

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica

Relatório de Estágio

Aluno:

Aelfclêniton Mouroner Maciel Diniz

Orientador:

Edson Guedes da Costa, D. Sc.

Campina Grande, Julho de 2009.

Sumário

Resumo.....	5
2.0 - O Laboratório de Alta Tensão LAT-UNIFEI.....	7
2.1 - Estrutura e Organização do LAT-UNIFEI.....	7
3.0 - Atividades Realizadas no LAT-EFEI.....	7
3.1 - Transformadores Eficientes Para as Redes de Média Tensão.....	7
4.0 - Ensaio realizados.....	20
4.1 - Tensão Suportável Nominal de Impulso Atmosférico.....	20
4.1.2 - Conexões do Gerador de Impulso Haefely 1,2[kJ], 450[kV] do LAT-EFEI.....	20
4.2 - Medição de Capacitância.....	22
4.2.1 - Capacitâncias.....	23
4.2.2 - A Ponte Schering.....	23
5.0 - Conclusão.....	26
Anexo.....	27

Agradecimentos

A Deus, pela vida, coragem e fé;

Aos meus pais, Alexandre e Fátima, pelo amor, compreensão, ajuda e constante incentivo;

A minha esposa, Ana Angélica, pela paciência, compreensão, incentivo e amor;

Aos meus irmãos, tias, sobrinhos e amigos por sempre acreditarem;

Ao professor Martinez, pela oportunidade, confiança e pela disposição em colaborar e dividir seus ensinamentos;

Ao professor Estácio, pelo apoio, confiança e amizade;

Ao professor Edson Guedes, pela ajuda e disponibilidade;

A toda equipe do LAT – UNIFEI e LAT – UFCG;

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

Resumo

Este relatório tem como objetivo descrever as atividades desenvolvidas durante o estágio realizado no Laboratório de Alta Tensão da UNIFEI, LAT - UNIFEI, tendo como orientador de estágio o Prof. Edson Guedes da Costa e co-orientadores os professores Manuel Luís Barreira Martinez e Estácio Tavares Wanderley Neto. O estágio foi realizado no período de março de 2009 a julho de 2009.

1. Introdução

As atividades desenvolvidas no período de março de 2009 a julho de 2009 foram realizadas no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá – LAT-UNIFEI, atuante na área de sistemas de transmissão e distribuição. Foram feitas atividades de apoio e desenvolvimento no projeto de pesquisa referente a transformadores de distribuição, juntamente com ensaios de descargas parciais e tangente de perdas realizados em isoladores e cabos respectivamente.

2.0 - O Laboratório de Alta Tensão LAT-UNIFEI

O Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá (LAT-UNIFEI), localizado na cidade de Itajubá no estado de Minas Gerais. O laboratório foi fundado em 04 de Março de 1967 e está localizado no antigo prédio central, na Rua Coronel Rennó, 07, no centro de Itajubá. Atualmente é utilizado para aulas e para o desenvolvimento de pesquisas de iniciação científica bem como realização de ensaios em equipamentos e materiais elétricos.

2.1 - Estrutura e Organização do LAT-UNIFEI

O LAT-UNIFEI conta atualmente com um coordenador, o Professor Doutor Manuel Luis Barreira Martinez, um professor, o Doutor Estácio Tavares Wanderley Neto e um assistente, o técnico João Cândido Corrêa, responsáveis pela organização e manutenção dos equipamentos e pela orientação aos alunos de graduação e pós-graduação que utilizam as dependências e instalações do laboratório.

Além das pesquisas, são realizados ensaios em equipamentos e materiais elétricos, na maioria das vezes em serviços prestados diretamente a empresas ou em convênio com fundações de pesquisa ligadas a universidade, como por exemplo, a FUPAI (Fundação de Pesquisa e Assessoramento a Indústria).

Entre os ensaios realizados no laboratório em equipamentos e materiais elétricos, pode-se citar:

- Ensaios de Tensão Aplicada (em 60 Hz);
- Ensaios de Impulso de Tensão e Corona;
- Ensaio de Curto Circuito e à Vazio em Transformadores;
- Ensaios de Envelhecimento de Cabos;
- Ensaios de Rigidez Dielétrica de Óleos Isolantes;
- Ensaios de Compatibilidade Elétrica em Câmara Climática;
- Ensaios de Impulso de Corrente;
- Ensaios em Isoladores, Pára-Raios, Equipamentos Elétricos em Geral.

O laboratório conta com uma oficina bem equipada e todos os equipamentos de medição e segurança pessoal necessários para realização dos ensaios segundo as normas técnicas em vigor, sem que sejam oferecidos riscos aos usuários e garantindo assim o sucesso e qualidade dos ensaios e seus resultados.

3.0 - Atividades Realizadas no LAT-EFEI

Durante o período de março de 2009 a julho de 2009 o estágio vem sendo realizado no LAT, com carga horária de 40 horas semanais. Durante este período participei de projeto e ensaios, onde os mesmos serão discutidos em seguida.

3.1 - Transformadores Eficientes Para as Redes de Média Tensão

Com o objetivo de verificar as condições de operação dos transformadores do sul do país, foi realizado à análise estatística dos dados coletados de 69 transformadores para o Tempo Suprindo Máxima Potência - TSMP (fator de energia) e a demanda máxima. Para tanto, utilizou-se do software MINITAB® para construir os modelos estatísticos que representassem melhor os dados coletados.

