

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO
CURRICULAR SUPERVISIONADO**

Orientador: Edson Guedes

Aluno: José Carlos Pacheco Porpino
Mat.: 20111226
Curso: Engenharia Elétrica

Campina Grande, 5 de dezembro de 2002



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus, Senhor de toda a ciência e conhecimento.

Agradeço a meus pais por me proporcionarem as condições para está terminando o curso de graduação em Engenharia Elétrica.

Agradeço de forma especial ao professor Edson Guedes por toda sua ajuda e orientação.

Agradeço a todos que de forma direta e indireta contribuíram para a realização deste trabalho, sobretudo os funcionários do LAT.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
APRESENTAÇÃO	4
1 CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE VARISTORES DE ÓXIDO DE ZINCO	5
1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
1.1.1 PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS VARISTORES DE ÓXIDO DE ZINCO.	6
1.2 PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS	8
1.2.1 ENSAIO 1 - DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DIELETRICA E TANGENTE DE PERDAS	8
1.2.2 ENSAIO 2 - DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA (IxV)	10
1.3 DADOS OBTIDOS	11
2 MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO	15
2.1 MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE	15
2.2 MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE TERRA	17
2.2.1 PERIODICIDADE DAS MEDIÇÕES	19
2.3 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE TERRA DA ERB DA TELEMAR	19
2.3.1 RESULTADO DAS MEDIÇÕES	20
3 AVALIAÇÃO DA MALHA DE ATERRAMENTO DA ARTECOLA	22
3.1 MANUSEIO DE PRODUTOS INFLAMÁVEIS	22
3.1.1 REQUISITOS DA EMBALAGEM DO PRODUTO	22
3.1.2 REQUISITOS DOS EQUIPAMENTOS/DISPOSITIVOS PARA ENVASE	23
3.1.3 SISTEMA DE ATERRAMENTO	23
3.2 SISTEMA DE ATERRAMENTO DA ARTECOLA	24
4 INSPEÇÃO E ENSAIOS DO TRANSFORMADOR BIFÁSICO DA CELB	25
4.1 DADOS DO TRANSFORMADOR	25
4.2 INSPEÇÃO VISUAL	25
4.3 ENSAIO DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	26
4.3.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	27
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	27
4.4.1 RESULTADOS DO ENSAIO RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO	27
4.5 ENSAIO DA RIGIDEZ DIÉLETRICA DO ÓLEO ISOLANTE	28
4.6 ANÁLISE DOS ENSAIOS	29
CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
BIBLIOGRAFIA	31

APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é fruto dos relatos das atividades do estágio curricular desenvolvidas no Laboratório de Alta Tensão, doravante denominado LAT, sob a orientação de professor Edson Guedes. Durante o estágio foram realizados vários ensaios nas dependências do LAT e em campo.

Os ensaios realizados tiveram como objetos de teste dispositivos e equipamentos elétricos, como varistores e transformadores, bem como em malhas de aterramento. Durante o estágio foram realizadas algumas visitas a Fábrica de colas Artecola para avaliação da sua malha de aterramento.

O relatório está dividido conforme as atividades desenvolvidas, o relato de cada atividade é precedido por uma fundamentação teórica sucinta e pertinente aos objetivos do estágio. Na primeira parte do relatório são descritos os ensaios para a caracterização elétrica de varistores de Óxido de Zinco (ZnO) fabricados no Departamento de Engenharia de Materiais. Na segunda parte são relatados os ensaios de medição da resistência de terra das malhas de aterramento de Estações Rádio Base (telefonia celular) da Telemar. Na terceira parte do relatório são descritas as observações da avaliação da malha de aterramento da Artecola. Por fim, são descritos os ensaios realizados em um transformador bifásico.

1 CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE VARISTORES DE ÓXIDO DE ZINCO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) do Departamento de Engenharia Elétrica mantém uma parceria com o Departamento de Engenharia de Materiais, o qual desenvolve trabalhos de pesquisa e fabricação de varistores de óxido de zinco, recorrendo ao LAT para a realização dos ensaios necessários para a caracterização elétrica dos varistores.

Foi realizada uma série de ensaios para se determinar a capacitância, a constante dielétrica (permissividade dielétrica, ϵ_r) e o fator de dissipação dielétrica (tangente de perdas, $\text{tg}\delta$) dos varistores, bem como a curva característica corrente versus tensão (densidade de corrente versus campo elétrico).

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os varistores são dispositivos eletrocerâmicos com características corrente-tensão não-lineares. Os varistores também são conhecidos como: resistores não-lineares, resistores variáveis, supressores de surto e limitadores de tensão.

Até o final da década de 60, os varistores utilizados eram constituídos por carboneto de silício (SiC). Estes varistores apresentavam uma baixa não-linearidade, necessitando do uso de Silício. Apresentando, ainda, outras deficiências, como a utilização de centelhadores-série. Com a evolução da ciência dos materiais, em 1968 a Matsushita Electric descobriu as características não-lineares de um composto cerâmico à base de óxido de Zinco. Os varistores à base de óxido de zinco apresentam uma alta não-linearidade e características elétricas e térmicas mais aperfeiçoadas.

Como os varistores à base de ZnO apresentam alta capacidade de absorção de energia, pesquisas foram desenvolvidas para a sua utilização em sistemas de potência. A partir de 1975, pára-raios de ZnO são utilizados nos sistemas de chaveamentos, distribuição, subtransmissão e transmissão de energia elétrica, como supressores de sobretensões temporárias e surtos atmosféricos e de manobra.

Atualmente, os varistores de ZnO possuem uma vasta aplicação na engenharia elétrica, sendo comumente utilizado para proteger equipamentos eletrônicos, aparelhos de telecomunicações, equipamentos de informática, industriais, de eletrônica de potência, em

pára-raios em linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica. Usualmente o dispositivo de proteção é conectado entre a linha e a terra, com a finalidade de limitar a sobretensão a níveis compatíveis com o isolamento dos outros equipamentos do sistema elétrico.

1.1.1 PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS VARISTORES DE ÓXIDO DE ZINCO.

CARACTERÍSTICA I x V

A mais importante propriedade dos varistores de óxido de zinco é a sua característica não-linear, $I \times V$ ($J \times E$), mostrada na Figura 1. Funcionalmente, um varistor ou um pára-raios atua como um isolante (resistor com alta resistência) antes de atingir a tensão conhecida como tensão de ruptura e atua como condutor ao ultrapassá-la. As características não-lineares ou não ôhmicas no módulo condutivo e a baixa corrente de fuga na tensão de operação em regime, no módulo resistivo, adicionadas à alta capacidade de absorção térmica, fizeram o varistor atrativo para as aplicações elétricas de potência. As características elétricas podem ser ressaltadas nas três regiões da curva, conforme é mostrado na Figura 1.

