

Projeto Final de Curso

Validação dos ensaios de TP e TC em uma Subestação 138kV na região Norte

Juarez Luiz Mendonça Junior
Aluno Graduando
Escola Politécnica e de Artes
Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Goiânia, Goiás, Brasil

Prof. Cássio Hideki Fujisawa
Orientador
Escola Politécnica e de Artes
Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Goiânia, Goiás, Brasil

Prof. Luis Fernando Pagotti
Membro da Banca
Escola Politécnica e de Artes
Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Goiânia, Goiás, Brasil

Prof. Carlos Alberto Vasconcelos Bezerra
Membro da Banca
Escola Politécnica
Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Goiânia, Goiás, Brasil

Resumo: O trabalho apresenta a análise e validação dos ensaios realizados em Transformadores de Corrente (TC) e Transformadores de Potencial (TP) instalados em uma subestação de 138 kV na região norte. Para uma operação segura e eficiente do Sistema Interligado Nacional (SIN), esses transformadores, essenciais para medição, proteção e controle, passam por ensaios de fábrica e posteriormente por ensaios em campo para garantir seu funcionamento adequado após transporte e instalação. Foram avaliados quatro tipos de ensaios: resistência de isolamento, resistência ôhmica dos enrolamentos, relação de transformação e curva de saturação.

Abstract: The work presents the analysis and validation of tests performed on Current Transformers (CTs) and Potential Transformers (PTs) installed in a 138 kV substation in the northern region. For the safe and efficient operation of the National Interconnected System (SIN), these transformers, essential for measurement, protection, and control, undergo factory tests and later field tests to ensure proper functioning after transport and installation. Four types of tests were evaluated: insulation resistance, winding ohmic resistance, transformation ratio, and saturation curve.

Keywords: Transformador de Corrente, Transformador de Potencial, TC, TP, Subestação, Ensaios.

I. INTRODUÇÃO

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é responsável pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica para todo o Brasil. “Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica do SIN e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel)”, fonte [1].

A energia não pode ser criada nem destruída apenas transformada, por isso, é necessário ter uma fonte de geração onde ocorre a transformação de energia, seja qual for sua fonte, em energia elétrica. No Brasil as principais fontes de geração de energia elétrica são: Geração Hidráulica, Geração Eólica; Geração Solar; Geração Térmica e Geração Nuclear. Atualmente a geração hidráulica é a que mais gera energia no Brasil, seguido pela Eólica. A figura 1 mostra a matriz

energética brasileira no ano de 2024, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), fonte [2].

Matriz Elétrica Brasileira 2024 – Fonte [2]

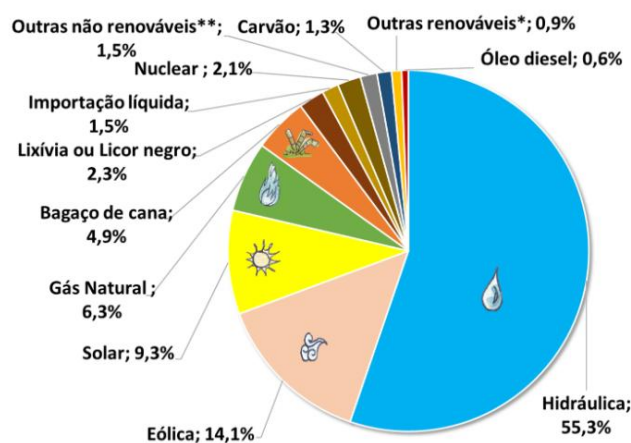


Figura 1

Depois de transformada, a energia elétrica é distribuída para todo o Brasil pelas linhas de transmissão. O Brasil é um país com grande extensão territorial e a maioria das fontes geradoras, principalmente as usinas hidrelétricas, ficam distantes dos centros consumidores. As tensões na geração variam de 6kV a 25kV com potência acima de 30MW e é necessário elevar essa tensão para garantir que energia possa ser transportada por longas distâncias de maneira eficiente, com a menor perda de energia possível. Por esse motivo, bem próximo da geração, existe uma subestação elevadora que aumenta a tensão para níveis padronizados que variam entre as seguintes tensões: 138kV, 230kV, 345kV, 440kV, 500kV e 765kV, em corrente alternada, fonte [3].

Depois de transformada e elevada a energia elétrica é transmitida para todos os estados e o Distrito Federal. Para que essa transmissão seja feita com eficiência temos o SIN (Sistema Interligado Nacional). O SIN é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Todo esse sistema está interligado para garantir uma sinergia operacional em que a energia elétrica gerada possa ser

utilizada de forma eficaz em qualquer região do Brasil, fonte [4].

A energia elétrica é transmitida até as subestações abaixadoras que estão em pontos estratégicos nos principais centros consumidores. Nessas subestações a tensão é rebaixada para o nível de tensão de distribuição que é padronizado em 13,8kV, 34,5kV, 69kV e 138kV. A partir desse ponto, todos os consumidores são atendidos, os consumidores primários, atendidos a partir de 13,8kV, e consumidores secundários, atendidos em 220/380V ou 127/220V dependendo da região. Nas linhas de distribuição, existem transformadores espalhados estrategicamente para rebaixar a tensão e atender os consumidores secundários, fonte [5].

O Sistema Interligado Nacional é complexo, mas pode ser representado de uma forma simplificada como na figura 2, onde ilustra a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica.

Setor Elétrico Brasileiro – Fonte [6]

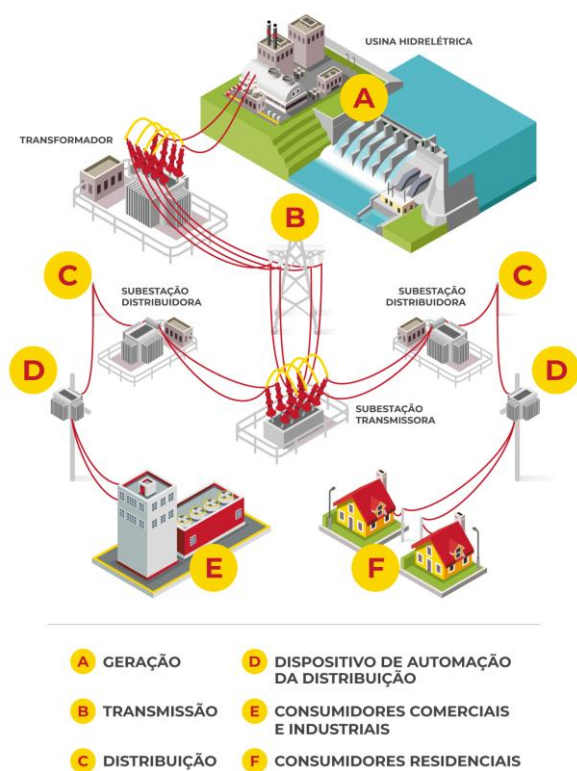


Figura 2

As subestações estão presentes em todo o SIN, desde a geração até o consumidor final. As subestações são de grande importância para o funcionamento e segurança de todo o sistema, nela a energia elétrica é transformada, controlada e adequada para uso residencial, comercial e industrial.

Uma subestação é formada por um conjunto de equipamentos de transformação, controle e leitura das tensões, correntes e potências. Esses equipamentos fazem a medição da energia, garantem a proteção da própria subestação e de outros sistemas que estão conectados a ela, fazem o monitoramento e a conexão no SIN, garantindo que todo o sistema brasileiro esteja interligado e operando simultaneamente.

Os principais equipamentos de uma subestação são: os transformadores, disjuntores, para-raios, barramentos, chaves seccionadoras, relés e sistema de aterramento. Dentre esses equipamentos, estão os Transformadores de Potencial (TP) e Transformadores de Corrente (TC) são utilizados para isolar o circuito de alta tensão (primário) e garantir uma medição, controle e proteção eficaz e econômica. Esses equipamentos estão presentes em todas as subestações de alta e média tensão por ser possível trabalhar com níveis de tensão e corrente seguros e compatíveis com os equipamentos de proteção, controle e medição, fonte [7] [8].

Os Transformadores de Potencial (TP) e Transformadores de Corrente (TC) são submetidos a ensaios e comissionamentos para garantir o funcionamento e precisão conforme necessário.

Este trabalho tem como objetivo certificar o funcionamento dos Transformadores de Potencial e dos Transformadores de Corrente, em uma subestação de 138kV, através da análise dos ensaios e comissionamentos realizados em campo, após a instalação dos equipamentos na subestação, de acordo com as normas aplicáveis.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em uma subestação, além da elevação e rebaixamento da tensão, são realizadas as funções de medição e proteção.

A medição em uma subestação é a supervisão da energia elétrica feita por um medidor de energia, onde é feito o registro e quantificação das tensões, correntes e potências com muita precisão. Essas informações são aplicadas para o faturamento e controle de outros equipamentos.

A proteção é responsável pela isolamento do circuito após uma falha no sistema para evitar danos maiores aos equipamentos e seres humanos que possam estar envolvidos. Essa falha pode ser originária de várias fontes, e o relé deve ser programado para atuar o mais breve possível para reduzir o máximo de danos. Para que a atuação seja precisa e o mais rápido possível, o relé faz a leitura das tensões, correntes e potências e quando essas grandezas não estão de acordo com os parâmetros estabelecidos na configuração do relé, ele deve atuar.

