



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RELATÓRIO

DETERMINAÇÃO DA FAIXA DE FREQUÊNCIA DO EFEITO CORONA EM
ISOLADORES DE VIDRO

ALEX DE OLIVEIRA FERREIRA LEAL

Aluno

Prof. GLAUCO FONTGALLAND

Orientador

Campina Grande, outubro de 2008

ALEX DE OLIVEIRA FERREIRA LEAL

DETERMINAÇÃO DA FAIXA DE FREQUÊNCIA DO EFEITO CORONA EM
ISOLADORES DE VIDRO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do grau de
Engenheiro Eletricista no Curso de Graduação
em Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande

Orientador: Prof. Glauco Fontgalland, Dr.

Campina Grande

2008



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

ALEX DE OLIVEIRA FERREIRA LEAL

DETERMINAÇÃO DA FAIXA DE FREQUÊNCIA DO EFEITO CORONA EM
ISOLADORES DE VIDRO

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Eletricista no Curso de Graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Campina Grande, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: _____

Prof. Glauco Fontgalland, Dr.

Prof. Edson Guedes, Dr.

Campina Grande, 27 de outubro de 2008

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado a vida e a força necessária para ultrapassar todos os obstáculos que a vida nos oferece.

A minha família, pelo apoio e incentivo, e pela segurança oferecida nas horas difíceis.

Ao professor Glauco Fontgalland, pela sua orientação, paciência e boa vontade ao longo desse trabalho.

À Adail e Rosilda pelo apoio e paciência durante minhas idas e vindas na coordenação.

Ao doutorando Tarso Vilela pelo total apoio e pela paciência durante as medições, e a todos os funcionários do laboratório de alta tensão da UFCG que me ajudaram durante a coleta de dados.

Ao funcionário da UFCG Galba Falcão pela disponibilidade em ajudar a efetuar as medições com o analisador de espectro.

Ao professor Edson Guedes por participar da banca de avaliação deste trabalho.

Aos professores do curso de graduação de engenharia elétrica que me ensinaram lições para a vida inteira. Muito obrigado.

Sumário

Lista de Equações	v
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
RESUMO	vii
I INTRODUÇÃO	1
II APRESENTAÇÃO DOS LABORATÓRIOS	2
Laboratório de Alta tensão (LAT).....	2
Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado (LEMA)	3
III OBJETIVOS	4
IV BASE TEÓRICA	5
Materiais dielétricos.....	5
Conceito de polarização	6
Efeitos da frequência sobre a polarização	8
Efeito Corona.....	10
Isoladores de vidro	14
V ATIVIDADE PRÁTICA	15
Metodologia	15
MATLAB	18
Análise dos resultados	19
VI CONCLUSÕES	31
VII BIBLIOGRAFIA	33
VIII ANEXOS	42

Lista de Figuras

FIGURA 1- (A) ÁTOMO NA AUSÊNCIA DE UM CAMPO APLICADO (B) ÁTOMO SOB UM CAMPO APLICADO. ...	5
FIGURA 2- REPRESENTAÇÃO DA POLARIZAÇÃO DIELÉTRICA: (A) ELETRÔNICA (B) IÔNICA (c) ORIENTACIONAL (D) INTERFACIAL.	7
FIGURA 3-POLARIZAÇÃO VERSUS FREQUÊNCIA	9
FIGURA 4 - DESENHO PADRÃO DO ISOLADOR DE VIDRO.....	14
FIGURA 5 - ANTENA BICÔNICA	16
FIGURA 6 - CIRCUITO EXPERIMENTAL	17
FIGURA 7 - (A) ISOLADOR LIMPO (B) ISOLADOR POLUÍDO	18
FIGURA 8 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 17,3 kV) NO ISOLADOR LIMPO.....	20
FIGURA 9 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 17,3 kV) NO ISOLADOR POLUÍDO.....	20
FIGURA 10 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 26 kV) NO ISOLADOR LIMPO.....	21
FIGURA 11- GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 26 kV) NO ISOLADOR POLUÍDO.	21
FIGURA 12 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	23
FIGURA 13 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NIVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	23
FIGURA 14 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NIVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	24
FIGURA 15 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 26 kV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	24
FIGURA 16 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NIVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	25

FIGURA 17 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	25
FIGURA 18 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NÍVEIS DE TENSÃO (0 V E 17,3 kV) NO ISOLADOR LIMPO.	26
FIGURA 19 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR LIMPO E O RÚIDO DO AMBIENTE NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	27
FIGURA 20 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NÍVEIS DE TENSÃO (0 E 26 kV) NO ISOLADOR LIMPO.	27
FIGURA 21 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR LIMPO E O RÚIDO DO AMBIENTE NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	28
FIGURA 22 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	29
FIGURA 23 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	29
FIGURA 24 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	30
FIGURA 25 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	30
FIGURA 26 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NÍVEIS DE TENSÃO (0 V E 17,3 kV) NO ISOLADOR LIMPO.	40
FIGURA 27 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	40
FIGURA 28 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NÍVEIS DE TENSÃO (0 V E 17,3 kV) NO ISOLADOR LIMPO.	41
FIGURA 29 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	41
FIGURA 30 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NÍVEIS DE TENSÃO (0 V E 17,3 kV) NO ISOLADOR LIMPO.	42
FIGURA 31 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	42

FIGURA 32 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 17,3 KV) NO ISOLADOR LIMPO.....	43
FIGURA 33 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 17,3 KV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	43
FIGURA 34 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 17,3 KV) NO ISOLADOR LIMPO.....	44
FIGURA 35 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 17,3 KV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	44
FIGURA 36 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 26 KV) NO ISOLADOR LIMPO.....	45
FIGURA 37 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 26 KV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	45
FIGURA 38 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 26 KV) NO ISOLADOR LIMPO.....	46
FIGURA 39 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 26 KV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	46
FIGURA 40 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 26 KV) NO ISOLADOR LIMPO.....	47
FIGURA 41 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 26 KV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	47
FIGURA 42 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 26 KV) NO ISOLADOR LIMPO.....	48
FIGURA 43 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 26 KV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	48
FIGURA 44 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 26 KV) NO ISOLADOR LIMPO.....	49
FIGURA 45 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NIVEL DE TENSÃO DE 26 KV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	49
FIGURA 46 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA DOIS NIVEIS DE TENSÃO (0 V E 26 KV) NO ISOLADOR LIMPO.....	50

FIGURA 47 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE OS SINAIS COM NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV E 0 V NO ISOLADOR LIMPO.	50
FIGURA 48 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	51
FIGURA 49 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	51
FIGURA 50 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	52
FIGURA 51 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	52
FIGURA 52 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	53
FIGURA 53 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	53
FIGURA 54 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	54
FIGURA 55 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	54
FIGURA 56 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	55
FIGURA 57 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 17,3 kV.	55
FIGURA 58 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	56
FIGURA 59 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	56
FIGURA 60 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	57
FIGURA 61 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	57

FIGURA 62 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	58
FIGURA 63 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	58
FIGURA 64 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	59
FIGURA 65 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	59
FIGURA 66 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA O ISOLADOR LIMPO E POLUÍDO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	60
FIGURA 67 - GRÁFICO DA INTENSIDADE DE POTÊNCIA IRRADIADA VERSUS A FREQUÊNCIA PARA A DIFERENÇA POSITIVA ENTRE ISOLADOR POLUÍDO E LIMPO NO NÍVEL DE TENSÃO DE 26 kV.	60

Lista de Tabelas

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DO ISOLADOR UTILIZADO.....	16
--	-----------

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da faixa de frequência em que ocorre a emissão de ondas eletromagnéticas provenientes do efeito corona em isoladores de vidro.

O estudo foi realizado no laboratório de alta tensão (LAT) da UFCG. Nós concentramos a pesquisa nos isoladores poluídos naturalmente que sofreram descargas em campo e nos isoladores em bom estado (limpos).

Nas medições utilizamos uma antena bicônica com faixa de frequência de 30 a 110 MHz e um analisador de espectro com capacidade de medição de até 3 GHz. Aplicamos três níveis de tensão (0 V, 17,3 kV e 26 kV) no isolador e pudemos observar em que faixa de frequência, entre 30 e 110 MHz, o efeito corona é mais acentuado.

Após análise dos resultados percebemos uma maior intensidade de radiação eletromagnética na faixa de frequência de 30 a 60 MHz. Os isoladores poluídos apresentaram descargas corona com maior constância e intensidade para os dois níveis de tensão aplicados.

Apesar de termos encontrado uma banda de frequência bem definida para os sinais espúrios emitidos será preciso realizar mais ensaios tomando o cuidado em diminuir os erros nas medições. Pois, devido à diferença no tempo de aquisição de dados pelo analisador de espectro observamos resultados inesperados, com o ruído do ambiente maior que o sinal medido e a radiointerferência do isolador limpo maior do que o isolador poluído. Para futuros ensaios será preciso realizar experimentos considerando o mesmo tempo de aquisição em todos os testes, desta forma os erros inerentes às medições serão minimizados.

I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é hoje um elemento fundamental para o desenvolvimento de qualquer setor da economia, tanto nos processos produtivos quanto na prestação de serviços. Com o crescimento contínuo da população e com o desenvolvimento tecnológico acontecendo de forma acelerada, a dependência da “matéria-prima” energia elétrica torna-se cada vez mais evidente.

Como consequência dessa realidade, a preocupação com o fornecimento ininterrupto de energia elétrica cresceu muito nos últimos anos. Empresas de transmissão e distribuição pagam multas que crescem de acordo com o tempo de desligamento do sistema. E uma das causas de interrupção do fornecimento é a descarga elétrica, devido às descargas superficiais completas.

O efeito corona é um fenômeno relativamente comum em linhas de transmissão com altos níveis de tensão. Devido ao campo elétrico ser muito intenso nas vizinhanças dos condutores, as partículas de ar que os envolvem tornam-se ionizadas e, como consequência, emitem luz, som e sinais de radiofrequência quando da recombinação dos íons e dos elétrons.

Utilizando uma base científica e tecnológica, podemos promover um estudo visando determinar em que faixa de frequência o efeito corona é mais perceptível em isoladores de vidro, procurando identificar sinais de radio frequência. Tomando o caso particular de um isolador limpo e outro poluído, vamos comparar a emissão de descargas corona entre eles.

Com esse intuito é que está se desenvolvendo este projeto de estudo do efeito corona em isoladores. De acordo como o plano de trabalho proposto pelo professor orientador, a primeira atividade realizada foi uma pesquisa bibliográfica que abrangesse

os temas envolvidos no projeto, objetivando conhecer quais os trabalhos que já foram realizados nesta área, coletar informações necessárias, estudar as experiências de outros pesquisadores que haviam trabalhado em projetos semelhantes, além de procurar aprofundamento teórico em pontos que seriam abordados no decorrer do projeto. Para essa primeira etapa, serviram de fonte de pesquisa relatórios, livros, artigos de revistas, como também endereços eletrônicos de universidades e professores envolvidos no estudo de dielétricos e do efeito corona.

Neste relatório serão apresentados os seguintes tópicos: um breve comentário sobre cada um dos laboratórios, onde foram desenvolvidas as atividades de consulta e as experimentações durante este estudo; os objetivos; a base teórica, apresentando um conjunto de definições e conceitos que serão comumente utilizados na pesquisa; em seguida, a atividade prática detalha o procedimento experimental e como foi utilizado o software para o tratamento dos dados mensurados. Ao final, temos em anexo os gráficos obtidos para os dois tipos (limpos e poluídos) de isoladores.

II. APRESENTAÇÃO DOS LABORATÓRIOS

Laboratório de Alta Tensão (LAT)

Implantado em 1974, o laboratório de alta tensão da UFCG possui a melhor infra-estrutura do norte e nordeste para realização de ensaios e testes em equipamentos de alta tensão.

O LAT possui equipamentos sofisticados, cujos valores ultrapassam três milhões de dólares e um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos, habilitados a realizar ensaios nos seguintes ambientes de laboratório:

1. Sala do laboratório de Materiais Elétricos;

2. Salão de Alta tensão;
3. Sala do Kit de Alta tensão;
4. Laboratório de Isolamento Elétrico;
5. Sala do Laboratório de Instalações Elétricas;

Dos equipamentos pertencentes ao LAT os mais importantes são:

- Transformadores de potência ligados em cascata que permitem a geração de até 600 kV, em corrente alternada;
- Gerador de impulso de alta tensão, 700 kV e 36 kJ;
- Gerador de impulsos de alta corrente, 160 kA, 100 kV, onda 8/20 μ s;
- Kit didático para alta tensão, 100 kV;
- Digitalizador de formas de onda;
- Detector de descargas parciais;
- Ponte Schering e capacitores padrão.

Nos últimos anos, foi realizado um grande número de ensaios elétricos, de recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio às pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Várias empresas da região Nordeste, a exemplo da CHESF, PETROBRÁS, ENERGISA, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE, entre outras, têm solicitado os serviços do LAT.

Laboratório de Eletromagnetismo e Microondas Aplicados (LEMA)

O grupo LEMA iniciou suas atividades em 1993 com dissertações de mestrado em aplicações médicas, onde foram desenvolvidos protótipos de aparelhos. Outras dissertações e tese de doutorado foram defendidas nos anos seguintes nas áreas de métodos numéricos utilizando elementos finitos e projetos de estruturas planares pelo

método da Ressonância Transversa modificada. As atividades do grupo se intensificaram em 2003 com trabalhos nas áreas de compatibilidade eletromagnética (EMC) e antenas. Foi construída no LEMA uma câmara de reverberação na faixa de 0,7 a 1 GHz para testes e estudo de imunidade e emissão em equipamentos. Nos últimos dois anos o LEMA tem realizados trabalhos na área de interferência eletromagnética (EMI) medindo e modelando campos EM irradiados por isoladores de vidro quando submetidos à corona audível. Vários trabalhos foram publicados em revistas nacionais e internacionais decorrentes dessas atividades. Alguns projetos de consultoria na área de eletromagnetismo Aplicado e Telecomunicações envolvendo empresas locais estão em andamento.

III.OBJETIVOS

- Identificar o Ruído eletromagnético gerado pelo Efeito Corona relacionando os níveis de tensão e o surgimento de frequências espúrias. Realizar um estudo em uma ampla faixa de frequência.
- Agregar conhecimento interdisciplinar envolvendo conhecimentos da disciplina de materiais e equipamentos elétricos de alta tensão e a teoria de eletromagnetismo.
- Cumprir com os requisitos necessários para a conclusão do curso de Engenharia Elétrica.

IV. BASE TEÓRICA:

Materiais dielétricos

Os materiais dielétricos possuem cargas positivas e negativas em seus átomos e moléculas. Estas cargas permanecem estáticas devido às forças atômicas e moleculares e não estão livres para se deslocar. Os materiais dielétricos perfeitos são eletricamente neutros, e ao contrário dos condutores, não contem cargas livres, como mostra a Figura 1:

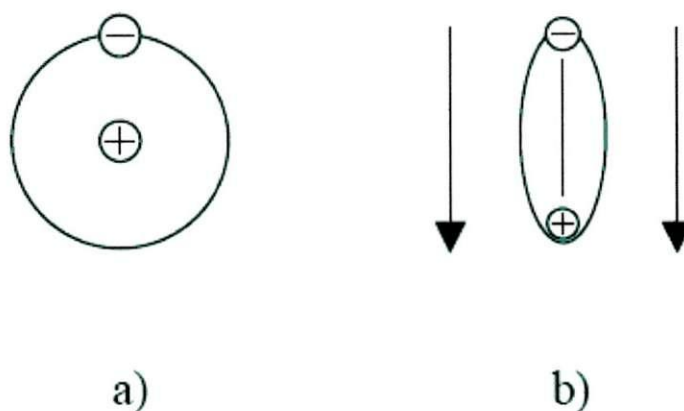


Figura 1- (a) átomo na ausência de um campo aplicado (b) átomo sob um campo aplicado.

Entretanto, quando os materiais dielétricos são expostos a um campo elétrico externo, há um pequeno deslocamento de suas cargas elétricas, opondo-se as forças atômicas, enquanto em materiais condutores, as cargas estão livres tendo seus deslocamentos limitados pelas dimensões do condutor. Isto ilustra a diferença fundamental entre as cargas em materiais dielétricos e condutores.

Conceito de polarização

Os dipolos elétricos são formados quando materiais dielétricos são submetidos a um campo eletromagnético externo. A formação de dipolos elétricos é geralmente referenciada como dipolos de polarização. Estes dipolos interagem com o campo elétrico aplicado. Esta interação dá aos materiais dielétricos a habilidade de armazenar energia. A energia é armazenada pela mudança na posição da carga do dielétrico é análogo à energia potencial armazenada em uma mola esticada. A relação entre a habilidade de um dielétrico e a do vácuo é definida como a constante dielétrica do material.

A polarização P pode ser representada em função da constante dielétrica ϵ_r e do campo elétrico E , a equação abaixo representa a polarização em função da constante dielétrica e do campo elétrico:

$$P = \epsilon_0(\epsilon_r - 1)E \quad (1)$$

A polarização total de um dielétrico pode ocorrer em função de quatro fontes de deslocamento de cargas: eletrônica, iônica, dipolo ou polarização orientacional, e cargas espacial ou interfacial, como mostra a Figura 2, a equação abaixo representa a polarização em função dos tipos de deslocamento de carga:

$$P = P_e + P_i + P_d + P_c \quad (2)$$

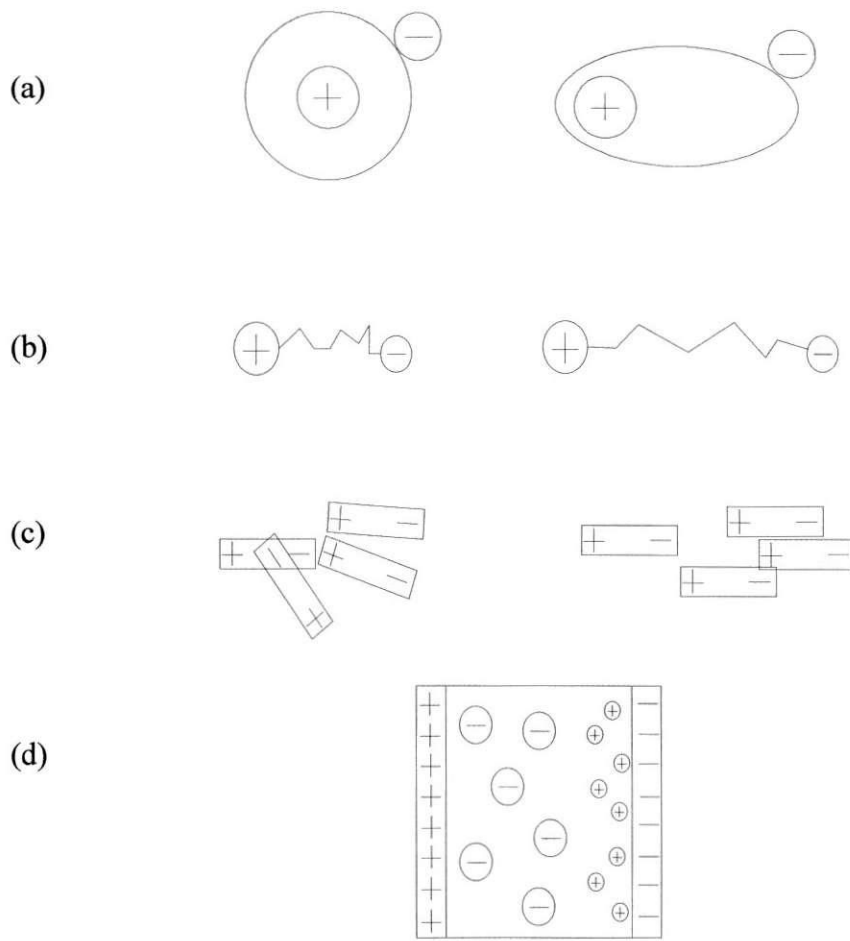


Figura 2- Representação da polarização dielétrica: (a) Eletrônica (b) Iônica (c) Orientacional (d) interfacial.

- Polarização eletrônica: Este efeito é comum para todos os materiais, pois envolve distorções no centro de cargas dos átomos. A influência de um campo aplicado no núcleo de um átomo e no centro de carga dos elétrons gera um pequeno dipolo. Este efeito de polarização é pequeno, apesar do vasto número de átomos dentro do material, devido ao momento de dipolo ser muito breve, sendo o deslocamento da ordem de Angstrom (10^{-10} m).
- Polarização iônica: O deslocamento iônico é comum em materiais cerâmicos que possuem rede cristalina ocupada por cátions e ânions. Sob a influência de um campo elétrico, os momentos de dipolo são gerados

pelo deslocamento dos íons para as respectivas polaridades (opostas) em relação ao campo. O deslocamento iônico pode ser relativamente grande em comparação com o deslocamento elétrico e por esta razão pode induzir as altas constantes dielétricas em algumas cerâmicas.

- Polarização orientacional: Este é um fenômeno que envolve a rotação de dipolos permanentes na aplicação de um campo inferior. Apesar da existência de dipolos permanentes em compostos cerâmicos, como no SiO_2 , que não possui centro de simetria para cargas positivas e negativas, a orientação de dipolos não ocorre, uma vez que os dipolos são restritos a deslocarem-se somente ao longo de determinadas direções na rede cristalina. A reorientação dos dipolos é impedida e resultará no desarranjo da rede cristalina. A orientação dos dipolos é muito comum em polímeros polares, que em razão de suas estruturas atômicas, permitem a reorientação. Observa-se que o mecanismo de dipolos permanente não é o mesmo em dipolos induzidos na polarização iônica.
- Polarização interfacial: Este mecanismo é intrínseco em qualquer rede cristalina. O fenômeno surge devido à geração de cargas com a presença de impurezas ou devido à geometria irregular nas interfaces de cerâmicas policristalinas, sendo sua contribuição extrínseca. Tais cargas são em parte móveis e deslocam-se sob a atuação de um campo elétrico.

Efeitos da frequência sobre a polarização

O mecanismo de polarização são processos, cujo tempo de resposta varia com a frequência do campo elétrico aplicado, sendo que a contribuição da rede de polarização para a constante dielétrica depende da frequência. O deslocamento elétrico responde

rapidamente a inversão do campo e não retarda a contribuição da polarização que ocorre acima de 10^{17} Hz. Como esperado, os íons que são grandes dentro da estrutura do cristal, são menos móveis, possuindo um tempo de resposta menor. O efeito da polarização por deslocamento iônico decresce em torno de 10^{13} Hz. Em tal frequência, o deslocamento iônico inicia-se, sendo o campo elétrico de elevada intensidade, aumentando o fator de perda e contribuindo para a menor constante dielétrica. Em altas frequências, os campos reversos são tais que os íons não se deslocam em relação ao campo (a frequência de oscilação dos íons é menor que a frequência do campo), e a contribuição do fator de perda ocorre através de deslocamentos iônicos. A orientação dipolar e a polarização de cargas espaciais diminuem em resposta à frequência do campo aplicado. O efeito total da rede de polarização é ilustrado na Figura 3. Os picos de polarização iônica e eletrônica que ocorrem próximo às mudanças de frequência se devem a pontos de ressonância, para os quais a frequência aplicada iguala-se a frequência de oscilação do material.

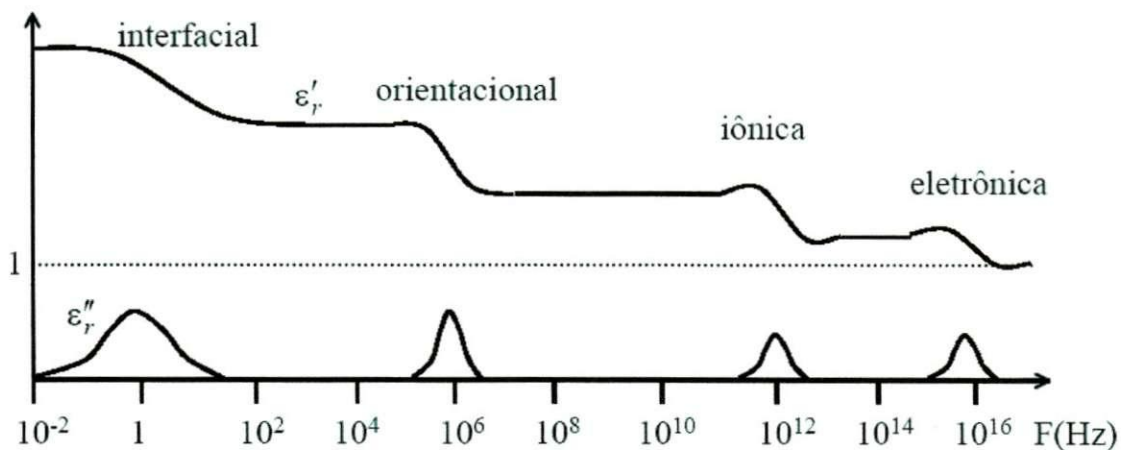


Figura 3-Polarização versus frequência

A variação da frequência durante o mecanismo de polarização é refletida em medidas da constante dielétrica do capacitor. Em geral, os valores da capacitância e da

constante dielétrica decrescem com o aumento da frequência para todos os materiais cerâmicos, embora tal diminuição dependa do tipo de mecanismo de polarização.