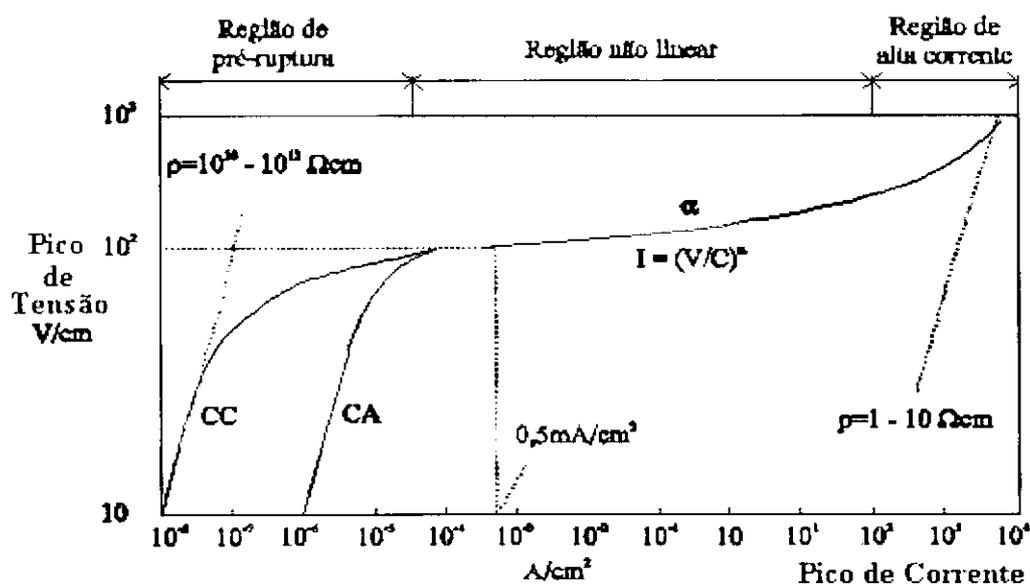


Figura 1: Curva característica de uma varistor de Óxido de Zinco

EXPOLENTE DE NÃO-LINEARIDADE (α)

O expoente de não-linearidade, α , é o parâmetro elétrico mais importante dos varistores. O expoente α é definido no patamar da curva característica $J \times E$ (I-V). Quanto maior for o valor de α , melhor será o dispositivo.

PERMISSIVIDADE DIELÉTRICA OU CONSTANTE DIELÉTRICA

O capacitor é um componente elétrico constituído por dois eletrodos separados por um espaçamento. O varistor se assemelha a um capacitor quando está na região linear de baixa corrente. A camada intergranular funciona como um meio dielétrico e os grãos funcionam como os eletrodos de um capacitor. Faraday mostrou experimentalmente que a capacitância de um capacitor cresce se o espaço entre os condutores for preenchido com um material dielétrico. Considerando C_0 a capacitância de um capacitor sem matéria entre os eletrodos e C , uma capacitância quando o espaço entre os eletrodos é preenchido com um dielétrico. A permissividade intrínseca de um material dielétrico é definida como a razão:

$$\epsilon_r = C/C_0$$

O valor de ϵ_r , de um material dielétrico, pode ser determinado experimentalmente, medindo-se a capacitância no vácuo (quase vácuo) e a capacitância do capacitor com o dielétrico. ϵ_r é comumente conhecido por constante dielétrica.

No SI de unidades, a constante dielétrica de um material dielétrico é definida como:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

onde $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ F/m. ϵ_0 representa a permissividade do vácuo.

Um dielétrico ideal não apresenta perdas e seu comportamento em um campo elétrico pode ser completamente descrito por sua constante dielétrica. ϵ_r expressa em escala macroscópica, o resultado da interação do campo elétrico aplicado externamente com os átomos ou moléculas do material.

A constante dielétrica, ϵ_r , depende de vários fatores, tais como: frequência da tensão aplicada ao dielétrico; amplitude da tensão aplicada ao dielétrico; temperatura; pressão; umidade e polarização.

PERDAS EM MATERIAIS DIELÉTRICOS E O FATOR DE DISSIPACÃO DIELÉTRICA ($\text{tg } \delta$):

O dielétrico quando usado como isolante, tem a função de separar duas massas condutoras que se encontram em potenciais diferentes impedindo ao máximo a passagem de corrente elétrica. Outra função do dielétrico é armazenar energia (ex.: o uso de materiais dielétricos em capacitores). Em qualquer dos casos, existem perdas quando o dielétrico é exposto a um campo elétrico. As perdas dependem de vários fatores, tais como: a condutividade intrínseca dos dielétricos, a condutividade intrínseca dos dielétricos, a condutividade superficial, a polarização orientacional e a presença de impurezas.

A condutividade intrínseca deve-se ao fluxo de elétrons livres no dielétrico. Esta condutividade é em geral muito baixa, podendo ser ignorada em bons dielétricos sólidos para uso em baixa tensão.

A condutividade superficial é função das condições da superfície do dielétrico (temperatura, umidade, grau de polimento, poluição da superfície e se o material é polar e solúvel).

1.2 PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS

Os varistores passaram por dois ensaios. O primeiro ensaio teve como objetivos determinar a constante dielétrica, ϵ_r , e a tangente de perdas, $\text{tg}\delta$, a partir da medição da capacitância, C , e os parâmetros, A e B , necessários para a determinação da tangente de perdas. O segundo ensaio teve como objetivo obter a curva característica corrente versus tensão (densidade de corrente versus campo elétrico) a partir de medições de tensão e corrente.

1.2.1 ENSAIO 1 - DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA E TANGENTE DE PERDAS

Para a realização do ensaio foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: uma ponte de medição tipo Schering, um gerador de sinais, um osciloscópio, cabos coaxiais, varistores de óxido de zinco.

O circuito de ensaio é constituído por uma ponte de medição de capacitância e tangente de perdas $\text{tg}\delta$, usada para determinar a constante dielétrica de alguns materiais

isolantes sólidos, líquidos e gasosos, de baixa e alta tensão, em várias frequências. Os métodos de ponte com corrente alternada fornecem os resultados mais precisos para a determinação de capacitância. A ponte Schering se baseia nos princípios, para a obtenção do valor de resistências, da ponte de Wheastone. A Figura 2 mostra o circuito elétrico da ponte tipo Schering para baixa tensão.