Os medidores e relés de proteção não fazem a leitura direta das tensões e correntes em uma subestação. Imagine o gasto e a complexibilidade para levar cabos com bitolas e conectores enormes até os medidores e relés em uma subestação além do perigo de operar um equipamento com uma tensão muito alta, por isso existem dois equipamentos que são extremamente importantes e que não podem faltar, são eles os Transformadores de Potencial (TP) e os Transformadores de Corrente (TC) que também são conhecidos como Transformadores de Instrumentos (TI). Esses equipamentos são responsáveis por transformar a tensão e corrente em níveis de usabilidade para que o medidor e o relé consigam operar de forma mais simples e segura, já que os níveis de tensão e correntes vão ser bem menores.

A. Transformadores de Corrente

Os transformadores de corrente, também conhecidos como transformadores de instrumentos, são equipamentos que transformam a corrente elétrica para níveis de usabilidade, geralmente 1 ou 5 ampères, onde garantem um nível de segurança e compatibilidade com os relés de proteção e medidores de energia, de acordo com a relação desejada, fonte

[9] [10]. A Tabela I mostra as relações nominais simples de acordo com a NBR 6856, fonte.

TABELA I

Corrente primária nominal A	Relação nominal (5 A)	Relação nominal (1 A)	Corrente primária nominal A	Relação nominal (5 A)	Relação nominal (1 A)	Corrente primária nominal A	Relação nominal (5 A)	Relação nominal (1 A)
5	1:1	5:1	100	20:1	100:1	1 200	240:1	1 200:1
10	2:1	10:1	150	30:1	150:1	1 500	300:1	1 500:1
15	3:1	15:1	200	40:1	200:1	2 000	400:1	2 000:1
20	4:1	20:1	250	50:1	250:1	2 500	500:1	2 500:1
25	5:1	25:1	300	60:1	300:1	3 000	600:1	3 000:1
30	6:1	30:1	400	80:1	400:1	4 000	800:1	4 000:1
40	8:1	40:1	500	100:1	500:1	5 000	1 000:1	5 000:1
50	10:1	50:1	600	120:1	600:1	6 000	1 200:1	6 000:1
60	12:1	60:1	800	160:1	800:1	8 000	1 600:1	8 000:1
75	15:1	75:1	1 000	200:1	1 000:1	10 000	2 000:1	10 000:1

Relações nominais simples para TC – Fonte [11]

A corrente no secundário é proporcional a corrente no primário, onde elas são inversamente proporcionais a quantidade de espiras. (1) Representação da relação da corrente primária com a secundária, fonte [10].

$$N_1 * I_1 = N_2 * I_2 \quad (1)$$

Onde:

N_1 = número de espiras do enrolamento primário

I_1 = corrente do circuito primário

N_2 = número de espiras do enrolamento secundário

I_2 = corrente do circuito secundário

O TC é constituído por um núcleo vazado laminado com uma bobina secundária em volta do condutor do circuito primário, como é possível ver na figura 3.

Esquemático – TC – Fonte [10]

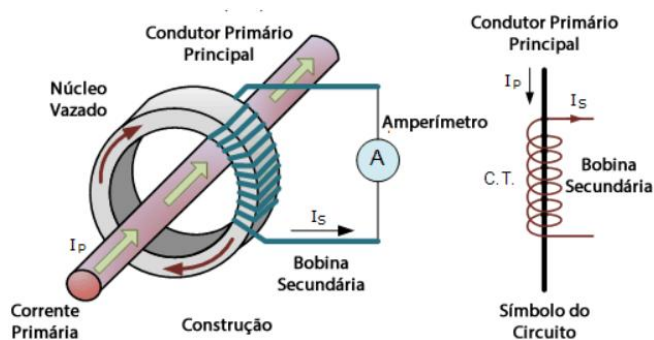


Figura 3

O TC possui classe de exatidão definidas pelo fabricante que são padronizadas pela norma NBR 6856. Para medição e proteção temos classe de exatidão diferentes por ser objetivos diferentes. Para medição, é necessário ter uma maior precisão e não é necessário medir correntes de falhas no sistema, que podem chegar até vinte vezes o valor da corrente nominal, por isso o erro da classe de exatidão tem que ser menor. O TC possui as seguintes classes de exatidão para medição de acordo com a norma NBR 6856: 0,3 – 0,6 – 1,2 – 3,0, as figuras 4 e 5 mostram o paralelogramo da classe de exatidão de 0,3 e 0,6 respectivamente, fonte [11].

Paralelogramos para as classes 0,3 e 0,3S – Fonte [11]

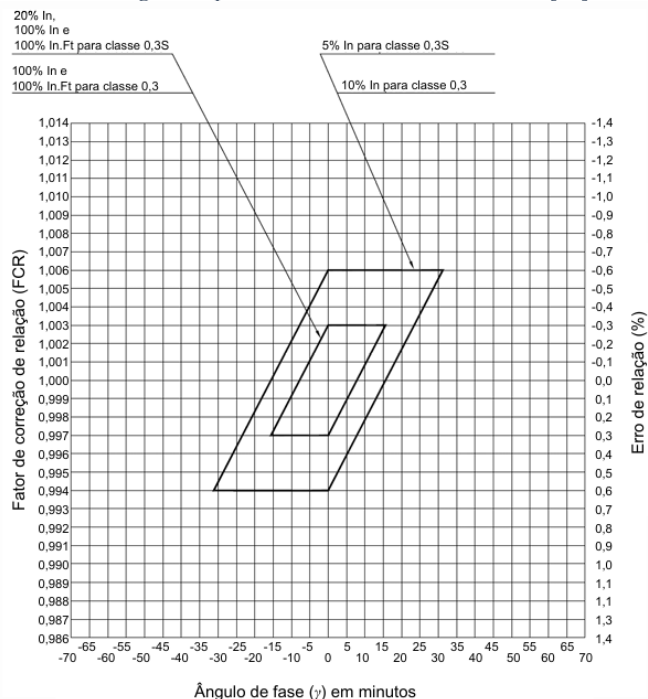


Figura 4

Paralelogramos para as classes 0,6 e 0,6S – Fonte [11]

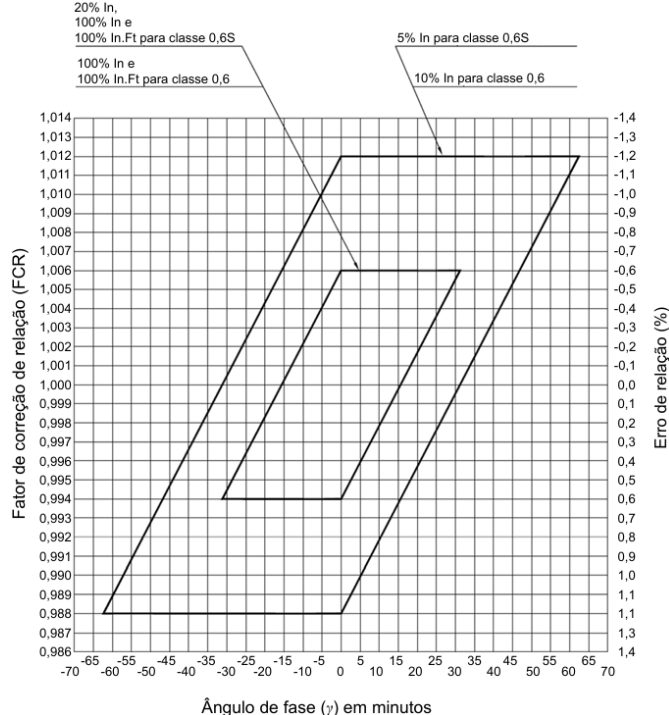


Figura 5

A classe de exatidão define o limite de erro aceitável em porcentagem. Por exemplo: para uma classe de exatidão de 0,3, o erro aceitável é de $\pm 0,3\%$ na relação do primário com o secundário, figura 6.

Classe de exatidão 0,3 no paralelogramo - Fonte [11] adaptada

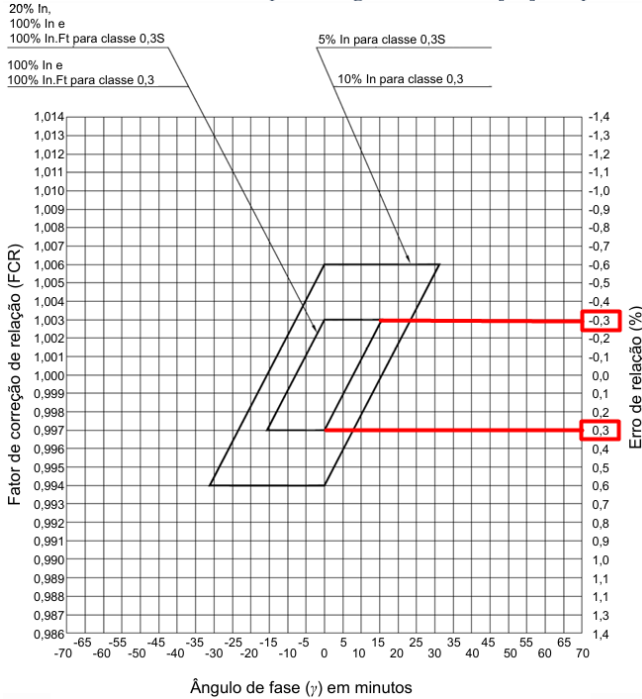


Figura 6

Já na proteção não é necessária toda essa precisão, mas sim uma alta suportabilidade sem saturar o transformador para que o relé, quando houver falhas no sistema, consiga ler a corrente e fazer a proteção. De acordo com a norma, a classe de exatidão para proteção é padronizada com as seguintes relações: 5 – 10 – 15 – 20 – 25 – 30, fonte [11].

B. Transformadores de Potencial

Os transformadores de potencial são similares a um pequeno transformador de potência e, assim como o TC, também são conhecidos como transformadores de instrumentos, são equipamentos responsáveis por transformar os níveis de tensão do circuito de alta tensão em níveis de usabilidade, geralmente 115 e $115\sqrt{3}$, garantindo segurança e compatibilidade com os relés de proteção e medidores de energia, de acordo com a relação desejada.

