



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

POLLYANA CAVALCANTE CIRINO



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ELABORAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA ENSAIO DE RESPOSTA EM
FREQUÊNCIA DE TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2018

POLLYANA CAVALCANTE CIRINO

ELABORAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA O ENSAIO DE REPOSTA EM FREQUÊNCIA DE
TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Alta Tensão

Ronimack Trajano de Souza, D.Sc.
Orientador

Campina Grande
2018

POLLYANA CAVALCANTE CIRINO

ELABORAÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA O ENSAIO DE RESPOSTA EM
FREQUÊNCIA DE TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de
Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Alta Tensão

Aprovado em ____ / ____ / _____

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Ronimack Trajano de Souza, D.Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, Marilene e Vieira, à minha irmã Allana e a minha avó Zita que me ensinaram a ter fé e acreditar que somos capazes de fazer nosso próprio destino.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por nunca desistir de mim e sempre me fazer seguir em frente mesmo com toda a dificuldade durante este curso.

Agradeço também à minha mãe, Marilene, e ao meu pai, Vieira, por terem me proporcionado uma boa educação, e terem me segurado durante toda essa jornada, com apoio e palavras de conforto, possibilitando essa conquista tão importante que é a conclusão de um curso.

Agradeço também à minha irmã Allana, que por inúmeras vezes me escutava, e me dava uma injeção de otimismo, foi uma pessoa essencial durante todo o curso, me fazendo se sentir sempre a melhor.

Agradeço também à minha avó Zita, e toda minha família, por sempre estarem do meu lado, e sempre acreditar em minha capacidade.

Agradeço em especial a Adail Paz, a nossa melhor e eterna secretária, que foi minha segunda mãe que muitas vezes me segurou quando eu cai.

Agradeço principalmente ao meu amigo, e posso se dizer irmão, Rodrigo Raynton Nunes de Lima, que foi essencial durante todo o curso, e que vou levar da universidade para vida.

Agradeço também a Lenilson Barbosa, que durante o decorrer desde trabalho, me ajudou e apoiou com a maior boa vontade.

Agradeço também a todos os meus amigos, em especial Hotoniones Bezerra, Phablo Vinícius, Rayanna Francklim, Priscila da Costa, Welch Martiniano, Yuri Nóbrega, Alana Santiago, Grace Colaço, Júnior Pereira e Samara Rafaella, Adriel Cassimiro, Magda Leite, que me acompanharam durante esses longos anos, chorando ou sorrindo junto comigo.

Agradeço, também ao meu professor e orientador, Ronimack Trajano de Souza, pela paciência, e por toda a ajuda dada a mim para elaboração deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para que eu realizasse esta conquista tão importante.

*“Para criaturas tão pequenas
como nós, a vastidão só é
suportável através do amor.”*

Carl Sagan.

RESUMO

Os transformadores de potencial indutivos são equipamentos essenciais em sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, por tal motivo os diagnósticos, ensaios e manutenção são de grande interesse para as empresas neste ramo da engenharia. A designação das curvas de relação entre dois sinais de entrada alternados com a variação da frequência está representada em gráficos, definindo as funções amplitude de entrada e saída e o deslocamento angular evidenciando a relação existente entre as amplitudes e a diferença entre as fases dos sinais do objeto em teste. Neste trabalho é apresentada a metodologia de ensaio de resposta em frequência aplicada a transformadores de potencial indutivos, onde excitamos o objeto sob ensaio com várias frequências para sabermos como este objeto se comporta dentro de uma faixa de interesse. Entretanto, ainda não existe uma normatização específica quanto à metodologia para realizar o ensaio de resposta em frequência nem quanto à interpretação dos resultados do ensaio.

Palavras chaves: Transformador de Instrumento, Ensaios,, Relação de transformação.

ABSTRACT

Inductive potential transformers are essential equipment in transmission systems and electrical energy distribution, that's why diagnostics, testing and maintenance are of great interest to companies in this engineering field. The designation of curves such as the study of the relationship between two input alternate signals with frequency variation is represented in graphs, defining the input and output amplitude functions and the angular displacement highlighting the relationship between the amplitudes and the phase difference between the signals of the object in question. In this report it is presented the methodology of frequency response tests applied to inductive potential transformers, where we excited the object under test with several frequencies to realize how this object behaves within a range of interest. However, there still is a lack of specific standardization in terms of the methodology for conducting the frequency response test or the interpretation of test results.

Keywords: Instrument Transformer, Tests, Transformation ratio.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Transformadores de potencial indutivo de 123 kV	16
Figura 2: TP's de 15kV. (A) Isolação a óleo mineral; (B) Isolação a seco.	17
Figura 3: TP da classe 230 kV.....	17
Figura 4: Transformador de Potencial Capacitivo	19
Figura 5: Classes de TPC's e suas especificações	20
Figura 6: Representação de um transformador de potencial.....	21
Figura 7: Representação de um transformador de potencial do grupo 2 e 3.....	22
Figura 8: Paralelogramo de Exatidão	28
Figura 9: Transformadores de potencial indutivo.....	29
Figura 10: Representação de uma fonte de alimentação AC programável da CALIFORNIA INSTRUMENTS™.	31
Figura 11: Osciloscópio de 4 canais	31
Figura 12: Ponta de prova para alta tensão	32
Figura 13: Montagem inicial	32
Figura 14: TP indutivo de medição 13.800/110 V	33
Figura 15: TP indutivo de proteção 13.800/115 V	33
Figura 16: Arranjo experimental dos equipamentos utilizados	35
Figura 17: Esquema do arranjo experimental	35
Figura 18: Montagem do ensaio 1 com o TP de medição alimentado com 100V	36
Figura 19: Montagem do ensaio 2 com o TP de medição alimentado com 300V	38
Figura 20: Montagem do ensaio 3 com o TP de proteção alimentado com 100V	39
Figura 21: Montagem do ensaio 4 com o TP de proteção alimentado com 300V	40
Figura 22: Rotina feita para o cálculo da relação de transformação	40
Figura 23: Rotina feita para o cálculo da defasagem.....	41
Figura 24: Ilustração dos pontos utilizados para calcular a defasagem	42
Figura 25: Relação de transformação entre o ensaio 1 e 2, no TP de medição.....	42
Figura 26: Defasagem do ensaio 1	43
Figura 27: Defasagem do ensaio 2	44
Figura 28: Relação de transformação entre o ensaio 3 e 4, no TP de proteção	44
Figura 29: Defasagem do ensaio 3	45
Figura 30: Relação de transformação do ensaio 1 e 2 respectivamente, comparada com a relação nominal	46
Figura 31: Relação de transformação do ensaio 1 e 2 respectivamente, comparada com a relação nominal.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tensões primárias nominais e relações nominais	24
Tabela 2: Carga nominal e características elétricas dos TP's	25
Tabela 3: Especificações do TP de Proteção	30
Tabela 4: Especificações do TP de Medição	30
Tabela 5: Especificações da fonte de alimentação programável	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FCR	Fator de correção de relação
FCRp	Fator de correção de relação percentual
NBR	Norma Brasileira
RTP	Relação de transformação de potencial
RTPr	Relação de transformação de potencial real
TC	Transformador de corrente
TI	Transformador de instrumento
TP	Transformador de potencial
TPC	Transformador de potencial capacitivo
TPI	Transformador de potencial indutivo

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Abreviaturas e Siglas	xi
Sumário	xii
1 Introdução.....	13
2 Objetivo.....	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivo específico	14
3 Fundamentação teórica.....	15
3.1 Transformadores para instrumento	15
3.2 Transformador de potencial.....	15
3.2.1 Características construtivas dos tp's	18
3.2.2 Tipos de tp's	18
3.2.3 Características elétricas	22
3.3 Resposta em frequência de um tp indutivo	28
4 Material e métodos	29
4.1 Material.....	29
4.2 Metodologia de ensaios.....	33
5 Considerações finais.....	48
Referências	49

1 INTRODUÇÃO

Transformadores para instrumento são equipamentos elétricos projetados e construídos especificamente para alimentarem instrumentos elétricos de medição, controle ou proteção, eles devem fornecer corrente e/ou tensão, em nível adequado, aos instrumentos conectados aos seus enrolamentos secundários (Mamede Filho, 2005).

Os transformadores de instrumentos possuem pelo menos dois enrolamentos: um primário, conectado ao circuito de maior tensão ou maior corrente, geralmente, e um secundário, no qual são conectados os instrumentos elétricos de medição, controle ou proteção. Dentre os diversos tipos de transformadores, dois tipos são destinados ao fornecimento de sinais de corrente e tensão aos instrumentos de medição e aos dispositivos de proteção: o transformador de corrente (TC) e o transformador de potencial (TP).

Transformadores de potencial são equipamentos que possibilitam que instrumentos de proteção e medição sejam alimentados em nível de tensão proporcionais a tensão do circuito primário. Podem possuir diferentes características construtivas, sendo o mais simples composto apenas por um enrolamento primário, com muitas espiras, e um enrolamento secundário, no qual se obtém a tensão desejada. No Brasil, segundo a ABNT NBR 6855/2009 a tensão do secundário é padronizada para 115 V.

Transformadores de corrente, são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção sejam alimentados em nível de corrente proporcionais a corrente do circuito primário na sua forma mais simples, eles possuem um primário, geralmente de poucas espiras, e um secundário no qual se obtém a corrente desejada. No Brasil, segundo a ABNT NBR 6856/2015, a corrente do secundário é padronizada para 5 A. Existem também TC's de corrente secundária padronizada igual a 1 A e 2 A.

Os transformadores de instrumentos são equipamentos chave nos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, retratando as condições reais de um sistema elétrico com a finalidade necessária, seja ela pra medição ou proteção. Eles possuem ainda outra função importante: desacoplar (isolar) o circuito primário do circuito secundário, ou seja, não há conexão elétrica entre esses circuitos.