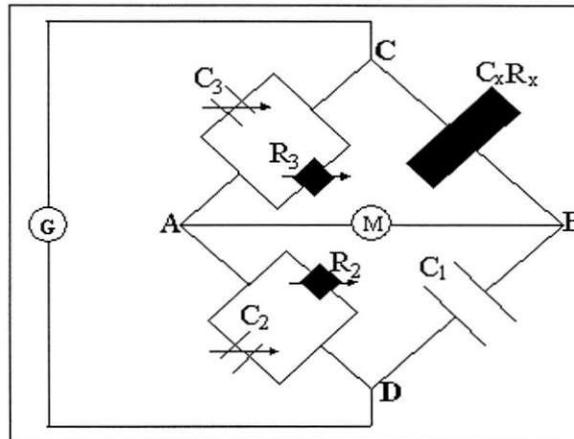


Figura 2: Circuito da Ponte Schering

onde:

- C_x Objeto de teste;
- C_1 capacitor padrão de alta qualidade;
- C_2 capacitância balanceável;
- C_3 capacitância balanceável;
- R_2 resistência balanceável;
- R_3 resistência balanceável;
- M detetor de nulo e
- G gerador de sinal com frequência variável.

O balanceamento da ponte é feito através de sucessivas variações de resistores e capacitores. No equilíbrio, os pontos A e B têm o mesmo potencial. Os produtos das impedâncias dos ramos opostos são iguais. O detetor de nulo utilizado no ensaio foi um osciloscópio, por meio do qual é analisado o sinal senoidal entre os terminais A e B .

A ponte de medição tipo Schering utilizado no ensaio fornece três grandezas: a capacitância do objeto de teste, no caso, o varistor; e os parâmetros A e B.

O parâmetro A, $A = A_1 + A_2$, é uma capacitância equivalente a o capacitor C_2 . O capacitor C_2 possui uma capacitância, variável de forma contínua, A_1 , e de uma capacitância que varia de forma discreta, A_2 , em paralelo com A_1 . O parâmetro B representa o valor $(2\pi R_2)$.

Os valores da capacitância C_x e A são obtidos diretamente da leitura no equipamento (ponte Schering). Enquanto o valor de B é ajustado conforme indicação no equipamento, em função da frequência da fonte de alimentação da ponte.

O fator de dissipação dielétrica é obtido pelo cálculo da expressão:

$$\text{tg}\delta = A.B.f \quad ; \text{ onde } f = \text{frequência}$$

As amostras de materiais isolantes sólidos têm formas e dimensões definidas, logo a constante dielétrica é obtida pela expressão:

$$\epsilon_r = (C_x \cdot d) / (\epsilon_0 \cdot A)$$

onde:

A = área de seção transversal;

d = espessura da amostra;

C_x = capacitância medida.

Os varistores foram ensaiados em três frequências: 100Hz, 1KHz 10KHz. Os resultados obtidos estão nas Tabelas 1.

1.2.2 ENSAIO 2 - DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA (IxV)

Para a realização do ensaio foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: um Autotransformador (VARIAC) 220V/0-220V, um transformador 220V/2000V-1,15KVA, um osciloscópio, dois multímetros, Suporte com terminais (para os varistores), cabos.

A curva característica do varistor é obtida experimentalmente, submetendo o varistor a uma larga faixa de valores de tensão senoidal e verificando a corrente a no varistor. A curva densidade de corrente versus campo elétrico é obtida a partir dos valores calculados pelas expressões:

$$J = I/A \quad ; \text{ onde: } A = \text{área da seção transversal do varistor};$$

$$E = V/d \quad \quad \quad d = \text{espessura do varistor.}$$

O circuito de ensaio é mostrado na Figura 3. A fonte de tensão de 220V alimenta um variômetro que energiza um transformador 220V/2000V. Varia-se a intervalos regulares os valores de tensão, medidos no voltímetro, e são medidos os correspondentes valores de corrente. O nível máximo de tensão imposta aos varistores no ensaio foi de 600V. Os dados obtidos estão nas Tabelas 2.

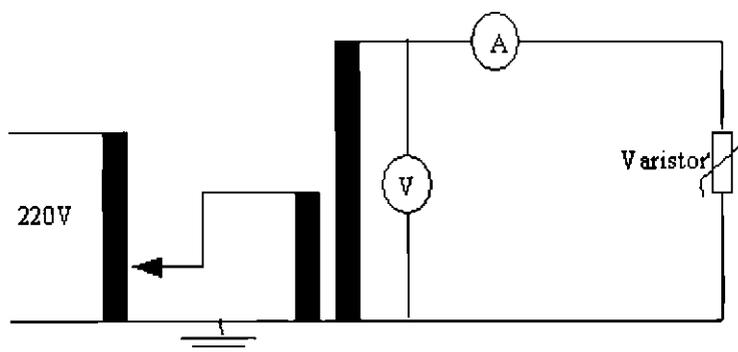


Figura 3: Circuito de ensaio para obtenção da curva característica dos varistores

1.3 DADOS OBTIDOS

Na Tabela 1 estão relacionados os resultados obtidos no Ensaio 1, para medição da constante dielétrica e tangente de perdas.

Na Tabela 2 estão relacionados os resultados obtidos no Ensaio 2, para determinação da curva característica.

TABELA 1: Dados dos Ensaio de constante dielétrica e tangente de perdas

Varistor	f (KHz)	A	B	C	tgδ	εr
(1000°C –	0,1	130	0,01	182	0,130	515,4

1 hora)	1,0	80	0,001	200	0,080	566,3
	10	69	0,0001	185	0,069	523,9
(1000°C – 2 horas)	0,1	310	0,01	40	0,310	126,0
	1,0	148	0,001	36	0,148	113,0
	10	102	0,0001	33	0,102	104,0
(1100°C – 1 hora)	0,1	343	0,01	95	0,343	259,37
	1,0	348	0,001	120	0,348	345,84
	10	252	0,0001	98	0,252	282,43
(1100°C – 2 horas)	0,1	327	0,01	230	0,327	687,17
	1,0	185	0,001	325	0,185	971,00
	10	90	0,0001	300	0,090	896,31
(1200°C – 1 hora)	0,1	252	0,01	540	0,252	1618,08
	1,0	106	0,001	500	0,106	1498,22
	10	49	0,0001	460	0,049	1378,37

Tabela 2: Dados dos Ensaios para levantamento da curva característica dos varistores

Varistor (1000°C - 1 hora)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

E (V/m)	122,8	228,8	300,8	394,1	474,6	584,7	661,0	762,7	826,0	887,1	961,8
J (mA/cm ²)	3,2	5,6	7,5	9,8	11,8	14,7	16,6	19,2	20,8	22,1	24,3
Varistor (1000°C – 2 horas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E (V/m)	92,7	221,8	310,5	362,9	504,0	633,1	697,6	790,3	887,1	1012,1	1076,6
J (mA/cm ²)	0,6	3,3	5,9	7,5	11,3	14,2	15,8	18,0	19,2	23,8	24,0
Varistor (1100°C – 1 hora)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E (V/m)	168,1	260,5	382,4	491,5	579,8	689,1	823,5	1050,4	1155,5	1319,3	1512,6
J (mA/cm ²)	6,2	10,4	16,5	21,4	25,3	30,1	36,0	46,5	51,1	58,5	67,3
Varistor (1100°C – 2 horas)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E (V/m)	124,5	313,3	437,8	481,9	626,5	763,1	863,5	975,9	1068,3	1204,8	
J (mA/cm ²)	7,	19,3	26,4	29,4	37,4	44,3	50,5	56,5	61,6	68,5	
Varistor (1200°C – 1 hora)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

E (V/m)	157,9	295,5	437,7	562,8	728,7	854,3	983,8	1153,8	1259,1	1396,8	1550,6
J (mA/cm ²)	12,7	21,5	41,9	53,7	89,1	107,4	193,3	429,5	805,2	2147,2	9877,4

Nas Figuras 4 e 5, é possível se observar a diferença entre um varistor que apresentou curva linear e outro que apresentou curva não-linear, através da análise dos gráficos.