Na relação de transformação de um TP é desconsiderado as perdas internas por ser relativamente pequena. A tensão no secundário é proporcional a tensão no primário, onde são inversamente proporcionais a quantidade de espiras. (2) Representação da relação da tensão primária com a secundária, fonte [12].

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2)$$

Onde:

N_1 = número de espiras do enrolamento primário

V_1 = tensão do circuito primário

N_2 = número de espiras do enrolamento secundário

V_2 = tensão do circuito primário

A tabela II mostra as relações primárias e secundárias nominais padronizadas de acordo com a NBR 6855.

Tabela II

Ligação entre fases		Ligação entre fase e terra			
Tensão primária nominal V	Relação nominal	Tensão primária nominal V	Relação nominal		
			Tensão secundária nominal V		
			~115/3	~115/√3	~115
115	1:1	—	—	—	—
230	2:1	—	—	—	—
402,5	3,5:1	—	—	—	—
460	4:1	—	—	—	—
2 300	20:1	2 300/√3	36:1	20:1	12:1
3 450	30:1	3 450/√3	52,5:1	30:1	17,5:1
4 025	35:1	4 025/√3	60:1	35:1	20:1
4 600	40:1	4 600/√3	72:1	40:1	24:1
6 900	60:1	6 900/√3	105:1	60:1	35:1
8 050	70:1	8 050/√3	120:1	70:1	40:1
11 500	100:1	11 500/√3	180:1	100:1	60:1
13 800	120:1	13 800/√3	210:1	120:1	70:1
23 000	200:1	23 000/√3	360:1	200:1	120:1
34 500	300:1	34 500/√3	525:1	300:1	175:1
46 000	400:1	46 000/√3	720:1	400:1	240:1
69 000	600:1	69 000/√3	1 050:1	600:1	350:1
		138 000/√3	2 100:1	1 200:1	700:1
		230 000/√3	3 600:1	2 000:1	1 200:1
		345 000/√3	—	3 000:1	1 800:1
		440 000/√3	—	4 000:1	2 300:1
		500 000/√3	—	4 500:1	2 500:1
		525 000/√3	—	4 500:1	2 600:1
		765 000/√3	—	6 600:1	3 800:1

Tensões primária e secundárias nominais para TP – Fonte [13]

Os transformadores de potencial indutivo possuem um enrolamento primário, onde é conectado na alta tensão, e um enrolamento secundário, com saídas para cada relação existente, com valores padronizados de tensão, figura 7.

Esquemático – TP – Fonte [12]

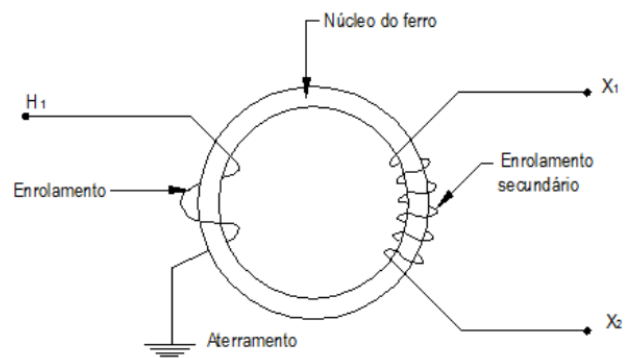


Figura 7

Assim como o TC, o TP também possui uma classe de exatidão para medição e proteção, definidas pelo fabricante que são padronizadas pela NBR 6855. Para medição são as seguintes classes: 0,3 – 0,6 – 1,2. A figura 8 é o paralelogramo da norma para as classes de medição. Para a proteção a norma padroniza as classes de exatidão de 3% e 6%, fonte [13].

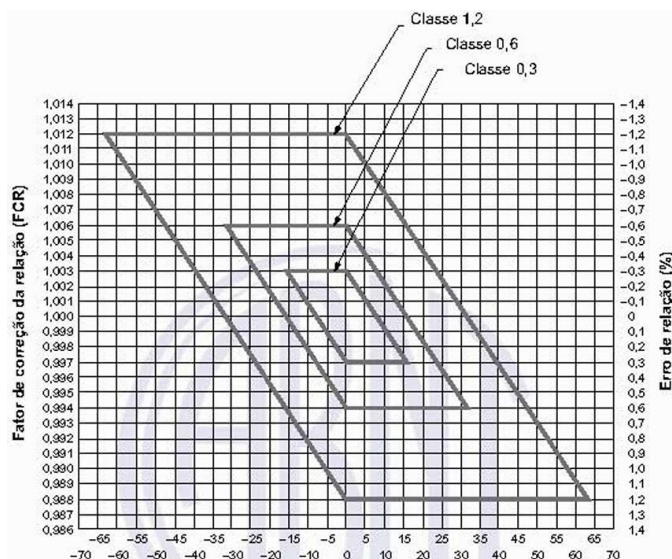


Figura 8

III. METODOLOGIA

Todos os equipamentos instalados em uma subestação, seja ela nova, *retrofit* ou ampliação, passam por ensaios pelos fabricantes. Esses ensaios são realizados de acordo com as normas aplicáveis para garantir o completo funcionamento antes da entrega para o cliente. Nessa etapa o fabricante assegura que os equipamentos estão atendendo todas as características especificadas no projeto.

Após o transporte e montagem dos equipamentos na subestação, são realizados novos ensaios, agora em campo. Essa etapa é crucial para garantir que não houve danos nos equipamentos durante o transporte e conferir se a instalação foi realizada corretamente. Os ensaios realizados em campo permitem comparar com os resultados dos ensaios de fábrica, podendo assim encontrar alguma inconformidade que pode comprometer o desempenho do equipamento.

Com a comparação dos ensaios de fábrica e campo, há uma maior segurança em relação a validação do estado dos equipamentos antes da energização completa da subestação, diminuindo a possibilidade de falhas no sistema elétrico.

Para a validação dos transformadores de potencial e corrente são realizados os seguintes ensaios:

1. Resistência de Isolamento

O ensaio de resistência de isolamento é um ensaio para avaliação da isolação do equipamento, garantido que não há falhas que podem ocasionar problemas futuros quando energizado com a tensão nominal. O ensaio é feito com um megôhmetro, um equipamento utilizado para medir elevados níveis de resistência com precisão, gerando e aplicando tensão contínua que varia de 500V até 15kV, fonte [14]. A tensão aplicada deve ser de acordo com a tensão nominal do equipamento. Usualmente é utilizado 5kV ou 10kV para ensaios em equipamentos com tensões nominais maiores que 12kV.

Para realização do ensaio é necessário curto-circuitar os terminais do primário e curto-circuitar os terminais do secundário do transformador. Os ensaios são realizados conectando o cabo nos terminais “Line”, “Hearth” e “Guard” no megôhmetro e conectando, respectivamente, com os seguintes terminais no transformador:

- AT – BT – M
- AT – M – BT
- BT – M – AT

Onde:

AT = Alta tensão (Terminais primários)

BT = Baixa tensão (Terminais secundários)

M = Massa (Carcaça do equipamento)

O ensaio mede o isolamento entre os terminais primários e secundários (CAB) com a conexão AT-BT-M, terminais primários e carcaça (CA) com a conexão AT-M-BT e os terminais secundários e a carcaça (CB) com a conexão BT-M-AT, como podemos observar na figura 9.

Esquemático – Ensaio de resistência de isolamento – Fonte [Autoria Própria]

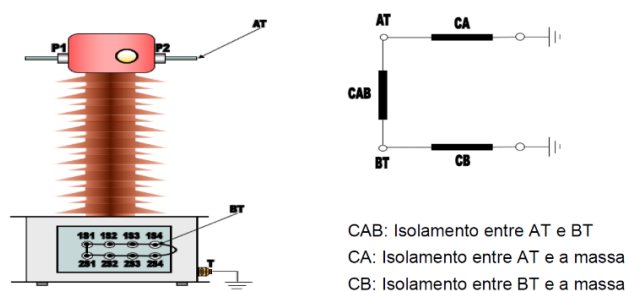


Figura 9

2. Resistência Ôhmica dos Enrolamentos

O ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos é um ensaio para medir a resistência elétrica do enrolamento de um equipamento, garantindo que esteja em perfeito funcionamento, podendo identificar falhas como curto-circuito ou conexões soltas e/ou malfeitas, fonte [15]. Este ensaio é feito com um microhmímetro, o equipamento aplica corrente contínua nos enrolamentos e pelo método da queda de tensão calcula-se a resistência pela lei de ohm, fonte [13]. O ensaio é realizado em cada enrolamento do transformador, no caso estudado, para o transformador de corrente será realizado 12 ensaios por fase, totalizando 36 ensaios e para o transformador de potencial será realizado 6 ensaios por fase, totalizando 18 ensaios. Para realizar os ensaios deve-se conectar os cabos nos terminais C1 e P1 do equipamento e em uma ponta do enrolamento do transformador e os terminais C2 e P2 do equipamento na outra ponta do enrolamento do transformador. Os terminais C1 e C2 são de corrente e os terminais P1 e P2 são de potencial do microhmímetro, figura 10.