Efeito corona

O efeito corona aparece na superfície dos condutores de uma linha aérea de transmissão quando o valor do gradiente de potencial aí existente excede o valor do gradiente crítico disruptivo do ar. Mesmo em um campo elétrico uniforme, entre dois eletrodos planos paralelos no ar, uma série de condições controla essa tensão disruptiva, tais como a pressão do ar, a presença do vapor d'água, o tipo de tensão aplicada e a fotoionização incidente. No campo não uniforme em torno de um condutor, a divergência do campo exerce influencia adicional, e qualquer partícula contaminadora, como poeira, por exemplo, transforma-se em fonte pontual de descargas.

Descargas elétricas em gases são geralmente iniciadas por um campo elétrico que acelera elétrons livres aí existentes. Quando os elétrons adquirem energia suficiente do campo elétrico, podem produzir novos elétrons por choque com outros átomos. É o processo de ionização por impacto. Durante a sua aceleração no campo elétrico, cada elétron livre colide com átomos de oxigênio, nitrogênio e outros gases presentes, perdendo, nessa colisão, parte de sua energia cinética. Ocasionalmente um elétron pode atingir um átomo com força suficiente, de forma a excitá-lo. Nessas condições, o átomo atingido passa a um estado de energia mais elevado. O estado orbital de um ou mais elétrons muda e o elétron que colidiu com o átomo perde parte de sua energia, para criar esse estado. Posteriormente, o átomo atingido pode reverter ao seu estado inicial, liberando o excesso de energia em forma de calor, luz, energia acústica e radiações eletromagnéticas. Um elétron pode igualmente colidir com um íon positivo,

convertendo-o em átomo neutro. Esse processo, denominado recombinação, também libera excesso de energia.

Toda a energia liberada ou irradiada deve provir do campo elétrico da linha, portanto, do sistema alimentador, para o qual representa perda de energia, por conseguinte, prejuízo. Estas perdas e suas conseqüências econômicas tem sido objeto de pesquisas e estudos há mais de meio século, não obstante, só recentemente se alcançaram meios que permitem determinar, com razoável segurança, qual o desempenho que se poderá esperar para as diversas soluções possíveis para uma linha de transmissão, no que diz respeito a estas perdas. De um modo geral, elas se relacionam com a geometria dos condutores, tensões de operação, gradientes de potencial nas superfícies dos condutores e, principalmente, com as condições meteorológicas locais. Constataram, por exemplo, que as perdas por corona em linhas de ultra alta tensão podem variar de alguns quilowatts por quilometro até algumas centenas de quilowatts por quilometro, sob condições adversas de chuva ou névoa. As perdas médias, como se verificou, podem constituir apenas pequenas partes das perdas por efeito joule, porém as perdas máximas podem ter influência significativa nas demandas dos sistemas, pois a capacidade geradora para atender a essa demanda adicional deverá ser prevista ou a diferença de energia importada. (<http://www.altatensao2001.hpg.ig.com.br/corona.htm>)

São significativos os valores obtidos em medições realizadas na Rússia em linhas de 500 kV. Mediram-se perdas médias anuais da ordem de 12 kW/km de linha trifásica, com tempo bom, perdas máximas da ordem de 313 kW/km sob chuva e 374 kW/km sob névoa. (<http://www.altatensao2001.hpg.ig.com.br/corona.htm>)

Tanto as perdas com tempo sob Sol como aquelas sob chuva dependem dos gradientes de potencial na superfície dos condutores. As perdas sob chuva dependem

não só do índice de precipitações, como também do número de gotículas d'água que conseguem aderir à superfície dos condutores. Esse número é maior nos condutores novos do que nos usados, nos quais as gotas d'água aderem mais facilmente à geratriz inferior dos condutores.

As linhas aéreas de transmissão de energia elétrica há muito têm sido consideradas como causadoras de impacto visual sobre o meio ambiente em que são construídas. Uma espécie de poluição visual que os conservadores e urbanistas há muito vêm combatendo. O advento da transmissão em tensões extra-elevadas e as perspectivas de transmissão em tensões ultra-elevadas enfatizaram dois outros tipos de perturbação do meio, provocados pelo efeito corona, sendo-lhes atribuído também caráter de poluição: A radiointerferência (RI) e o ruído acústico (RA).

Descargas individuais de corona provocam pulsos de tensão e corrente de curta duração que se propagam ao longo das linhas. Essas descargas ocorrem durante ambos os semiciclos da tensão aplicada, porém aquelas que ocorrem durante os semiciclos positivos é que irradiam ruídos capazes de interferir na radio recepção nas faixas de frequência das transmissões em amplitude modulada (AM), em particular nas faixas das ondas médias. Eflúvios de corona também ocorrem em outros componentes das linhas, tais como ferragens e isoladores, porém a intensidade dos ruídos gerados é bastante inferior à dos gerados pelos condutores. Ferragens defeituosas, pinos e contrapinos mal-ajustados ou soltos podem igualmente gerar pulsos eletromagnéticos.

A geração desses ruídos interfere com os direitos individuais dos moradores das vizinhanças das linhas de transmissão, uma vez que os ruídos se podem propagar além das faixas de servidão das linhas. Ainda não é possível se projetar economicamente uma linha de transmissão aérea em tensões acima de 100 kV e que não produza radio interferência. Não obstante, critérios corretos e atenção aos aspectos relevantes do

projeto podem produzir um sistema que resulte pelo menos em níveis aceitáveis de perturbação. O estudo do comportamento das linhas no que se refere à "RI" é muito difícil em virtude dos inúmeros fatores que afetam seu comportamento, muitos dos quais ainda são indefinidos e nem mesmo completamente entendidos, de forma que os efeitos cumulativos são considerados em bases estatísticas. (<http://www.altatensao2001.hpg.ig.com.br/corona.htm>)

Nos projetos de pesquisa sobre corona em ultra alta tensão verificamos, igualmente, que outra manifestação sua não mais poderia ser negligenciada nas linhas de 500 kV ou tensões mais elevadas, dado o caráter de poluição ambiental que apresenta. É a poluição acústica causada pelo ruído característico provocado pelos eflúvios do corona. Esse aspecto também vem merecendo crescente atenção no dimensionamento das linhas, a fim de que o grau de perturbação seja mantido em níveis aceitáveis. Tais estudos mostraram que o ruído auditivo é função dos máximos gradientes de potencial na superfície dos condutores.

Em vista do exposto, podemos concluir que, para as linhas de transmissão em ultra alta tensão, o dimensionamento econômico das linhas está diretamente relacionado com a escolha do gradiente de potencial máximo admissível na superfície dos condutores das linhas de transmissão. Gradientes para uma mesma classe de tensão somente são reduzidos mediante o emprego dos condutores de diâmetros maiores, ou maior espaçamento entre fases, ou pelo emprego de condutores múltiplos, ou pela forma com que são distribuídos sobre o círculo tendo como centro o eixo do feixe.

Isoladores de vidro

Isoladores têm importante função nas linhas de transmissão de isolar o cabo elétrico energizado da torre metálica e, também de suportar mecanicamente o peso do cabo condutor e vibrações devido à ação do vento. Atualmente, três tipos de isoladores são empregados em linhas de transmissão: isoladores de vidro, isoladores de porcelana e isoladores poliméricos. Ao longo do tempo, os isoladores de vidro têm sido largamente utilizados nas linhas de transmissão do Brasil. Isso porque eles apresentam uma série de vantagens tais como alta confiabilidade operacional, quando falha por quebra é facilmente identificado e possui uma vida útil operacional de mais de 40 anos. Em termos construtivos, um isolador de vidro típico é constituído de uma campânula metálica, disco de vidro temperado, um pino metálico fixado com cimento. As partes metálicas são materiais feitos de aço e são galvanizados. Abaixo está um desenho padrão do isolador de vidro:

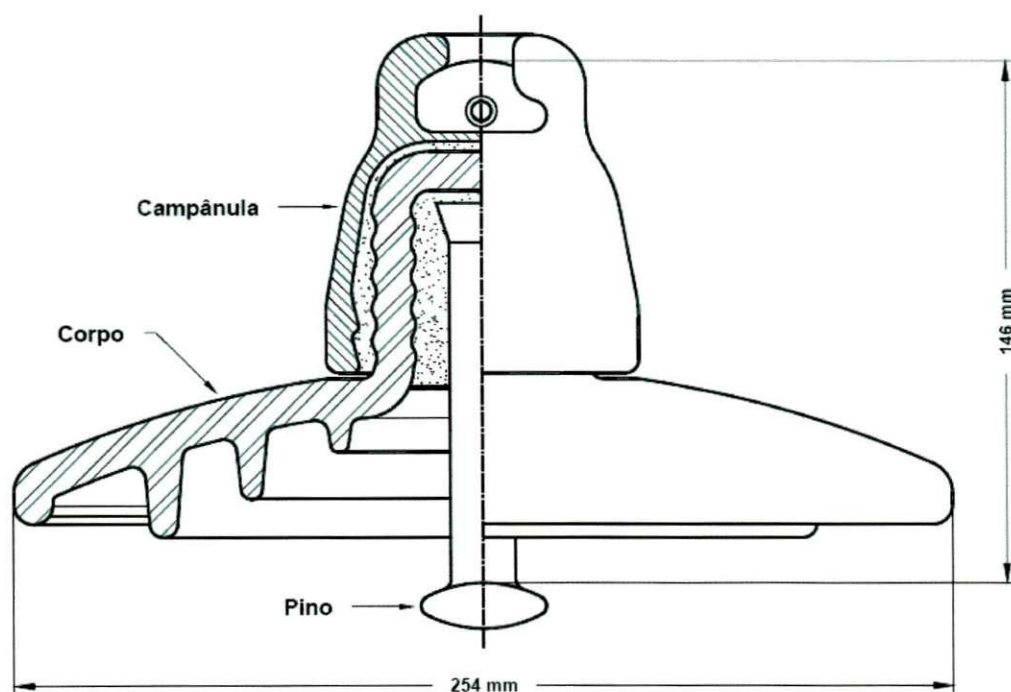


Figura 4 - Desenho padrão do isolador de vidro

Em linhas de transmissão são usados isoladores tipo suspensão reunidos em forma de cadeia. Uma cadeia de isoladores é formada por uma série de isoladores de campânula de porcelana ou vidro.

O número de isoladores que formam uma cadeia depende da tensão. Geralmente procura-se aplicar uma tensão média em cada isolador de 15 kV.

É possível encontrar isoladores com diferentes características mecânicas e elétricas.

V. ATIVIDADE PRÁTICA

Metodologia

Finalizada a etapa de pesquisa bibliográfica e estudo da base teórica, reunimos alguns isoladores de vidro limpos e poluídos naturalmente que sofreram descarga elétrica. Com o auxílio dos pesquisadores e funcionários do LAT e do LEMA, realizamos ensaios no salão de alta tensão do LAT.

Fazendo uso dos equipamentos pertencentes aos laboratórios, preparamos o experimento. Os seguintes materiais foram utilizados durante os ensaios:

- Antena bicônica (LEMA);
- Isolador de alta tensão;
- Transformador em cascata controlado a partir da Mesa de Controle (LAT);
- Suportes e contatos elétricos;
- Analisador de espectro (LEMA);
- Cabo coaxial e conectores;
- Microcomputador com placa GPIB de aquisição de dados.

Característica da antena:

A antena bicônica, Figura 5, é usualmente utilizada como antena de recepção em testes de emissão irradiada. Sua banda larga leva a uma economia de tempo nos testes, por permitir medidas completas em apenas uma varredura na banda de funcionamento (30 a 110 MHz). A antena é composta de três partes: braço esquerdo do dipolo, braço direito do dipolo e linha de alimentação.



Figura 5 - Antena bicônica

- Zona de frequência: 30 a 110 MHz;
- Valor nominal da resistência: 60 Ω ;
- Incerteza de medição da intensidade do campo ≤ 3 dB;

Característica do isolador:

A seguir é apresentada a Tabela de características do isolador utilizado

Referência Santa Terezinha		NJ120 /146	
Distância de escoamento	mm		320
Ruptura eletromecânica combinada	KN		120
Ruptura ao impacto	N.m		17
Carga de ensaio de rotina	KN		60
Perfuração sob óleo	kV		130
Tensão crítica de impulso (1.2 X 50 μ s)	Positiva	kV	125
	Negativa	kV	130
Tensão disruptiva a frequência industrial	Seco	kV	80
	Sob chuva	kV	50

Tabela 1 - Características do isolador utilizado

Característica do aparelho de medição (analisador de espectro):

- Analisador de espectro Rohde & Schwarz FSH3
- Faixa de frequência: 100 kHz a 3 GHz
- Impedância de entrada: 50 Ω

Montamos a antena bicônica alinhada com o isolador a 4 metros de distância, em seguida conectamos o analisador de espectro a antena e o transformador ao isolador, como está representado na figura abaixo.

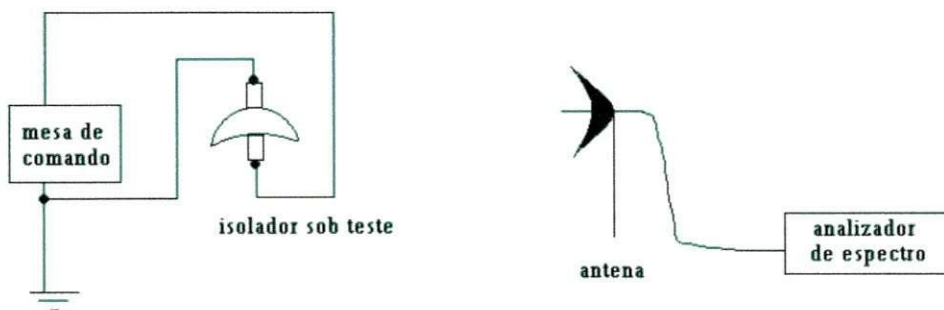


Figura 6 - Circuito experimental

Para fazer a aquisição dos dados utilizamos o software SFH, fornecido pelo fabricante do analisador de espectro. A partir de uma placa GPIB e um microcomputador no laboratório, armazenamos as medições necessárias para análise.

A seleção da faixa de frequência e do modo de aquisição (valor real, médio, mínimo ou máximo) é feita através de comandos no painel do analisador de espectro de forma manual. A frequência mínima foi escolhida de 30 MHz e a máxima de 110 MHz, já o modo de aquisição foi escolhido o valor máximo. O analisador de espectro foi configurado desta forma para facilitar a identificação do efeito corona no espectro de frequência selecionado, observando apenas os máximos do sinal.

Efetuamos medições com o isolador desenergizado (0 V), submetido a 17,3 kV e 26 kV. Pois, o aumento da tensão implica numa intensificação do efeito corona sobre o isolador.

Fizemos os ensaios com isoladores limpos, vindos do almoxarifado Figura 7 (a), e poluídos, Figura 7 (b), que pertenciam a mesma cadeia de isoladores e sofreram descarga elétrica em campo.

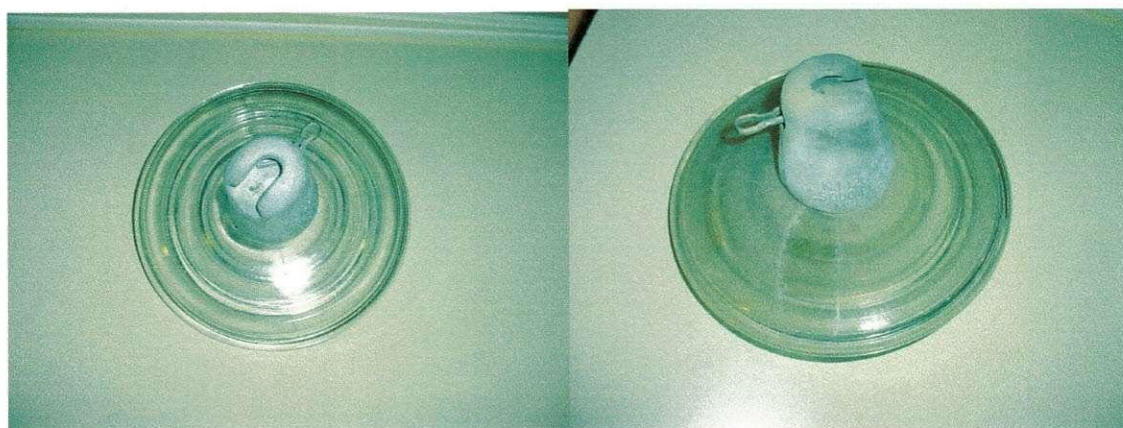


Figura 7 - (a) Isolador limpo (b) Isolador poluído

Com o objetivo de minimizar os erros na determinação da faixa de frequência do efeito corona em isoladores limpo e poluído realizamos várias medições nos três níveis de tensão citados anteriormente. Logo após, com o auxílio do MATLAB fizemos o tratamento dos dados experimentais.

MATLAB

A estrutura de dados do MATLAB é a matriz, que pode ter elementos reais ou complexos. Embora na sua versão base o MATLAB já possua um vasto conjunto de funções de caractere genérico, existem várias bibliotecas de funções adicionais

(designadas por toolbox) que expandem a sua capacidade em domínios de aplicação mais específicos.

Análise dos resultados

Com a ajuda das funções matemáticas do MATLAB foi possível desenvolver um programa (anexo I) para plotar os valores das medições e encontrar a faixa de frequência do efeito corona.

Em algumas medições foi possível identificar os sinais emitidos pelo efeito corona, mas em outras tivemos dificuldade em perceber a radiointerferência. Em muitos casos o ruído do ambiente (medição aplicando 0 V no isolador) foi maior do que o sinal irradiado pelo isolador submetido a uma diferença de potencial e em outros o sinal irradiado pelo isolador limpo foi maior do que o poluído.

Este resultado inesperado pode ter ocorrido por conta da diferença de tempo de aquisição dos dados. Como as medições foram realizadas considerando os pontos máximos seria necessário considerar o mesmo tempo de medição, ou um tempo aproximado, para todos os ensaios.

Nessa seção apresentaremos os gráficos dos resultados descritos acima e analisaremos a diferença entre o sinal irradiado pelo isolador e o ruído do ambiente. Os gráficos que seguem são referentes às medições com um isolador limpo e um poluído, para três níveis de tensão aplicados (0, 17,3 e 26 kV). Todos os gráficos dos ensaios realizados encontram-se no anexo II.

Nível de tensão 17,3 kV:

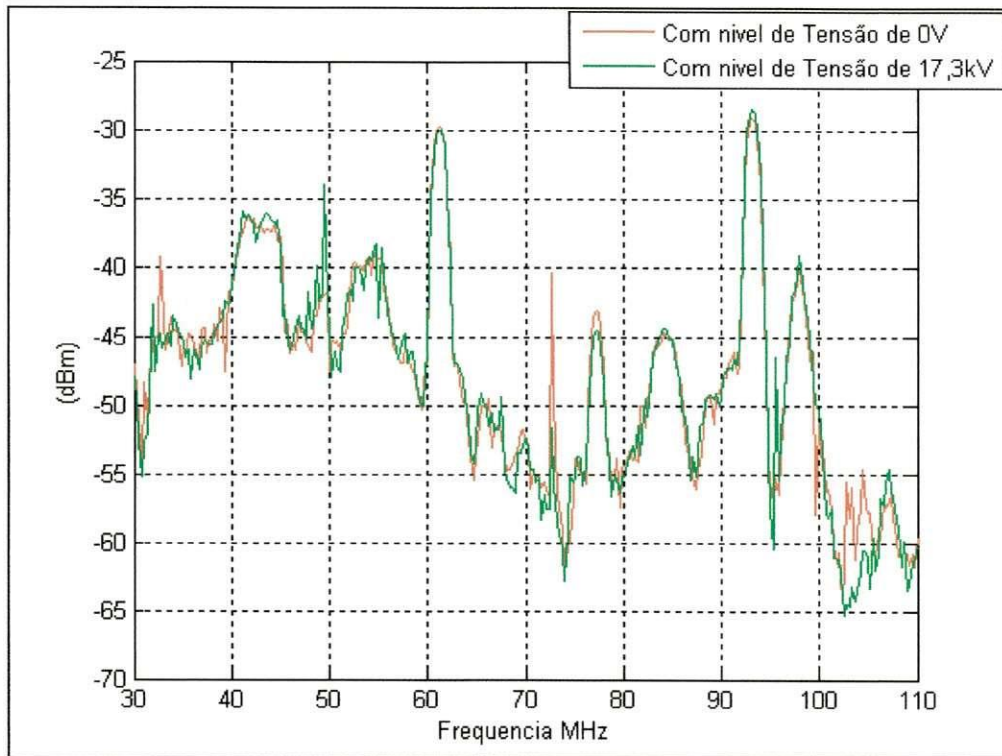


Figura 8 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 17,3 kV) no isolador limpo.

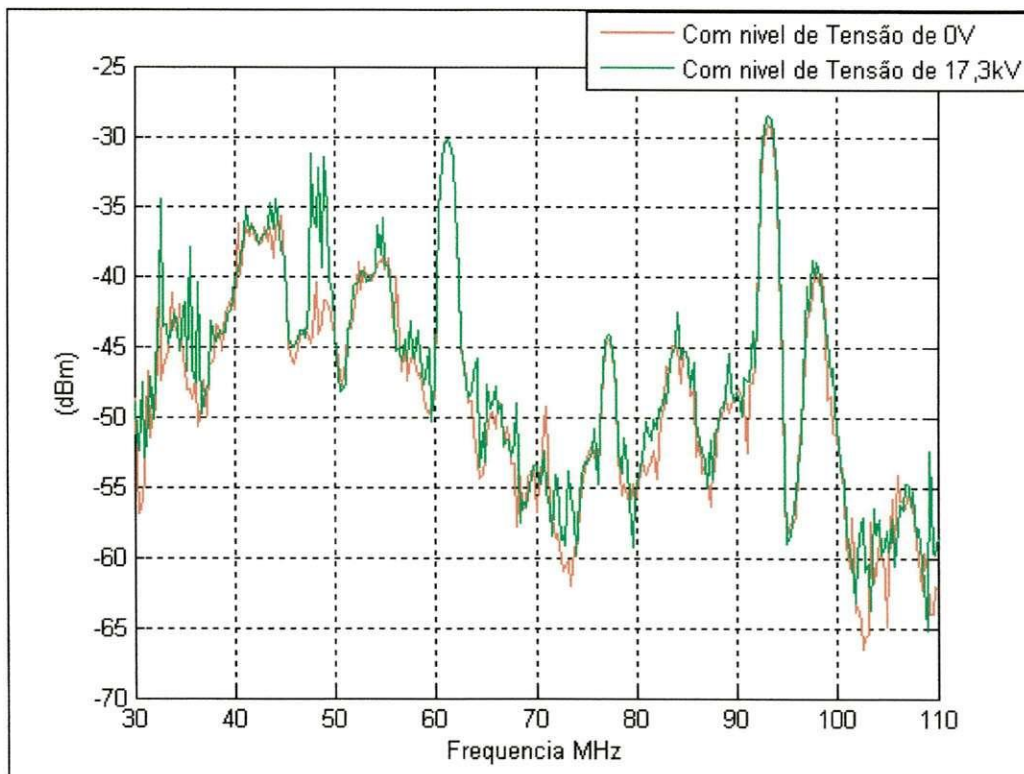


Figura 9 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 17,3 kV) no isolador poluído.