2 MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

O projeto de uma malha de aterramento, além de definir a topologia e os aspectos construtivos, deve definir o valor da resistência da malha, tensão de toque e de passo. Logo, é necessário medir o valor da resistividade do solo.

A resistência de terra é o parâmetro mais importante de uma malha de aterramento, sendo, portanto, necessário a realização de medições da resistência de terra para averiguar se o valor está próximo do recomendado pela NBR 5419. A Norma NBR 5419 exige uma resistência de aterramento de no máximo 10Ω .

2.1 MEDIÇÃO DE RESISTIVIDADE

Os dois principais métodos para medição de resistividade para fins de aterramento são o Método de Wenner, muito utilizado no Brasil, e o Método de Schlumberger, mais utilizado nos Estados Unidos.

A medição é realizada conforme a Figura 4, são alinhadas quatro hastes simétricas em relação ao centro, onde as duas hastes internas são eletrodos de medição de potencial, **P1** e **P2**, e as duas externas são eletrodos de injeção de corrente, **C1** e **C2**.

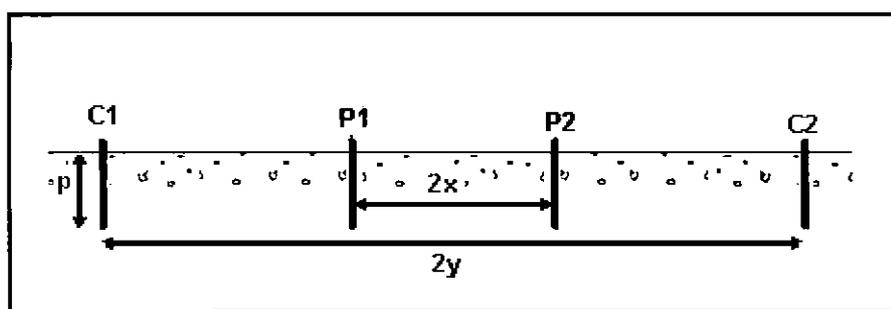


Figura 4: Arranjo para medição de resistividade do solo

O valor da resistência será dado pela equação: $R = \frac{\Delta V}{I}$

A diferença entre o Método de Wenner e o de Schlumberger está na distância entre as hastes. No Método de Wenner, as hastes estão separadas pela mesma distância. No Método de Schlumberger, a distância entre as hastes de potencial costuma ser menor do que a distância entre a haste de potencial e a de corrente. Pode-se dizer que o Método de Wenner é um caso particular do Método de schlumberger, com:

$$x = \frac{d}{2} \quad \text{e} \quad y = 3\frac{d}{2}.$$

O arranjo para medição de resistividade do solo segundo o método de Wenner é mostrado na Figura 5.

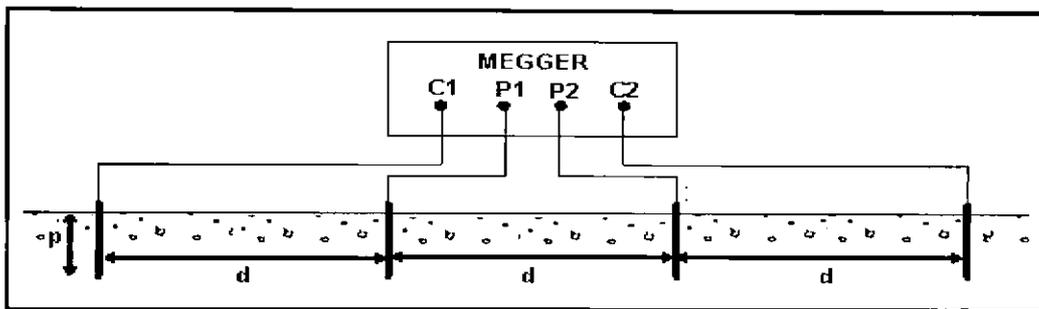


Figura 5: Arranjo para medição de resistividade do solo pelo Método de Wenner

O aparelho utilizado para a medição de resistência de terra é denominado terrômetro ou Megger. Com o valor da resistência medida é necessária uma relação entre a resistência medida e a correspondente resistividade. Na norma NBR 7117 da ABNT, que normaliza o procedimento de medição para o Método de Wenner, consta a Equação (1) da resistividade (ρ) em função da profundidade (p) das hastes e da distância de separação (d).

$$\rho(d, p) = \frac{4dR\pi}{1 + \frac{2d}{\sqrt{d^2 + 4p^2}} - \frac{d}{\sqrt{d^2 + p^2}}} \quad \text{Equação (1)}$$

Se o valor de d é muito maior que a profundidade p , então a Equação (1) é simplificada, resultando na equação 2.

$$\rho(d) = 4dR\pi \quad \text{Equação (2)}$$

Os medidores de resistência de terra comerciais costumam ter uma escala calibrada para resistividade usando a equação 2, devido a sua simplicidade.

Uma seqüência típica para d no método de Wenner é 1, 2, 4, 8, 16, 32 metros, a cada medição seguinte a distância é o dobro, conforme recomendação da NBR 7117. Com as medições efetuadas e tendo-se calculado os valores de resistividade correspondentes são feitas análises. Na Figura 6 são mostrados quatro curvas de resistividade versus a

profundidade para quatro tipos de solos diferentes. A profundidade é espelhada na distância d .

No **Solo A** resistividade diminui com a profundidade, logo o **Solo A** apresenta menor resistividade nas camadas mais profundas. Para este solo deve ser feito um aterramento profundo, com hastes bem longas.

No **Solo B** a resistividade aumenta com a profundidade, logo o **Solo B** apresenta menor nas camadas menos profundas. Para este solo não é necessário fazer um aterramento profundo.

Nos **Solo C** e **D** a resistividade ora aumenta, ora diminui, com a profundidade, sendo necessário um estudo mais detalhado do solo. O solo estratificado em camadas horizontais, para escolher o tipo de aterramento mais adequado.

