, Credson de Coriolano, Diego Lopes; Wanderley Neto, Estácio T. **Técnicas em Alta Tensão - Teoria e Prática**. 2009.
- [21] SENNA FILHO, Alisson Ladeira. **Avaliação do ruído de rádio interferência proveniente de linhas de transmissão de 500 kV**. 2011. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2011.