Nível de tensão 26 kV :

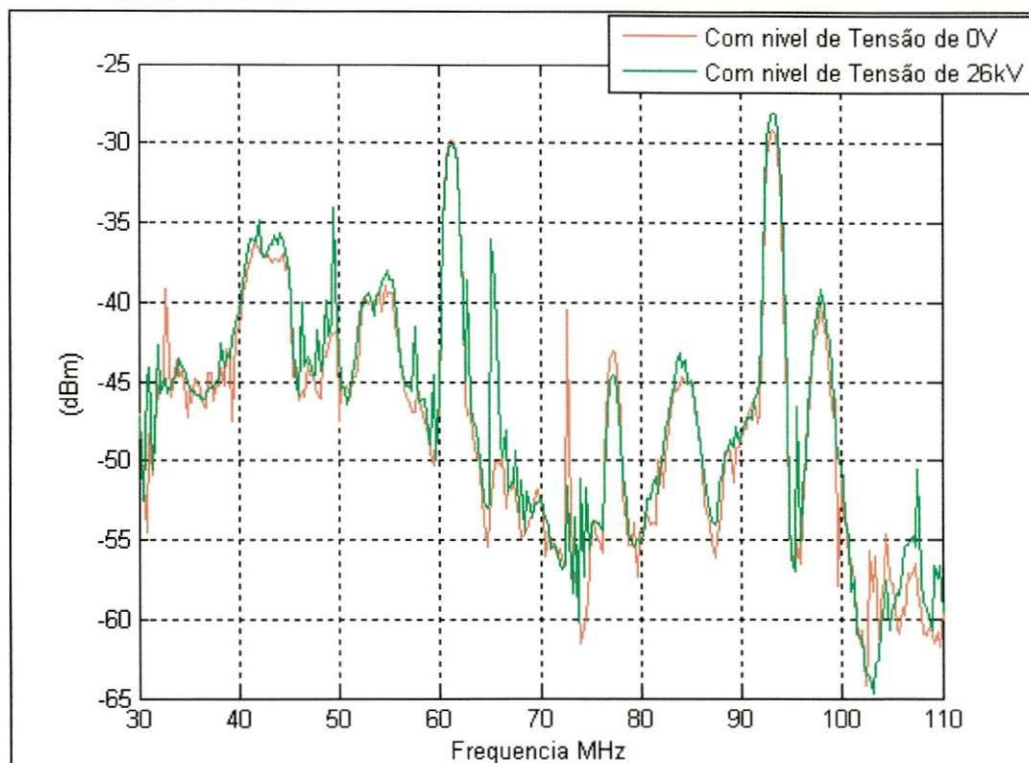


Figura 10 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 26 kV) no isolador limpo.

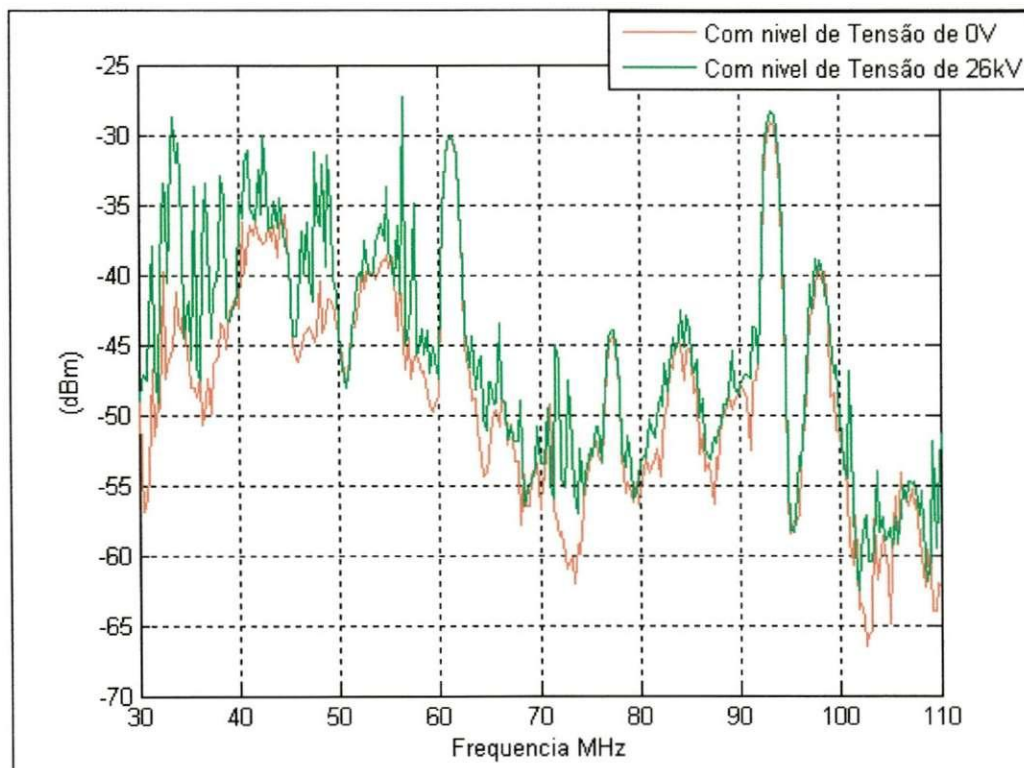


Figura 11- Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 26 kV) no isolador poluído.

Analisando as formas de onda é possível perceber que no maior nível de tensão o sinal de radio interferência é mais acentuado devido ao aumento do efeito corona, como esperado.

Para melhor visualizar a faixa de frequência do efeito corona nos isoladores limpos e poluídos. Desenvolvemos um programa no MATLAB que nos fornece gráficos da diferença dos sinais medidos entre isoladores limpos e o ruído do ambiente, Figuras 12 e 15, e entre poluídos e limpos, Figuras 14 e 17.

As amplitudes das curvas é expressa em dBm, unidade de medida de potência. O dBm é igual a 10 vezes o logaritmo decimal da potência em mW, a expressão abaixo representa a potência em dBm:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log P(\text{mW}) \quad (3)$$

Portanto, quando realizamos operações de diferença entre dois sinais, dados em dBm, temos que converte-los para mW, a expressão abaixo representa a potência em mW:

$$P(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} \quad (4)$$

Para plotar os gráficos, consideramos na subtração apenas os resultados positivos e diferentes de zero. Desta forma é possível identificar quando o sinal emitido pelo isolador limpo é maior que o ruído do ambiente e quando o sinal do isolador poluído é maior do que o limpo.

Nível de tensão de 17,3 kV:

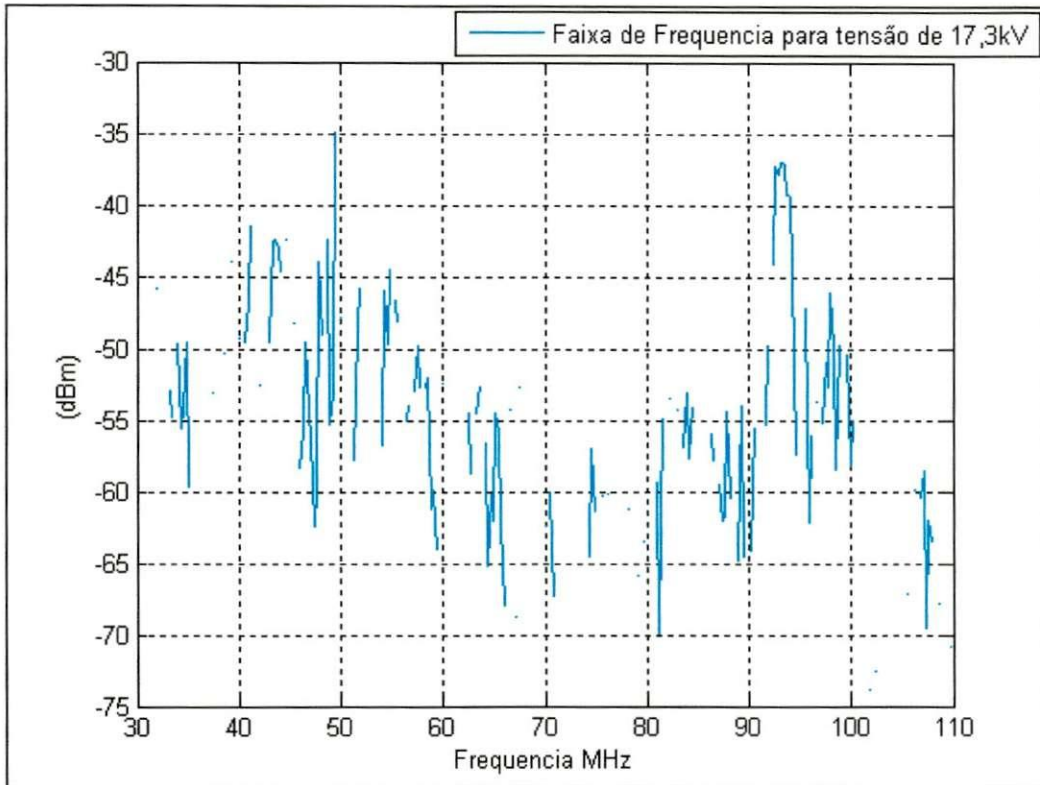


Figura 12 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 17,3 kV e 0 V no isolador limpo.

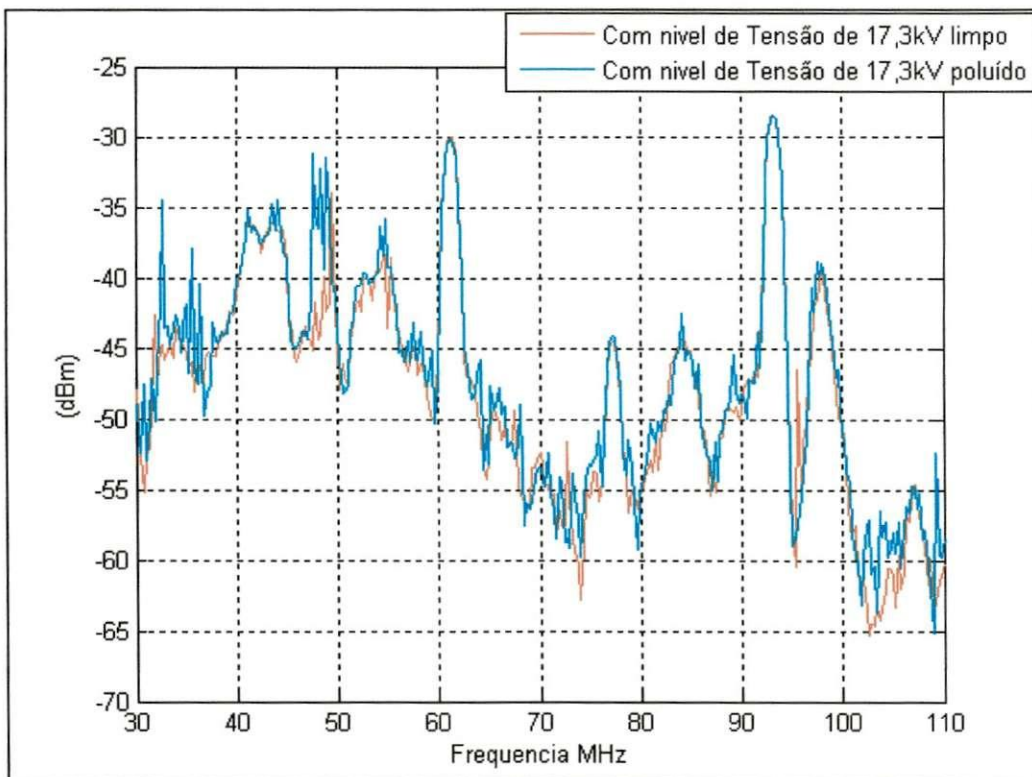


Figura 13 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 17,3 kV.

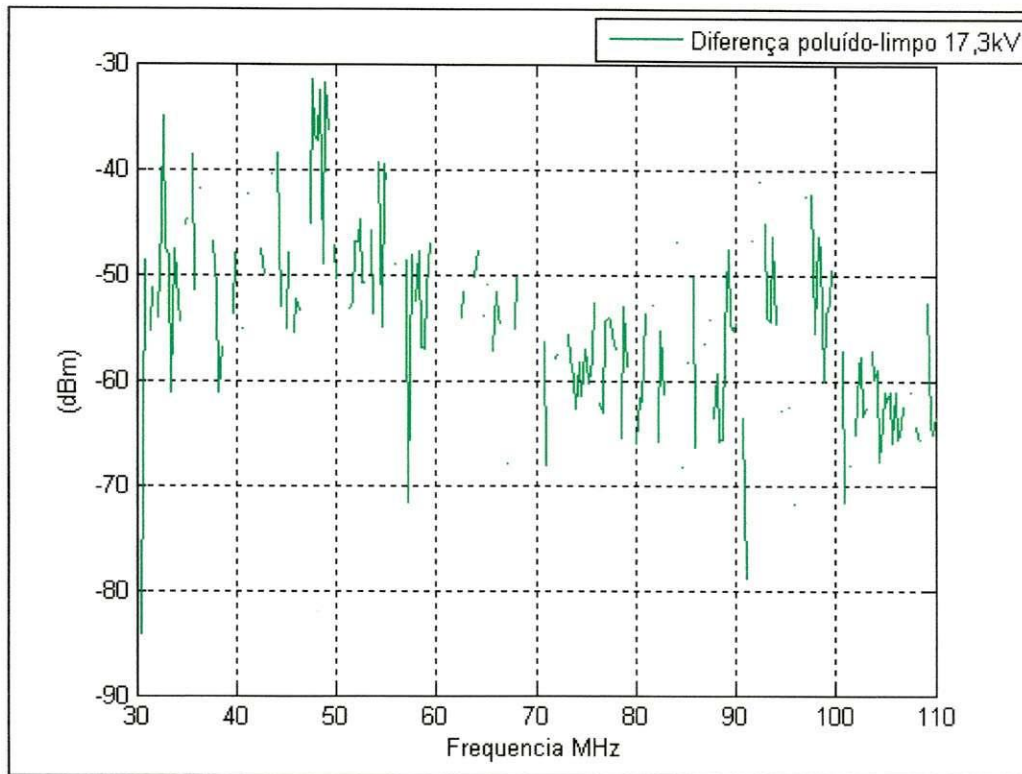


Figura 14 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 17,3 kV.

Nível de tensão de 26 kV :

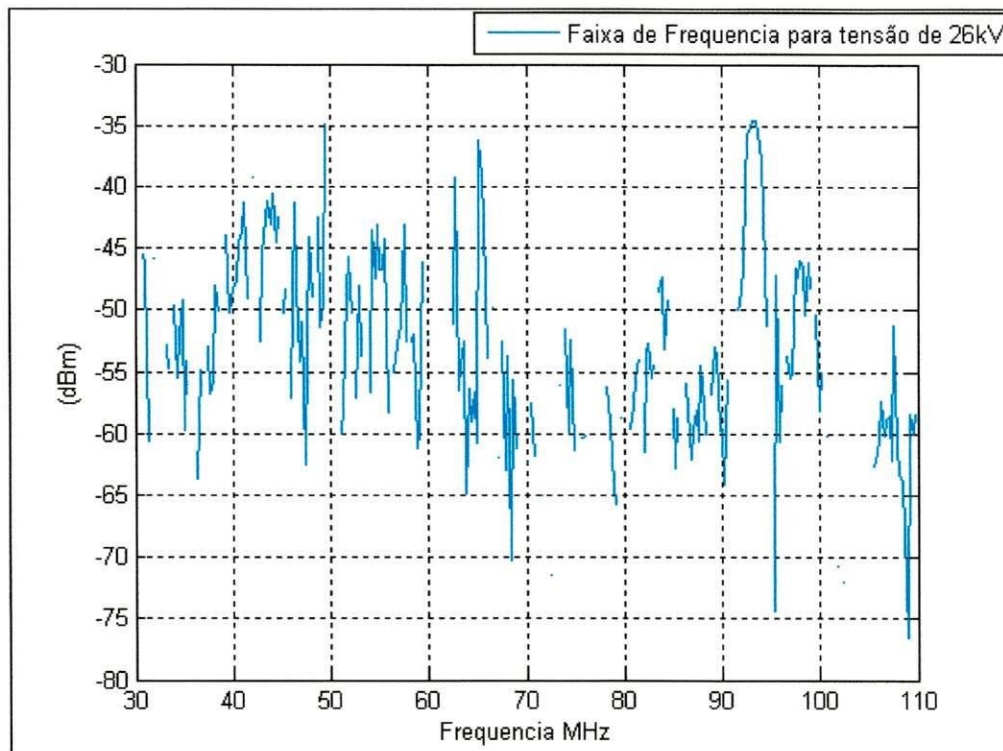


Figura 15 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 26 kV e 0 V no isolador limpo.

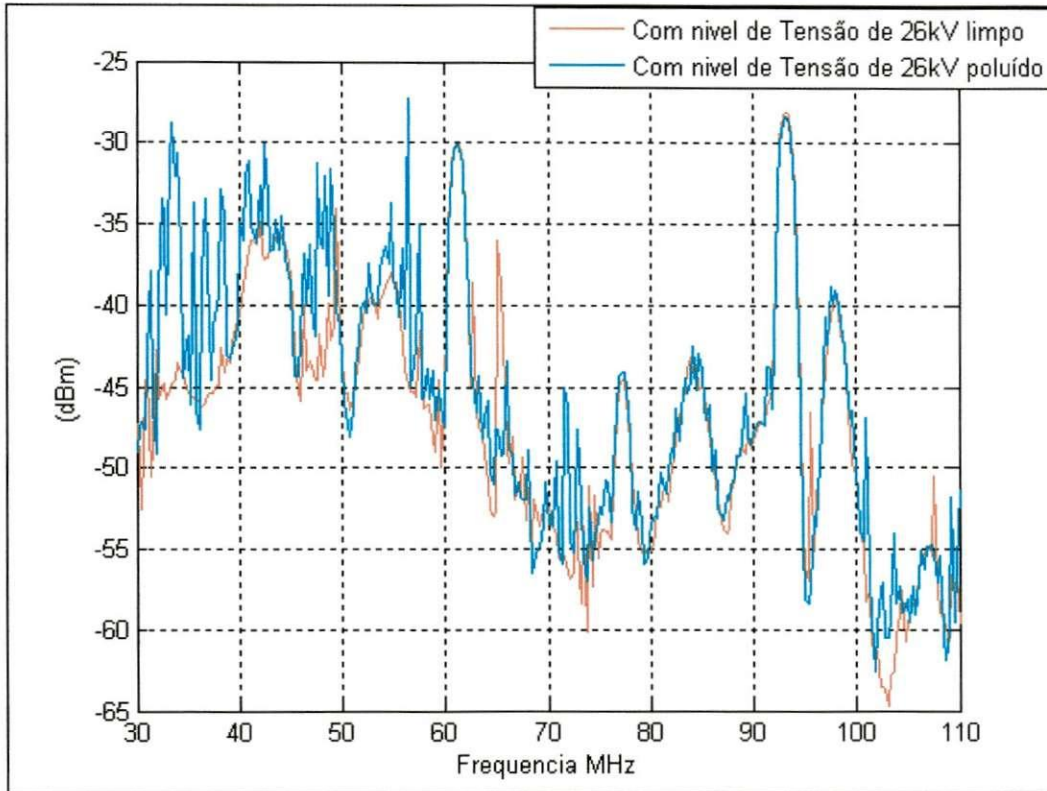


Figura 16 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 26 kV.

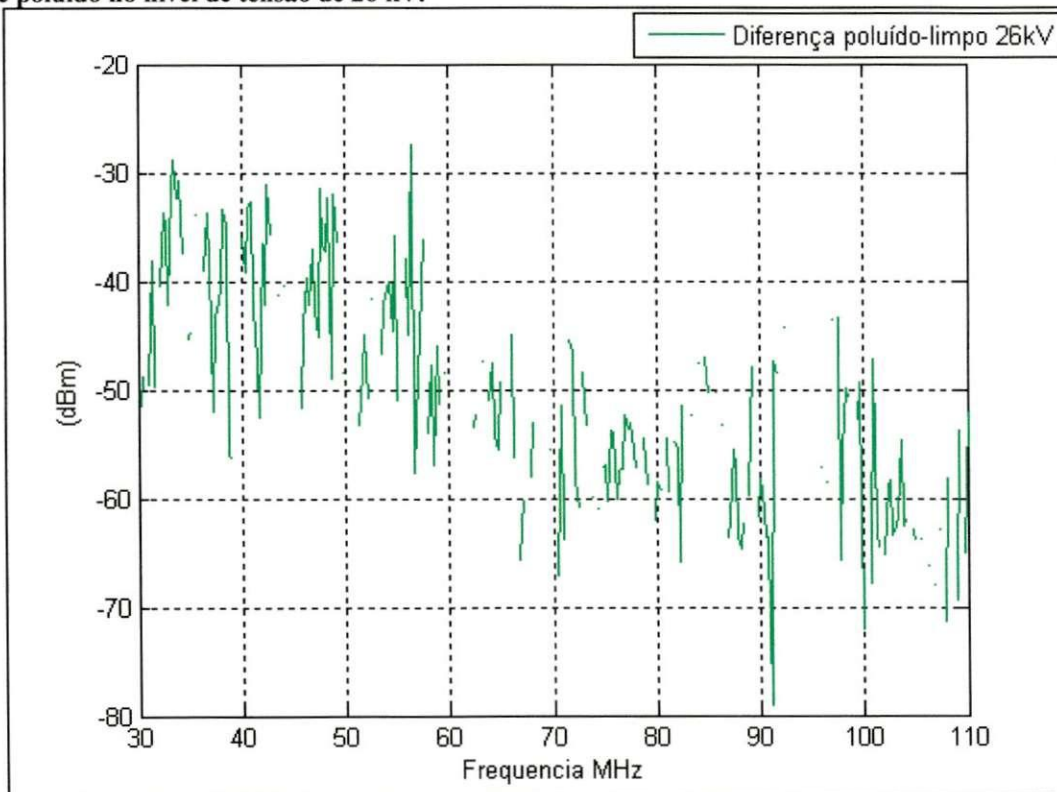


Figura 17 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 26 kV.

Ao avaliar os resultados percebemos que os isoladores limpos apresentam valores máximos de intensidade de descarga corona em torno de -40 dBm com alguns picos que chegam a -35dBm concentrados na banda de frequência de 30 MHz a 60 MHz.

Já os isoladores poluídos emitem sinais de radio interferência com maior intensidade próximos de -30dBm com picos que chegam a -25dBm concentrados na mesma faixa de frequência dos limpos. Em quase toda banda de medição eles apresentaram valores maiores do que os limpos e o aumento da tensão aplicada eleva a diferença.

Esta análise reflete apenas os resultados dos ensaios realizados onde o ruído do ambiente não causou grandes interferências nas medições. Portanto, devemos observar como se comportou o sinal medido para as situações onde o ruído do ambiente foi superior a emissão de radiointerferência do isolador. Os gráficos seguem abaixo.

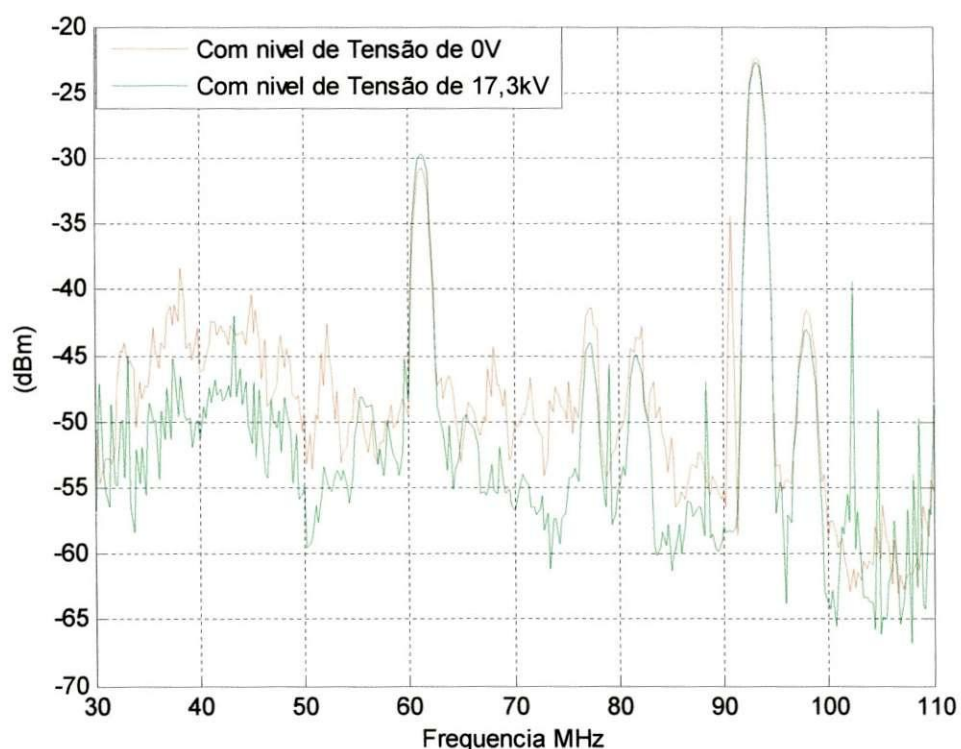


Figura 18 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 17,3 kV) no isolador limpo.