Os transformadores para instrumentos (TI's) devem apresentar classe de exatidão adequada a sua aplicação, conforme determina a ABNT NBR 6855/2009. Os erros de medição de um TI podem influenciar diretamente, na tomada de decisão de intervenções ou não nas usinas de geração ou na rede elétrica, na necessidade ou não da utilização de filtros harmônicos, falhas na geração e transmissão de energia elétrica, desligamentos forçados da rede elétrica. Ademais, erros de medição tem impacto direto no faturamento de energia elétrica,

Nesse contexto, aumenta-se a importância de técnicas e ensaios para o monitoramento e diagnósticos de erros de medição em TI's, de modo a avaliar os limites operacionais ou erros dos TI's em operação.

Para avaliar os limites operacionais ou erros na relação de transformação dos TI's são necessários ensaios elétricos para conhecer os erros na relação de transformação para diferentes frequência de operação.

A resposta em frequência em transformadores de potencial, é a medição da relação de transformação em frequências distintas de 60 Hz, onde é aplicado um sinal senoidal, com frequência variável a um dos enrolamentos. O ensaio realizado irá determinar alguns parâmetros como a defasagem de tensão e a relação de transformação, entre os circuitos primário e secundário.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar uma metodologia de ensaio de resposta em frequência de transformadores em potencial indutivo.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Avaliar os erros de relação de transformação, entre os circuitos primário e secundário, em um TP de medição e um TP de proteção, sob ensaios;

- Avaliar os erros de defasagem angular, entre os circuitos primário e secundário, em um TP de medição e um TP de proteção, sob ensaios.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTO

Os transformadores para instrumentos (TI's) são equipamentos elétricos projetados e construídos especificamente para alimentarem instrumentos elétricos de medição, controle ou proteção (MEDEIROS FILHO, 1983).

Os TI's devem fornecer corrente e/ou tensão aos instrumentos conectados aos seus enrolamentos secundários, de modo a atender às seguintes prescrições (MAMEDE FILHO, 2005):

- O circuito secundário deve ser galvanicamente separado do primário, proporcionando segurança aos operadores dos instrumentos ligados ao mesmo;
- A medida da grandeza elétrica deve ser adequada aos instrumentos que serão utilizados.

As principais funções dos transformadores para instrumentos (TI's) são:

- Retratar condições reais de um sistema elétrico com a fidelidade necessária;
- Transformar o módulo da grandeza a ser medida sem alterar sua natureza (forma de onda, defasagem);
- Isolar o circuito primário do secundário.

3.2 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

Transformadores de potencial são equipamentos importantes e de alto custo no contexto dos sistemas elétricos de potência. São máquinas estáticas que transferem energia elétrica de um circuito para outro, mantendo a mesma frequência e, normalmente, variando valores de corrente e de tensão. De maneira geral, a função de um transformador

é a de reduzir as perdas em transmissão por redução da corrente requerida para transmitir uma determinada potência elétrica. Esta transferência de energia é acompanhada de perdas que dependem, normalmente, da construção do transformador, do seu regime de funcionamento e da sua manutenção.

Ele é um equipamento monofásico que possui dois circuitos, um denominado primário e outro denominado secundário, isolados eletricamente um do outro, porém, acoplados magneticamente.

São usados principalmente para sistemas de medição de tensão elétrica, para reduzir a tensão a valores baixos com a finalidade de promover a segurança, aos níveis compatíveis com a máxima tensão suportável pelos instrumentos de medição, e também, isolar eletricamente o circuito de potência dos instrumentos e reproduzir fielmente a tensão do circuito primário no lado secundário.

Na sua forma mais simples, os transformadores de potencial possuem um enrolamento primário de muitas espiras e um enrolamento secundário através do qual se obtém a tensão desejada, normalmente padronizada em 115 V ou $115/\sqrt{3}$ V Logo, os instrumentos de proteção e medição são dimensionados em tamanhos reduzidos com bobinas e demais componentes de baixa isolação.

Algumas de suas qualidades são:

- Ideal para instalação em pontos de medição por sua alta exatidão;
- Apto para uso em descarga de linhas de alta tensão e bancos de capacitores;
- Excelente resposta em frequência, ideal para monitoramento da qualidade de onda e medida de harmônicos.

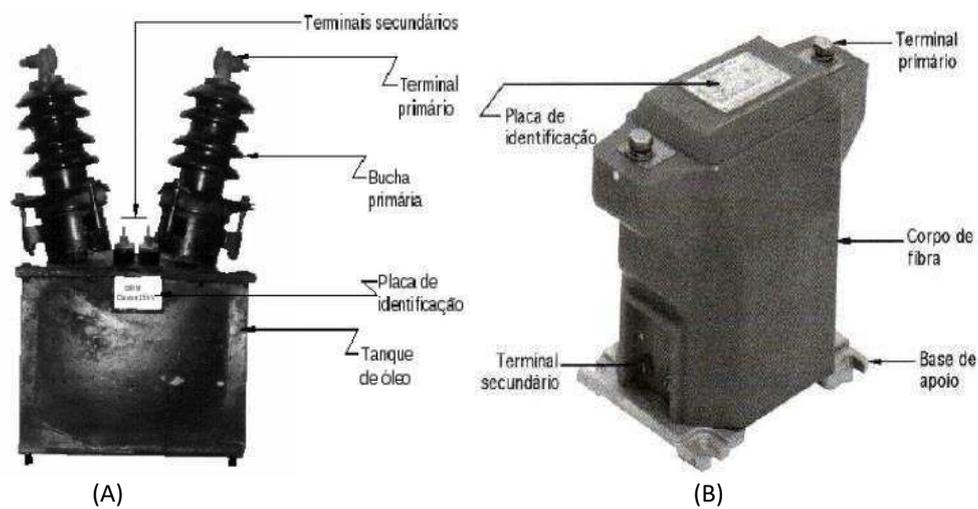
Podemos observar nas figuras a seguir, alguns tipos de TP's.

FIGURA 1: TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUTIVO DE 123 KV.



FONTE: GOOGLE IMAGENS.

FIGURA 2: TP'S DE 15KV. (A) ISOLAÇÃO A ÓLEO MINERAL; (B) ISOLAÇÃO A SECO.



FONTE: MAMEDE FILHO, 2005

FIGURA 3: TP DA CLASSE 230 KV



FONTE: MAMEDE FILHO, 2005

3.2.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DOS TP'S

Os TP's são fabricados de acordo com o grupo de ligação requerido, com as tensões nominais primárias e secundárias exigidas para cada tipo de instalação. O enrolamento primário é constituído de uma bobina formada por vários fios de cobre, duplamente esmaltado, enrolados em um núcleo de ferro magnético sobre o qual também é envolvido o enrolamento secundário. Enquanto, o enrolamento secundário é de fio de cobre, também é duplamente esmaltado e isolado do núcleo, e do enrolamento primário, por meio de fitas de papel especial. (Mardegan Cláudio, Revista o Setor Elétrico, Fevereiro de 2010).

O transformador pode ser construído com isolamento em epóxi ou em óleo, sendo os em epóxi mais compactos e de peso relativamente menor. O tanque que acomoda o núcleo e os enrolamentos é construído com chapa de ferro pintada ou galvanizada a fogo.

3.2.2 TIPOS DE TP'S

a) TP do tipo capacitivo

Os transformadores de potencial capacitivos separam os instrumentos de medição, contadores, relés, proteções, do circuito de alta tensão e reduzem as tensões para valores tratáveis e proporcionais às primárias originais.

Eles oferecem a possibilidade de transmitir sinais de alta frequência através das linhas de alta tensão.

Basicamente, são construídos com a utilização de dois conjuntos de capacitores que servem para fornecer um divisor de tensão e permitir a comunicação através do sistema *carrier*. São construídos normalmente para tensões iguais ou superiores a 138 kV e apresentam como esquema básico na figura 4.

FIGURA 4: TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CAPACITIVO



FONTES: MAMEDE FILHO, 2005.

O transformador de potencial capacitivo é constituído de um divisor capacitivo, cujas células que formam o condensador são ligadas em série e o conjunto fica imerso no interior de um invólucro de porcelana. O divisor capacitivo é ligado entre fase e terra e uma derivação intermediária alimenta um grupo de medida de média tensão, que compreende, basicamente, os seguintes elementos (MAMEDE FILHO, 2005):

- um transformador de potencial ligado na derivação intermediária, através de um ponto de conexão e fornecendo as tensões secundárias desejadas;
- um reator de compensação ajustável para controlar as quedas de tensão e a defasagem no divisor capacitivo, na frequência nominal, independentemente da carga;
- um dispositivo de amortecimento dos fenômenos de ferro-ressonância;
- um circuito de proteção contra sobretensões.

Os transformadores de potencial não se diferenciam entre aqueles destinados à medição e à proteção, a não ser pela classe de exatidão. Contudo, eles são classificados de acordo com o erro que introduzem nos valores medidos no enrolamento secundário. Os TPC's são ideais para instalação em pontos de medição por sua classe muito alta de exatidão e pela elevada estabilidade da capacitância. É para transmissão de sinais de alta frequência através das linhas e ajuda na redução dos picos de tensão na linha.

Suas vantagens são muitas:

- Elevada estabilidade da capacitância e, como consequência, temos o aumento da exatidão;
- O sistema de supressão de ferro-ressonância que não afeta a resposta transitória nem a exatidão;
- Excelente resistência mecânica a esforços sísmicos;
- Dispositivos de liberação de pressão em caso de falha interna, o que assegura o nível máximo de segurança;
- É robusto mecanicamente e tem tamanho reduzido que facilita o transporte, armazenamento e montagem, além de reduzir o impacto visual dos equipamentos;
- Construído com o mínimo volume de óleo em seu interior;
- Possui um compensador metálico que regula de maneira eficaz as variações de volume de óleo devido à variação de temperatura;
- Não tem necessidade de manutenção durante seu prolongado período de vida útil;
- Os equipamentos são submetidos a ensaios de rotina, como descargas parciais, medida de capacitância e exatidão, e foram desenhados para suportar todos os ensaios de tipo indicados pelas normas.