Esquemático – Ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos – Fonte [13] adaptada

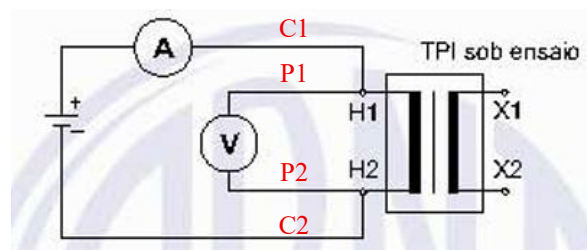


Figura 10

3. Relação de Transformação

O ensaio de relação de transformação é um ensaio para conferir se a relação AT/BT medida está de acordo com a relação teórica do transformador dentro do aceitável. Lembrando que para cada utilização dos transformadores, medição e proteção, temos uma classe de exatidão. Os ensaios são realizados em cada enrolamento do transformador e, a partir do valor coletado, é calculado o erro percentual de transformação. O ensaio é realizado com o *Transformer Turns Ratio*, ou Teste de Relação de Transformação (TTR). A conexão dos cabos deve ser feita de acordo com a figura 11, no primário o H vermelho e o H preto vão nas pontas do enrolamento e do lado secundário conectamos o X vermelho e X preto nos pontos do enrolamento que queremos realizar o ensaio, fonte [16].

Esquemático – Ensaio relação de transformação – Fonte [16]

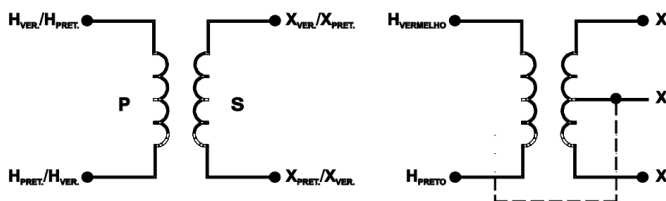


Figura 11

4. Curva de Saturação

O ensaio de curva de saturação tem como objetivo mostrar os limites de operação do transformador de corrente, sem atingir sua saturação, de acordo com a sua função de medição ou proteção. O ensaio é realizado individualmente em cada enrolamento secundário, onde é aplicada tensão alternada crescente e mede-se a corrente de excitação. Durante o ensaio o enrolamento primário e os outros enrolamentos secundários devem permanecer abertos. Para um enrolamento de medição, a curva de saturação deve ser menor por causa da sua alta exatidão na leitura em níveis menores de corrente e não precisar medir correntes de falhas no circuito, como correntes de curto-circuito que tem um valor muito alto. No enrolamento de proteção a curva de saturação deve ser bem maior por causa da necessidade de conseguir suportar e fazer a leitura correta da corrente mesmo em casos de alguma falha no sistema, como um curto-circuito, fonte [9] [17]. O ensaio, nesse trabalho, foi realizado com um indicador de curva de saturação da MINIPA, mas existem outros diversos equipamentos que tem a mesma funcionalidade, porém com nomes e marcas diferentes. A conexão dos cabos para o ensaio é feita de acordo com a figura 12, conectando os cabos nos terminais “Output” e “Return” do equipamento e depois no enrolamento secundário do transformador de corrente, o enrolamento primário fica aberto.

Esquemático – Ensaio curva de saturação – Fonte [18]

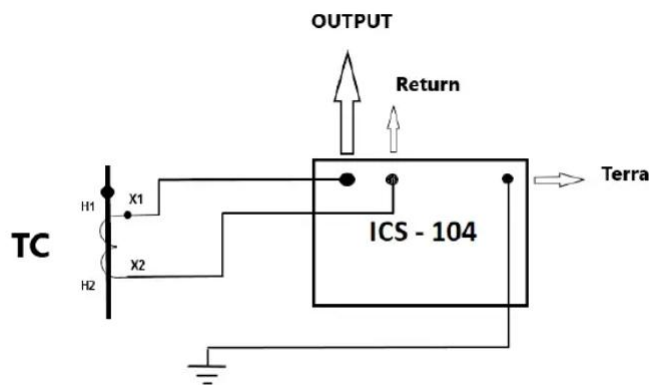


Figura 12

IV. RESULTADOS

A figura 13 ilustra o Transformador de Potencial (TP) e a figura 14 ilustra o Transformador de Corrente (TC), ambos instalados em campo e utilizados para a realização dos ensaios analisados nesse trabalho.

TP instalado na subestação – Fonte [Autoria Própria]



Figura 13



Figura 14

Para realização dos ensaios, primeiramente deve-se analisar as especificações dos equipamentos observando a placa onde contém todas as informações necessárias. Sabendo os níveis das tensões, primárias e secundárias, tensão e corrente nominal, quantidade de enrolamentos, classe de exatidão e polarização, pode-se então, dar início aos ensaios.

A figura 15 e a figura 16, são, respectivamente, a placa do transformador de corrente (TC) e a placa do transformador de potencial (TP) utilizado para o estudo dos ensaios.

Placa do TC – Fonte [Autoria Própria]

PIFFNER

TRANSFORMADOR DE CORRENTE

Tipo	JOF145	It (1s) / Id	20 / 52	kA	Nº	2021.8394.03/04		
Umáx	145	kV	Massa total / óleo	350 / 60	kg	Uso	Externo	
NI	275 / 650 / -	kV	Óleo	Naftênico (mineral)	Vol. 68	L	Ano	2022
f	60	Hz	Manual	AMF-967-01305-TC-301	Norma / Ano	ABNT NBR 6856/15		

Ip - Is	Conexão Secundária	FI	Exatidão
200 // 400 - 1A	1S2-1S3		
400 // 800 - 1A	1S1-1S2	1,2	2,5VA 0,3 FS20
600 // 1200 - 1A	1S1-1S3		
200 // 400 - 1A	2S2-2S3		-
400 // 800 - 1A	2S1-2S2	1,2	-
600 // 1200 - 1A	2S1-2S3		2,5VA 0,6 FS20
200 // 400 - 1A	3S2-3S3	4S2-4S3	-
400 // 800 - 1A	3S1-3S2	4S1-4S2	-
600 // 1200 - 1A	3S1-3S3	4S1-4S3	2,5VA cl. TPY

Diagram illustrating the terminal connections for the current transformer. The primary terminals are labeled P1 and P2. The secondary terminals are labeled S1, S2, S3, 4S1, 4S2, and 4S3. The ratings for the secondary terminals are indicated as 1A, 2A, 3A, and 4A.

PIFFNER - CNPJ: 08.161.189/0001-06 - INDÚSTRIA BRASILEIRA

Modelo

Figura 15

PIFFNER TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO									
Tipo	EOF145	Grupo de ligação	2	Nº	2021.8394.04/01				
Umáx	145	kV	Fst cont / 30 s	1,2 / 1,5	Norma / Ano	ABNT NBR 6855/18			
NI	275 / 650 / -	kV	Massa total / óleo	400 / 50	kg	Ano	2022		
f	60	Hz	Óleo	Naftênico (mineral)	Vol.	57	L	Uso	Externo
P term	300	VA	Manual	AMF-963-01304-TP-301					
Up - Usec		Terminais		Rn		Exatidão			
138000V/3 - 115V/3V	1X2-1X3	1200:1				75VA	0,3		
138000V/3 - 115V	1X1-1X3	700:1							
138000V/3 - 115V/3V	2X2-2X3	1200:1				75VA	0,6		
138000V/3 - 115V	2X1-2X3	700:1							
138000V/3 - 115V/3V	3X2-3X3	1200:1				75VA	0,6		
138000V/3 - 115V	3X1-3X3	700:1							
Máxima carga simultânea: 225VA									
PIFFNER - CNPJ: 08.161.189/0001-06 - INDÚSTRIA BRASILEIRA									

Figura 16

A. Resistência de Isolamento

Os dados das tabelas III, IV e V, foram coletados a partir dos ensaios de resistência de isolamento realizados no transformador de corrente.

Tabela III

Conexões			Resistência de Isolamento (GΩ)										ϕ	
Fase	Line/Earth/Guard	(M)	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min		
A	AT BT M	5	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	1,0	
	Corrigido a 20 °C		13100	13100	13100	13100	13100	13100	13100	13100	13100	13100	13100	
	AT M BT	5	1320	2190	2470	2620	2730	2710	2730	3710	2370	4890	3,7	
	Corrigido a 20 °C		3221	5344	6027	6393	6661	6612	6661	9052	5783	11932	11932	
	BT M AT	0,5	7,35	10,9	13,7	16,1	17,9	20,2	22,1	23,2	24,8	25,9	3,5	
	Corrigido a 20 °C		17	25	31	37	41	46	50	53	57	59	59	
1	T °C	33,6	R.H. %	60,9	2	T °C	32,6	R.H. %	63,3	3	T °C	31,8	R.H. %	64,3

Ensaio de resistência de isolamento do TC na fase A – Fonte [Autoria Própria]

Tabela IV

Conexões			Resistência de Isolamento (GΩ)										ϕ	
Fase	Line/Earth/Guard	5	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min		
B	AT BT M	5	1600	2080	2920	4320	4870	4900	3510	3270	3660	3700	2.3	
	Corrigido a 20 °C		4480	5824	8176	12096	13636	13720	9828	9156	10248	10360		
	AT M BT	5	749	1360	1850	2060	1930	2160	2280	2380	2460	2620	3.5	
	Corrigido a 20 °C		1708	3101	4218	4697	4400	4925	5198	5426	5609	5974		
	BT M AT	0.5	11,1	16,1	19,8	22,7	25,3	27,6	29,3	31,1	32,6	33,7		
	Corrigido a 20 °C		27	39	48	55	62	67	71	76	80	82		
1	T °C	34,5	R.H. %	67,2	2	T °C	32,2	R.H. %	73,1	3	T °C	33,1	R.H. %	69,7

Ensaio de resistência de isolamento do TC na fase B – Fonte [Autoria Própria]

Tabela V

Conexões				Resistência de Isolamento (GΩ)										ϕ
Fase	Line	Earth	Guard	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min	
C	AT	BT	M	5	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	1,0
	Corrigido a 20 °C				12200	12200	12200	12200	12200	12200	12200	12200	12200	
	AT	M	BT	5	1610	2060	2320	2350	1930	1690	1760	2330	2940	3050
	Corrigido a 20 °C				4218	5397	6078	6157	5057	4428	4611	6105	7703	7991
	BT	M	AT	0,5	13	17,6	19,8	21,1	27,7	29,8	31,9	32,5	34,1	34,7
	Corrigido a 20 °C				34	46	52	55	73	78	84	85	89	91
1	T °C	32,9	R.H. %	69,1	2	T °C	34,1	R.H. %	65	3	T °C	34,3	R.H. %	64,1

Ensaio de resistência de isolamento do TC na fase C – Fonte [Autoria Própria]

Os dados das tabelas VI, VII e VIII, foram coletados a partir dos ensaios de resistência de isolamento realizados no transformador de potencial.