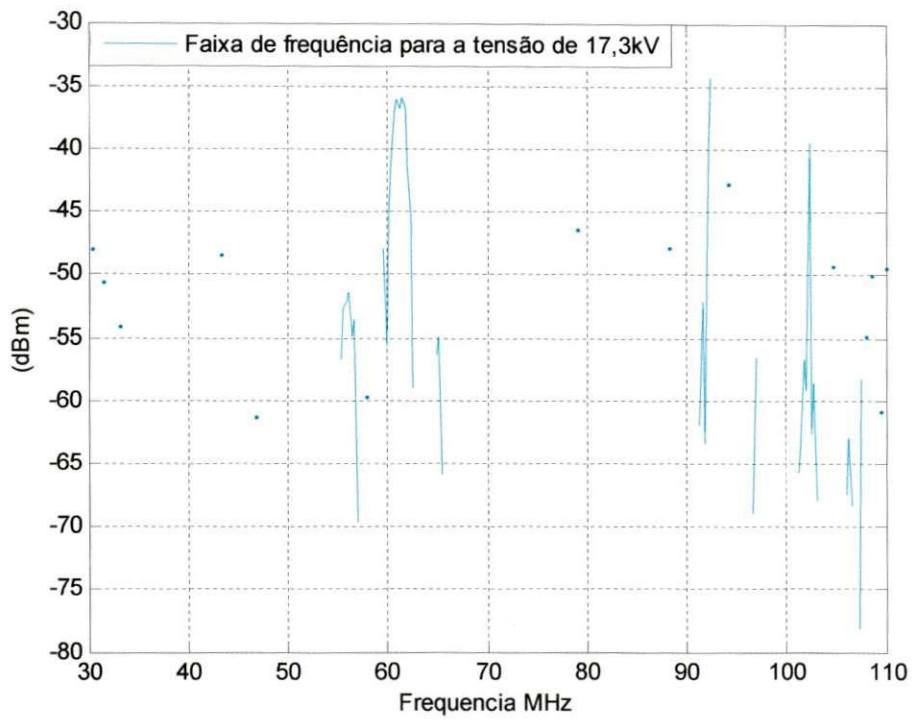


Figura 19 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador limpo e o ruído do ambiente no nível de tensão de 17,3 kV.

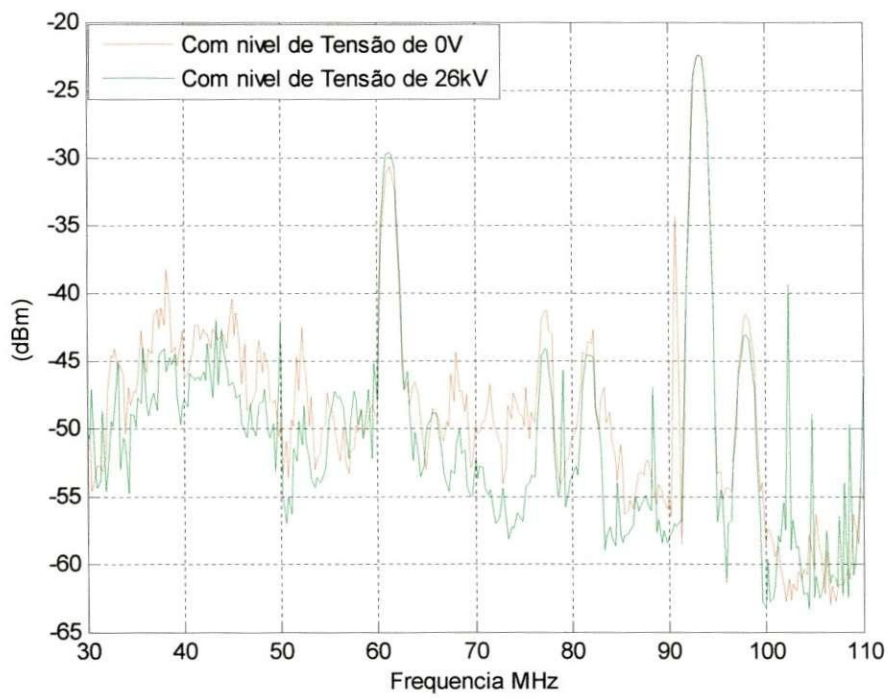


Figura 20 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 e 26 kV) no isolador limpo.

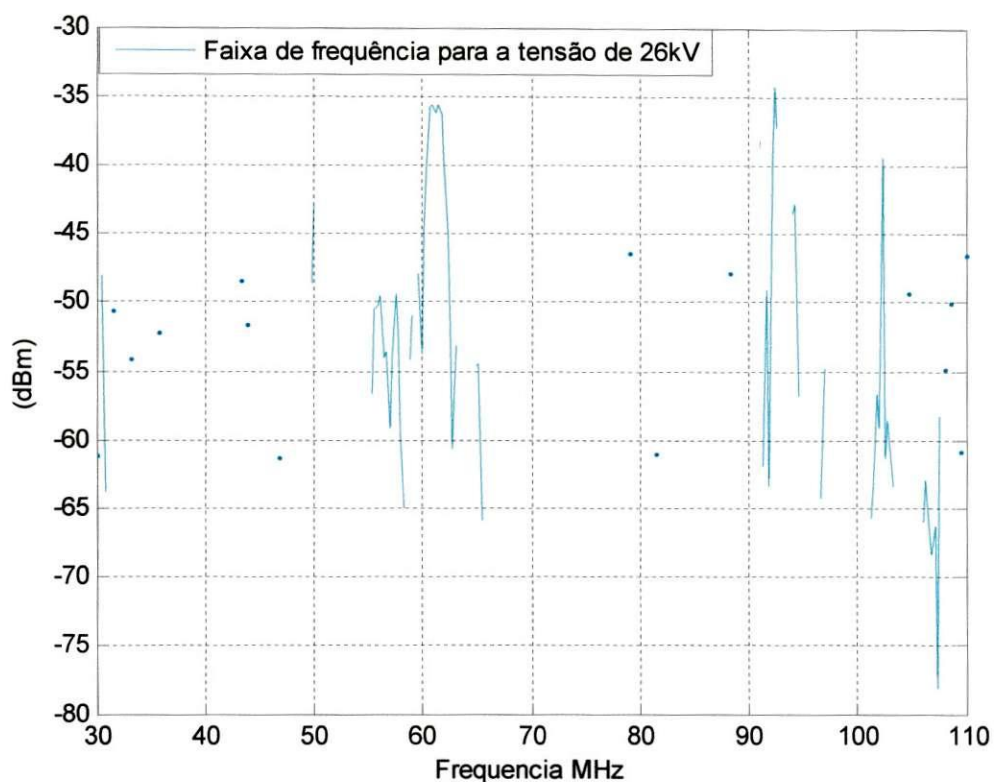


Figura 21 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador limpo e o ruído do ambiente no nível de tensão de 26 kV.

Apesar de obtermos resultados inesperados com o ruído do ambiente se sobressaindo em relação à emissão de sinais espúrios do isolador, ainda é possível identificar faixas de frequência onde percebemos campos eletromagnéticos irradiados pelo isolador. Essas faixas estão entre 60 MHz a 65 MHz, 90 MHz a 110 MHz.

A seguir iremos analisar os resultados onde o isolador limpo emitiu sinais espúrios maiores do que o poluído. Os gráficos seguem abaixo.

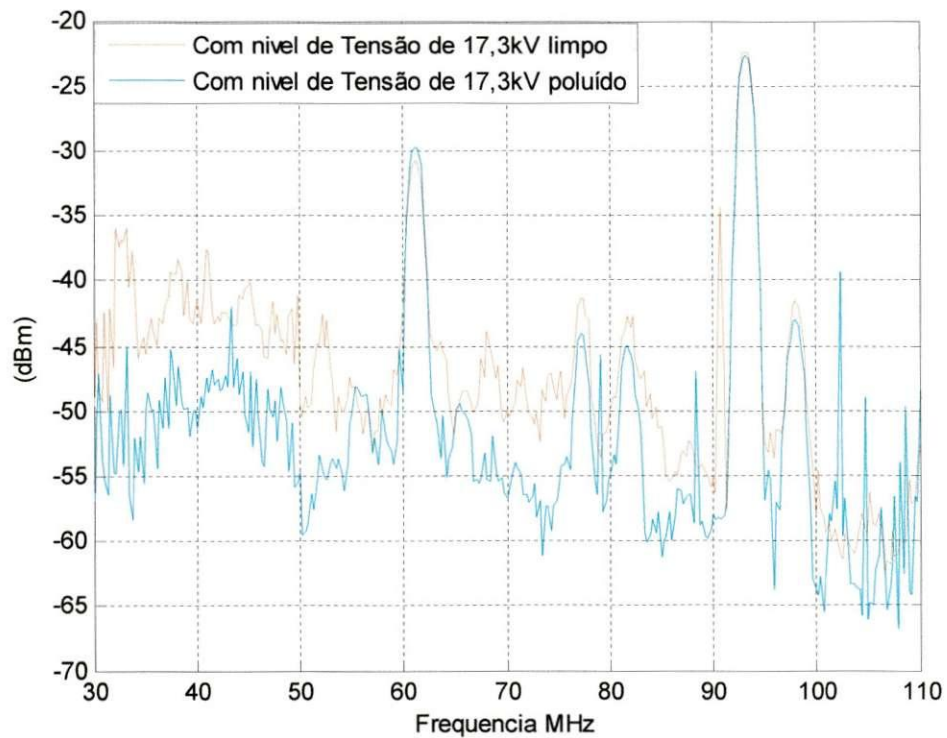


Figura 22 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 17,3 kV.

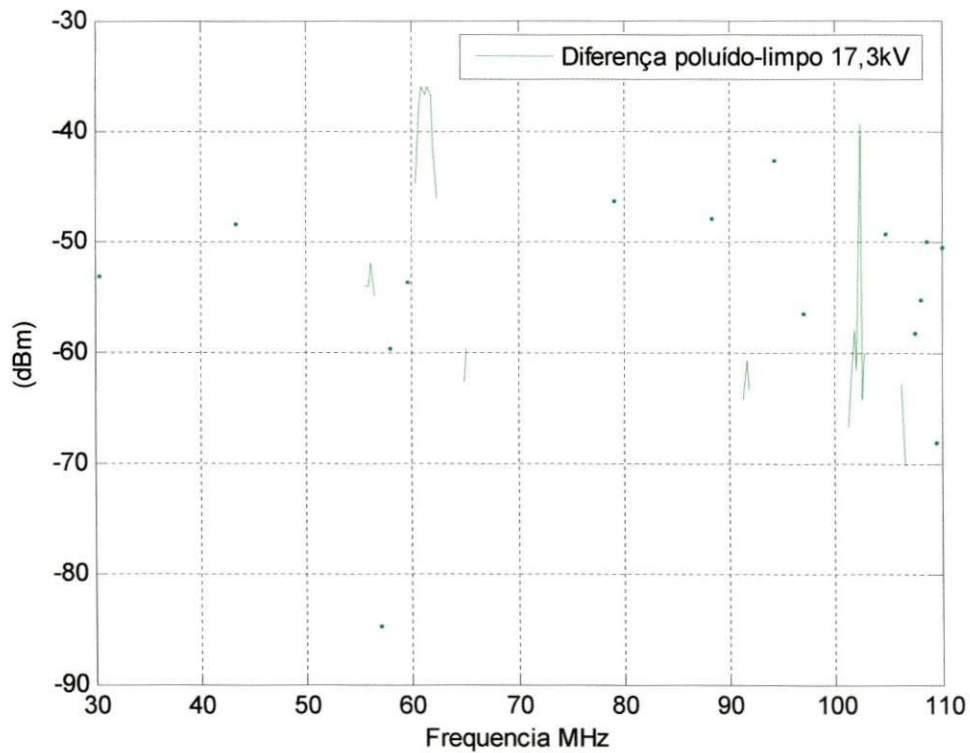


Figura 23 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 17,3 kV.

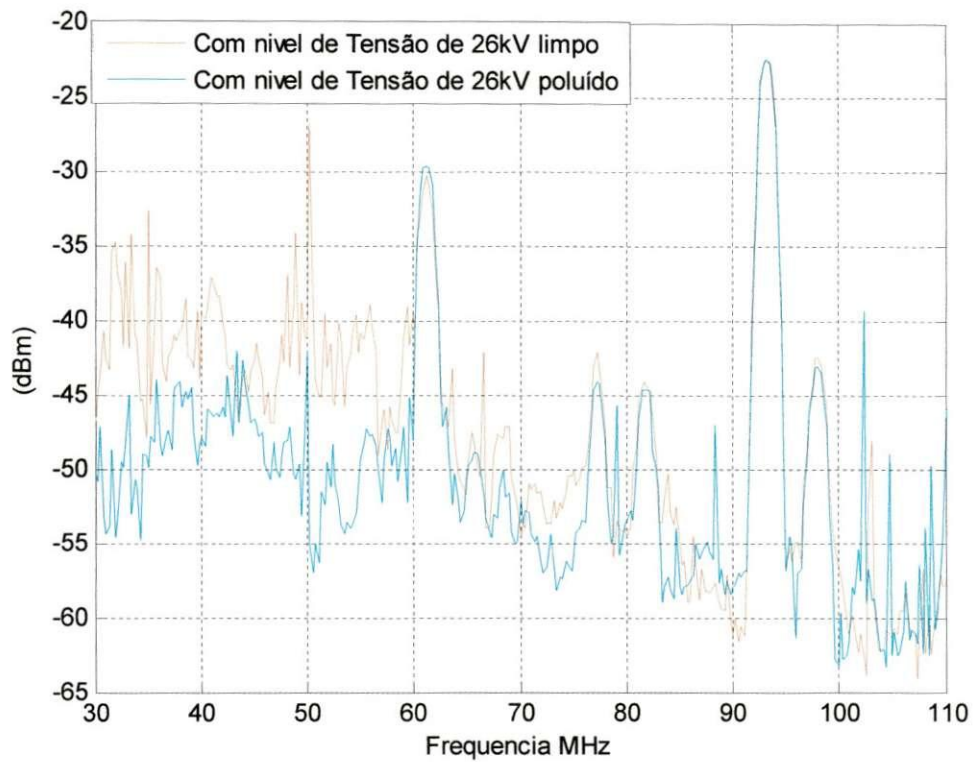


Figura 24 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 26 kV.

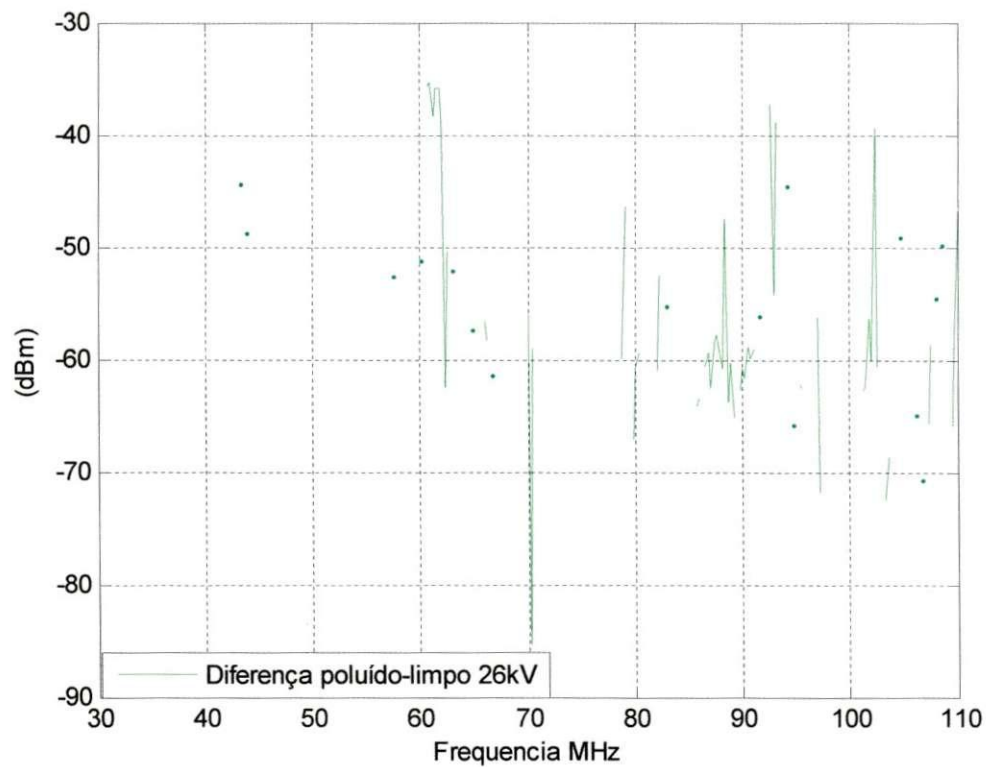


Figura 25 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 26 kV.

Da mesma forma que na análise anterior, mesmo sendo um resultado inesperado, pois o nível de ruído do isolador poluído deveria ser maior do que o isolador limpo, encontramos sinais fortes próximos de 60 MHz e 100 MHz. Evidenciando a ocorrência de radiointerferência em torno destas frequências.

VI. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios comprovam a existência de ruído eletromagnético provocado pelo efeito corona em isoladores de vidro de alta tensão. Verificou-se na medição que o aumento da tensão aplicada ao isolador provoca a emissão de sinais espúrios em diversas frequências dentro da faixa estudada (30 a 110 MHz).

Como esperado, os sinais emitidos pelos isoladores poluídos apresentaram maior amplitude do que os limpos. Esta diferença de intensidade pode ser explicada pelo fato do isolador poluído ter maior influência do efeito corona, aumentando o ruído eletromagnético.

Verificamos que a interferência foi mais intensa entre 30 e 60 MHz. Também observamos que os isoladores limpo e poluído apresentam picos de emissão de ondas eletromagnéticas na mesma faixa de frequência.

Existem também sinais de rádio muito fortes na banda de frequência entre 90 e 100 MHz que diminuiu a percepção da interferência causada pelo efeito corona nessa faixa.

Apesar de termos encontrado uma banda de frequência bem definida para os sinais espúrios emitidos será preciso realizar mais ensaios tomando o cuidado em diminuir os erros nas medições. Pois, devido à diferença no tempo de aquisição de dados pelo analisador de espectro observamos resultados inesperados, com o ruído do ambiente maior que o sinal medido e a radiointerferência do isolador limpo maior do que o isolador poluído. Para futuros ensaios será preciso realizar experimentos considerando o mesmo tempo de aquisição em todos os testes, desta forma os erros inerentes as medições serão minimizados, e efetuar alguns testes em campo.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Home Page do grupo de sistemas elétricos da Universidade Federal de Campina Grande <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse/>> Acesso em 5 de abril de 2008.
2. SALMAZO, L.O.; NOBRE, M.A.L. Materiais Dielétricos – Correlação: Propriedades e Defeitos. Disponível em: <www2.prudente.unesp.br/isisdraw/Eletroceramicas/Apostila%20Materiais%20Dielétricos%20Parte%20B.pdf> Acesso em 7 de abril de 2008.
3. Home Page da empresa Comercial Libra. Disponível em: <www.comerciallibra.cl/catalogos/Disco-Suspension-Vidro%20Distribucion.pdf> Acesso em 9 de abril de 2008.
4. LUIZ SPADA, Adriano. Decibel. Attack do Brasil. Disponível em: <<http://www.attack.com.br/>>. Acesso em 10 de abril de 2008.
5. R. RODRIGUES, CESAR. Materiais Isolantes e suas propriedades. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/materiais/isolante.pdf>>. Acesso em 8 de abril de 2008.
6. RAMOS PEREIRA, Thiago. Mecanismo de Ruptura Elétrica em Dielétricos.
7. FONTGALLAND, Glauco; SILVA, E.M.; BEZERRA J.M.B.; NERI M.G.G.; DO VALLE R.R.M.; DE MELO, M.A.B. On the behavior of Electromagnetic interference measured from glass insulator.
8. FONTGALLAND, Glauco; NERI M.G.G.; DO VALLE R.R.M.; ARAGÃO, Galba F.; DA S. PIRES, Edvaldo. Identification of modulation characteristics in electromagnetic interferences measured from glass insulator.
9. Agilent Technologies. Técnicas de Operação do Analisador de Espectro. Disponível em: <<http://www.warchalking.com.br/tutoriais/espectro.pdf>>. Acesso em 15 de abril de 2008.

10. NEVES, Washington. Apostila Materiais Elétricos. Disponível em:
<<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse/>>. Acesso em 13 de abril de 2008.

11. MARCELO DE MATTOS ZERI, Luis. Apostila de MATLAB. INPE dezembro/2001. Disponível em:
<http://br.geocities.com/daisuke_oyama/fonte/matlab.pdf>. Acesso em 12 de abril de 2008.

12. MARIA TONINI, Adriana; NAUFEL SCHETTINO, Daniela. MATLAB para Engenharia. Disponível em:
<http://academicos.cefetmg.br/admin/downloads/2101/ApostilaMatLab_UNI.pdf> Acesso em 12 de abril de 2008.

13. Home Page da empresa Beta Telecom
<<http://www.betatelecom.com.br/biconica.htm>> Acesso em 2 de abril de 2008.

14. Home Page Efeito Corona
<<http://www.altatensao2001.hpg.ig.com.br/corona.htm>> Acesso em 1 de abril de 2008.

15. Home Page Passos Básicos em Detectar Interferência em Linhas de Transmissão Elétrica
<<http://paginas.terra.com.br/arte/sarmentocampos/Tecnica05.htm>> Acesso em 1 de abril de 2008

VIII. ANEXOS

ANEXO I

%Determinação da Faixa de Frequencia do efeito corona em Isoladores de
%Vidro

%Criação de matrizes associadas ao arquivo texto que contém os dados da
%medição

% Nivel de Tensão = 0kV

%%%%%%%%%

n_lignes_T1 = 34 ; % Número de linhas a retirar

[T1_e] = sprintf('%s%s','ruído_L_0kv_04_04','.txt');

[T1_s] = sprintf('%s%s','ISTL_1_0kv','.txt');

fid_T1_e = fopen(T1_e,'r');

fid_T1_s = fopen(T1_s,'w+');

for k=1:n_lignes_T1,

 ligne_T1 = fgets(fid_T1_e);

end;

while (feof(fid_T1_e)==0)

 fprintf(fid_T1_s,fgets(fid_T1_e));

end;

fclose('all');

ISTL_1_0kv = dlmread(T1_s,'); %Arquivo para o nivel de tensão de 0kV

[max1_T1, ligne1_T1]=max(ISTL_1_0kv(:,2))

f1_T1 = ISTL_1_0kv(ligne1_T1,1)

f1T1=ISTL_1_0kv(:,1);

magn1_T1=ISTL_1_0kv(:,2);

%Nivel de Tensão 2 = 17,3kV

%%%%%%%%%

n_lignes_T2 = 34; % Número de linhas a retirar

[T2_e] = sprintf('%s%s','istl_17p3kv_04_04','.txt');

[T2_s] = sprintf('%s%s','ISTL_1_17p3kv','.txt');

```

fid_T2_e = fopen(T2_e,'r');
fid_T2_s = fopen(T2_s,'w+');
for k=1:n_lignes_T2,
    ligne_T2 = fgets(fid_T2_e);
end;
while (feof(fid_T2_e)==0)
    fprintf(fid_T2_s,fgets(fid_T2_e));
end;
fclose('all');

ISTL_1_17p3kv=dlmread(T2_s,' '); %Arquivo para o nivel de tensão de 17,3kV
[max1_T2, ligne1_T2]=max(ISTL_1_17p3kv(:,2))
f1_T2=ISTL_1_17p3kv(ligne1_T2,1)
f1T2=ISTL_1_17p3kv(:,1);
magn1_T2=ISTL_1_17p3kv(:,2);
%Nivel de Tensão 3 = 26kV
%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%

n_lignes_T3 = 34;          % Número de linhas a retirar
[T3_e] = sprintf('%s%s','istl_26kv_04_04','.txt');
[T3_s] = sprintf('%s%s','ISTL_1_26kv','.txt');
fid_T3_e = fopen(T3_e,'r');
fid_T3_s = fopen(T3_s,'w+');
for k=1:n_lignes_T3,
    ligne_T3 = fgets(fid_T3_e);
end;
while (feof(fid_T3_e)==0)
    fprintf(fid_T3_s,fgets(fid_T3_e));
end;
fclose('all');

ISTL_1_26kv=dlmread(T3_s,' '); %Arquivo da medição para o nivel de tensão de
26kV
[max1_T3, ligne1_T3]=max(ISTL_1_26kv(:,2))
f1_T3=ISTL_1_26kv(ligne1_T3,1)

```



```

fIT3=ISTL_1_26kv(:,1);
magn1_T3=ISTL_1_26kv(:,2);
%Nivel de Tensão 4 = 39,1kV

%Determinação da Faixa de Frequencia
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

ISTL_1_26kv=dlmread(T3_s,');
ISTL_1_17p3kv=dlmread(T2_s,');
ISTL_1_0kv=dlmread(T1_s,');

n_lignes_P1=301;
for k=1:n_lignes_P1,
    magnL_T2=ISTL_1_17p3kv(k,2);
    magnL_T1=ISTL_1_0kv(k,2);
    if magnL_T2>magnL_T1
        P2=10.^(magnL_T2/10);
        P1=10.^(magnL_T1/10);
        PNT1_mW=P2-P1;
        fIP2(k,1)=ISTL_1_17p3kv(k,1);
        PNT1_dBm(k,1)=10*log10(PNT1_mW);
    elseif magnL_T2<=magnL_T1
        fIP2(k,1)=ISTL_1_17p3kv(k,1);
        PNT1_dBm(k,1)=inf;

    end
end;
n_lignes_P2=301;
for k=1:n_lignes_P2,
    magnL_T3=ISTL_1_26kv(k,2);
    magnL_T1=ISTL_1_0kv(k,2);
    if magnL_T3>magnL_T1
        P3=10.^(magnL_T3/10);
        P1=10.^(magnL_T1/10);
        PNT2_mW(k,1)=P3-P1;

```

```

    f1P3(k,1)=ISTL_1_26kv(k,1);
    PNT2_dBm(k,1)=10*log10(PNT2_mW(k,1));
elseif magnL_T3<=magnL_T1
    f1P3(k,1)=ISTL_1_26kv(k,1);
    PNT2_dBm(k,1)=inf;
end
end;

%grafique
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure(1)
plot(f1P2*1e-6,PNT1_dBm,'b')
legend ('Faixa de Frequencia para tensão de 17,3kV')
xlabel('Frequencia MHz')
ylabel('(dBm)')
grid

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure(2)
plot(f1P3*1e-6,PNT2_dBm,'b')
legend ('Faixa de Frequencia para tensão de 26kV')
xlabel('Frequencia MHz')
ylabel('(dBm)')
grid

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure(3)
plot(f1T1*1e-6,magn1_T1,'r',f1T2*1e-6,magn1_T2,'g')%
legend ('Com nivel de Tensão de 0V','Com nivel de Tensão de 17,3kV')
xlabel('Frequencia MHz')
ylabel('(dBm)')
grid

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
figure(4)
```

```
plot(f1T1*1e-6,magn1_T1,'r',f1T3*1e-6,magn1_T3,'g')%
```

```
legend ('Com nivel de Tensão de 0V','Com nivel de Tensão de 26kV' )
```

```
xlabel('Frequencia MHz')
```

```
ylabel('(dBm)')
```

```
grid
```

ANEXO II

Gráficos da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 e 17,3 kV) no isolador limpo.