Na figura 5, é possível observar algumas classes de TPC's e suas especificações correspondentes.

FIGURA 5: CLASSES DE TPC'S E SUAS ESPECIFICAÇÕES

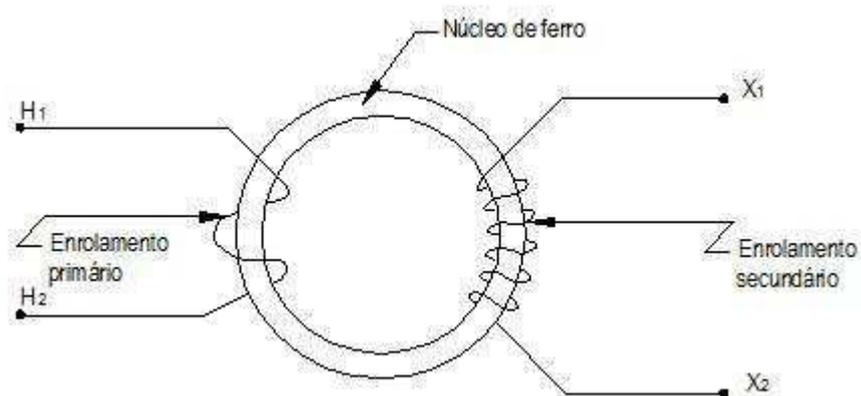
Transformadores de potencial capacitivos										
Modelo	Tensão máxima de serviço (kV)	Tensões de ensaio			Capacitância padrão (pF)	Máxima capacitância (pF)	Linha de fuga padrão (mm)	Dimensões		Peso (kg)
		Frequência industrial (kV)	Impulso (kVp)	Manobra (kVp)				A (mm)	H (mm)	
DDB-72	72,5	140	325	-	10.300	25.500	1.825	450	1.510	245
DDB-100	100	185	450	-	5.700	14.300	2.500	450	1.600	255
DDB-123	123	230	550	-	5.600	14.000	3.075	450	1.830	300
DDB-145	145	275	650	-	3.900	19.500	3.625	450	1.920	310
DDB-170	170	325	750	-	7.500	16.500	4.250	450	2.065	330
DFK-245	245	460	1.050	-	5.800	11.000	6.125	450	2.885	450
		395	950							
DFK-300	300	460	1.050	850	6.000	12.500	7.500	450	3.205	480
DFK-362	362	510	1.175	950	4.500	10.100	9.050	450	3.675	520
DFK-420	420	630	1.425	1.050	3.500	7.700	10.500	450	4.595	670
		575	1.300	950						
DFK-525	(525) 550	680	1.550	1.175	3.000	6.200	13.125	450	5.560	1.065
		800	1.800	1.175						
DFK-765	(765) 800	880	1.950	1.425	3.000	4.500	15.300	450	7.010	1.270
		975	2.100	1.550						

FONTE: APOSTILA ARTECHE

b) TP do tipo indutivo

Os transformadores de potencial indutivos são construídos basicamente para utilização até a tensão de 138 kV, por apresentarem custo de produção inferior ao do tipo capacitivo. Eles são dotados de um enrolamento primário envolvendo um núcleo de ferrosilício, que é comum ao enrolamento secundário, conforme se mostra na figura 6.

FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DE UM TRANSFORMADOR DE POTENCIAL



FONTE: MAMEDE FILHO,2005.

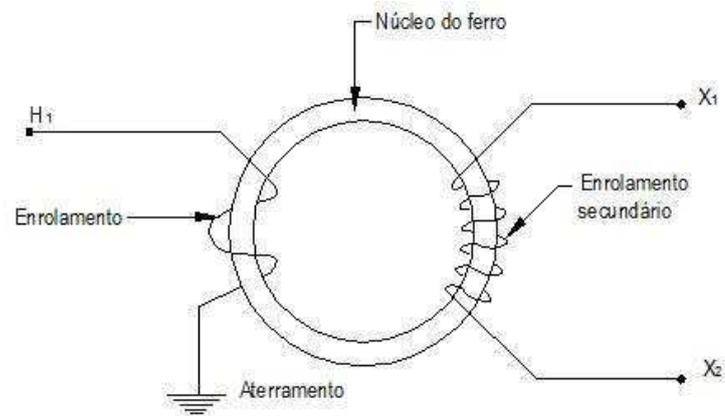
Ele tem o mesmo princípio de funcionamento dos transformadores de potência, variando-se a tensão primária haverá uma variação proporcional na tensão secundária, ou seja, a curva relacionando as duas tensões deve ser linear.

Os transformadores de potencial indutivos são construídos segundo três grupos de ligação previstos pela NBR 6855/2009 - Transformadores de potencial - Especificação:

- Grupo 1 - são aqueles projetados para ligação entre fases. São basicamente os do tipo utilizado nos sistemas de até 34,5 kV. Os transformadores enquadrados nesse grupo devem suportar continuamente 10% de sobrecarga.
- Grupo 2 - são aqueles projetados para ligação entre fase e neutro de sistemas diretamente aterrados.
- Grupo 3 - são aqueles projetados para ligação entre fase e neutro de sistemas onde não se garanta a eficácia do aterramento.

Na figura 7, podemos observar o circuito do transformador que se encaixa no grupo 2 e 3.

FIGURA 7: REPRESENTAÇÃO DE UM TRANSFORMADOR DE POTENCIAL DO GRUPO 2 E 3



FONTE: MAMEDE FILHO, 2005

As vantagens do transformador de potencial indutivo são:

- Proteção do enrolamento secundário contra sobretensões transientes da rede de alta tensão através da blindagem;
- Proteção contra ferorressonância através do uso de núcleos com aço de baixa indutância;
- Segurança ampliada, uma vez que não há parte ativa no isolador;
- Volume reduzido de óleo.

3.2.3 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

a) Tensões nominais

Os transformadores de potencial, por norma, devem suportar tensões de serviço de 10% acima de seu valor nominal, em regime contínuo, sem nenhum prejuízo a sua integridade.

Tensões nominais primárias devem ser compatíveis com as tensões de operação dos sistemas primários aos quais os TP's estão ligados. A tensão secundária é padronizada em 115 V, para TP's do grupo 1 e $115/\sqrt{3}$ V para TP's pertencentes aos grupos 2 e 3.

As tensões primárias e as relações nominais estão especificadas na tabela 1. As regras estão representadas em ordem crescente, segundo a notação adotada pela NBR 6855/2009, ou seja:

- sinal de dois pontos (:) deve ser usado para representar relações nominais como por exemplo 120 : 1;
- hífen (-) deve ser usado para separar relações nominais e tensões primárias de enrolamentos diferentes, como por exemplo: 13.800-115 V ;
- sinal (\times) deve ser usado para separar tensões primárias nominais e relações nominais de enrolamentos destinados a serem ligados em série ou paralelo, como por exemplo: 6.900 \times 13.800 – 115V;
- a barra (/) deve ser usada para separar tensões primárias nominais e relações nominais obtidas por meio de derivações, seja no enrolamento primário, seja no enrolamento secundário, como por exemplo: 13.800/ $\sqrt{3}$ –115/115/ $\sqrt{3}$, que corresponde a um TP do grupo ou 3, com um enrolamento primário e um enrolamento secundário com derivação.

TABELA 1: TENSÕES PRIMÁRIAS NOMINAIS E RELAÇÕES NOMINAIS

Grupo 1		Grupos 2 e 3		
Para ligação de fase para fase		Para ligação de fase para neutro		
Tensão Primária Nominal	Relação Nominal	Nominal	Relação nominal	
			Tensão Secundária de $115\sqrt{3}$	Tensão secundária de aproximadamente 115V
115	1:1	-	-	-
230	2:1	$230/\sqrt{3}$	2:1	1,2:1
402,5	3,5:1	$402,5/\sqrt{3}$	3,5:1	2:1
460	4:1	$460/\sqrt{3}$	4:1	2,4:1
575	5:1	$575/\sqrt{3}$	5:1	3:1
2.300	20:1	$2300/\sqrt{3}$	20:1	12:1
3.475	30:1	$3475/\sqrt{3}$	30:1	17,5:1
4.025	35:1	$4025/\sqrt{3}$	35:1	20:1
4.600	40:1	$4600/\sqrt{3}$	40:1	24:1
6.900	60:1	$6900/\sqrt{3}$	60:1	35:1
8.050	70:1	$8050/\sqrt{3}$	70:1	40:1
11.500	100:1	$11500/\sqrt{3}$	100:1	60:1
13.800	120:1	$13800/\sqrt{3}$	120:1	70:1
23.000	200:1	$23000/\sqrt{3}$	200:1	120:1
34.500	300:1	$34500/\sqrt{3}$	300:1	175:1
44.000	400:1	$44000/\sqrt{3}$	400:1	240:1
69.000	600:1	$69000/\sqrt{3}$	600:1	350:1
-	-	$88000/\sqrt{3}$	800:1	480:1
-	-	$115000/\sqrt{3}$	1000:1	600:1
-	-	$138000/\sqrt{3}$	1200:1	700:1
-	-	$161000/\sqrt{3}$	1400:1	800:1
-	-	$196000/\sqrt{3}$	1700:1	1700:1
-	-	$230000/\sqrt{3}$	2000:1	1200:1

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

b) Cargas nominais

A soma das cargas que são acopladas a um transformador de potencial deve ser compatível com a carga nominal deste equipamento padronizada pela NBR 6853 e dada na tabela 2.