Tabela VI

Conexões				Resistência de Isolamento (GΩ)										IP
FASE	Line	Earth	Guard	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min	
A	AT	BT	-	5	40,9	53,1	57	59,5	61,1	62,4	63	63,5	63,8	64,3
	Corrigido a 20 °C				115	149	160	167	171	175	176	178	179	180
	BT	AT	-	0,5	31,7	38,6	42,1	47,5	51,1	53,8	57	60	63,2	63,9
	Corrigido a 20 °C				77	94	103	116	125	131	139	146	154	156
	1	T. °C	35,1	R.H. %	63,1	2	T. °C	33	R.H. %	67,1	3	T. °C		R.H. %

Ensaio de resistência de isolamento do TP na fase A – Fonte [Autoria Própria]

Tabela VII

Conexões				Resistência de Isolamento (GΩ)										IP
FASE	Line	Earth	Guard	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min	
B	AT	BT	-	5	67,1	77,5	81,9	85,2	82,9	84,8	84,9	83,6	85,4	86
	Corrigido a 20 °C				153	177	187	194	189	193	194	191	195	196
	BT	AT	-	0,5	36	43,7	49	53,2	57,1	60,6	61,7	65,5	68,6	71,2
	Corrigido a 20 °C				88	107	120	130	139	148	151	160	167	174
	1	T. °C	32,5	R.H. %	70,7	2	T. °C	33,2	R.H. %	70,9	3	T. °C		R.H. %

Ensaio de resistência de isolamento do TP na fase B – Fonte [Autoria Própria]

Tabela VIII

Conexões				Resistência de Isolamento (GΩ)										IP
FASE	Line	Earth	Guard	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min	
C	AT	BT	-	5	70,7	80,1	74,3	72,8	98	106	126	134	138	144
	Corrigido a 20 °C				185	210	195	191	257	278	330	351	362	377
	BT	AT	-	0,5	54	71,2	83,3	96	107	112	113	129	131	135
	Corrigido a 20 °C				141	187	218	252	280	293	296	338	343	354
	1	T. °C	34,2	R.H. %	68,1	2	T. °C	33,9	R.H. %	68,4	3	T. °C		R.H. %

Ensaio de resistência de isolamento do TP na fase C – Fonte [Autoria Própria]

Foi utilizado nos ensaios uma tensão de 5kV para os ensaios AT-BT-M e AT-M-BT e 0,5kV para o ensaio BT-M-AT, os ensaios duraram 10 minutos e a cada 1 minuto foi anotado a resistência medida no megôhmetro. A temperatura e umidade do ar influenciam na resistência medida, por isso, foram coletadas para fazer a correção a 20°C do ensaio. O índice de polarização (IP) é a relação da medição de 10 minutos pela medição em 1 minuto para uma avaliação do isolamento do equipamento, valores altos indicam que a isolacao está em bom estado, porém valores baixos podem indicar problemas no isolamento do equipamento. O isolamento é considerado excelente quando o IP é acima de 4, bom quando estiver entre 2 e 4, duvidoso entre 1 e 2 e péssimo quando estiver menor que 1.

Analisando os resultados nos ensaios dos transformadores de corrente, tabelas III, IV e V, é possível observar que as medições têm um padrão de aumento de resistência durante o tempo em cada ensaio e os IP estão em uma margem de 1,9 a 3,7. Com essas informações é considerado que, para um equipamento novo, a isolacao do equipamento é boa.

Analisando os resultados nos ensaios dos transformadores de potencial, tabelas VI, VII e VIII, é possível observar que as medições têm um padrão de aumento durante o tempo e o índice de polarização está igual ou maior que 2, que significa que o isolamento está bom, porém, nos ensaios de AT-BT-M da fase A e B, pode-se observar que o índice de polarização foi de 1,6 e 1,3 respectivamente, tornando esses ensaios duvidosos por estarem entre 1 e 2. Pode-se observar, também, que não foi realizado os ensaios de AT-M-BT e BT-M-AT, além de ser realizado o ensaio BT-AT-M que, tecnicamente, é o mesmo ensaio AT-BT-M, porém como foi realizado com tensão diferente, 1 kV, os valores medidos diferenciam um pouco. Com essas informações o ideal seria fazer os ensaios de AT-M-BT e BT-M-AT para garantir a qualidade do isolamento do transformador e refazer o ensaio AT-BT-M da fase A e B verificando todas as conexões, temperatura e bateria do equipamento de ensaio e umidade do ar.

Vale ressaltar que para os valores de resistência registrados com 5000GΩ, o equipamento teve um *overloading*, ou seja, a resistência medida foi maior que a escala do equipamento, por isso foi considerado a leitura máxima do equipamento. Porém, é preciso ficar atento com esses valores, pois pode ser ocasionado por conexão mal feita dos cabos no transformador.

B. Resistência Ôhmica dos Enrolamentos

Os dados das tabelas IX, X e XI, foram coletados a partir dos ensaios de resistência ôhmica dos enrolamentos realizados no transformador de corrente.

Tabela IX

Conexões			Corrente de Teste	Resistência (mΩ)	Resistência à 75 °C (mΩ)	Umidade (%)	Temperatura (°C)
FASE	C1/P1	C2/P2					
A	P1	P2	10A	0,164	0,19	73,7	31,1
	1-S2	1-S3	1 mA	720	841	74,3	30,5
	1-S1	1-S2	1 mA	1620	1890	74,7	30,7
	1-S1	1-S3	1 mA	2790	3256	74,8	30,6
	2-S2	2-S3	1 mA	770	897	73,2	31,2
	2-S1	2-S3	1 mA	1780	2074	72,9	31
	2-S1	2-S2	1 mA	4840	5643	73,5	30,9
	3-S2	3-S3	1 mA	1840	2138	73,9	31,8
	3-S1	3-S2	1 mA	3940	4590	73,6	31,1
	3-S1	3-S3	1 mA	6210	7229	72,7	31,3
	4-S2	4-S3	1 mA	1950	2267	72,3	31,6
	4-S1	4-S2	1 mA	4050	4715	72,2	31,3
	4-S1	4-S3	1 mA	6450	7514	72,4	31,1

Ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos do TC na fase A – Fonte [Autoria Própria]

Tabela X

Conexões			Corrente de Teste	Resistência (mΩ)	Resistência à 75 °C (mΩ)	Umidade (%)	Temperatura (°C)
FASE	C1/P1	C2/P2					
B	P1	P2	10A	0,274	0,32	72,1	32,1
	1-S2	1-S3	1 mA	820	952	72,2	32,1
	1-S1	1-S2	1 mA	1700	1973	72,9	32,1
	1-S1	1-S3	1 mA	2920	3393	72,1	31,8
	2-S2	2-S3	1 mA	1060	1232	72,1	31,7
	2-S1	2-S3	1 mA	2060	2395	72,2	31,6
	2-S1	2-S2	1 mA	2060	2393	72,7	31,9
	3-S2	3-S3	1 mA	3230	3752	72,4	31,9
	3-S1	3-S2	1 mA	1900	2208	70,9	31,8
	3-S1	3-S3	1 mA	3930	4561	71,1	32,1
	4-S2	4-S3	1 mA	6020	6995	71,4	31,8
	4-S1	4-S2	1 mA	1930	2242	71,6	31,9
	4-S1	4-S3	1 mA	6350	7373	72,2	32

Ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos do TC na fase B – Fonte [Autoria Própria]

Tabela XI

Conexões			Corrente de Teste	Resistência (mΩ)	Resistência à 75 °C (mΩ)	Umidade (%)	Temperatura (°C)
FASE	C1/P1	C2/P2					
C	P1	P2	10A	0,274	0,32	63,7	32,1
	1-S2	1-S3	1 mA	730	845	62,3	32,8
	1-S1	1-S2	1 mA	1820	2107	62,3	32,8
	1-S1	1-S3	1 mA	2910	3369	62,3	32,8
	2-S2	2-S3	1 mA	800	928	64,8	32,3
	2-S1	2-S3	1 mA	1740	2018	64,8	32,3
	2-S1	2-S2	1 mA	2940	3410	64,8	32,3
	3-S2	3-S3	1 mA	2100	2433	63,6	32,6
	3-S1	3-S2	1 mA	4130	4784	63,6	32,6
	3-S1	3-S3	1 mA	6540	7576	63,6	32,6
	4-S2	4-S3	1 mA	2010	2327	63,4	32,8
	4-S1	4-S2	1 mA	4120	4769	63,4	32,8
	4-S1	4-S3	1 mA	6400	7409	63,4	32,8

Ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos do TC na fase C – Fonte [Autoria Própria]

Os dados da tabela XII, foram coletados a partir dos ensaios de resistência ôhmica dos enrolamentos realizados no transformador de potencial.