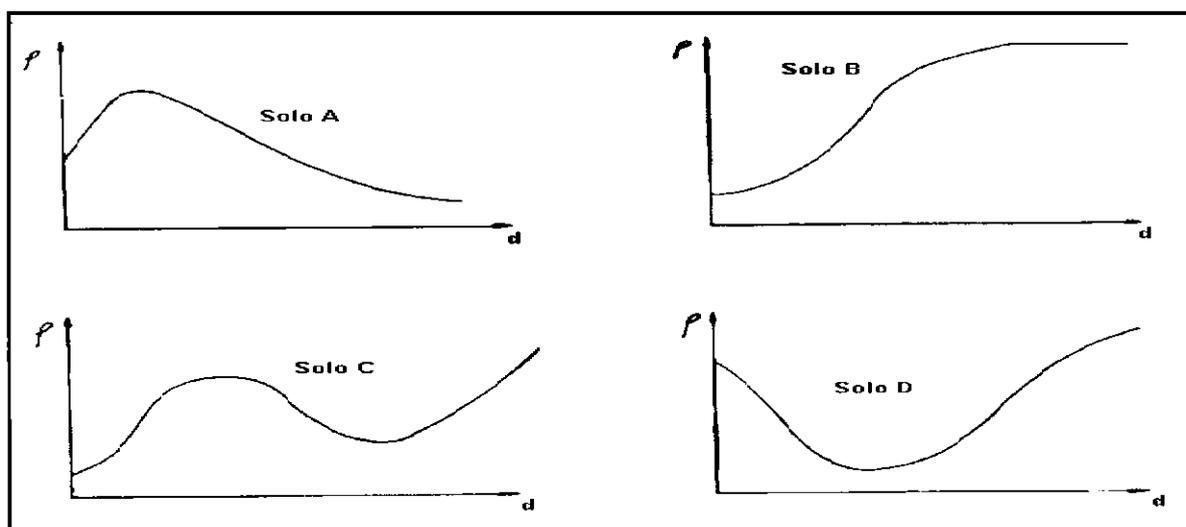


Figura 6: Curvas de resistividade versus profundidade

2.2 MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA DE TERRA

O método mais utilizado para medir a resistência de terra consiste em medir a resistência em função da queda de potencial usando um terra auxiliar, criando uma estrutura composta por uma haste de injeção de corrente e uma haste de medição de potencial, conforme é mostrado na Figura 7.

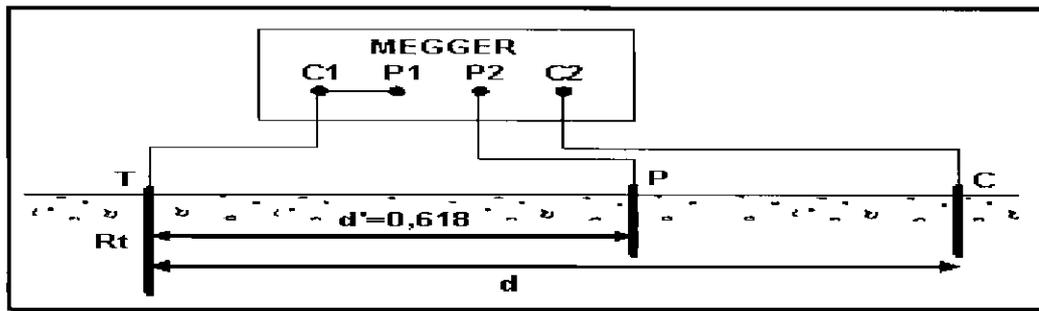


Figura 7: Arranjo para medição de resistência do aterramento pelo Método de Wenner

O eletrodo **T** conectado aos terminais **C1** e **P1** do Megger é o eletrodo de aterramento do qual se deseja medir a resistência **Rt**. Os eletrodos **P** e **C** são, respectivamente, os eletrodos de prova de tensão e corrente.

O eletrodo de corrente **C** é cravado a uma distância **d** do aterramento e permanecerá fixo. O eletrodo de potencial **P** é cravado entre o aterramento **T** e a haste de corrente **C**, a uma distância **d'** do aterramento. É injetada uma corrente no eletrodo de corrente **C** e medida a diferença de potencial entre o eletrodo de potencial **P** e o aterramento **T**. O valor da resistência **Rt** do aterramento é fornecido pelo equipamento de medição Megger.

O valor da resistência de aterramento **Rt** é medido para diversos pontos de localização da haste de potencial, variando-se a distância **d'** a partir do aterramento até o eletrodo de corrente **C**. Com base nos valores medidos é traçado um gráfico da resistência de aterramento em função da distância. O gráfico apresentará uma região na qual a resistência de aterramento se manterá constante (região de patamar), o valor da resistência de aterramento está nessa região. Na Figura 8 é mostrado um gráfico da resistência de aterramento em função da distância entre os eletrodos de aterramento **T** e de potencial **P**.

Alternativamente, a resistência de aterramento pode ser obtida com uma única medição. A distância **d'** do eletrodo de potencial **P** ao eletrodo de aterramento **T** é dada em função do tipo da malha de aterramento em tabelas. Todavia, pode-se provar analiticamente que a distância **d'** entre o eletrodo de potencial **P** e o centro da malha de aterramento deve ser de 61,8% da distância entre o aterramento **T** e o eletrodo de corrente **C**, conforme mostrado na Figura 7.

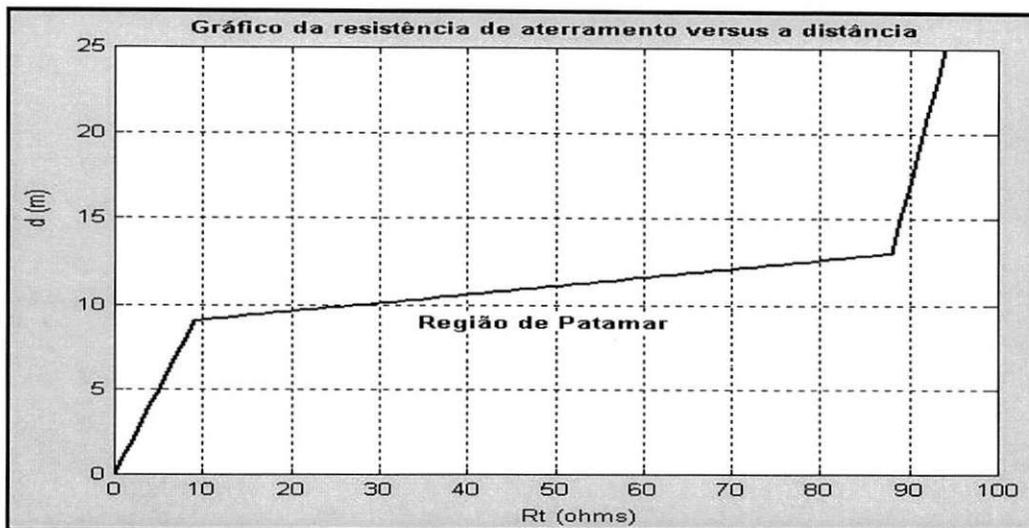


Figura 8: Gráfico da resistência de aterramento em função da distância

2.2.1 PERIODICIDADE DAS MEDIÇÕES

O solo normalmente não apresenta condições ideais, como homogeneidade, umidade constante, etc. Logo, por melhor que tenha sido feito o projeto de aterramento, convém realizar uma medição de verificação.