TABELA 2: CARGA NOMINAL E CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS TP'S

Cargas nominais		Características a 60 Hz e 120V					Características a 60 Hz e 63,3V		
Designação		Potência Aparente	Fator de Potên- cia	Resistên- - cia Ohm	Indutân- - cia mH	Impedân- - cia Ohm	Resistên- - cia Ohm	Indutân- - cia mH	Impedân- - cia Ohm
ABN T	ANSI								
P12,5	W	12,5	0,10	115,2	3.402	1.152	38,4	1.014	384
P25	X	25	0,70	403,2	1.092	576	134,4	364	192
P75	Y	75	0,85	163,2	268	192	54,4	89,4	64
P200	Z	200	0,85	61,2	101	72	20,4	33,6	24
P400	ZZ	400	0,85	30,6	50	36	10,2	16,8	12

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

c) Relação Nominal

A relação nominal de um transformador de potência, é a relação entre os valores nominais das tensões primária (V_{1n}) e secundária (V_{2n}):

$$K_p = \frac{V_{1n}}{V_{2n}}$$

d) Relação Real

A relação real de um transformador de potência, é a relação entre os valores exatos das tensões primária (V_1) e secundária (V_2), para qualquer tensão:

$$K_r = \frac{V_1}{V_2}$$

e) Erro de relação de transformação

Este tipo de erro é registrado na medição de tensão com TP, onde a tensão primária não corresponde exatamente ao produto da tensão lida no secundário pela relação de transformação de potencial nominal. Este erro pode ser corrigido através do fator de correção de relação (FCR). O produto entre a relação de transformação de potencial

nominal (RTP) e o fator de correção de relação resulta na relação de transformação de potencial real (RTP_r), ou seja:

$$FCR_r = \frac{RTP_r}{RTP}$$

Finalmente, o erro de relação pode ser calculado percentualmente através da equação a seguir:

$$\varepsilon_p = \frac{RTP \times V_s - V_p}{V_p} \times 100\%$$

V_p - tensão aplicada no primário do TP

O erro de relação percentual também pode ser expresso por:

$$\varepsilon_p = (100 - FCR_p)\%$$

FCR_p - fator de correção de relação percentual dado por:

$$FCR_p = \frac{RTP_r}{RTP} \times 100\%$$

Os valores percentuais de FCR_p podem ser encontrados nos gráficos da Figura 8, que compreendem às classes de exatidão 0,3 - 0,6 - 1,2 dadas pela norma NBR 6855.

Algumas observações devem ser feitas envolvendo as relações de transformação nominal e real, ou seja:

- se o $RTP > RTP_r$, o fator de correção de relação percentual $FCR_p < 100\%$ e o erro de relação $\varepsilon_p > 0\%$; o valor real da tensão primária é menor que o produto $RTP \times V_s$;
- se o $RTP < RTP_r$, o fator de correção de relação percentual $FCR_p > 100\%$ e o erro de relação $\varepsilon_p < 0\%$; o valor real da tensão primária é maior que o produto $RTP \times V_s$.

f) Classe de exatidão

Classe de exatidão exprime nominalmente o erro esperado do transformador de potencial, levando em conta o erro de relação de transformação e o erro de defasamento angular entre as tensões primária e secundária. Este erro é medido pelo fator de correção de transformação.

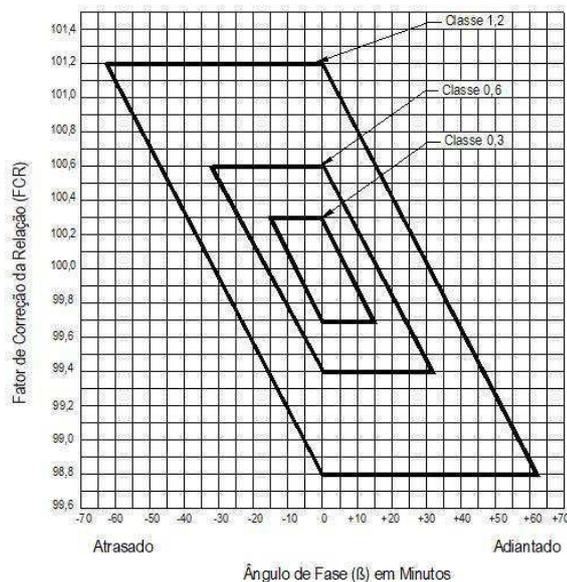
Para se determinar a classe de exatidão do TP, são realizados ensaios a vazio e em carga com valores padronizados por norma. Cada ensaio correspondente a cada carga padronizada é efetuado para as seguintes condições:

- ensaio sob tensão nominal;
- ensaio a 90% da tensão nominal;
- ensaio a 110% da tensão nominal.

Os transformadores de potencial, segundo a NBR 6855/2009, podem apresentar as seguintes classes de exatidão: 0,3 - 0,6 - 1,2, existindo ainda TP's da classe de exatidão 0,1.

Os transformadores de potencial com um único enrolamento secundário devem estar dentro de sua classe de exatidão quando submetidos às tensões compreendidas entre 90% e 110% da tensão nominal e para todos os valores de cargas nominal desde a sua operação em vazio até a carga nominal especificada. O mesmo TP deve estar dentro de sua classe de exatidão para todos os valores de fator de potência indutivo medidos em seus terminais primários, compreendidos entre 0,6 e 1,0, cujos limites definem o gráfico do paralelogramo de exatidão mostrado na figura 8.

FIGURA 8: PARALELOGRAMO DE EXATIDÃO



FONTE: MAMEDE FILHO, 2005.

3.3 RESPOSTA EM FREQUÊNCIA DE UM TP INDUTIVO

Análise de resposta de frequência, é uma técnica de diagnóstico utilizada para detectar alterações nas características da estrutura de transformadores de potencial, ou seja, modificações que podem ser resultados de diversos tipos de problemas elétricos ou mecânicos (danos durante o transporte, a perda de fixação de partes internas, esforços mecânicos causados por curto-circuito, etc.) O teste não é destrutivo e pode ser usado tanto como uma ferramenta para detectar danos de enrolamento, quanto uma ferramenta de diagnóstico para estudo de defeitos observados em outros testes. (PAULINO, M. E. C. et al., 2009) .

Utilizando frequências variadas para a excitação do transformador é possível acentuar os efeitos indutivos e capacitivos e desta forma melhorar a sensibilidade das medições. Os ensaios de resposta em frequência medem as relações de transformação do transformador por meio de uma varredura numa faixa de frequências e obtém as funções de transferência do equipamento.

Fazendo a análise dessa varredura de frequências é possível detectar alguma falta devido a deformações no enrolamento, deslocamento do núcleo, curto-circuito entre espiras ou mesmo o envelhecimento dos materiais dielétricos. A medição da relação de transformação para diversas frequências pode ser realizada aplicando-se um sinal senoidal com frequência variável dentro de uma determinada faixa a um dos enrolamentos do transformador e medindo-se a transferência deste sinal para outro enrolamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

Como objeto de estudo desta pesquisa, foram utilizados dois transformadores de potencial. Sendo um de proteção e o outro de medição. Na figura 9, com suas especificações nas tabelas 3 e 4.

FIGURA 9: TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUTIVO



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

TABELA 3: ESPECIFICAÇÕES DO TP DE PROTEÇÃO

Fabricante	SOLTRAN Transformadores LTDA
Modelo	SN12
Grupo	1
Frequência	60Hz
Exatidão	0,3P75
Tensão máxima de operação	15kV
Potência térmica nominal	400VA
Relação nominal	120:1
Uso	Interno
Tensão primária nominal	13,8kV
Nível de Isolamento	34/95 kV

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

TABELA 4: ESPECIFICAÇÕES DO TP DE MEDIÇÃO

Fabricante	ELEQ
Modelo	UZGR
Frequência	60Hz
Tensão máxima de operação	15kV
Potência térmica nominal	400VA
Relação nominal	125:1
Uso	Interno
Tensão primária nominal	13,8kV

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Para o desenvolvimento deste trabalho os equipamentos necessários para a realização dos ensaios são:

- Fonte de alimentação AC programável 3000 Lx da California Instruments™ para gerar o sinal senoidal como é mostrada na figura 10. Com suas especificações na tabela 5.

FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO DE UMA FONTE DE ALIMENTAÇÃO AC PROGRAMÁVEL DA CALIFORNIA INSTRUMENTS™.



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

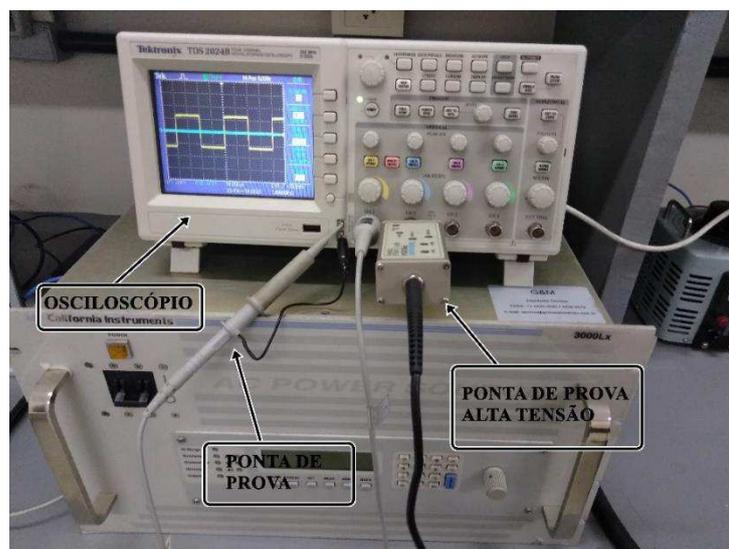
TABELA 5: ESPECIFICAÇÕES DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO PROGRAMÁVEL

Fabricante	California Instruments
Modelo	3000Lx
Faixa de freqüência	45 – 5000 Hz
Potência máxima monofásica	3 KVA
Potência máxima trifásica	1 KVA por fase
Faixa de tensão RMS AC	0 – 150 / 0 – 300 v
Faixa de corrente RMS AC	0 – 2,50 / 0 – 5,00 A

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Osciloscópio, mostrado na figura 11.

FIGURA 11: OSCILOSCÓPIO DE 4 CANAIS



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Ponta de prova do osciloscópio, mostrado na figura 11.
- Ponta de prova para alta tensão Tektronix P6015A, mostrada na figura 12.

FIGURA 12: PONTA DE PROVA PARA ALTA TENSÃO



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Microcomputador para automatização das medições mostrado na figura 13.