Tabela XII

Conexões			Corrente de Teste	Resistência (mΩ)	Resistência à 75 °C (mΩ)	Umidade (%)	Temperatura (°C)
FASE	C1/P1	C2/P2					
A	1X1	1X3	100 mA	178,5	204,87	63,1	35,1
	1X2	1X3	100 mA	89,5	102,72	63,1	35,1
	2X1	2X3	100 mA	158,4	180,86	63,8	36,5
	2X2	2X3	100 mA	88,1	100,59	63,8	36,5
	3X1	3X3	100 mA	181,2	206,97	62,1	36,4
	3X2	3X3	100 mA	87,3	99,72	62,1	36,4
B	1X1	1X3	100 mA	179,4	204,69	64,1	36,7
	1X2	1X3	100 mA	89,1	101,66	64,1	36,7
	2X1	2X3	100 mA	175,2	200,34	62,8	36,1
	2X2	2X3	100 mA	87	99,48	62,8	36,1
	3X1	3X3	100 mA	168,8	192,74	64,1	36,5
	3X2	3X3	100 mA	86,1	98,31	64,1	36,5
C	1X1	1X3	100 mA	179,5	205,18	62,9	36,2
	1X2	1X3	100 mA	90,6	103,56	62,9	36,2
	2X1	2X3	100 mA	175,7	200,76	64,3	36,3
	2X2	2X3	100 mA	87,6	100,10	64,3	36,3
	3X1	3X3	100 mA	169,1	193,79	65,8	35,5
	3X2	3X3	100 mA	88,3	101,19	65,8	35,5

Ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos do TP nas fases A, B e C – Fonte [Autoria Própria]

Para os ensaios de resistência ôhmica dos enrolamentos do transformador de corrente foi utilizado uma corrente de 10A nos terminais P1 e P2, que é referente ao enrolamento primário, no transformador de potencial não é necessário o ensaio no primário. Nos enrolamentos secundários do transformador de corrente, foi utilizado uma corrente de 1mA para os ensaios e nos enrolamentos secundários do transformador de potencial, foi utilizado uma corrente de 100mA. Foi coletado, também, a temperatura e umidade do ar, no momento dos ensaios, para corrigir a resistência ôhmica a 75°C.

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios em cada enrolamento no transformador de corrente, tabelas IX, X e XI, é possível observar que comparando os enrolamentos 1 e 2 com a mesma conexão da classe de exatidão 0,3 e 0,6, utilizada para medição, os resultados estão coerentes, pois os valores medidos são bem próximos. Porém, observando que, pela proximidade dos valores e a tabela seguir a ordem que está na placa do equipamento, há um erro provavelmente de digitação na coluna de conexões “C1/P1” e “C2/P2”, onde o 2S1-2S3 está trocado com o 2S1-2S2. Fazendo essa correção, pode-se notar que os valores de resistência dos enrolamentos estão bem próximos, apenas o enrolamento de medição da fase A com a conexão S1-S3 está com uma diferença um pouco maior. Na classe de exatidão TPY, utilizada para proteção, é possível observar que temos o mesmo caso, os valores de resistência dos enrolamentos 3 e 4 estão bem próximos e na fase B pode ter ocorrido um erro de digitação na coluna de “Resistência (mΩ)” nas conexões 3S1-3S3 e 4S2-4S3, visto que, comparando com os outros valores, faria mais sentido esses valores estarem trocados. Nesse caso, caso não tenha nenhuma evidência fotográfica confirmando os valores com as conexões no microhmímetro e no transformador, o ideal seria refazer os ensaios nos enrolamentos que ficaram essas dúvidas a fim de esclarecer corretamente os seus respectivos valores.

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios em cada enrolamento no transformador de potencial, tabela XII, é possível observar que os valores de resistência ôhmica medidos nas conexões X1-X3 e X2-X3, em todas as fases, estão bem próximas, pode-se então concluir que os resultados, para esse transformador, são satisfatórios.

C. Relação de Transformação

Os dados das tabelas XIII, XIV e XV, foram coletados a partir dos ensaios de relação de transformação nos enrolamentos do transformador de corrente com o primário conectado em paralelo.

Tabela XIII

Fase	Enrolamento	Ligação	Bornes	Relação	Relação Teórica	Corrente Med. (mA)	Relação Medida	Erro (%)
A	1	PARALELO	1-S2 : 1-S3	400 : 1	400 : 1	4	399,85 : 1	-0,03
	1	PARALELO	1-S1 : 2-S2	800 : 1	800 : 1	1	800,17 : 1	0,02
	1	PARALELO	1-S1 : 1-S3	1200 : 1	1200 : 1	1	1199,9 : 1	0,00
	2	PARALELO	2-S2 : 2-S3	400 : 1	400 : 1	3	399,87 : 1	-0,03
	2	PARALELO	2-S1 : 2-S2	800 : 1	800 : 1	1	800,17 : 1	0,02
	2	PARALELO	2-S1 : 2-S3	1200 : 1	1200 : 1	1	1199,9 : 1	0,00
	3	PARALELO	3-S2 : 3-S3	400 : 1	400 : 1	27	400,62 : 1	0,15
	3	PARALELO	3-S1 : 3-S2	800 : 1	800 : 1	7	803,32 : 1	0,41
	3	PARALELO	3-S1 : 3-S3	1200 : 1	1200 : 1	3	1203,5 : 1	0,29
	4	PARALELO	4-S2 : 4-S3	400 : 1	400 : 1	26	401,04 : 1	0,26
	4	PARALELO	4-S1 : 4-S2	800 : 1	800 : 1	7	802,28 : 1	0,28
	4	PARALELO	4-S1 : 4-S3	1200 : 1	1200 : 1	3	1202,7 : 1	0,22

Ensaio de relação de transformação do TC na fase A com primário em paralelo – Fonte [Autoria Própria]

Tabela XIV

Fase	Enrolamento	Ligação	Bornes	Relação	Relação Teórica	Corrente Med. (mA)	Relação Medida	Erro (%)
B	1	PARALELO	1-S2 : 1-S3	400 : 1	400 : 1	4	399,97 : 1	0,00
	1	PARALELO	1-S1 : 2-S2	800 : 1	800 : 1	1	800,22 : 1	0,02
	1	PARALELO	1-S1 : 1-S3	1200 : 1	1200 : 1	1	1200,3 : 1	0,02
	2	PARALELO	2-S2 : 2-S3	400 : 1	400 : 1	4	399,92 : 1	-0,02
	2	PARALELO	2-S1 : 2-S2	800 : 1	800 : 1	1	800,19 : 1	0,02
	2	PARALELO	2-S1 : 2-S3	1200 : 1	1200 : 1	1	1200,1 : 1	0,00
	3	PARALELO	3-S2 : 3-S3	400 : 1	400 : 1	28	400,41 : 1	0,10
	3	PARALELO	3-S1 : 3-S2	800 : 1	800 : 1	7	800,40 : 1	0,05
	3	PARALELO	3-S1 : 3-S3	1200 : 1	1200 : 1	3	1199,7 : 1	-0,02
	4	PARALELO	4-S2 : 4-S3	400 : 1	400 : 1	28	400,29 : 1	0,07
	4	PARALELO	4-S1 : 4-S2	800 : 1	800 : 1	7	801,22 : 1	0,15
	4	PARALELO	4-S1 : 4-S3	1200 : 1	1200 : 1	3	1200,9 : 1	0,07

Ensaio de relação de transformação do TC na fase B com primário em paralelo – Fonte [Autoria Própria]

Tabela XV

Fase	Enrolamento	Ligação	Bornes	Relação	Relação Teórica	Corrente Med. (mA)	Relação Medida	Erro (%)
C	1	PARALELO	1-S2 : 1-S3	400 : 1	400 : 1	4	399,92 : 1	-0,02
	1	PARALELO	1-S1 : 2-S2	800 : 1	800 : 1	2	800,23 : 1	0,02
	1	PARALELO	1-S1 : 1-S3	1200 : 1	1200 : 1	3	1204,6 : 1	0,38
	2	PARALELO	2-S2 : 2-S3	400 : 1	400 : 1	4	399,94 : 1	-0,01
	2	PARALELO	2-S1 : 2-S2	800 : 1	800 : 1	1	799,4 : 1	-0,07
	2	PARALELO	2-S1 : 2-S3	1200 : 1	1200 : 1	1	1199,4 : 1	-0,05
	3	PARALELO	3-S2 : 3-S3	400 : 1	400 : 1	26	401,97 : 1	0,49
	3	PARALELO	3-S1 : 3-S2	800 : 1	800 : 1	7	803,27 : 1	0,40
	3	PARALELO	3-S1 : 3-S3	1200 : 1	1200 : 1	3	1204,7 : 1	0,39
	4	PARALELO	4-S2 : 4-S3	400 : 1	400 : 1	26	401,61 : 1	0,40
	4	PARALELO	4-S1 : 4-S2	800 : 1	800 : 1	7	803,47 : 1	0,43
	4	PARALELO	4-S1 : 4-S3	1200 : 1	1200 : 1	3	1204,5 : 1	0,37

Ensaio de relação de transformação do TC na fase C com primário em paralelo – Fonte [Autoria Própria]

Os dados das tabelas XVI, XVII e XVIII, foram coletados a partir dos ensaios de relação de transformação nos enrolamentos do transformador de corrente com o primário conectado em série.