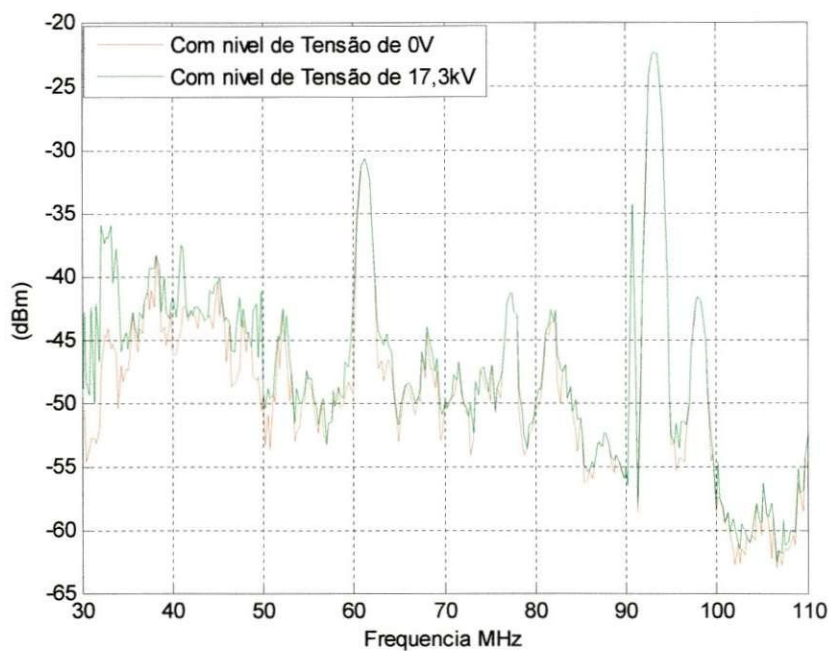


Figura 26 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 17,3 kV) no isolador limpo.

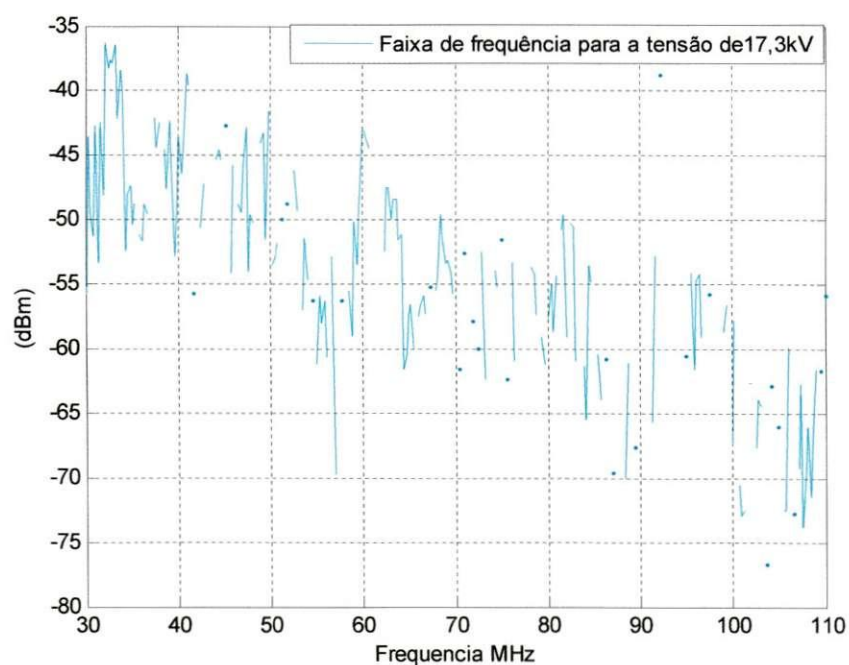


Figura 27 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 17,3 kV e 0 V no isolador limpo.

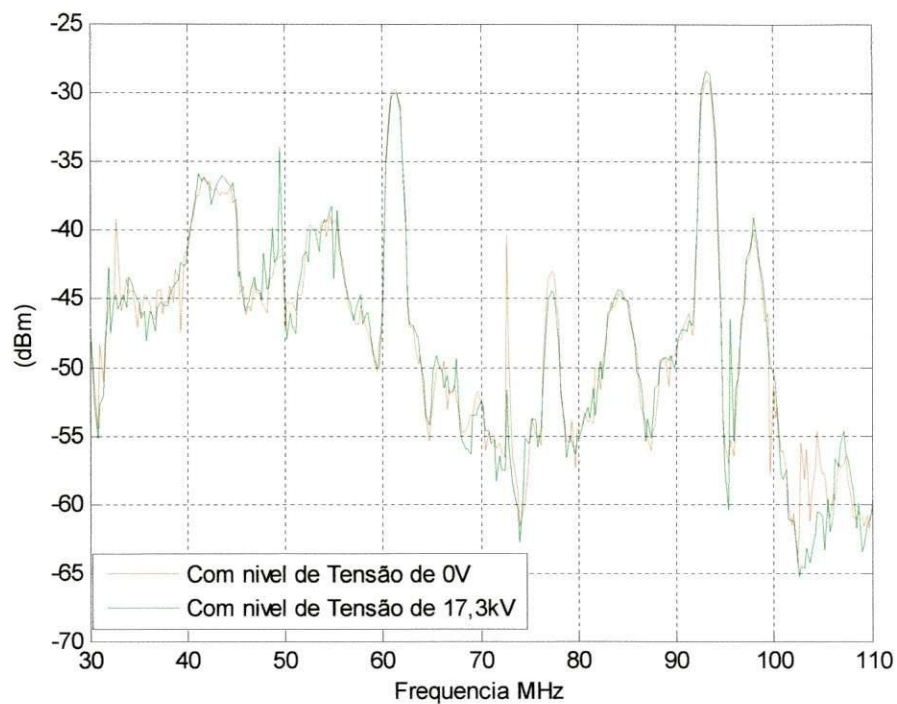


Figura 28 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 17,3 kV) no isolador limpo.

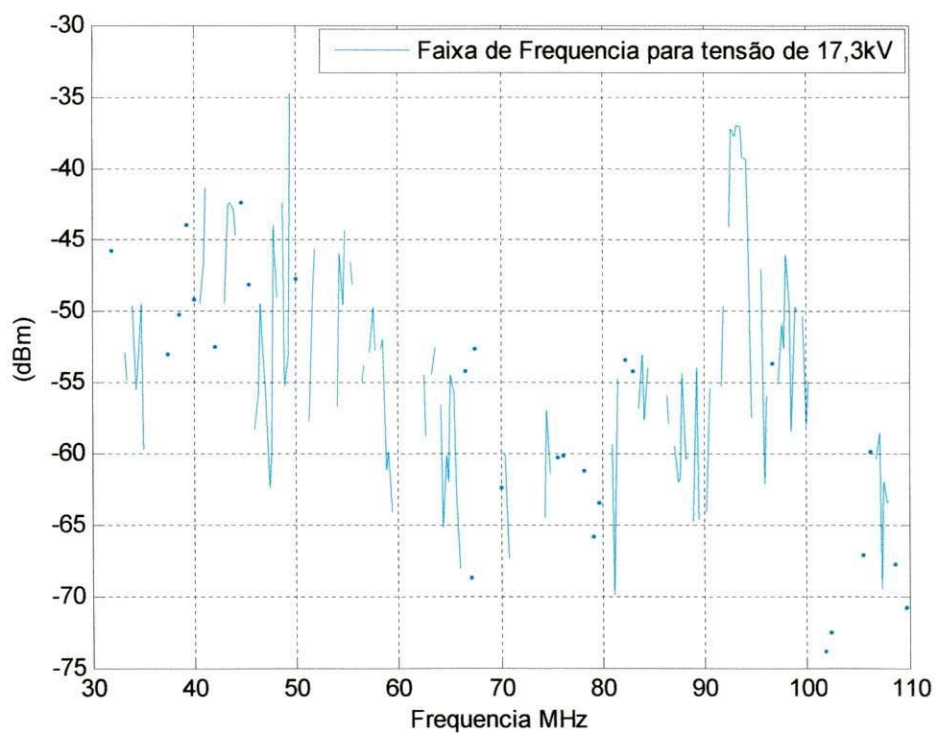


Figura 29 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 17,3 kV e 0 V no isolador limpo.

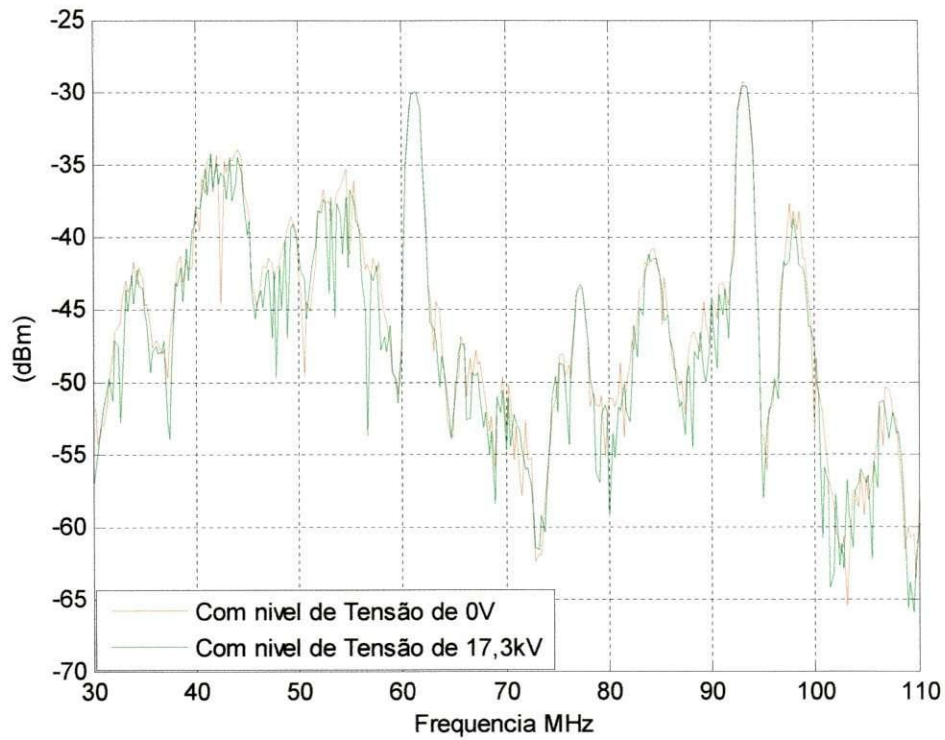


Figura 30 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 17,3 kV) no isolador limpo.

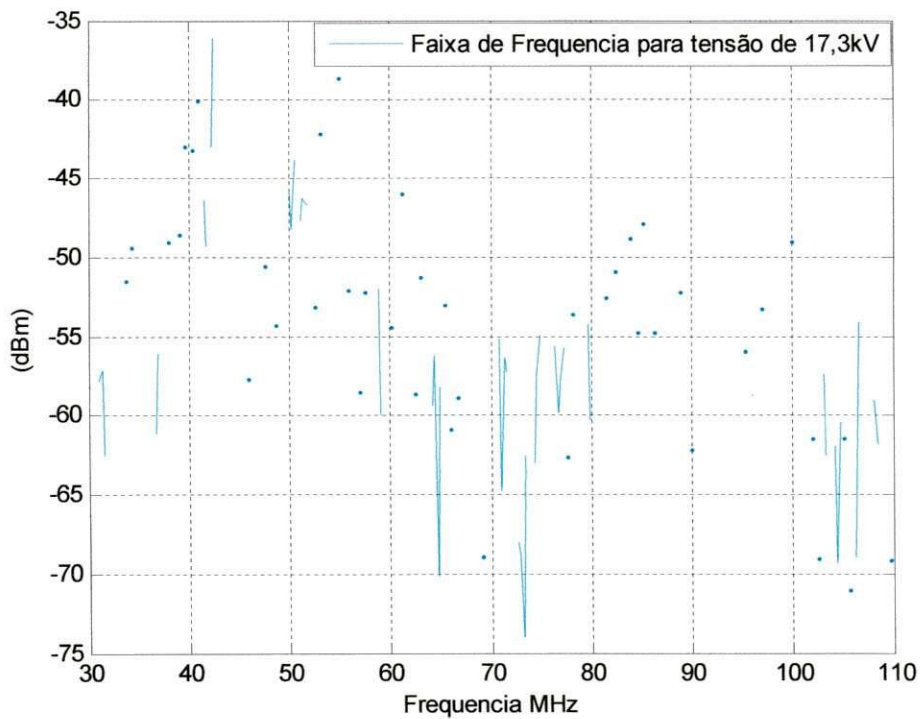


Figura 31 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 17,3 kV e 0 V no isolador limpo.

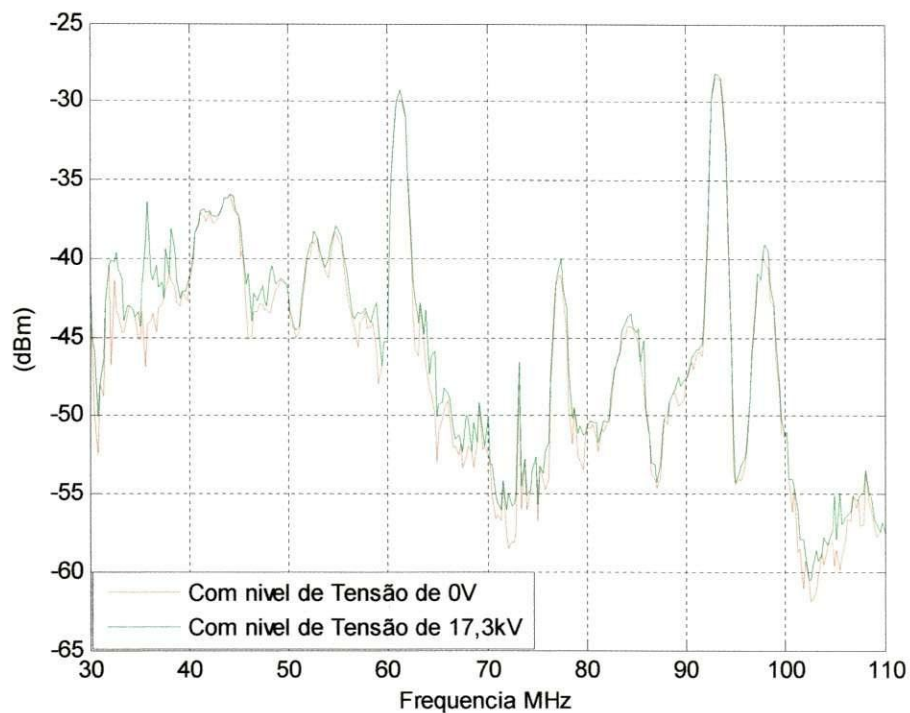


Figura 32 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 17,3 kV) no isolador limpo.

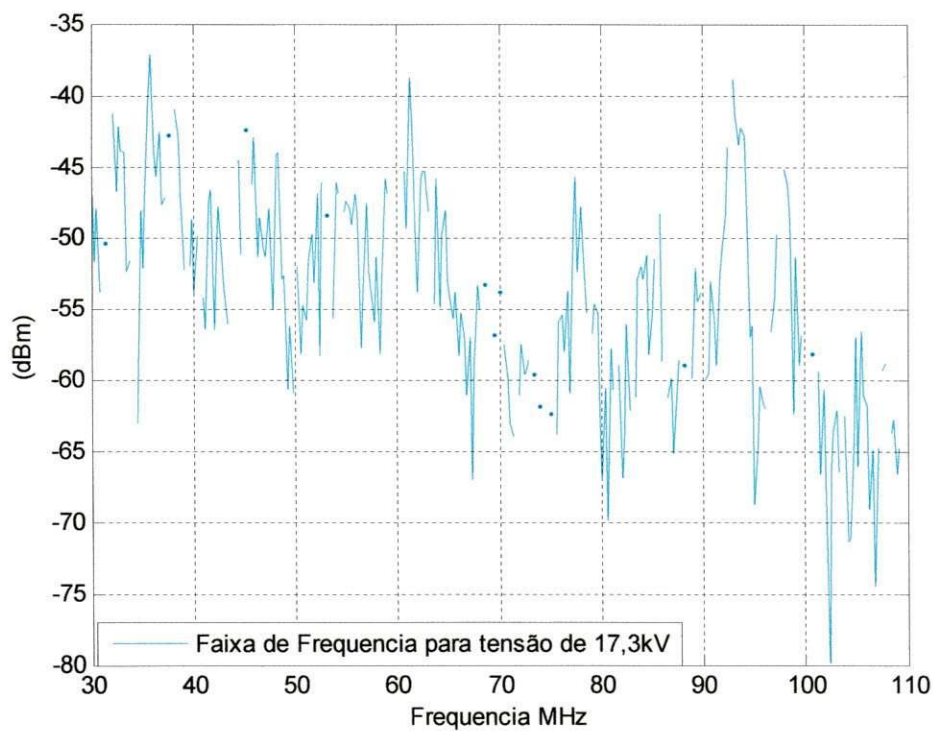


Figura 33 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 17,3 kV e 0 V no isolador limpo.

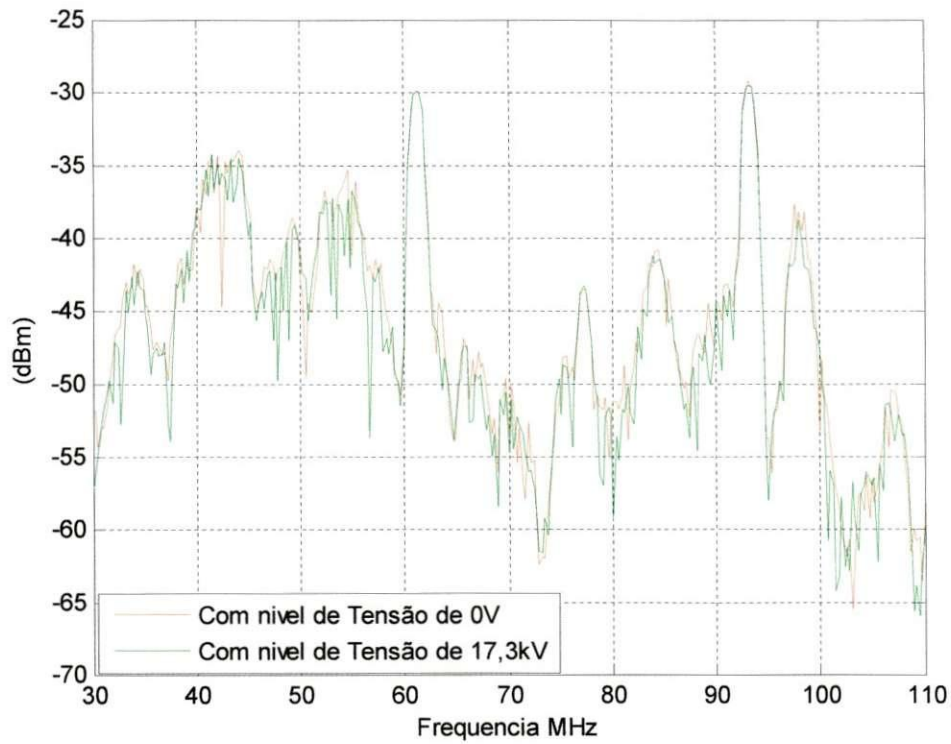


Figura 34 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 17,3 kV) no isolador limpo.

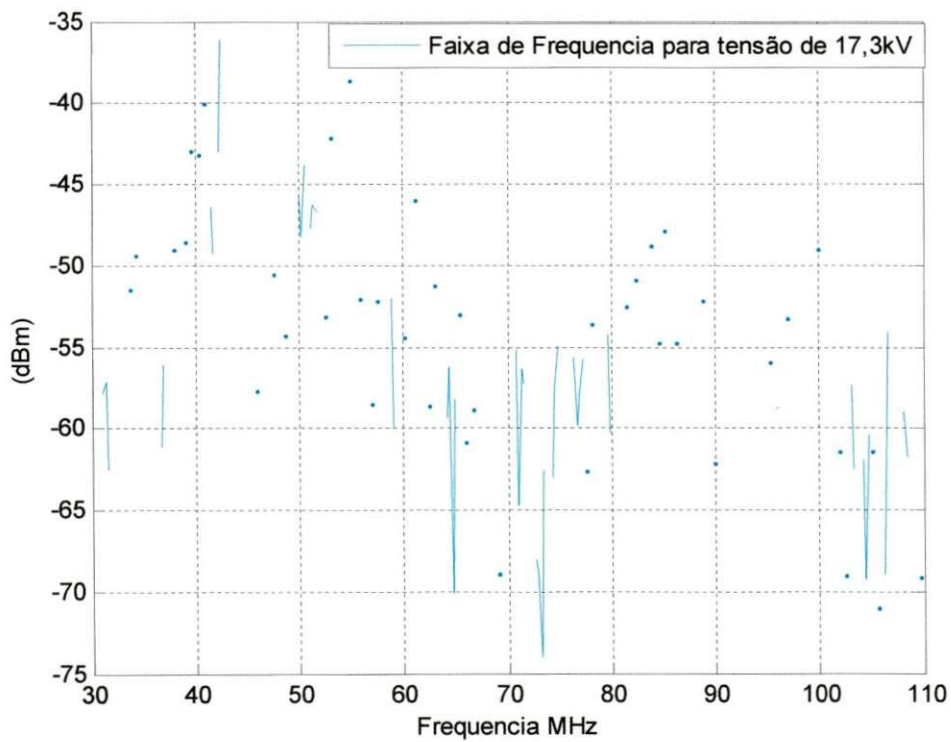


Figura 35 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 17,3 kV e 0 V no isolador limpo.

Gráfico dos ensaios para o nível de tensão de 26 kV nos isoladores limpos:

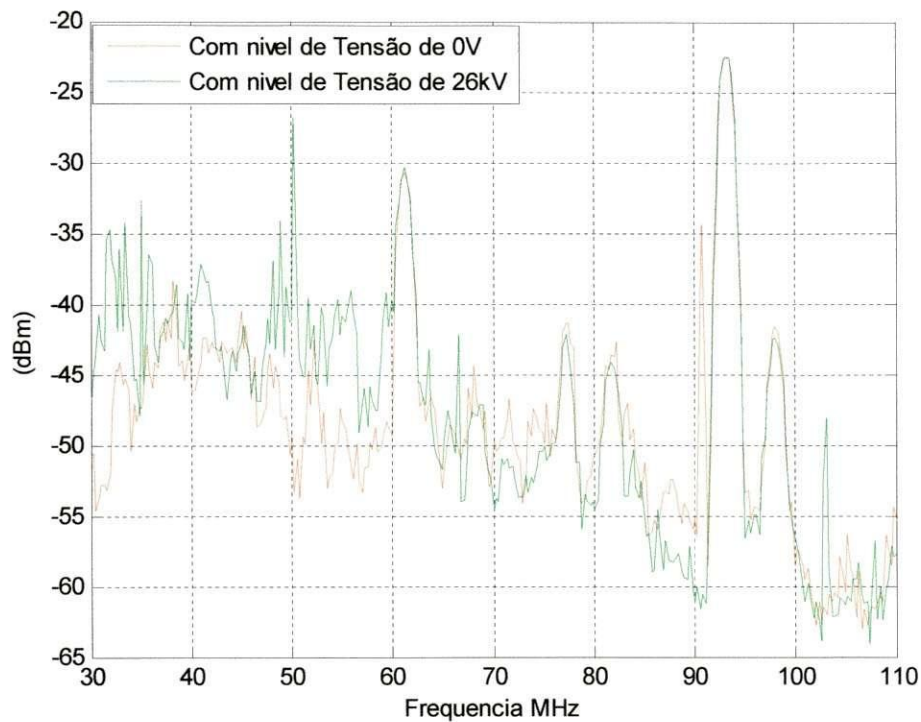


Figura 36 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 26 kV) no isolador limpo.