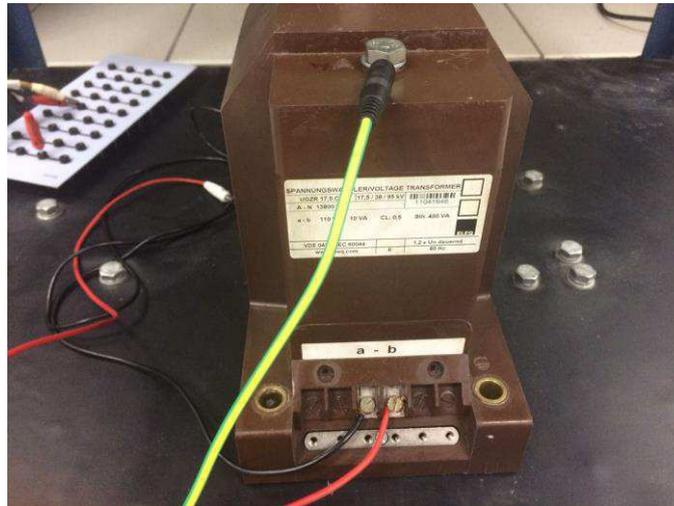
FIGURA 13: MONTAGEM INICIAL



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- TP indutivo de medição 13.800/110 V, mostrado na Figura 14.

FIGURA 14: TP INDUTIVO DE MEDIÇÃO 13.800/110 V



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- TP indutivo de proteção 13.800/115 V, mostrado na Figura 15

FIGURA 15: TP INDUTIVO DE PROTEÇÃO 13.800/115 V



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

4.2 METODOLOGIA DE ENSAIOS

Este subitem descreve os métodos utilizados para determinar e validar os ensaios e medições feitos em transformadores de potencial indutivo. A fim de estudar gráficos de relação de transformação e defasagem de cada ensaio. Portanto, a metodologia foi assim distribuída:

a) Revisão Bibliográfica e levantamento do material de estudo

A revisão bibliográfica iniciou-se com um estudo amplo transformadores para instrumento, com foco em transformadores de potencial indutivo buscando conhecer e compreender seu funcionamento, bem como o seu princípio de operação. Também foi estudada resposta em frequência em transformadores de potencial indutivo, a fim de, ao final do estudo, apresentar resultados conclusivos quanto ao diagnósticos do estado de operação dos TP's estudados.

b) Treinamento com fontes de tensão programável;

Com as características particulares de cada modelo de fonte de tensão programável, foi buscado maior estudo sobre a fonte utilizada, visando obter mais autonomia no desenvolvimento dos ensaios, portanto, várias seções de treinamento com a fonte foram realizados. O treinamento constituiu desde o conhecimento do software utilizado, até rotinas de instalação do programa Lx GUI 1.6.0 para permitir a comunicação entre o programa e a fonte 3000L. Depois, foi implementada a rotina para configuração dos parâmetros de tensão e frequências a serem utilizadas nos ensaios.

c) Implementação de um arranjo experimental para alimentação e medição dos sinais elétricos de entrada e saída dos TP's de indução sob testes

Inicialmente, implantou-se um arranjo experimental para alimentação, medição e monitoramento das tensões nos enrolamentos primário e secundário dos transformadores de potencial indutivo. O objetivo deste arranjo é possibilitar, a medição da tensão nos enrolamentos do transformador em diversas frequências de operação. O monitoramento destas tensões permitirá avaliar o comportamento da relação de transformação e defasagem, entre os sinais de tensão nos circuitos primário e secundário, fazendo o levantamento das curvas características desses ensaios. Na figura 16, é apresentado o arranjo experimental adotado neste trabalho, com os equipamentos utilizados .

FIGURA 16: ARRANJO EXPERIMENTAL DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

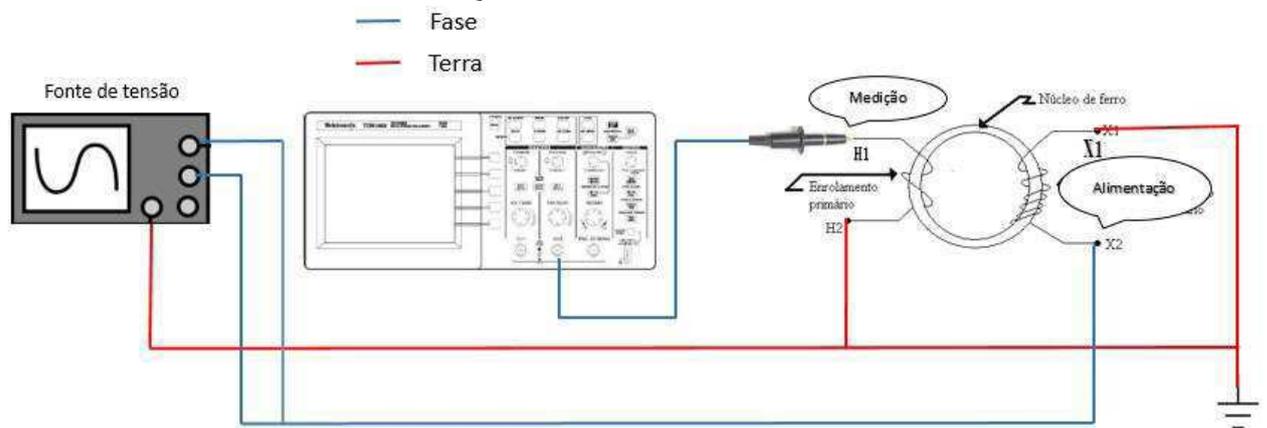


FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

d) Ensaios de resposta em frequência de transformadores de potencial indutivo

Foram iniciados os ensaios, onde é aplicada uma tensão nos terminais dos transformadores, em uma faixa de frequência de 60-3000 Hz. Para isso, o osciloscópio deve estar devidamente calibrado, e conectar a fonte geradora de tensão ao microcomputador como apresentado na figura 17, e daí com a ajuda do *software* LxGUI, são iniciados os ensaios variando a frequência e aplicando a tensão fixa para cada ensaio.

FIGURA 17: ESQUEMA DO ARRANJO EXPERIMENTAL



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

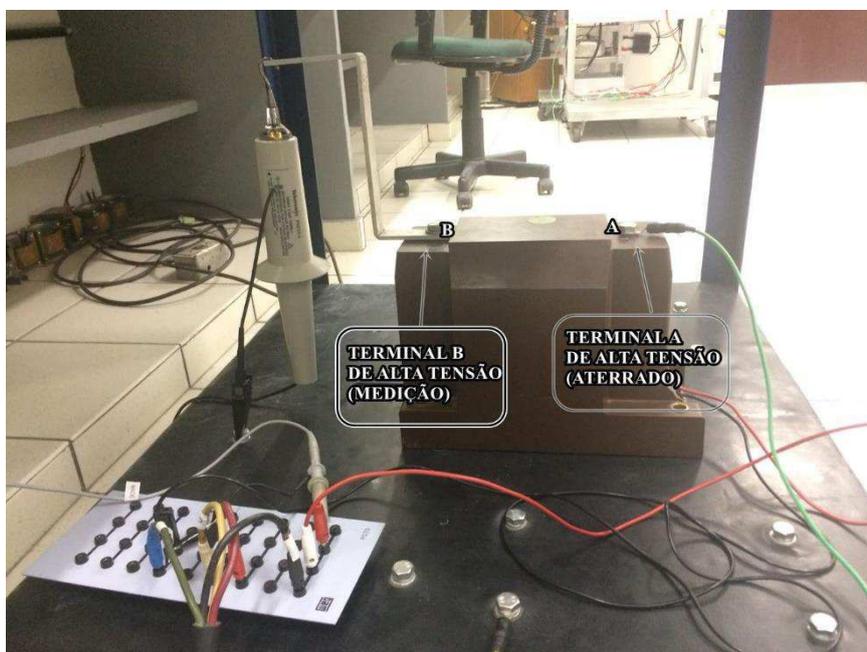
Os ensaios foram feitos com 100V, porque esse foi o valor da tensão mais próxima alimentada, que fez o transformador de potencial indutivo chegar a sua tensão nominal ao ser medido. Já o de 300V, foi a tensão máxima que a fonte conseguiu alimentar o transformador de potencial indutivo.

A seguir, é mostrado o decorrer dos passos, realizados nos ensaios.

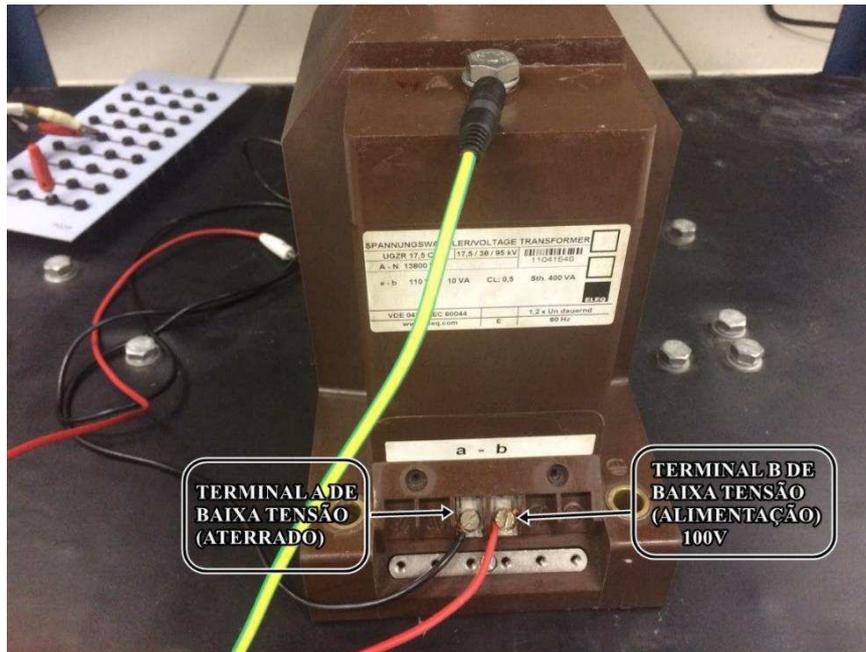
- Ensaio 1 com alimentação de 100V no lado de baixa no TP de medição
 - i. Conecta-se a fase da fonte geradora no *terminal B* de baixa tensão do transformador;
 - ii. Aterra-se o *terminal A* de alta e de baixa do mesmo;
 - iii. Mede-se a tensão no terminal B de alta tensão, com a ponta de prova usada para isso;
 - iv. Ao abrir o programa *Lx GUI 1.6.0* é aplicado 100V no terminal que está sendo alimentado pela fonte;
 - v. Em seguida, no mesmo programa, varia-se a frequência de 60 em 60 Hz, até 3000 Hz;
 - vi. E então, são anotados e salvos os dados do osciloscópio, para posteriormente ser usado para construção das curvas a serem estudadas.