Tabela XVI

Fase	Enrolamento	Ligação	Bornes	Relação	Relação Teórica	Corrente Med. (mA)	Relação Medida	Erro (%)
A	1	SERIE	1-S2 : 1-S3	200 : 1	200 : 1	3	200,01 : 1	0,00
	1	SERIE	1-S1 : 2-S2	400 : 1	400 : 1	1	399,79 : 1	-0,05
	1	SERIE	1-S1 : 1-S3	600 : 1	600 : 1	1	600,02 : 1	0,00
	2	SERIE	2-S2 : 2-S3	200 : 1	200 : 1	3	200,01 : 1	0,00
	2	SERIE	2-S1 : 2-S2	400 : 1	400 : 1	1	399,78 : 1	-0,05
	2	SERIE	2-S1 : 2-S3	600 : 1	600 : 1	1	600,01 : 1	0,00
	3	SERIE	3-S2 : 3-S3	200 : 1	200 : 1	27	200,35 : 1	0,17
	3	SERIE	3-S1 : 3-S2	400 : 1	400 : 1	7	401,53 : 1	0,38
	3	SERIE	3-S1 : 3-S3	600 : 1	600 : 1	3	601,84 : 1	0,30
	4	SERIE	4-S2 : 4-S3	200 : 1	200 : 1	26	200,60 : 1	0,30
	4	SERIE	4-S1 : 4-S2	400 : 1	400 : 1	7	400,92 : 1	0,23
	4	SERIE	4-S1 : 4-S3	600 : 1	600 : 1	3	601,36 : 1	0,22

Ensaio de relação de transformação do TC na fase A com primário em série – Fonte [Autoria Própria]

Tabela XVII

Fase	Enrolamento	Ligação	Bornes	Relação	Relação Teórica	Corrente Med. (mA)	Relação Medida	Erro (%)
B	1	SERIE	1-S2 : 1-S3	200 : 1	200 : 1	3	200,05 : 1	0,02
	1	SERIE	1-S1 : 2-S2	400 : 1	400 : 1	1	399,79 : 1	-0,05
	1	SERIE	1-S1 : 1-S3	600 : 1	600 : 1	1	600,10 : 1	0,01
	2	SERIE	2-S2 : 2-S3	200 : 1	200 : 1	2	200,01 : 1	0,00
	2	SERIE	2-S1 : 2-S2	400 : 1	400 : 1	1	399,79 : 1	-0,05
	2	SERIE	2-S1 : 2-S3	600 : 1	600 : 1	1	600,05 : 1	0,00
	3	SERIE	3-S2 : 3-S3	200 : 1	200 : 1	28	200,29 : 1	0,14
	3	SERIE	3-S1 : 3-S2	400 : 1	400 : 1	7	400,16 : 1	0,04
	3	SERIE	3-S1 : 3-S3	600 : 1	600 : 1	3	600,07 : 1	0,01
	4	SERIE	4-S2 : 4-S3	200 : 1	200 : 1	28	200,25 : 1	0,12
	4	SERIE	4-S1 : 4-S2	400 : 1	400 : 1	7	400,41 : 1	0,10
	4	SERIE	4-S1 : 4-S3	600 : 1	600 : 1	3	600,66 : 1	0,11

Ensaio de relação de transformação do TC na fase B com primário em série – Fonte [Autoria Própria]

Tabela XVIII

Fase	Enrolamento	Ligação	Bornes	Relação	Relação Teórica	Corrente Med. (mA)	Relação Medida	Erro (%)
C	1	SERIE	1-S2 : 1-S3	200 : 1	200 : 1	4	200,02 : 1	0,01
	1	SERIE	1-S1 : 2-S2	400 : 1	400 : 1	1	399,80 : 1	-0,05
	1	SERIE	1-S1 : 1-S3	600 : 1	600 : 1	1	600,06 : 1	0,01
	2	SERIE	2-S2 : 2-S3	200 : 1	200 : 1	4	200,04 : 1	0,02
	2	SERIE	2-S1 : 2-S2	400 : 1	400 : 1	2	399,44 : 1	-0,14
	2	SERIE	2-S1 : 2-S3	600 : 1	600 : 1	1	599,77 : 1	-0,03
	3	SERIE	3-S2 : 3-S3	200 : 1	200 : 1	26	201,01 : 1	0,50
	3	SERIE	3-S1 : 3-S2	400 : 1	400 : 1	7	401,42 : 1	0,35
	3	SERIE	3-S1 : 3-S3	600 : 1	600 : 1	3	602,46 : 1	0,41
	4	SERIE	4-S2 : 4-S3	200 : 1	200 : 1	26	200,87 : 1	0,43
	4	SERIE	4-S1 : 4-S2	400 : 1	400 : 1	7	401,55 : 1	0,38
	4	SERIE	4-S1 : 4-S3	600 : 1	600 : 1	3	602,38 : 1	0,39

Ensaio de relação de transformação do TC na fase C com primário em série – Fonte [Autoria Própria]

Os dados da tabela XIX foram coletados a partir dos ensaios de relação de transformação nos enrolamentos do transformador de potencial do vão AX no setor de 138kV da SE Silves II.

Tabela XIX

Fase	Enrolamento	Bornes	Relação Teórica	Relação	Corrente Med. (mA)	Relação Medida	Erro (%)
A	1	1-X1 : 1-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	705,08 : 1	0,72
	1	1-X2 : 1-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1210,0 : 1	0,83
	2	2-X1 : 2-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	706,86 : 1	0,83
	2	2-X2 : 2-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1210,3 : 1	0,85
	3	3-X1 : 3-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	705,64 : 1	0,80
B	3	3-X2 : 3-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1209,3 : 1	0,75
	1	1-X1 : 1-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	705,11 : 1	0,73
	1	1-X2 : 1-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1209,0 : 1	0,75
	2	2-X1 : 2-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	705,50 : 1	0,78
	2	2-X2 : 2-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1210,1 : 1	0,84
C	3	3-X1 : 3-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	705,29 : 1	0,75
	3	3-X2 : 3-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1209,8 : 1	0,73
	1	1-X1 : 1-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	705,07 : 1	0,72
	1	1-X2 : 1-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1209,2 : 1	0,76
	2	2-X1 : 2-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	705,26 : 1	0,75
	2	2-X2 : 2-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1209,3 : 1	0,77
	3	3-X1 : 3-X3	700 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115$	1	705,43 : 1	0,77
	3	3-X2 : 3-X3	1200 : 1	138000 : $\sqrt{3} : 115/\sqrt{3}$	1	1209,8 : 1	0,81

Ensaio de relação de transformação do TP nas fases A, B e C – Fonte [Autoria Própria]

Foram realizados os ensaios de relação de transformação em todos os enrolamentos do transformador de corrente e no transformador de potencial. No TC os ensaios foram feitos com ligação em série e paralelo no primário, essas ligações são possíveis por causa de um tap, como podemos ver na placa do transformador. Todos os ensaios foram feitos com correntes entre 1mA e 28mA.

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios em cada enrolamento no transformador de corrente, tabelas XIII até XVIII, é possível observar que praticamente todos os erros calculados foram menores que o erro aceitável de cada classe de exatidão, 0,3% e 0,6% para medição e 5% para proteção, o único que ultrapassou a porcentagem de erro admissível foi o enrolamento 1S1-1S3 com ligação em paralelo da fase C com um valor de 0,38%, um pouco acima do aceitável. É recomendado refazer o ensaio no enrolamento 1S1-1S3 em paralelo da fase C, conferindo todas as conexões, temperatura e bateria do TTR e umidade do ar.

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios em cada enrolamento no transformador de potencial, tabela XIX, é possível observar que todos os erros calculados foram maiores que o aceitável de cada classe de exatidão, respectivamente 0,3% e 0,6%. É necessário analisar o estado do transformador visualmente, verificar o aperto e contato das conexões, aperto dos parafusos e temperatura e bateria do TTR para encontrar possíveis defeitos que podem estar atrapalhando a leitura correta. Após isso deve ser feito novamente todos os ensaios no transformador de potencial para garantir um ensaio verídico.

D. Curva de Saturação

Os dados das figuras 17 a 20, foram coletados a partir dos ensaios de curva de saturação nos enrolamentos secundários do transformador de corrente. Foram realizados ensaios em todos os enrolamentos secundários de todas as fases, porém, foi analisado apenas o enrolamento S1-S3 da fase A.

Ensaio de curva de saturação no enrolamento 1S1-1S3 do TC na fase A – Fonte [Autoria Própria]

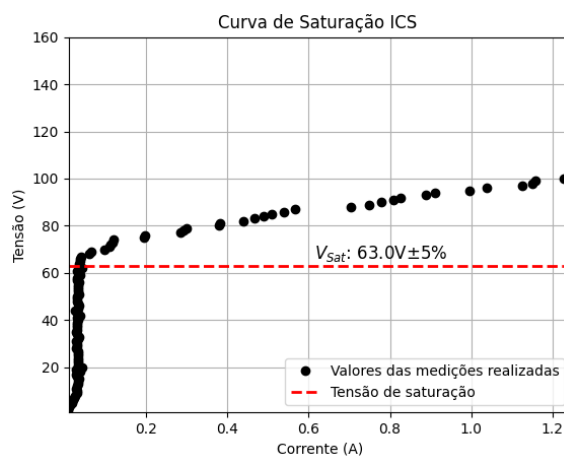


Figura 17

Ensaio de curva de saturação no enrolamento 2S1-2S3 do TC na fase A – Fonte [Autoria Própria]