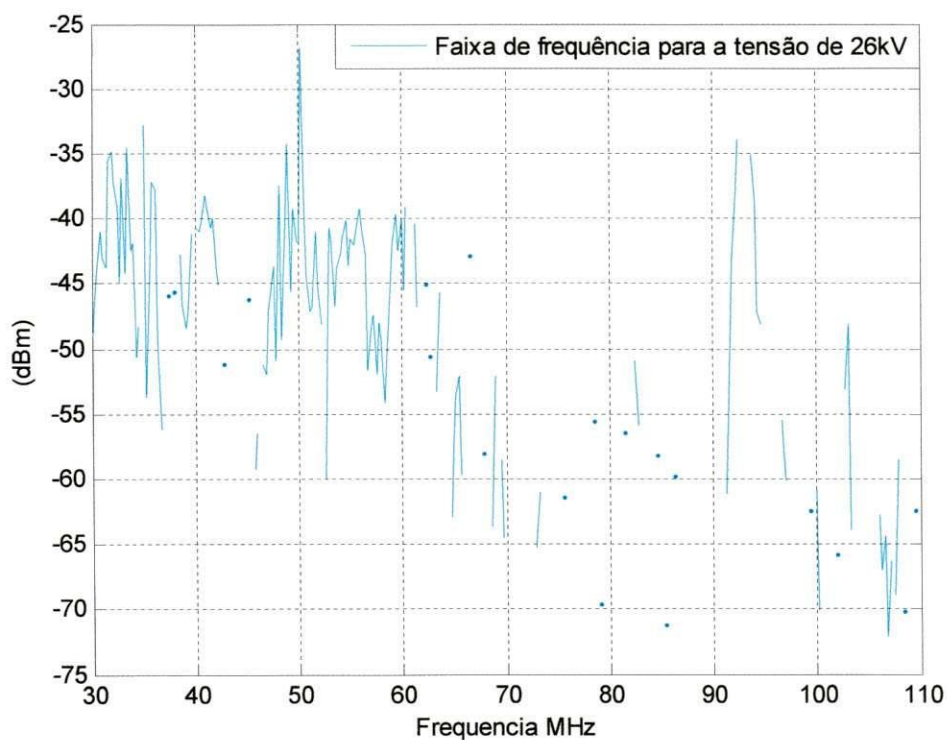


Figura 37 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 26 kV e 0 V no isolador limpo.

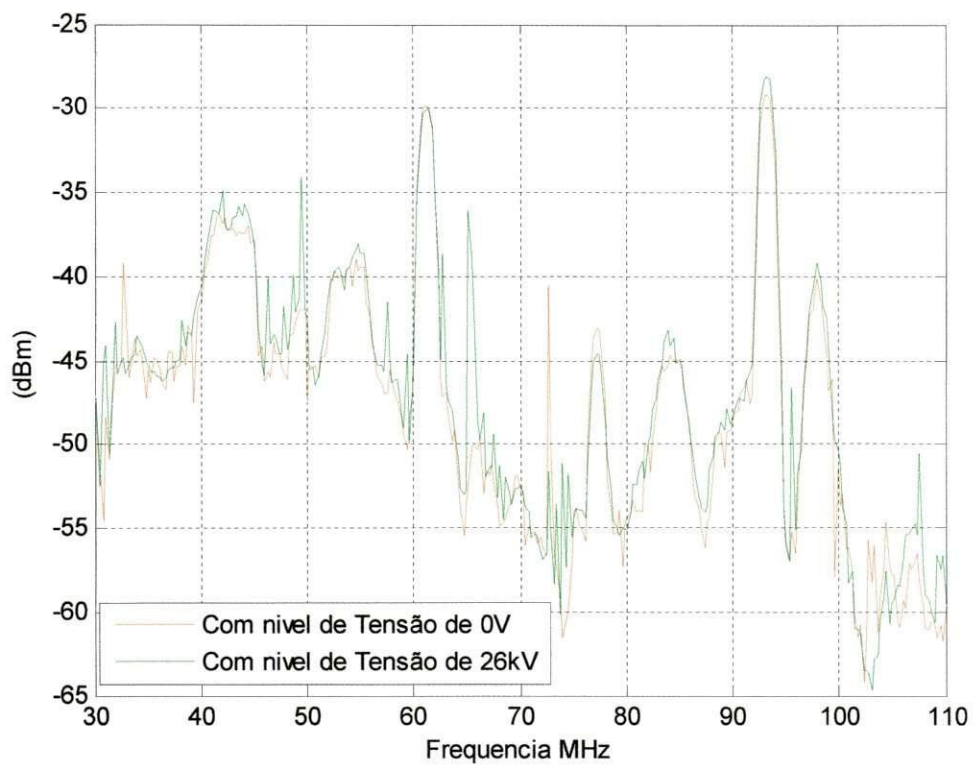


Figura 38 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 26 kV) no isolador limpo.

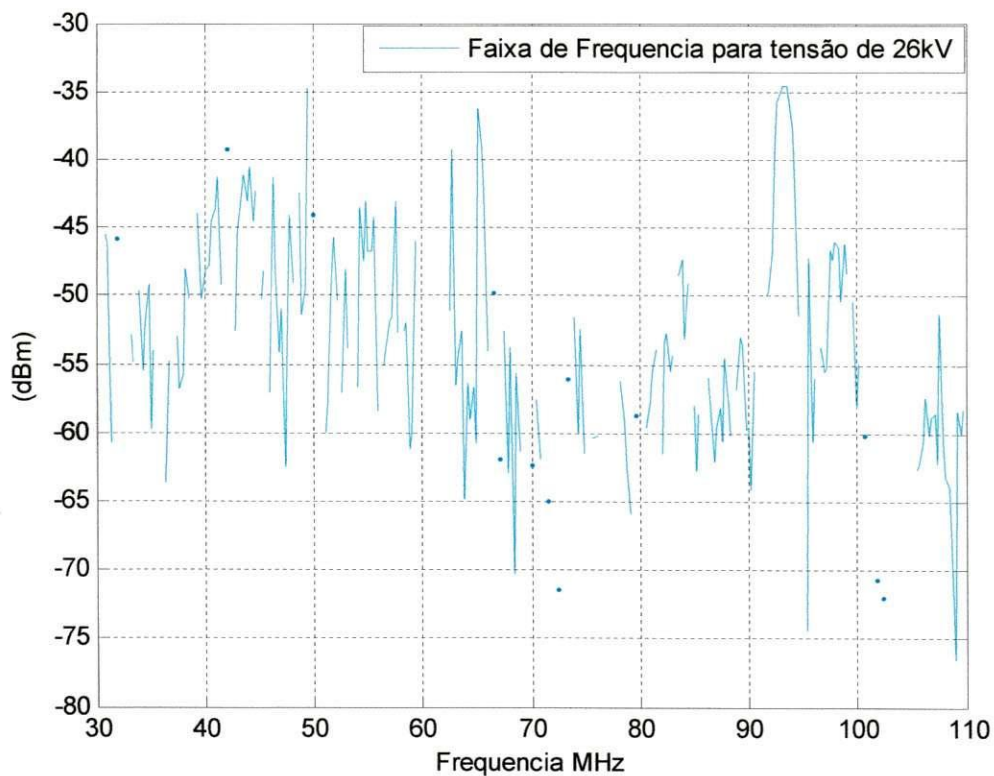


Figura 39 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 26 kV e 0 V no isolador limpo.

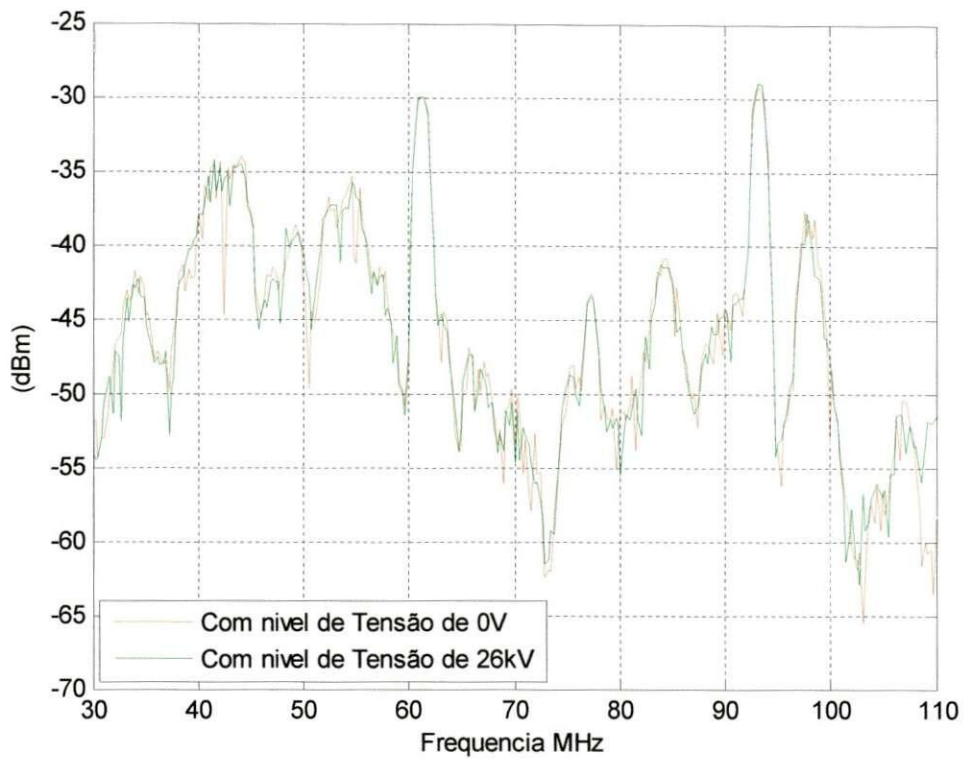


Figura 40 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 26 kV) no isolador limpo.

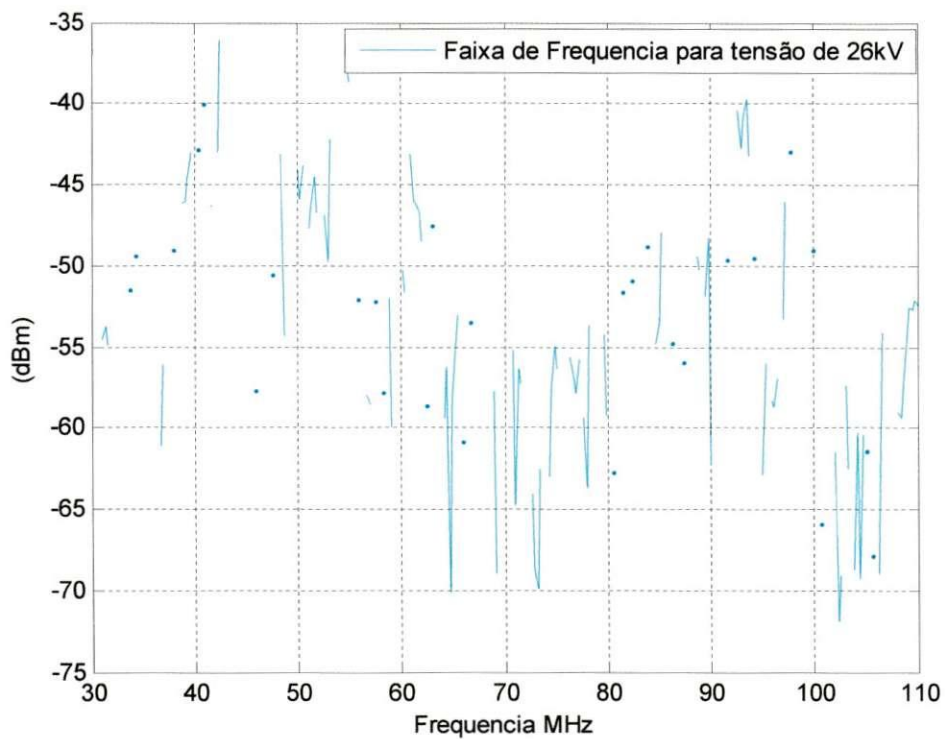


Figura 41 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 26 kV e 0 V no isolador limpo.

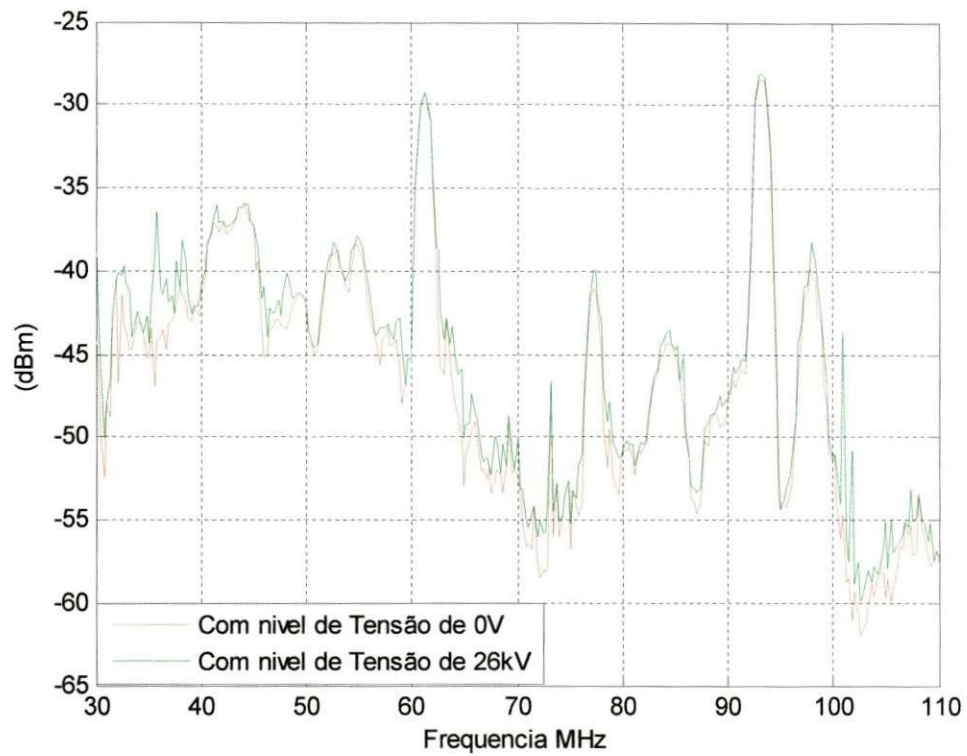


Figura 42 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 26 kV) no isolador limpo.

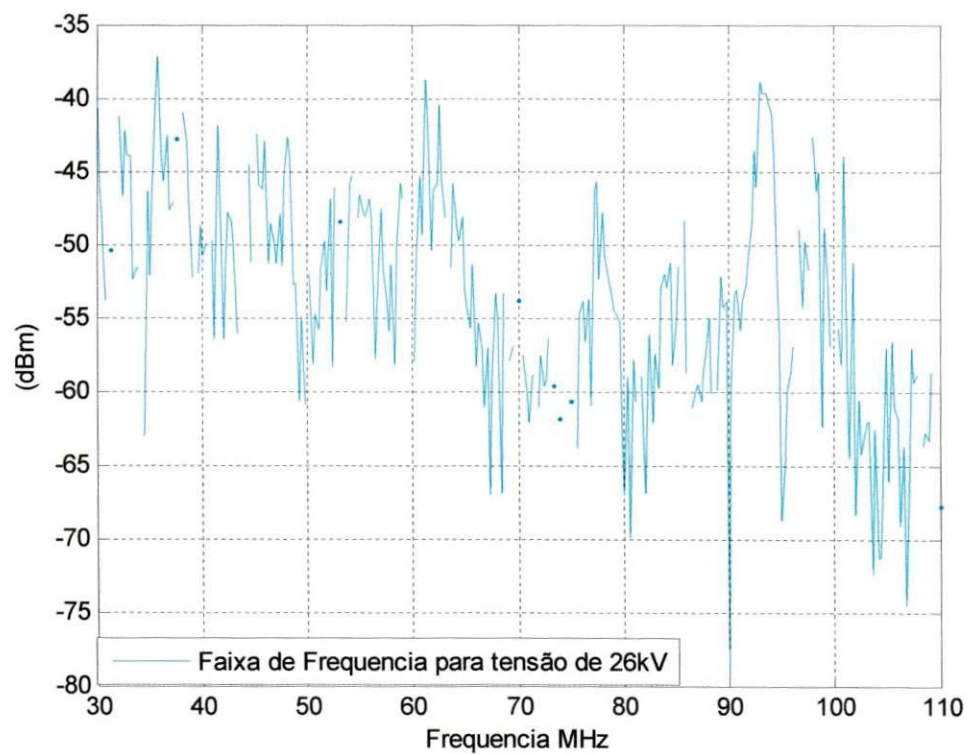


Figura 43 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 26 kV e 0 V no isolador limpo.

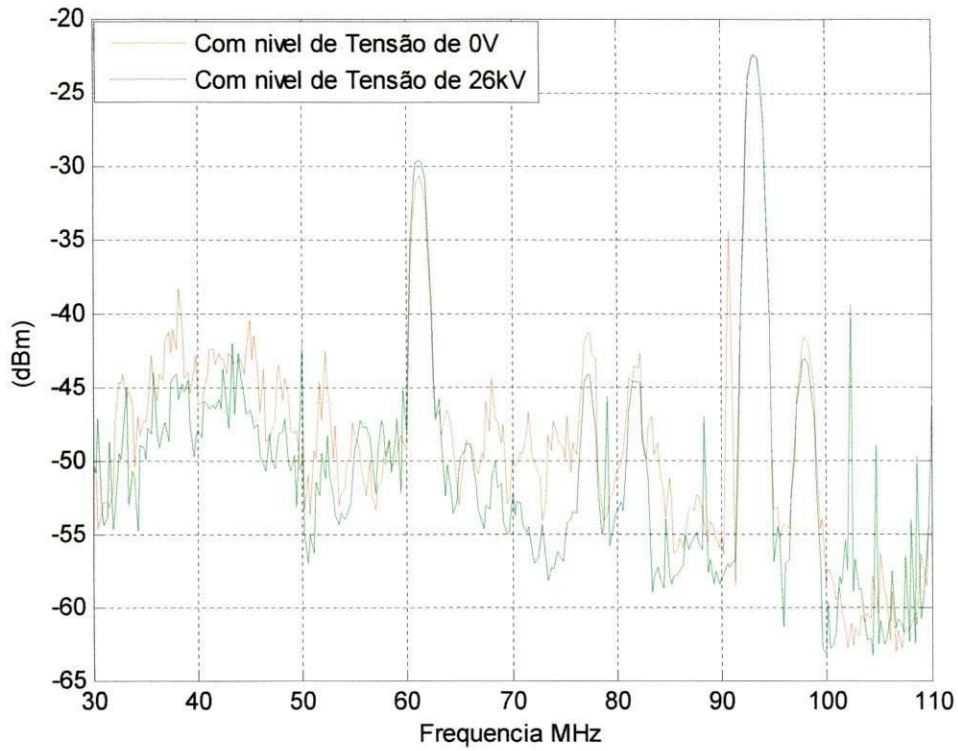


Figura 44 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 26 kV) no isolador limpo.

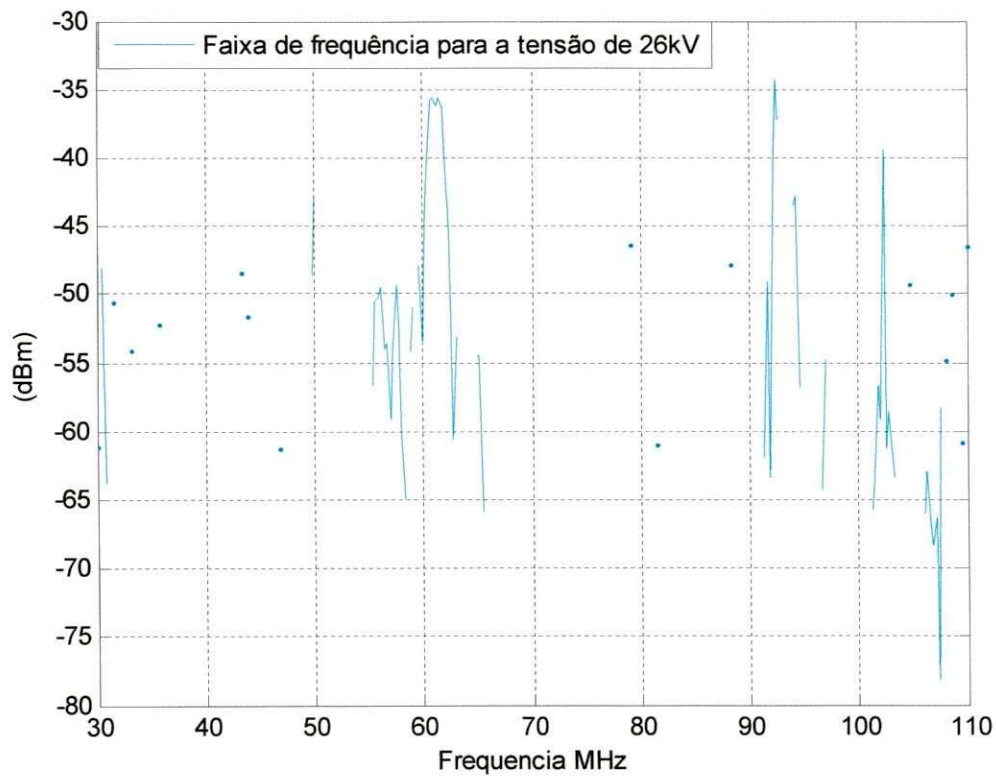


Figura 45 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 26 kV e 0 V no isolador limpo.

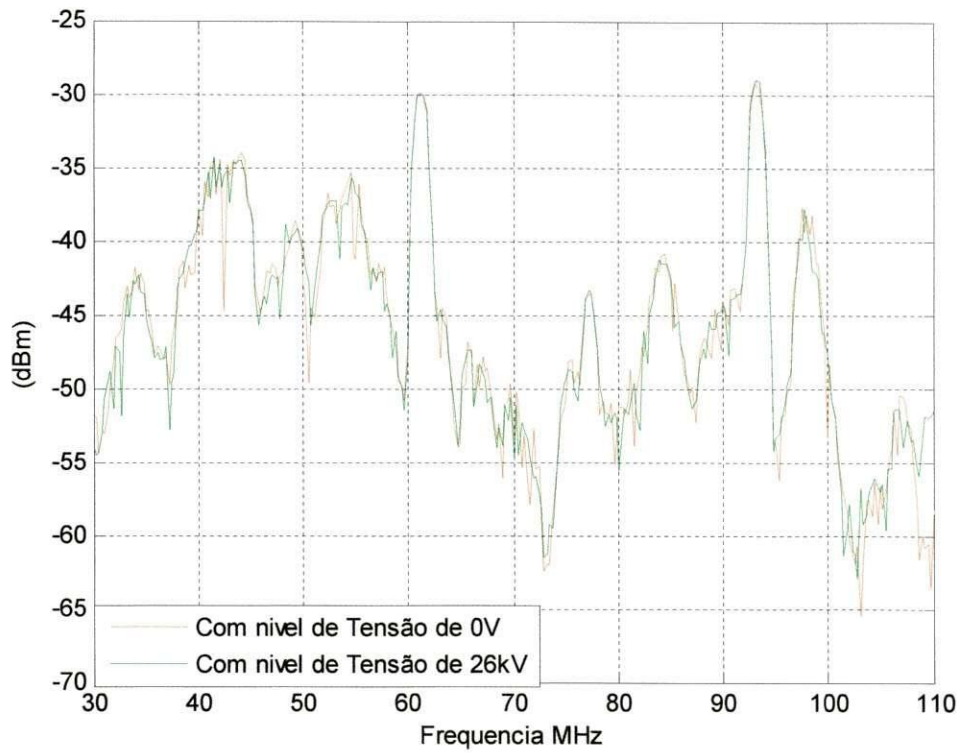


Figura 46 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para dois níveis de tensão (0 V e 26 kV) no isolador limpo.