A ilustração desse ensaio encontra-se na figura 18 (a) e (b) e (c).

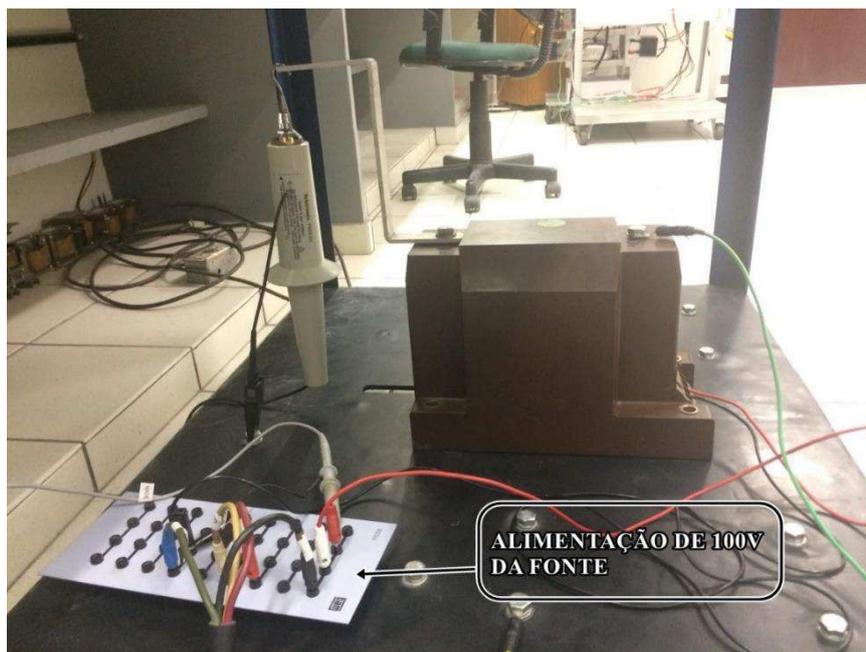
FIGURA 18: MONTAGEM DO ENSAIO 1 COM O TP DE MEDIÇÃO ALIMENTADO COM 100V



(a)



(b)



(c)

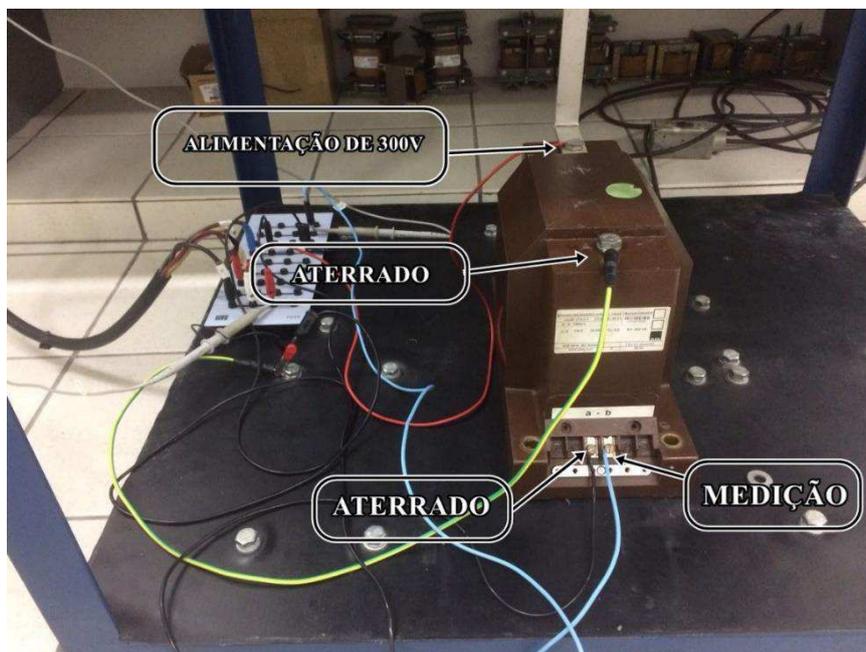
FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Ensaio 2 com alimentação de 300V no lado de alta no TP de medição
 - i. Conecta-se a fase da fonte geradora no *terminal B* de alta tensão do transformador;

- ii. Aterra-se o *terminal A* de alta e de baixa do mesmo;
- iii. Mede-se a tensão no *terminal B* de baixa tensão, com a ponta de prova usada para isso;
- iv. Ao abrir o programa *Lx GUI 1.6.0* é aplicado 300V no terminal que está sendo alimentado pela fonte;
- v. Em seguida, no mesmo programa, varia-se a frequência de 60 em 60 Hz, até 3000 Hz;
- vi. E então, são anotados e salvos os dados do osciloscópio, para posteriormente ser usado para construção das curvas a serem estudadas.

A ilustração desse ensaio encontra-se na Figura 19.

FIGURA 19: MONTAGEM DO ENSAIO 2 COM O TP DE MEDIÇÃO ALIMENTADO COM 300V



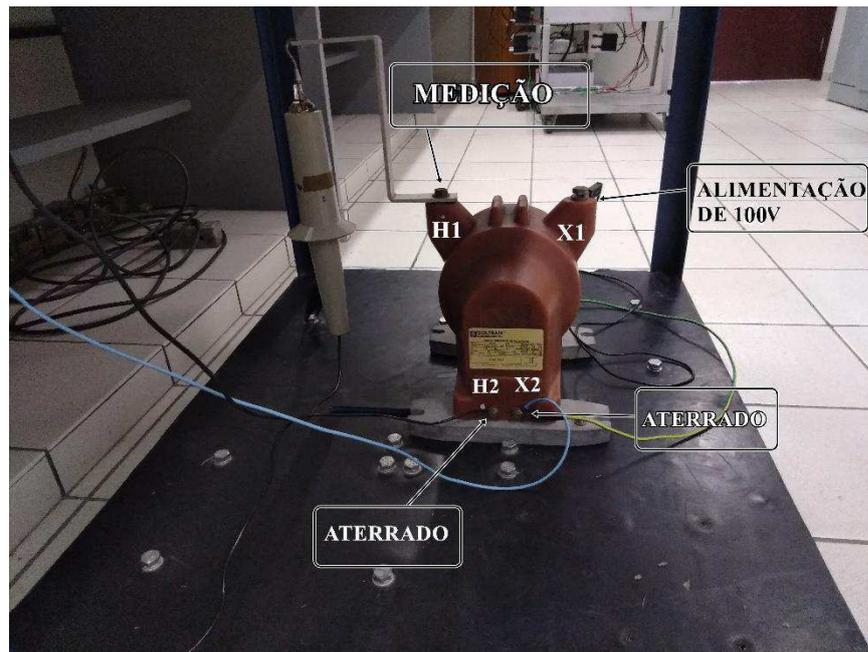
FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Ensaio 3 com alimentação de 100V no lado de baixa no TP de proteção
 - i. Conectamos a fase da fonte geradora no *terminal X1* do transformador;
 - ii. Aterramos o *terminal X2* e *H2* do mesmo;
 - iii. Medimos a tensão no *terminal H1*, com a ponta de prova usada para isso;
 - iv. Ao abrir o programa *Lx GUI 1.6.0* é aplicado 100V no terminal que está sendo alimentado pela fonte;

- v. Em seguida, no mesmo programa, varia-se a frequência de 60 em 60 Hz, até 3000 Hz;
- vi. E então, são anotados e salvos os dados do osciloscópio, para posteriormente ser usado para construção das curvas a serem estudadas

A ilustração desse ensaio encontra-se na figura 20.

FIGURA 20: MONTAGEM DO ENSAIO 3 COM O TP DE PROTEÇÃO ALIMENTADO COM 100V



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Ensaio 4 com alimentação de 300V no lado de alta no TP de proteção
 - i. Conecta-se a fase da fonte geradora no *terminal H1* do transformador;
 - ii. Aterra-se o *terminal X2* e *H2* do mesmo;
 - iii. Mede-se a tensão no *terminal X1*, com a ponta de prova usada para isso;
 - iv. Ao abrir o programa *Lx GUI 1.6.0* é aplicado 100 no terminal que está sendo alimentado pela fonte;
 - v. Em seguida, no mesmo programa, varia-se a frequência de 60 em 60 Hz, até 3000 Hz;
 - vi. E então, são anotados e salvos os dados do osciloscópio, para posteriormente ser usado para construção das curvas a serem estudadas.

A ilustração desse ensaio encontra-se na figura 21.

FIGURA 21: MONTAGEM DO ENSAIO 4 COM O TP DE PROTEÇÃO ALIMENTADO COM 300V



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- e) Desenvolvimento e aplicação da rotina computacional para cálculo de relação de transformação e defasagem e elaboração dos gráficos;

Feitos os ensaios, são salvos os arquivos .csv para ser utilizado no software *MATLAB* e levantar as curvas de defasagem, e relação de transformação. Foi possível fazer uma rotina para o cálculo das variáveis a serem analisadas.

A seguir mostra a rotina feita para o cálculo da relação de transformação (figura 22) e defasagem (figura 23).