A periodicidade da medição da resistência de aterramento de uma instalação não é citada como exigência nas normas que regem o assunto. A norma NBR 5419/93 especifica intervalos de 3 anos no caso geral e de 1 ano nas instalações mais críticas, entre cada medição, enquanto outras normas especificam outros períodos. É interessante realizar medições nas estações de chuva e seca alternadamente, tornando possível avaliar o comportamento do solo à variação de umidade. As medições não podem ser feitas com o terreno encharcado, é recomendado esperar 15 dias após a última chuva.

2.3 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE TERRA DA ERB DA TELEMAR

A empresa Gradiente Construções Civas, Terraplanagem Ltda solicitou ao LAT a medição da resistência de terra da malhas de aterramento da Estação Rádio Base (ERB) da TELEMAR no Bairro de São José, Campina Grande – PB.

O método de medição utilizado foi o Método de Wenner. O equipamento utilizado na medição foi um Megger digital DET 5/2 da MEGGER INSTRUMENTS LDA.

O equipamento foi aferido nas dependências do Laboratório de Alta Tensão da UFPB utilizando décadas de resistência padrão.

2.3.1 RESULTADO DAS MEDIÇÕES

Na Tabela 3 e na Figura 9 são apresentados os resultados das medições com o eletrodo de corrente variando até 33,6 m.

Tabela 3: Resultados das medições de resistência de terra

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distância (m)	3,0	6,0	9,3	12,3	15,4	18,4	21,8	25,0	28,2	33,6
Resistência (Ω)	1,1	1,55	1,98	1,98	2,65	2,88	3,20	3,54	4,10	5,60

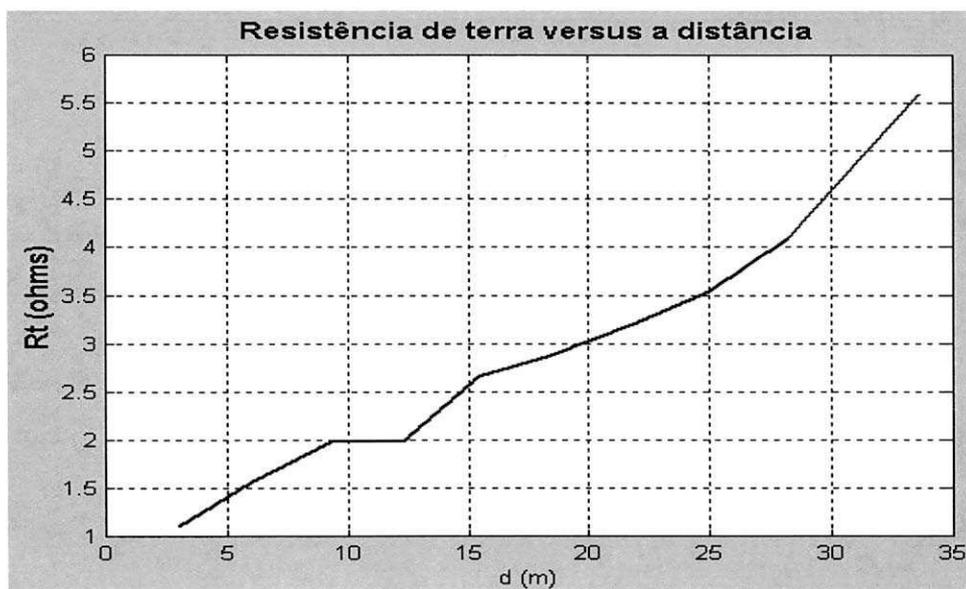


Figura 9: Gráfico da resistência versus a distância

Conforme explicado no Item 2.2 (Medição de Resistência de Terra), o valor da resistência de terra é encontrado na medição efetuada com o eletrodo de corrente a uma distância d' do centro da malha de aterramento. Logo:

$$d' = 0,618 * 33,6 = 22,88 \text{ m.}$$

Portanto, fazendo uma interpolação com os valores da Tabela 3, a resistência de terra da malha de aterramento é de aproximadamente **3,31 Ω** .

No gráfico da resistência em função da distância, mostrado na Figura 9, pode ser observado que a resistência de terra aumenta ao passo que o eletrodo de corrente se distancia da malha de aterramento.

3 AVALIAÇÃO DA MALHA DE ATERRAMENTO DA ARTECOLA

A Artecola é uma fábrica de colas localizada no Distrito Industrial de Campina Grande. A produção de cola envolve produtos inflamáveis e, portanto, há riscos de explosão e incêndio. Houve uma explosão em um dos galpões de fabricação de cola já faz alguns meses. O Corpo de bombeiros realizou uma perícia, concluindo que uma descarga eletrostática havia provocado a explosão.

O LAT, representado pela pessoa do professor Edson Guedes, foi solicitado a fazer uma avaliação dos fatos ocorridos e efetuar algumas medições e análises a respeito do sistema de aterramento da área de produção da Artecola.

3.1 MANUSEIO DE PRODUTOS INFLAMÁVEIS

O manuseio de produtos inflamáveis deve ser realizado conforme as normas de segurança pertinentes, a fim de assegurar a inexistência de acidentes com danos pessoais e/ou materiais. O envase de produtos em meio a processos que envolvem a geração controlada ou não de substâncias inflamáveis requer medidas de segurança e máquinas devidamente equipamentos com os dispositivos de proteção adequados. A Norma Regulamentadora NR 20 – Líquidos Combustíveis e Inflamáveis – determinar as medidas para o manuseio de produtos inflamáveis. Líquido inflamável é o produto cujo ponto de fulgor é inferior a 70°C.

A possibilidade da ocorrência de descargas eletrostáticas deve ser suprimida, uma vez que o risco de explosão é muito alto.

3.1.1 REQUISITOS DA EMBALAGEM DO PRODUTO

Alguns requisitos básicos retirados das normas de segurança determinam as seguintes medidas. A armazenagem do produto deve ser feita em recipientes metálicos, sendo proibida a utilização de embalagem de material plástico. A espessura interna da embalagem deve ser de 2 mm;

Antes do envase, a embalagem deve passar pelo processo de inertização, que consiste na introdução de Nitrogênio (desde o fundo da embalagem), para reduzir a concentração de Oxigênio.