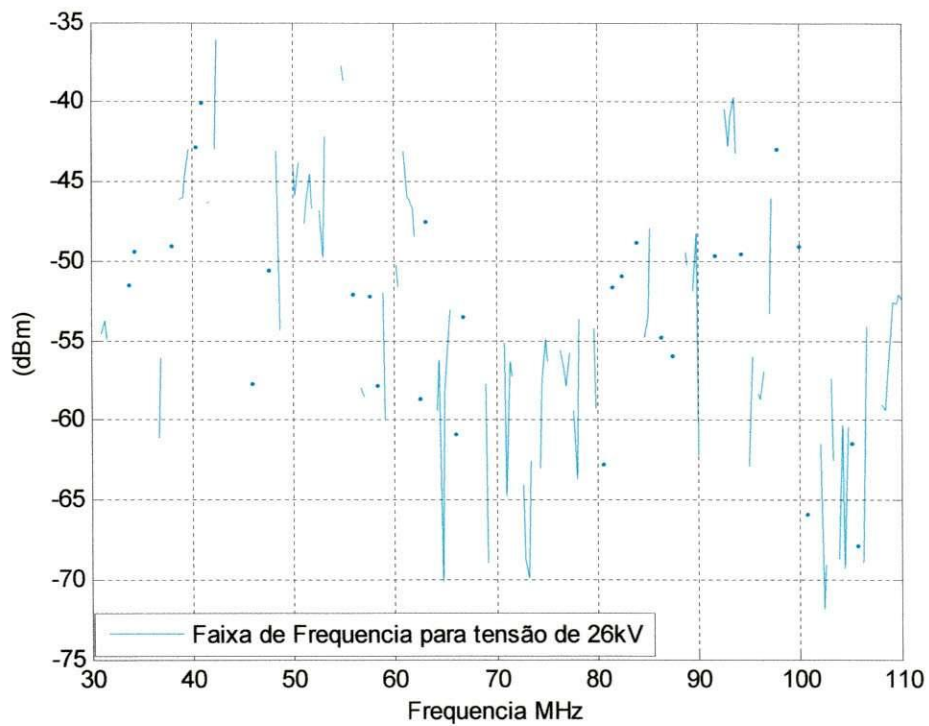


Figura 47 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre os sinais com nível de tensão de 26 kV e 0 V no isolador limpo.

Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído.

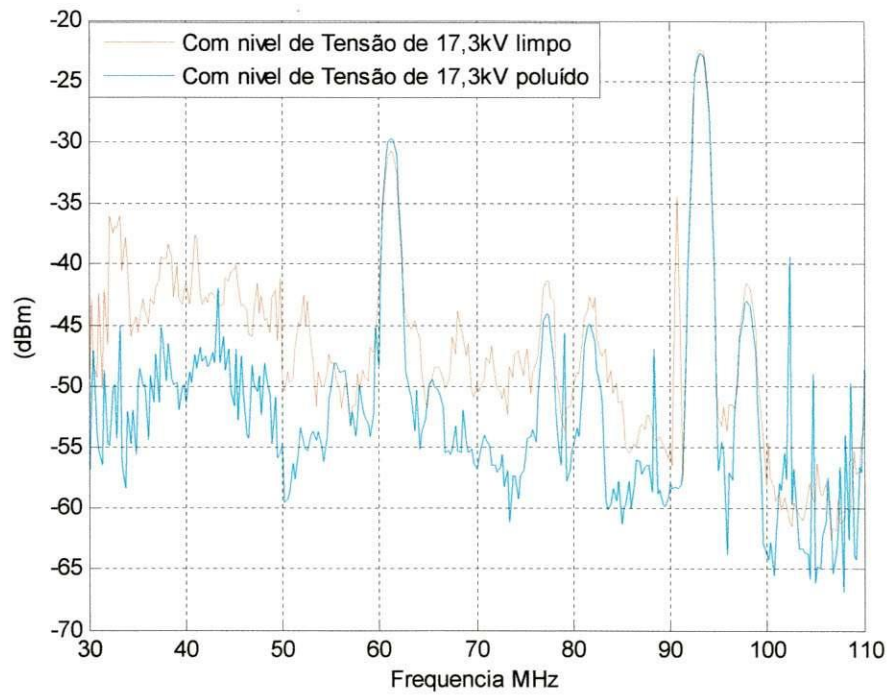


Figura 48 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 17,3 kV.

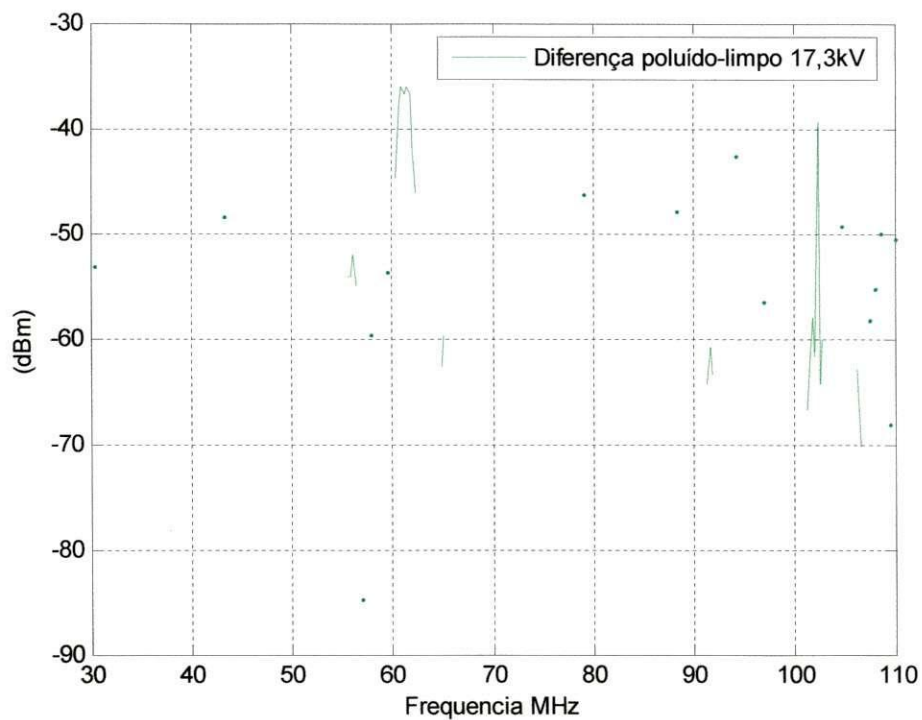


Figura 49 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 17,3 kV.

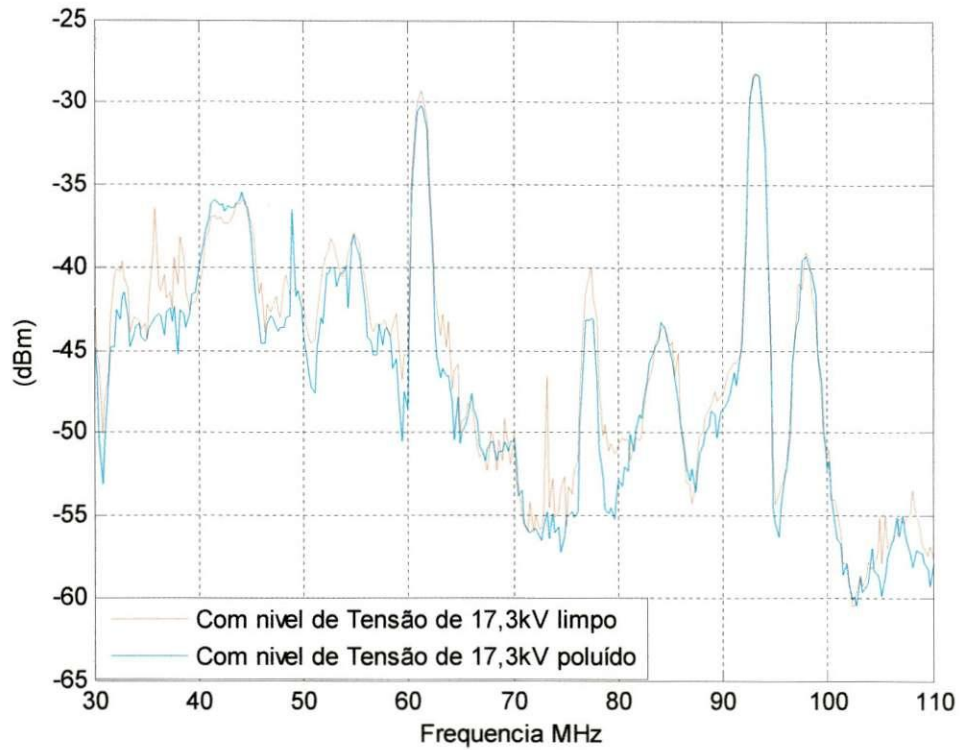


Figura 50 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 17,3 kV.

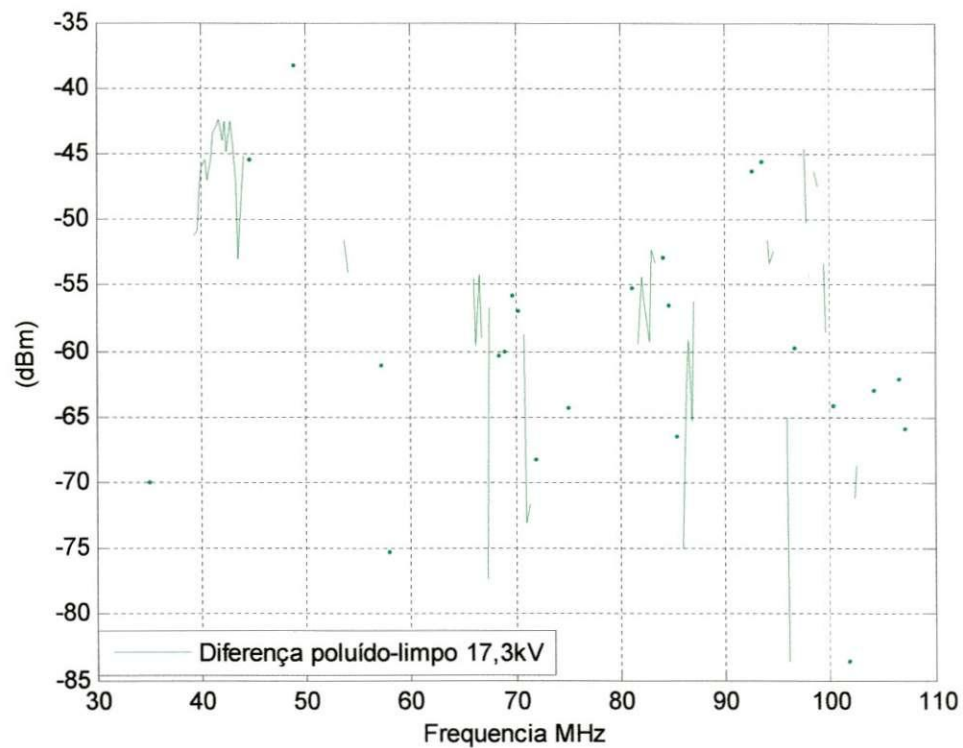


Figura 51 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 17,3 kV.

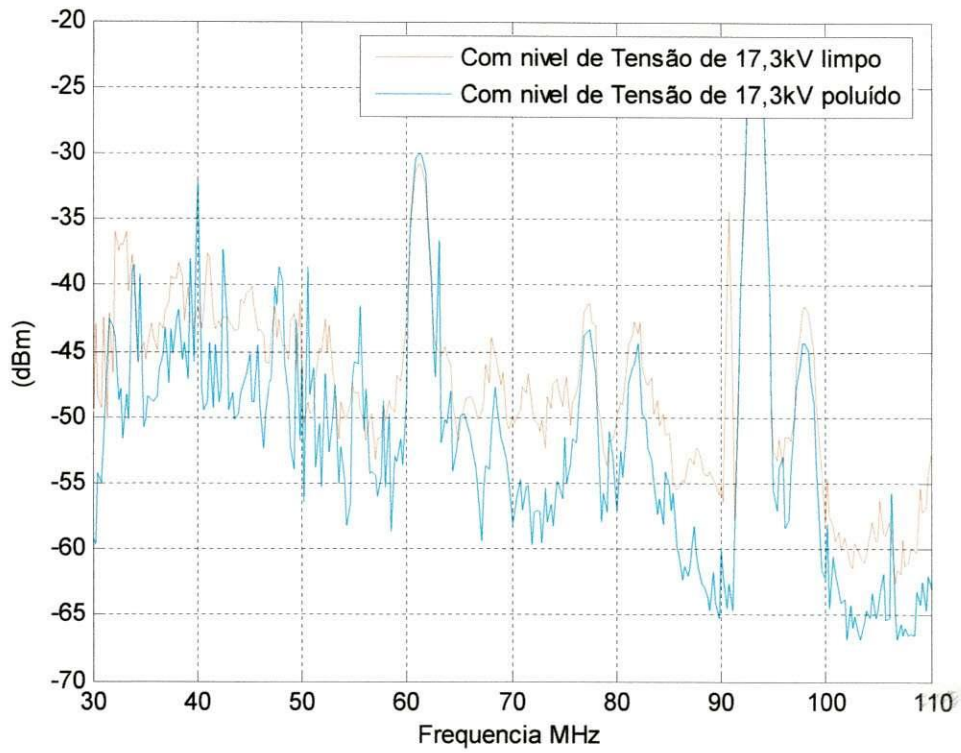


Figura 52 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 17,3 kV.

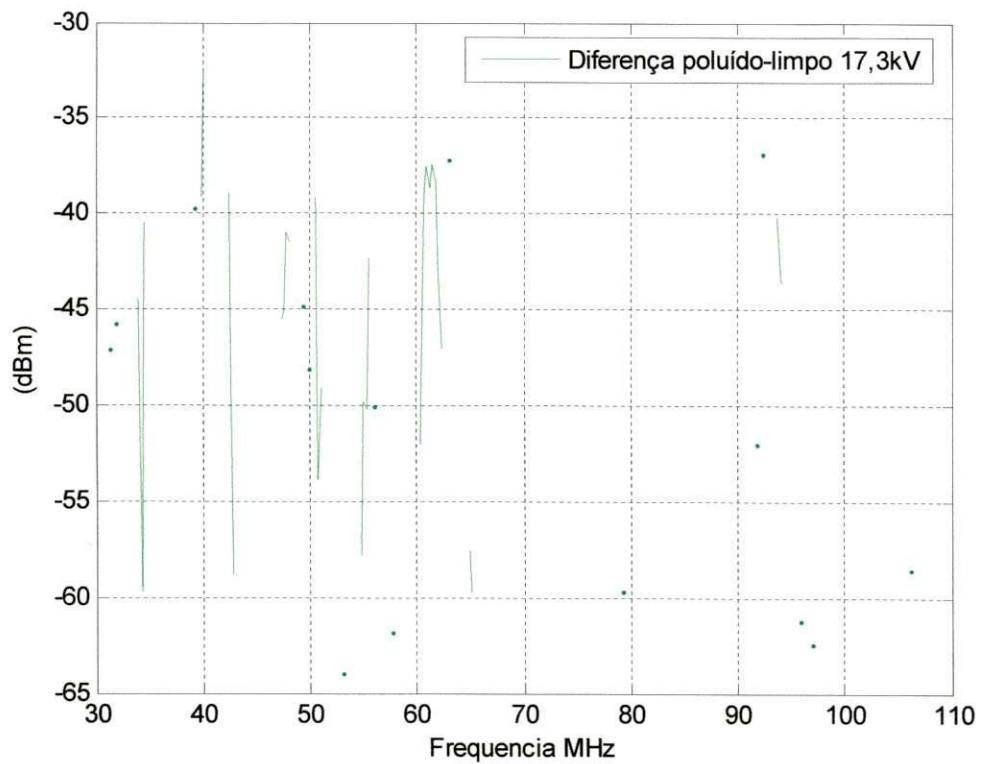


Figura 53 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 17,3 kV.

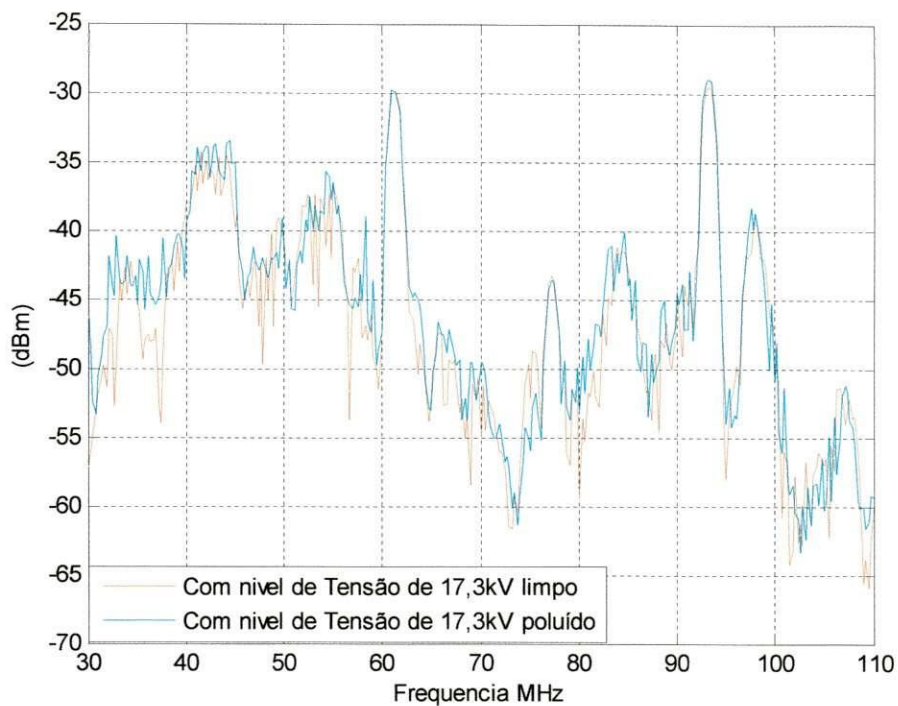


Figura 54 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 17,3 kV.

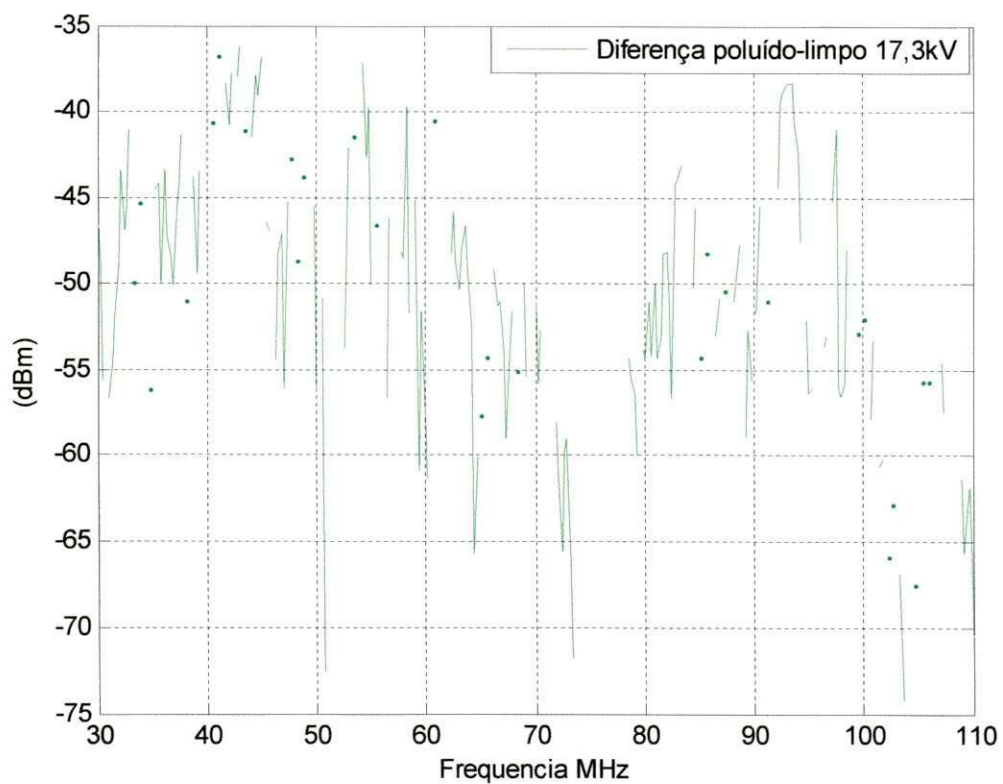


Figura 55 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 17,3 kV.

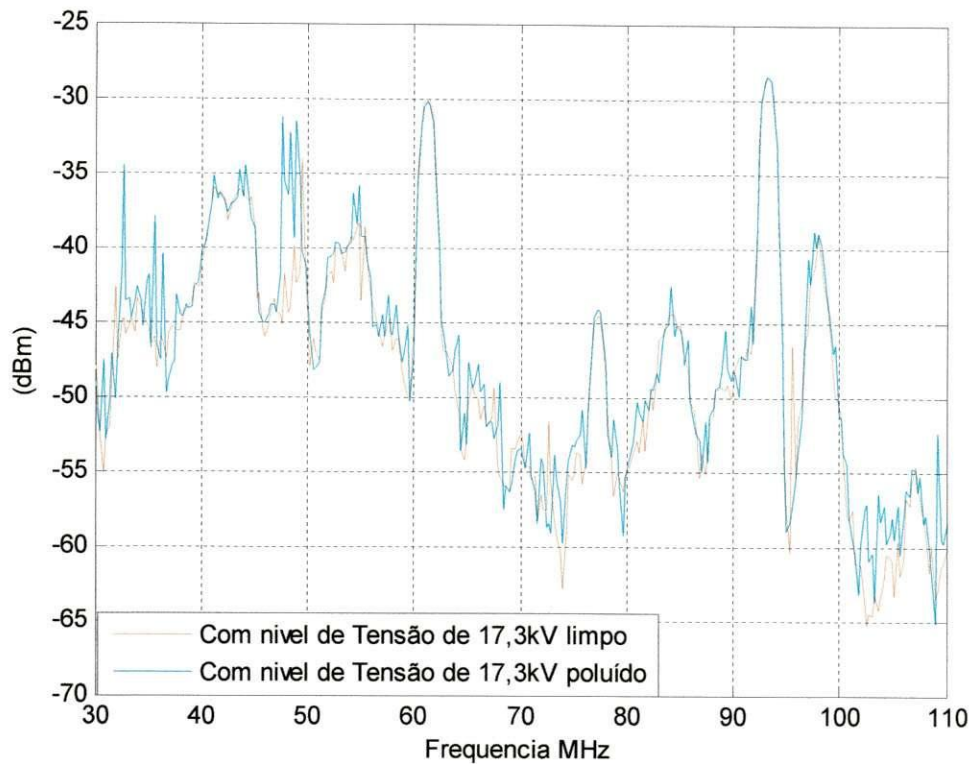


Figura 56 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 17,3 kV.

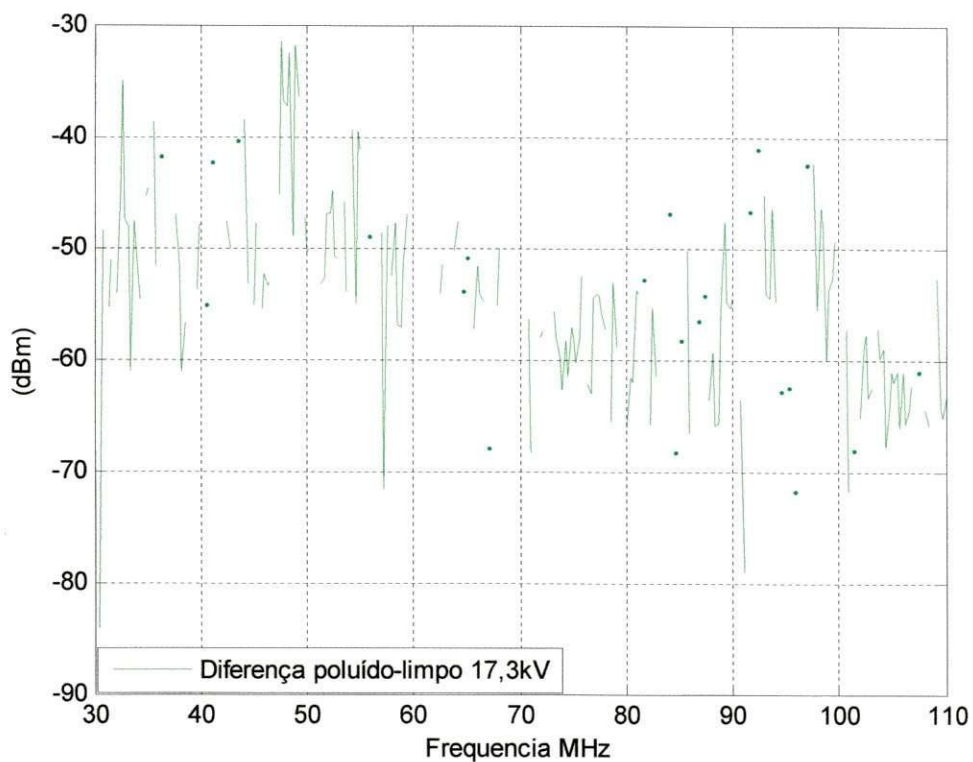


Figura 57 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 17,3 kV.