FIGURA 22: ROTINA FEITA PARA O CÁLCULO DA RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO



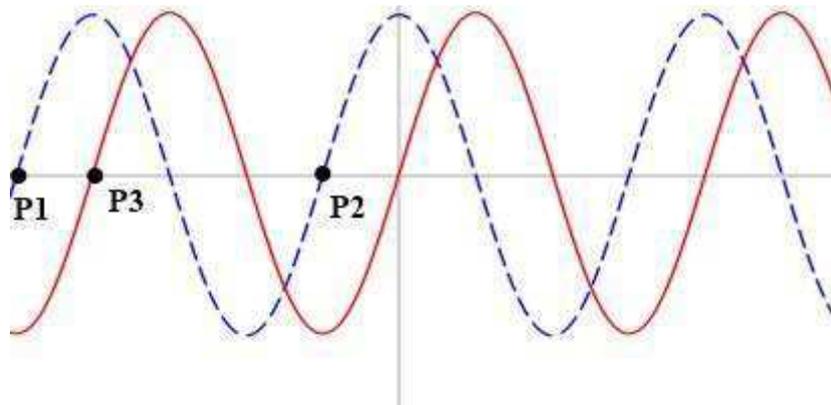
FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

FIGURA 23: ROTINA FEITA PARA O CÁLCULO DA DEFASAGEM



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

FIGURA 24: ILUSTRAÇÃO DOS PONTOS UTILIZADOS PARA CALCULAR A DEFASAGEM

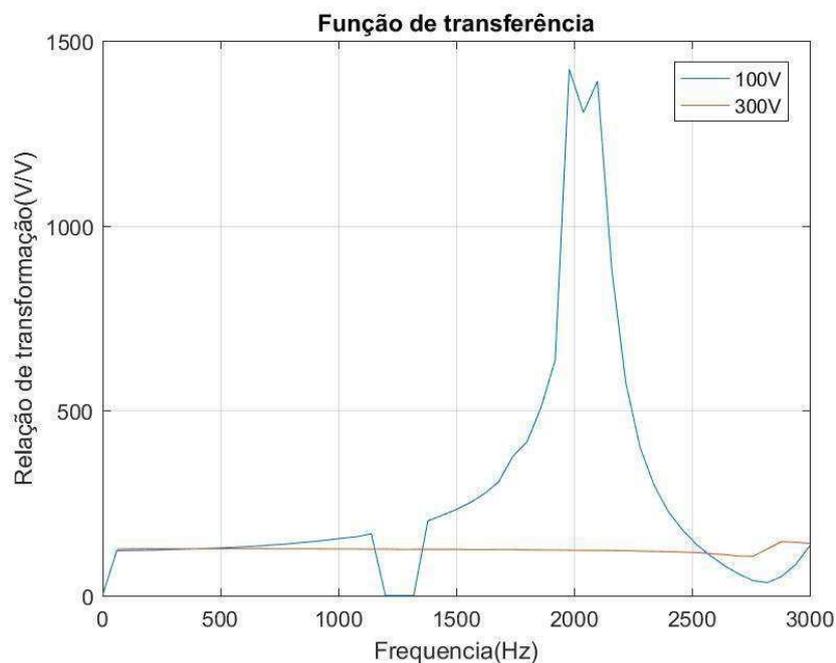


FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

f) Análise dos gráficos obtidos para desenvolvimento de conclusões. Os gráficos para fim de conclusão encontra-se:

- Relação de transformação entre o ensaio 1 e 2, no TP de medição mostrado na figura 25;

FIGURA 25: RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE O ENSAIO 1 E 2, NO TP DE MEDIÇÃO



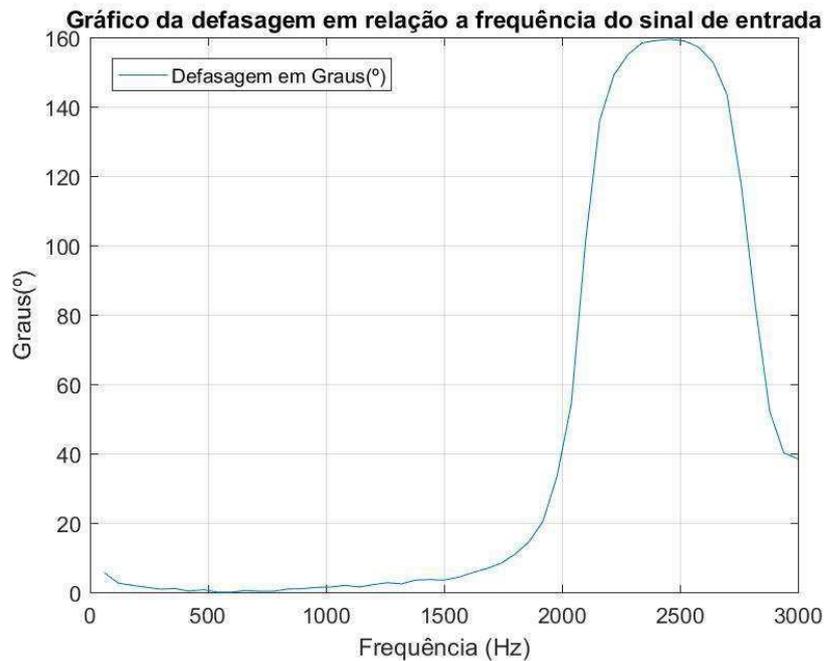
FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Na primeira parte do ensaio 1 e 2, é observado que a partir de médias frequências, o ensaio com 100V, o erro de transformação começa a ter um valor muito alto, enquanto, o ensaio com 300V, está mais próximo do valor esperado, pois, se comporta de maneira

mais linear. Portanto, é possível afirmar, que no ensaio 1, percebe-se com clareza, que o transformador não opera com seu valor nominal.

- Defasagem do ensaio 1 mostrado na figura 26;

FIGURA 26: DEFASAGEM DO ENSAIO 1

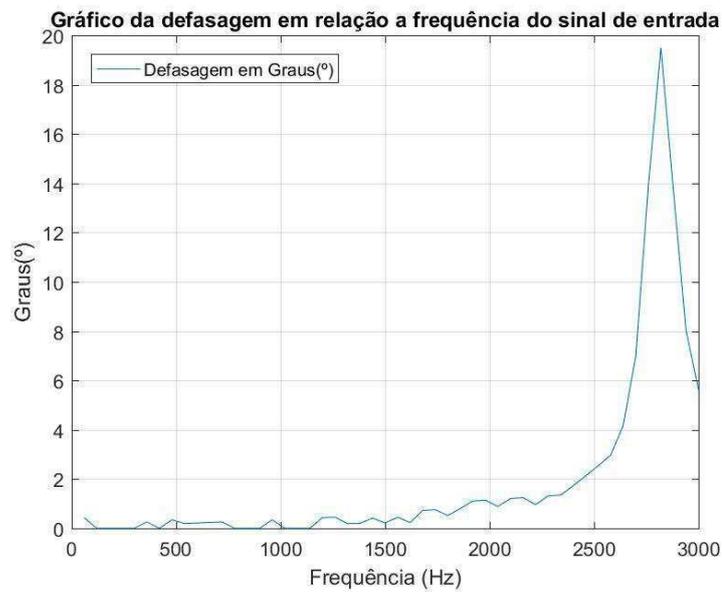


FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

No gráfico da defasagem dessa figura, é visto que, a partir de frequências após 1800Hz, a defasagem da tensão aumenta de maneira significativa, fazendo com que a partir desses valores, o transformador não opere de maneira como esperado, pois, sabe-se que um sinal senoidal a defasagem tem que ser constante.

- Desafasagem do ensaio 2 mostrado na figura 27;

FIGURA 27: DEFASAGEM DO ENSAIO 2

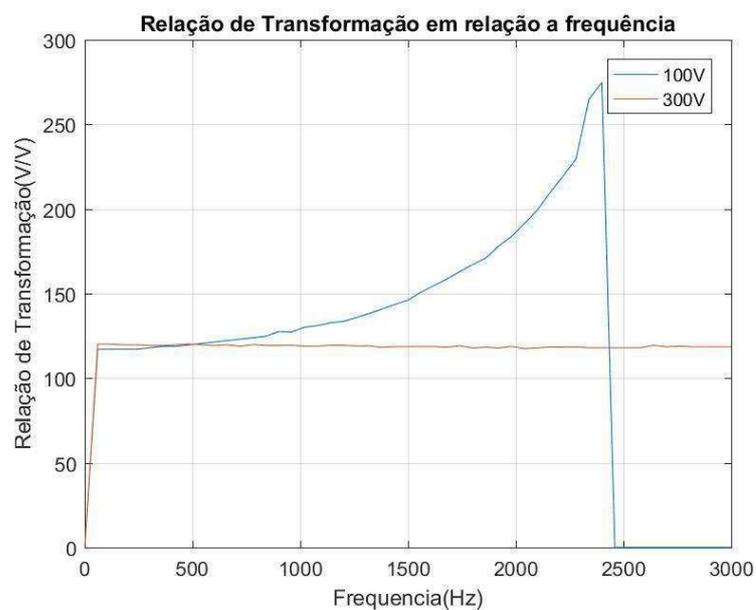


FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

No gráfico deste ensaio a defasagem, começa aumentar apenas em frequências maiores, depois de 2550Hz, visto que, o ensaio de 300V se aproxima mais dos valores nominais, portanto é esperado que a defasagem seja menor e relação ao ensaio 1.

- Relação de transformação entre o ensaio 3 e 4, no TP de proteção mostrado na figura 28;

FIGURA 28: RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE O ENSAIO 3 E 4, NO TP DE PROTEÇÃO



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Nos ensaios 3 e 4, com o transformador de proteção, é possível analisar que para o ensaio de 100V a partir de 600Hz, o erro de transformação aumenta de maneira exponencial, deixando o ensaio comprometido, até que, quando se aproxima de frequência 2500Hz, o transformador não suporta esse aumento, fazendo que as próximas frequências não fossem mais utilizadas no ensaio. Já no ensaio de 300V, é observado, que logo após o início da medição, o transformador se comportou de maneira mais fiel a nominal, concluindo assim que o ensaio com 300V se comportou de maneira mais próxima ao esperado.