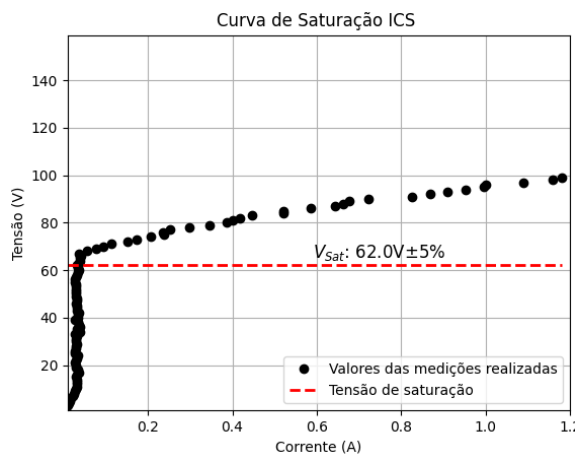


Figura 18

Ensaio de curva de saturação no enrolamento 3S1-3S3 do TC na fase A – Fonte [Autoria Própria]

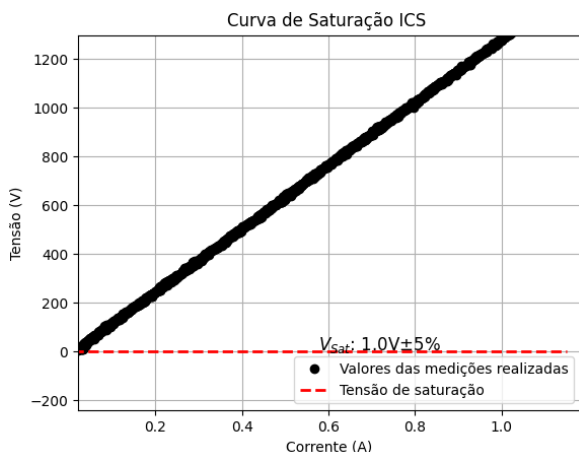


Figura 19

Ensaio de curva de saturação no enrolamento 4S1-4S3 do TC na fase A – Fonte [Autoria Própria]

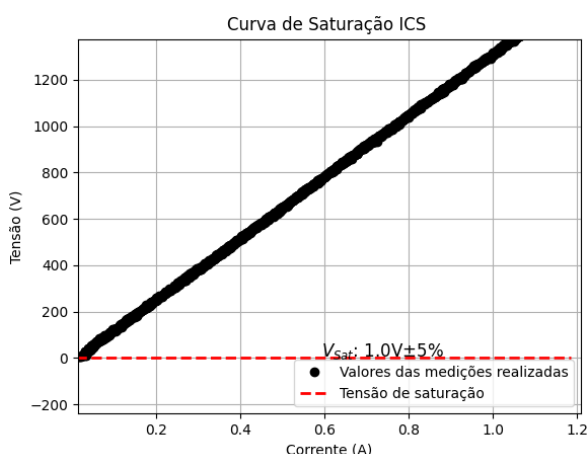


Figura 20

É possível observar que nos enrolamentos 1 e 2, que são enrolamentos de medição, a corrente mantém linear até um valor próximo de 0,1 A e após isso ela não altera com a variação de tensão até alcançar a tensão de saturação de, em média nesses dois ensaios, 62,5 V, após isso a corrente aumenta muito em relação ao aumento da tensão e podemos ver a curva de saturação completa. Nos enrolamentos 3 e 4, que são enrolamentos de proteção, foi aplicada uma tensão máxima de 1200 V e não foi possível ver a curva de saturação, com essa configuração o transformador está apto para fazer a proteção do sistema quando ocorrer alguma falha.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar e validar os ensaios em campo nos TP e TC, em uma subestação de 138 kV na região norte, de acordo com as normas aplicáveis. Foram realizados os seguintes ensaios: Resistência de isolamento, Resistência ôhmica dos enrolamentos, Relação de transformação e Curva de saturação.

De modo geral, os resultados obtidos nos ensaios de resistência de isolamento indicaram comportamento esperado, com aumento da resistência ao longo do tempo. Nos transformadores de corrente, os índices de polarização

indicam um isolamento em boas condições para equipamentos novos. Já nos transformadores de potencial, não foram realizados alguns ensaios e embora a maioria dos ensaios realizados apresentem índices satisfatórios, alguns resultados ficaram na faixa considerada duvidosa, indicando a necessidade de refazer os ensaios realizados e a realização dos ensaios que faltam para complementar a análise de isolamento do transformador.

Os ensaios de resistência ôhmica dos enrolamentos, tanto no transformador de potencial como no transformador de corrente, apresentaram valores coerentes entre enrolamentos equivalentes, tanto para medição quanto para proteção, indicando resultados satisfatórios. Entretanto, no transformador de corrente, foram identificadas possíveis erros relacionadas ao preenchimento do relatório. Como não há registros fotográficos, é necessário a realização dos ensaios novamente para validação definitiva dos valores obtidos.

Nos ensaios de relação de transformação, os transformadores de corrente apresentaram resultados predominantemente dentro dos limites de erro admissíveis para suas respectivas classes de exatidão, com exceção de um caso específico que ultrapassou levemente o valor permitido, recomendando-se a repetição do ensaio. Os resultados obtidos para o transformador de potencial apresentaram erros superiores aos limites normativos, indicando possíveis defeitos construtivos ou condições inadequadas de ensaio, tornando necessário refazer todos os ensaios conferindo toda a infraestrutura externa do transformador e conferindo todas as conexões e o equipamentos utilizado no ensaio.

Por fim, os ensaios de curva de saturação mostraram um comportamento satisfatório com a função de cada enrolamento, sendo observada saturação nos enrolamentos de medição em tensões compatíveis com o esperado, enquanto os enrolamentos de proteção não atingiram a saturação mesmo sob tensões elevadas, confirmando sua adequação para atuação em condições de falta no sistema elétrico.

Esse estudo conteve algumas limitações que atrapalharam a análise dos resultados. De acordo com a NBR 6855 e NBR 6856, os valores coletados são meramente informativos e, por isso, para garantir a qualidade do equipamento instalado em campo, deve ser feita uma análise comparativa dos ensaios realizados em campo e realizados em fábrica. Assim, os resultados vão ter maior confiabilidade podendo identificar anomalias que não estejam compatíveis com as condições originais de fabricação. Outra limitação foi a falta de algumas informações importantes, como registros fotográficos dos ensaios garantindo que foram executados de forma correta, não realização de alguns ensaios e erros no preenchimento do relatório.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Operador Nacional do Sistema Elétrico ONS, "O que é ONS," ONS. [Online]. Available: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>
- [2] Empresa de Pesquisa Energética EPE, "Matriz energética e elétrica," EPE. [Online]. Available: <https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica>
- [3] USP Escola de Engenharia Elétrica, "Sistema Elétrico 1," USP. [Online]. Available: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840834/59/SistemaEletrico1.pdf>
- [4] Operador Nacional do Sistema Elétrico ONS, "O que é o SIN," ONS. [Online]. Available: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>

- [5] Universidade Federal do Paraná (UFPR), “TE039 – Aula 10 – SEP,” UFPR. [Online]. Available: https://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa_files/te039%20aula%2010%20-%20sep.pdf
- [6] Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC), “O setor elétrico,” IDEC. [Online]. Available: <https://idec.org.br/edasuaconta/o-setor>
- [7] Neoenergia, “Subestações de energia,” Neoenergia. [Online]. Available: <https://www.neoenergia.com/w/subestacoes-de-energia>
- [8] UFRJ, “Monografia – Poli/UFRJ,” UFRJ. [Online]. Available: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005233.pdf>
- [9] T. T. B. Pires, “Avaliação do transformador de corrente da linha de transmissão de 138 kV quanto às suas condições operacionais,” Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2018. [Online]. Available: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/12761/1/21424838.pdf>
- [10] Citisystems, “Transformador de corrente,” Citisystems. [Online]. Available: <https://www.citisystems.com.br/transformador-de-corrente/>
- [11] ABNT. NBR 6856:2021 — Transformador de corrente com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV — Especificação e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- [12] Eletricidade para Concursos, “Transformadores de potencial,” 2016. [Online]. Available: <https://eletricaparaconcursos.wordpress.com/2016/02/27/transformadores-de-potencial/>
- [13] ABNT. NBR 6855:2018 — Transformador de potencial indutivo — Requisitos e ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- [14] Siscontrol, “O que são megohmmetros,” Siscontrol. [Online]. Available: <https://www.siscontrol.net/o-que-sao-megohmmetros>
- [15] Cotesa, “A importância de realizar ensaio de resistência ôhmica de enrolamentos,” 2023. [Online]. Available: <https://cotesa.com.br/2023/07/17/a-importancia-de-realizar-ensaio-de-resistencia-ohmica-de-enrolamentos/>
- [16] Megabras, “Manual do TR8703,” Megabras, 2025. [Online]. Available: https://www.megabras.com/pt-br/pdf/manual/TR8703/TR8703_UM_pt-br_90-264V_2025-01-23.pdf
- [17] M. I. C. Bandeira, “Automação do ensaio de saturação em transformadores de corrente utilizados em sistemas de transmissão de energia elétrica,” *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. [Online]. Available: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87898/224206.pdf?sequence=1>
- [18] Minipa, “ICS-104 Analisador e Testador – Ensaio Elétricos,” Minipa. [Online]. Available: <https://www.minipa.com.br/category/ensaio-el%C3%A9tricos/analises-e-testadores/ICS-104/product>

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante Juarez Luiz Mendonça Junior do Curso de Engenharia Elétrica matrícula 2019.2.0038.0009-9, telefone: (62)98481-3473 e-mail juarezlmjunior@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Validação dos ensaios de TP e TC em uma Subestação 138kV na região Norte”, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 23 de setembro de 2025.

Assinatura do autor: _____

Nome completo do autor: Juarez Luiz Mendonça Junior

Assinatura do professor-orientador: _____

Nome completo do professor-orientador: Cássio Hideki Fujisawa