Toda embalagem deve ser aterrada. As embalagens que contêm tinta devem ser raspadas, de forma que o material metálico fique exposto, propiciando um adequado contato elétrico.

3.1.2 REQUISITOS DOS EQUIPAMENTOS/DISPOSITIVOS PARA ENVASE

Os equipamentos elétricos para utilizados para manusear líquidos inflamáveis devem ser à prova de explosão. Todos os equipamentos, a exemplo das embalagens, utilizados no processo devem ser aterrados.

Pescador

O pescador é o componente do sistema de envase que enche as embalagens, na Figura 10 é mostrado um esquema de envase no qual é indicada a localização do pescador. O pescador deve ser de aço inoxidável e chanfrado em ângulo de, no mínimo, 30° da horizontal. A distância, entre o fundo da embalagem e o pescador, deve ser de 2 polegadas. Essa distância pode ser aumentada para 8 polegadas, desde que seja acoplado, ao pescador, um fio metálico que alcance o fundo da embalagem.

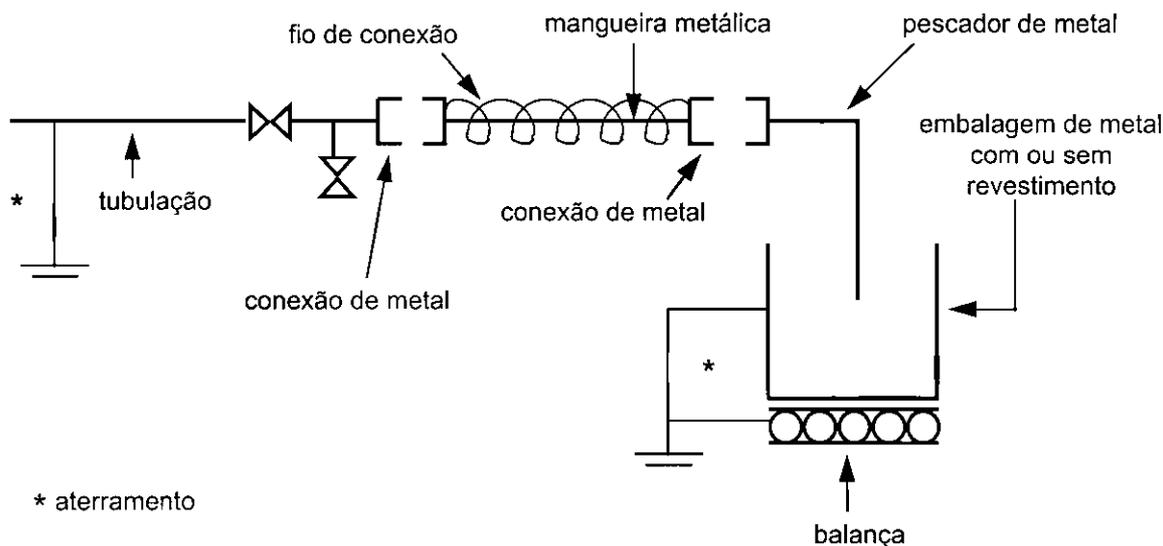


Figura 10: Sistema de envase de produtos inflamáveis

3.1.3 SISTEMA DE ATERRAMENTO

O sistema de aterramento deve ser composto por uma malha de aterramento projetada adequadamente e conforme a normas de instalações elétricas de baixa tensão

NBR 5410/97 e a norma de proteção contra descargas atmosféricas NBR 5419. Todas as partes metálicas e equipamentos elétricos da instalação devem estar aterrados de modo a manter a equipotencialidade em toda a instalação.

A resistência de terra da malha de aterramento não deve exceder a 10Ω , conforme a NBR 5419. Anualmente, deve ser realizada inspeção em todo o sistema de aterramento, bem como efetuada medição da resistência de terra da malha de aterramento. Os resultados devem ser devidamente arquivados.

3.2 SISTEMA DE ATERRAMENTO DA ARTECOLA

As causas da explosão no galpão de fabricação da Artecola não são fáceis de serem elucidadas, uma vez que a explosão já ocorreu a alguns meses e, também, pelo desconhecimento das reais condições de trabalho no dia da explosão.

Todavia, a causa mais provável ter sido uma descarga eletrostática é algo realmente pertinente. As descargas eletrostáticas podem ter sido originadas no momento do enchimento das latas com cola. Uma outra causa que poderia ter originado a explosão seria uma descarga elétrica devido a uma diferença de potencial elevada entre um componente metálico ou equipamento não aterrado e uma estrutura aterrada.

A inspeção visual e as medições de resistência de terra não forneceram subsídios para se chegar a uma conclusão definitiva. A resistência de terra da malha de aterramento medida foi de cerca de 7Ω .

A Artecola sugeriu que fosse feito um estudo detalhado da malha do sistema de aterramento da fábrica, com os objetivos de se projetar uma malha de aterramento para um novo galpão que estava sendo construído, bem como estabelecer medidas preventivas para minimizar ao máximo os riscos de explosão. No entanto, o trabalho não foi levado adiante.

4 INSPEÇÃO E ENSAIOS DO TRANSFORMADOR BIFÁSICO DA CELB

O LAT recebeu um transformador bifásico de 15 kVA da CELB para avaliação das condições do mesmo entrar em operação. Foi feita uma inspeção visual e, em seguida, foram efetuados alguns ensaios no transformador. Foram realizados os ensaios de relação de transformação, resistência de isolamento e rigidez dielétrica.

O último ensaio a ser efetuado seria o ensaio de tensão aplicada, porém, não foi realizado, pois não foi possível filtrar o óleo do transformador.

4.1 DADOS DO TRANSFORMADOR

Potência: 15 kVA

Tensões superiores: 13,8 kV, 13,2 kV, 12,6 kV, 12 kVA.

Tensões inferiores: 230 V, 220 V.

Volume do óleo: 52 ℓ.

Na Figura 11 é mostrado o diagrama dos enrolamentos do transformador.

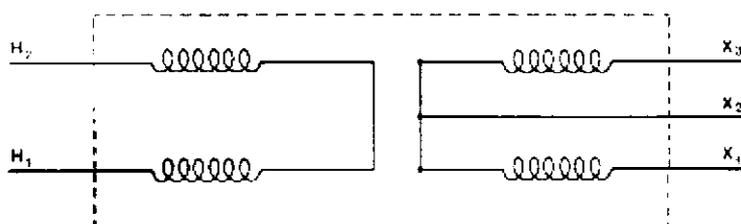


Figura 11: Diagrama dos enrolamentos do transformador bifásico

4.2 INSPEÇÃO VISUAL

De acordo com a inspeção visual realizada, o estado de conservação do transformador foi atestado não muito bom. O transformador apresenta a pintura desgastada e corrosão em alguns pontos. Todavia, o estado de conservação não compromete o funcionamento do transformador.