- Defasagem do ensaio 3 mostrado na figura 29;

FIGURA 29: DEFASAGEM DO ENSAIO 3

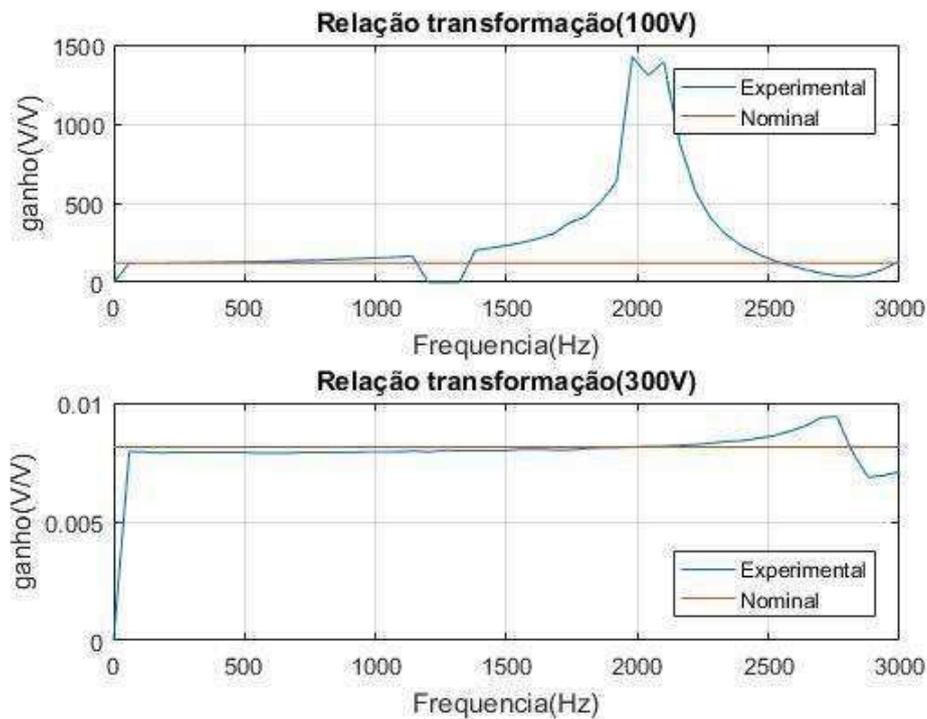


FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Como foi analisado e mencionado, o ensaio 3 com uma tensão de 100V, chegou ao estado crítico de medição a partir da frequência 600Hz, comprometendo o resto do ensaio, portanto é correto afirmar, que sua defasagem aumenta gradativamente, pois o transformador já não está operando de maneira correta.

- Relação de transformação do ensaio 1 e 2 respectivamente, comparada com a relação nominal do transformador de potencial, como mostra na figura 30.

FIGURA 30: RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO DO ENSAIO 1 E 2 RESPECTIVAMENTE, COMPARADA COM A RELAÇÃO NOMINAL

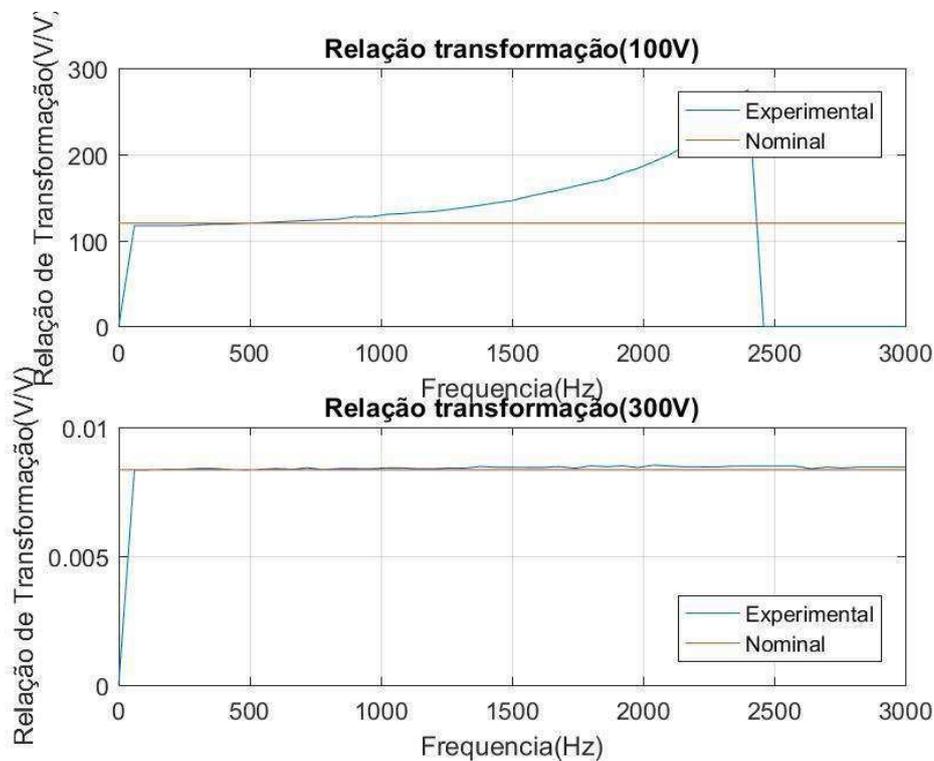


FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Como foi mencionado, o ensaio 1 e 2, com 300V, é mais próximo do valor esperado da relação de transformação do TP, já com o de 100V, a partir de determinadas frequências, a medição começa a ser comprometida, resultando em erros de medição. Esse gráfico serve para se ter uma ideia de como se comporta a medição em relação ao valor nominal do TP.

- Relação de transformação do ensaio 3 e 4 respectivamente, comparada com a relação nominal do transformador de potencial, como mostra na figura 31.

FIGURA 31: RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO DO ENSAIO 3 E 4 RESPECTIVAMENTE, COMPARADA COM A RELAÇÃO NOMINAL



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Como foi explicado, o ensaio 3 e 4, com 300V, é praticamente fiel ao valor nominal da relação de transformação do TP, já com o de 100V, a partir de determinadas frequências, a medição começa a ser comprometida, resultando em erros de medição, pois para o transformador operar de maneira correta, é necessário que a relação de transformação seja linear. Esse gráfico serve para se ter uma ideia de como se comporta a medição em relação ao valor nominal do TP.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados obtidos e em função dos ensaios realizados, percebe-se que o levantamento de resposta em frequência, está presente para determinação dos valores reais, medidos pelo transformador de potencial indutivo, e com isso, poderão ser tomadas as decisões corretas, a fim de utilização do equipamento em teste neste trabalho.

Com base nos resultados dos ensaios, é observado, que nem sempre o transformador se comporta de maneira ao esperado de seu valor nominal.

Várias características afetam o comportamento do transformador de potencial indutivo, tornando seu comportamento, não linear, mostrando que, mesmo que o fabricante forneça os dados de resposta em frequência do equipamento, dificilmente poderá ser reproduzido da mesma maneira, devido as diversas variações, influências construtivas, influências de condições de operação, componentes internos e outro fator interessante, como a temperatura.

Portanto, essas informações reforçam o fato da necessidade de uma análise de resposta em frequência para cada transformador de potencial indutivo, uma vez que cada um apresentará um comportamento diferente.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6855 Transformador de Potencial Indutivo – Especificação, 1992.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6856 Transformador de Corrente – Especificação, 2015.

Aguiar, Ezequiel Rabelo de. **Análise de Resposta em Frequência Aplicada em Transformadores de Potência**. Belo Horizonte : UFMG, 2007. Dissertação de Mestrado.

Apostila Artech [online]

Available at: <https://www.artech.com/pt/produtos/transformadores-de-corrente>

Araujo, Daniel Carrijo Polonio. **Estudo de Metodologia e Técnicas para Execução de Ensaios de Resposta em Frequência em Transformadores de Potência**. Belo Horizonte : UFMG, 2009. Dissertação de Mestrado.

CARDOSO J. R.; GOUVÊA M. R. **Apostila de Eletrotécnica Geral – Transformadores**. EPUSP, São Paulo.

D’AJUZ, Ary et al. **Equipamentos Elétricos: especificação e aplicação em subestações de alta tensão**. Rio de Janeiro: FURNAS, 1985.

DELGADO, R.S. "Estudo dos Requisitos Essenciais a Especificação de Transformadores de Potência em Condições Normais de Operação", Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Março de 2010.

FALCONE, A. G.; EDGAR BLUCHER. **Conversão Eletromecânica de Energia**. Vol I. São Paulo, 1985.

FITZGERALD, A. E.; CHARLES K. J.; STEPHEN D.U. **Máquinas Elétricas: Com Introdução à Eletrônica de Potência** 6ed. Porto Alegre, Artmed, 2006.

FRAGOSO, C. M. **Transformadores Teoria e Projeto**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, João Pessoa, 2010.

KOSOW, Irwing L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 15ª ed. São Paulo, Globo, 2005.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 3ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

MARTINS, H. J. **Diagnósticos de Transformadores de Potência Através de Metodologias no Domínio da Frequência**. Tese de D. Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MENDES, J.C. **Redução de Falhas em Grandes Transformadores de Alta Tensão**. Tese de D.Sc. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

OLIVEIRA, J.C.; COGO, J.R.; ABREU, J.P.G. **Transformadores: Teoria e Ensaio**. 2^a ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1984

PAULINO, M. E. C. et al. **Aplicações de Análise de Resposta em Frequência e Impedância Terminal para Diagnóstico de Transformadores**. XIII ERIAC – Décimo Terceiro Encontro Regional Ibero-americano do CIGRÉ , Foz do Iguaçu, Argentina, 2009.

.