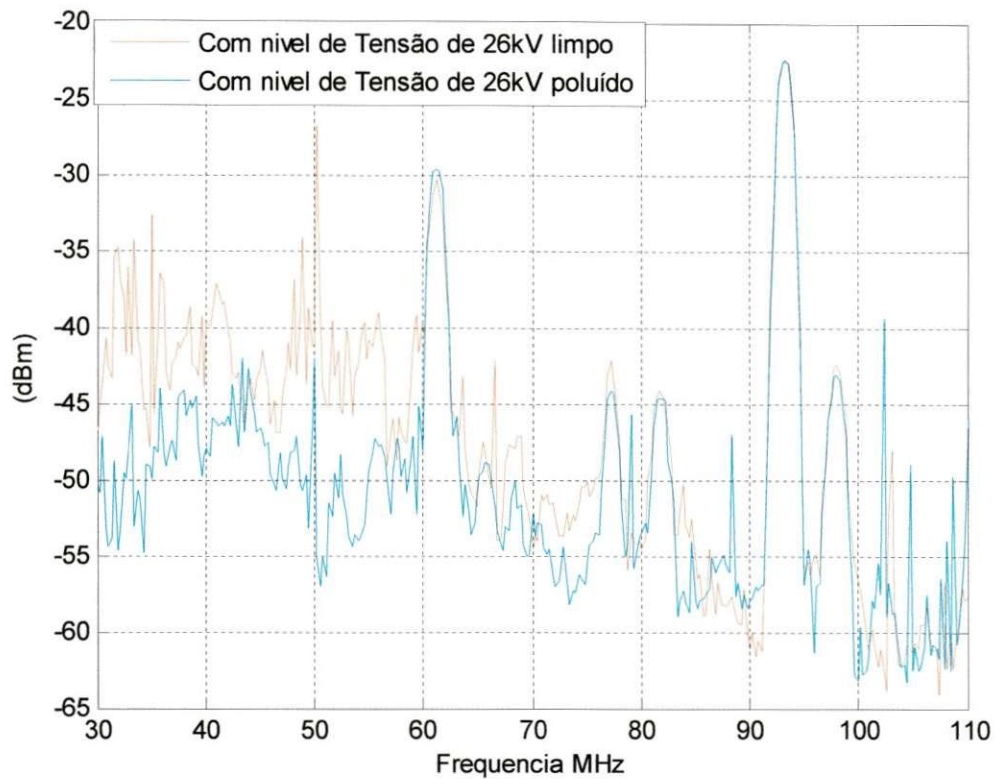


Figura 58 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 26 kV.

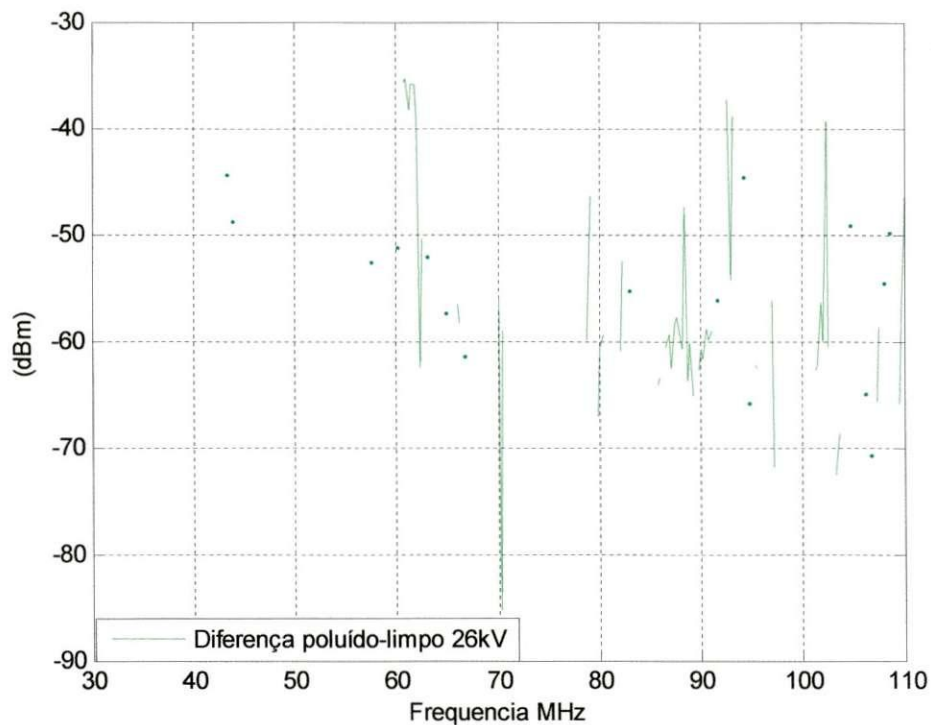


Figura 59 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 26 kV.

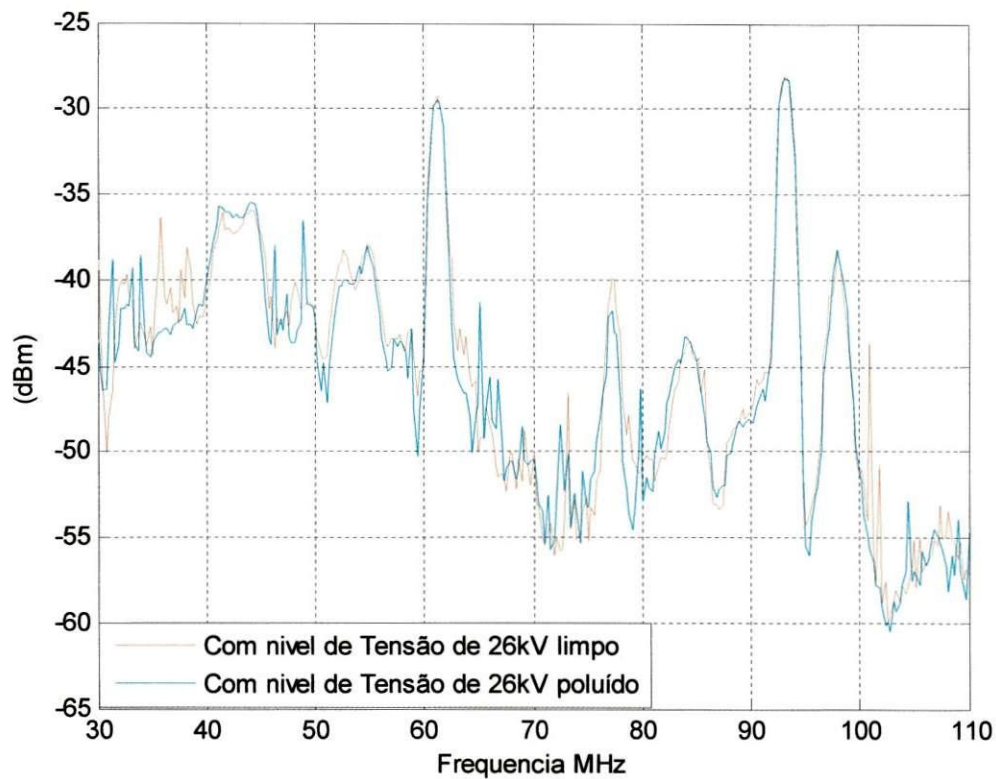


Figura 60 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 26 kV.

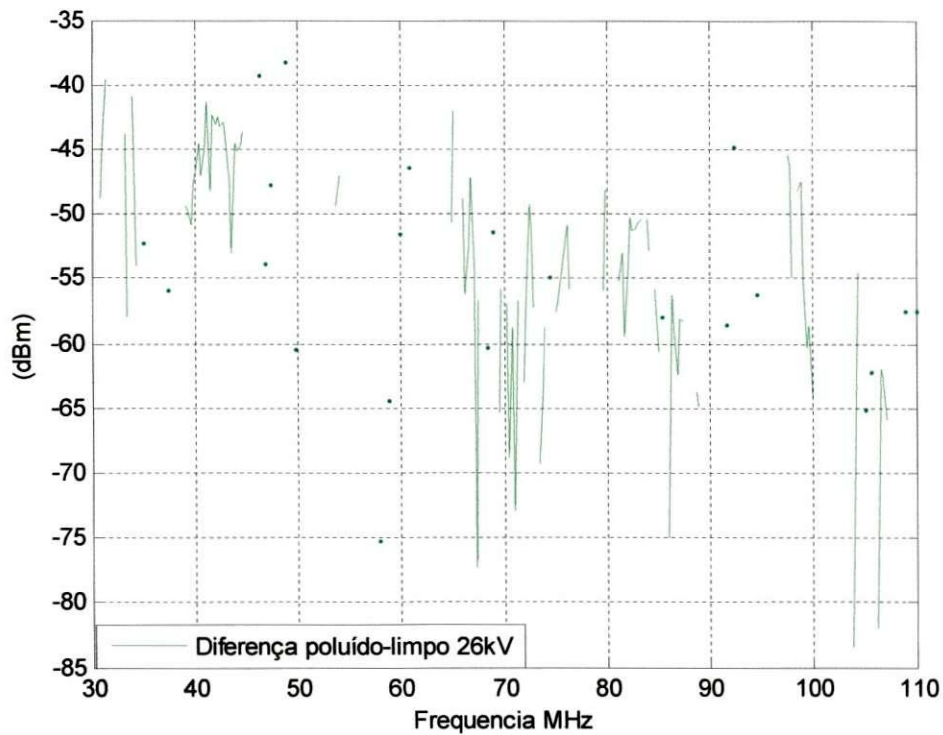


Figura 61 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 26 kV.

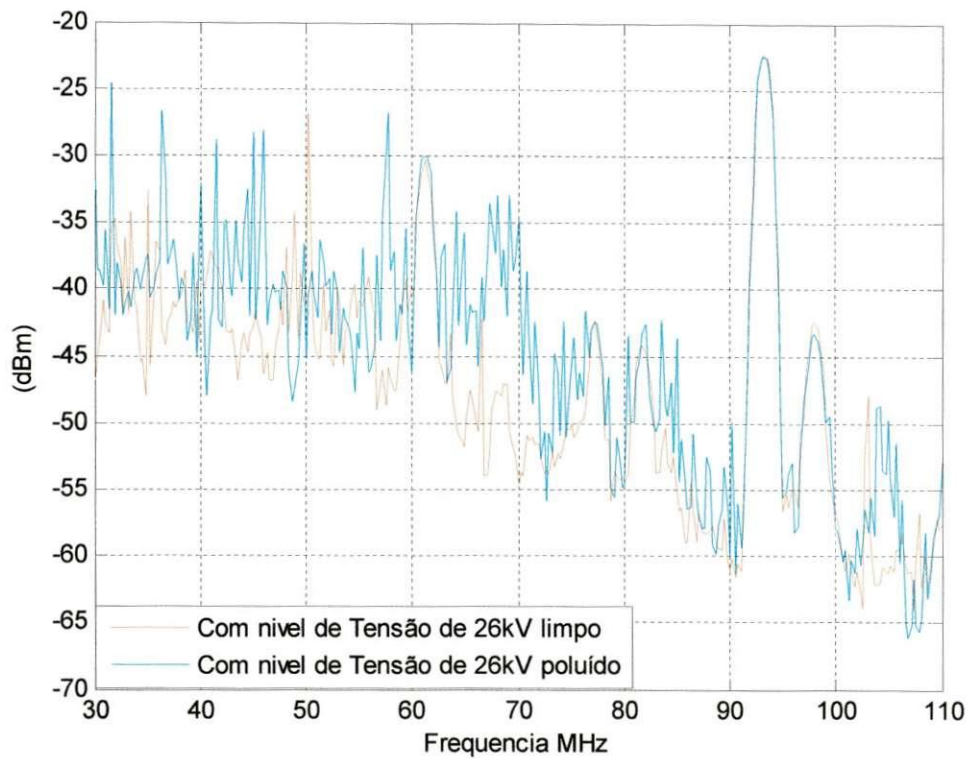


Figura 62 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 26 kV.

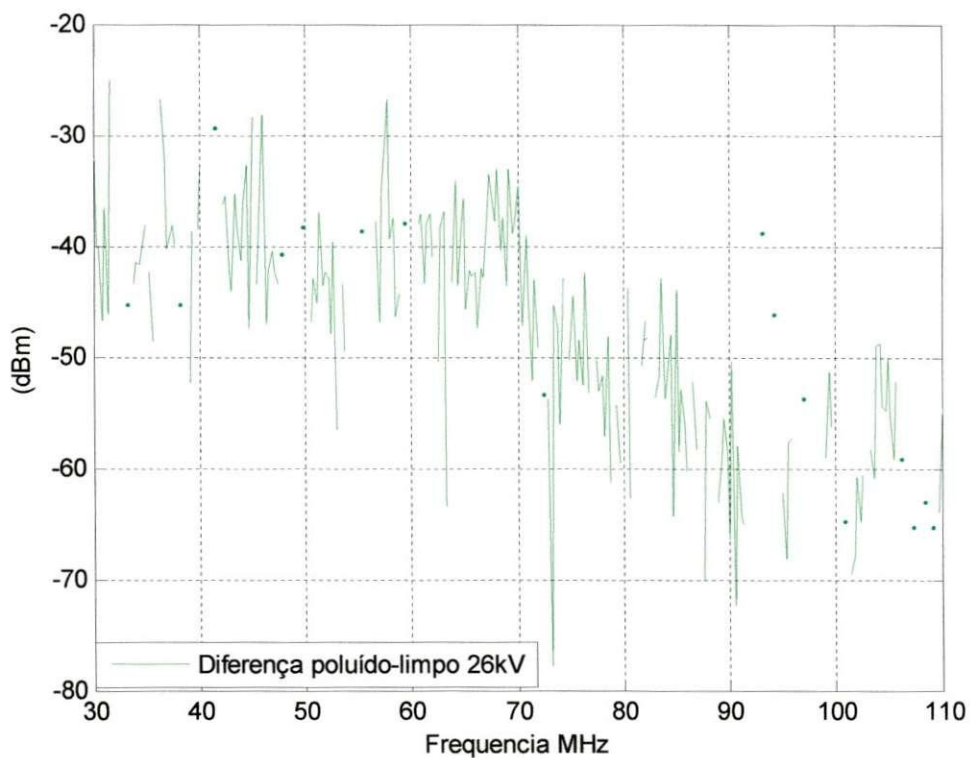


Figura 63 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 26 kV.

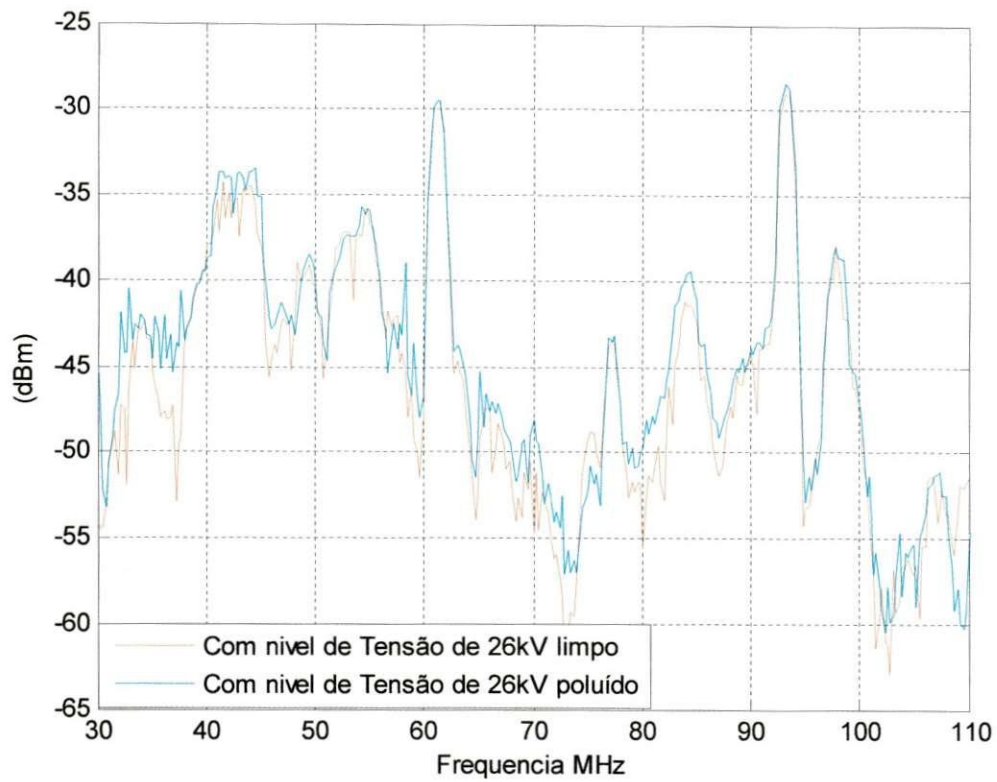


Figura 64 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 26 kV.

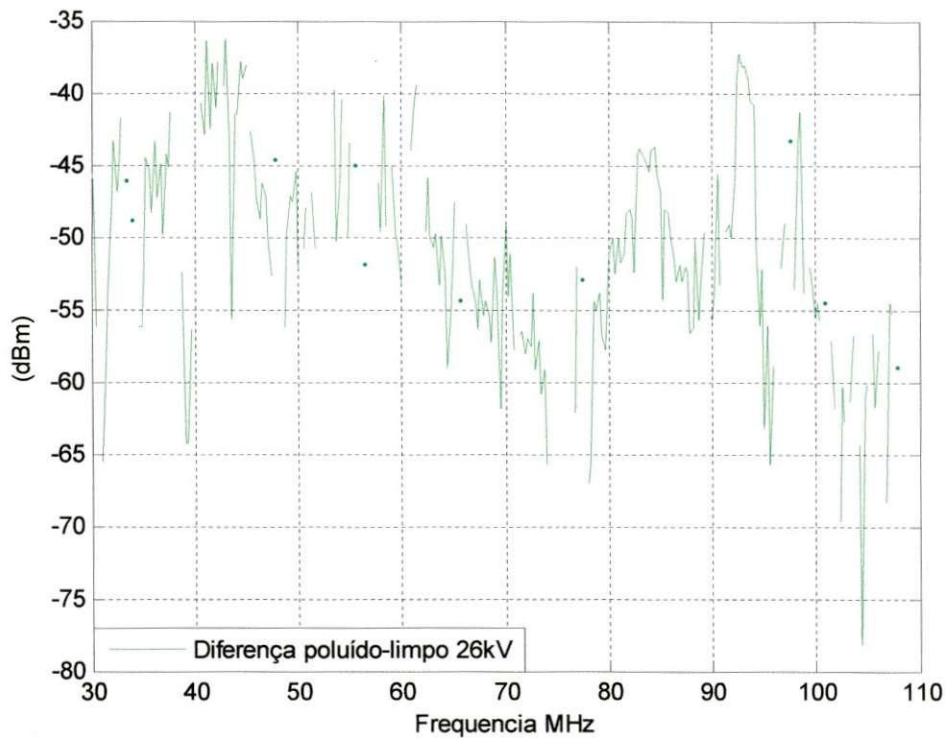


Figura 65 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 26 kV.

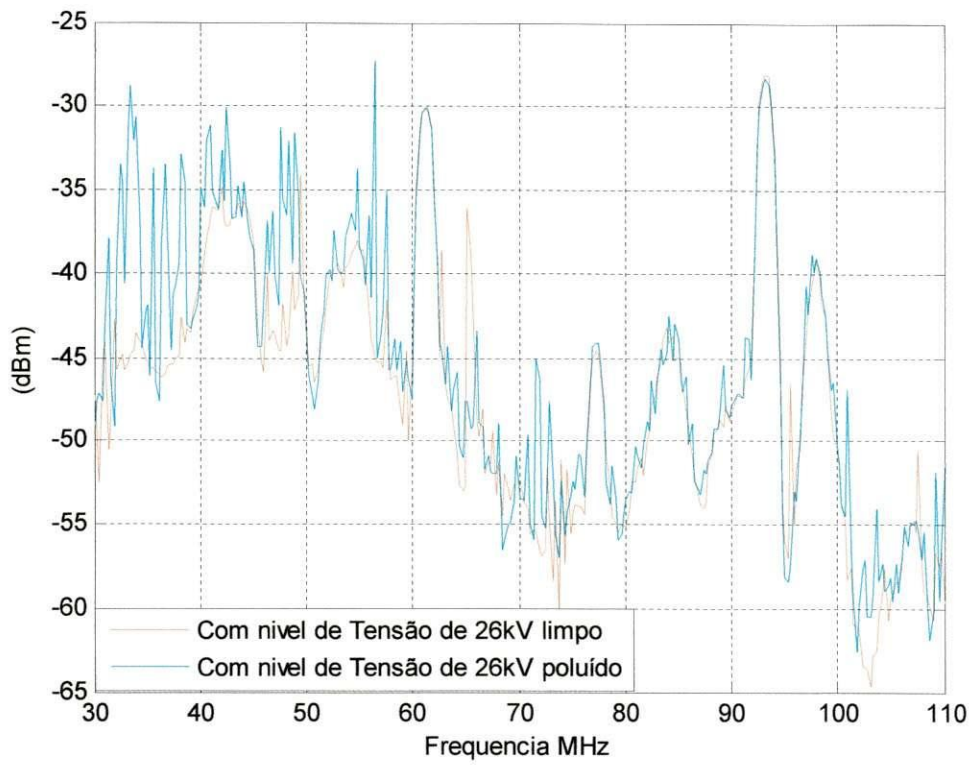


Figura 66 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para o isolador limpo e poluído no nível de tensão de 26 kV.

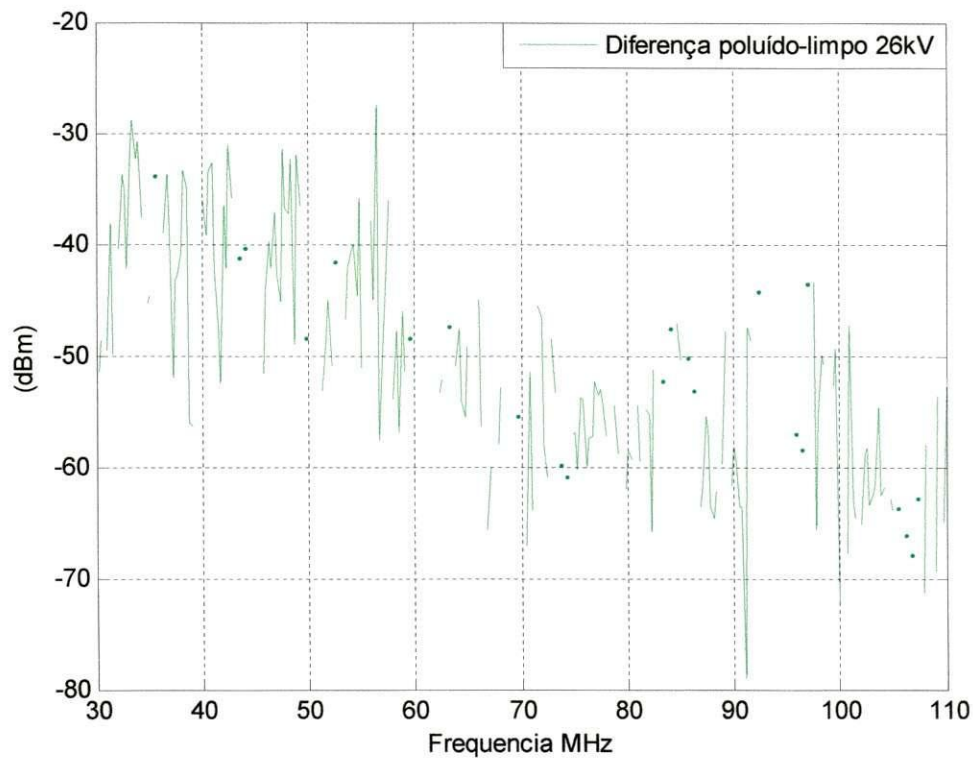


Figura 67 - Gráfico da intensidade de potência irradiada versus a frequência para a diferença positiva entre isolador poluído e limpo no nível de tensão de 26 kV.