A inspeção visual por componentes do transformador está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Estado de conservação dos componentes do transformador

Componente	Estado
Pintura	Ruim
Juntas de vedação	Boas
Buchas de alta tensão	Boas
Buchas de baixa tensão	Boas
Vazamentos	Não há
Componentes faltosos	Não há

O transformador foi aberto, tendo se verificado que o nível do óleo estava a 1 a 2 cm abaixo do nível indicado no transformador. Os enrolamentos e as conexões internas apresentavam-se em boas condições.

4.3 ENSAIO DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

O ensaio de relação de transformação foi realizado utilizando-se o equipamento de medição de relação de transformação TTR (Transformer Turn Ratio) da NANSEN de referência MT 10NE.

O esquema de ligação do TTR ao transformador está mostrado na Figura 12.

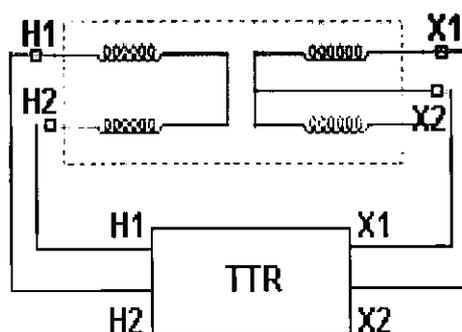


Figura 12: Esquema de ligação do TTR ao transformador

4.3.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

- Relação de transformação de 13,8 kV/ 220 V

Nominal: 62,73

Medida: 62,90.

- Relação de transformação de 13,8 kV/ 230 V

Nominal: 60,00

Medida: 60,00.

Os valores limites da relação de transformação medida nos transformadores, de acordo com o item 6.5 da NBR 5356 da ABNT admitem variação em torno de $\pm 0,5\%$ de valor teórico. A relação de transformação do transformador sob ensaio, portanto, está dentro da faixa de tolerância.

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

O ensaio de resistência de isolamento foi realizado utilizando-se o equipamento megômetro da Yokogawa. Antes de realizar as medições os terminais dos enrolamentos de alta tensão e baixa tensão são curto-circuitados entre si, conforme é mostrado na Figura 13.

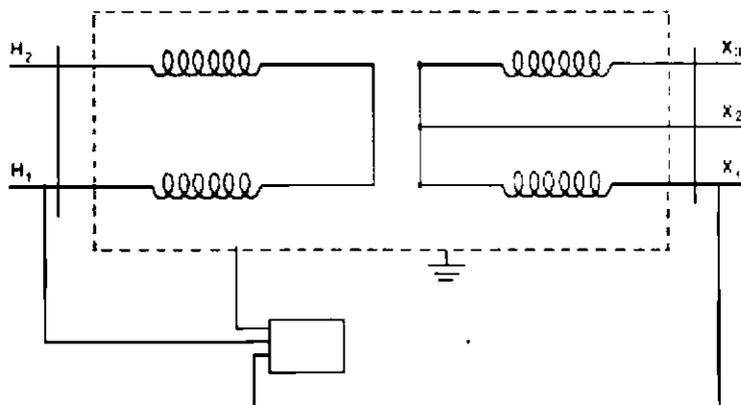


Figura 13: Esquema de ligação para ensaio de resistência de isolamento

4.4.1 RESULTADOS DO ENSAIO RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Resistência de isolamento dos terminais de alta tensão para a massa: 2000 M Ω .

Resistência de isolamento dos terminais de baixa tensão para a massa (neutro desconectado da carcaça): 2000 MΩ.

Resistência de isolamento dos terminais de baixa tensão para a massa (neutro conectado à carcaça): 0,2 MΩ.

Resistência de isolamento dos terminais de alta tensão para os terminais de baixa tensão: 1000 MΩ.

4.5 ENSAIO DA RIGIDEZ DIÉLETRICA DO ÓLEO ISOLANTE

O ensaio de dielétrica do óleo foi realizado utilizando-se o equipamento da BAUR de referência PGO-S. O ensaio consiste em submeter a uma diferença de potencial dois eletrodos imersos no óleo. O teste definirá qual a tensão máxima por unidade de comprimento (separação entre eletrodos) suportável pelo óleo. O resultado obtido é comparado com valores tabelados por normas para se verificar se o óleo servirá para o uso em transformadores.

O óleo foi retirado pela torneira na parte inferior do transformador e transferido para a cuba de medição. Foram realizadas seis medições, A medição mais divergente foi desprezada, para efeito de análise. Os resultados estão apresentados na Tabela 5

Tabela 5: Resultados das medições de rigidez dielétrica

Medida	Tensão disruptiva (kV)
1	18
2	21
4	17
5	17
6	20
média	18,6

A média da rigidez dielétrica do óleo obtida foi de 18,6 kV. Comparando o resultado medido com os valores padronizados, constantes na Tabela 6, verifica-se que o óleo está em condições não confiáveis. O óleo deve ser filtrado e ser procedida na avaliação da rigidez dielétrica.

Tabela 6: Valores da rigidez dielétrica e estado do óleo isolante.

Acima de 35 kV	Excelente
De 30 a 35 kV	Muito Bom
De 25 a 30 kV	Bom
De 20 a 25 kV	Satisfatório
De 15 a 20 kV	Duvidoso (recomenda-se filtração)
Abaixo de 15 kV	Rejeitável (indispensável urgente filtração)

4.6 ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os ensaios realizados no transformador possibilitaram atestar que os enrolamentos e o isolamento estão em boas condições. No entanto, o óleo isolante apresentou rigidez dielétrica baixa, sendo necessário sua filtragem. O ensaio de tensão aplicada não pôde ser realizado pelo fato de ser possível filtrar o óleo isolante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estágio curricular foi extremamente interessante para minha forma acadêmica, uma vez que foi possível dentro das atividades do estágio preencher algumas lacunas.

As atividades práticas do estágio são de importância inestimável, pois possibilitam uma série de experiências e informações que complementam a base teórica adquirida ao longo do curso de graduação.

BIBLIOGRAFIA

LEITE, C.M.; PEREIRA FILHO, M.L. Técnicas de Aterramentos Elétricos, 2º edição. Officina de Mydia. São Paulo: 1996.

MORENO, H.; COSTA, P.F. Aterramento Elétrico. Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE).

OLIVEIRA, J. C.; COGO, J. R. e ABREU, J. P. G. Transformadores: Teoria e Ensaios, Edgard Blücher Ltda. São Paulo: 1984.

NBR 5410/97 – Instalações elétricas de Baixa tensão. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1997.

NBR 5419/93 – Proteção das estruturas contra descargas atmosféricas. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1993.

NR 20 – Líquidos Combustíveis e Inflamáveis.