Analisaram-se os dados dos transformadores de 5, 10 e 15 kVA pertencentes à AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A. Os transformadores foram analisados de acordo com a potência, onde foi considerada como sendo a potência nominal¹ ou a potência real². Em seguida criaram-se quatro grupos chamados: 5 kVA, 10 kVA e 15 kVA. Após a criação dos grupos, obtiveram-se seus subgrupos: 5 kVA com potência nominal e real, 10 kVA com potência nominal e real, e 15 kVA com potência nominal e real.

Os grupos dos transformadores de potência nominal e real foram divididos, em alguns casos, em dois grupos: dados completos e dados ajustados à distribuição. O grupo de dados completos é composto por todos os dados relativos ao grupo, ou seja,

¹ Potência informada na placa do equipamento.

² Potência real solicitada na semana, ou seja, a demanda máxima semanal.

nenhum dado foi removido. O grupo de dados ajustados à distribuição teve alguns dados excluídos que foram considerados desnecessários, visando melhorar os modelos estatísticos. Para melhor compreensão, os grupos foram nomeados da seguinte forma: 5 kVA com potência nominal, tendo dados completos ou ajustados à distribuição, 5 kVA com potência real, tendo dados completos ou ajustados à distribuição. Em alguns casos não foi criado o grupo com dados ajustados à distribuição, visto que o conjunto de dados não apresentava valores nulos, e assim a distribuição se adequava.

Para facilitar no entendimento, inseriram-se neste relatório, figuras geradas pelo MINITAB® com as distribuições utilizadas para alguns conjuntos de dados, como também tabelas contendo os valores obtidos das curvas das distribuições. Visando facilitar a comparação destes resultados, inseriram-se também gráficos gerados pelo software Excel®.

A análise foi realizada com os transformadores de 5, 10 e 15 kVA, formando dois grupos, os transformadores com potência nominal e com potência real. O grupo de transformadores com potência nominal era composto pelos 69 transformadores, cuja potência considerada é a potência indicada na placa do equipamento. O outro grupo considerado nesta análise foi o dos transformadores com potência real. Neste grupo, a potência considerada é a demanda máxima solicitada pela carga. Para formar este grupo, realizou-se um remanejamento no grupo de transformadores com potência nominal, considerando agora a demanda máxima. Como exemplo tem-se: um transformador de 10 kVA operando com demanda máxima semanal de 2 kVA foi remanejado para a planilha dos transformadores de 5 kVA. Desta forma, formou-se o novo grupo contendo novos transformadores de 5, 10 e 15 kVA, onde o conjunto dos transformadores de 5 kVA é formado apenas pelos transformadores que operam com a demanda máxima igual ou inferior a 85% de sua potência nominal (para os transformadores de 5 kVA, demanda máxima $\leq 4,25$ kVA). Seguindo este método, os grupos dos transformadores de potência real de 5, 10 e 15 kVA foram formados.

O grupo de transformadores de potência nominal é composto por: 10 transformadores de 15 kVA, 30 transformadores de 10 kVA e 29 transformadores de 5 kVA. Após o remanejamento criou-se o grupo de potência real, formado por: 22 transformadores de 5 kVA, 36 transformadores de 10 kVA e 11 transformadores de 15 kVA. Percebe-se que tanto o grupo de potência nominal como o grupo de potência

real possuem 69 transformadores, que se mencionou anteriormente, é o total de transformadores analisados.

A Tabela 1 mostra a lista de transformadores analisados, como também os transformadores remanejados indicados pela legenda:

Tabela – Transformadores analisados de 5, 10 e 15 kVA.

Transformadores agrupados de acordo com a sua potência nominal				
5 kVA	10 kVA		15 kVA	
AGU362	AGU239	RPA521	AGU611	SAN931
CPS528	AGU278	SBV9221	CDL288	SCR1217
ITA4713	CSU163	SBV9427	CPS119	SGA11325
SGA7369	CSU181	SCR227	EVE323	SIN-1331
SGA11025	CSU373	SCR338	FOR6086	SMS4013
SIN473	CSU585	SCR1183	FVN202	SPE10250
SSE5518	CSU687	SFR38	GXA62	SSC278
SVI120	ETR229	SGA8447	LIV3289	SSC361
TOR10933	JAG291	SIN-919	LIV3292	SSE186
VSO48	LIV3447	SSE6547	LIV3717	VAI1064
	LIV3700	UNI20096	LIV3850	VCO110
	LIV3782	VAI371	MAR9100	VCR488
	LIV6171	VAI843	MAT164	VSO161
	QUE10869	VCR238	MUC117	VSO749
	QUE11028	VCR881	RPA870	

Legenda:

Transformadores com demanda máxima semanal superior a 4,25 kVA e igual ou inferior a 8,5 kVA e remanejados para o grupo de transformadores de 10 kVA.

Transformadores com demanda máxima semanal igual ou inferior a 4,25 kVA e remanejados para o grupo de transformadores de 5 kVA.

Transformadores com demanda máxima semanal igual ou inferior a 8,5 kVA e remanejados para o grupo de transformadores de 10 kVA.

Transformadores com demanda máxima semanal superior a 8,5 kVA e remanejados para o grupo de transformadores de 15 kVA.

As Figuras de 1 a 4 mostram a distribuição do TSMP para medições a cada 5 minutos, para os dois grupos de transformadores, potência nominal e potência real, para uma potência de 5 kVA. Os mesmos apresentam dados completos e ajustados à distribuição. Tais distribuições foram realizadas para todos os subgrupos (5 kVA, 10 kVA e 15 kVA) para medições a cada 5 minutos, 15 minutos e a cada hora.

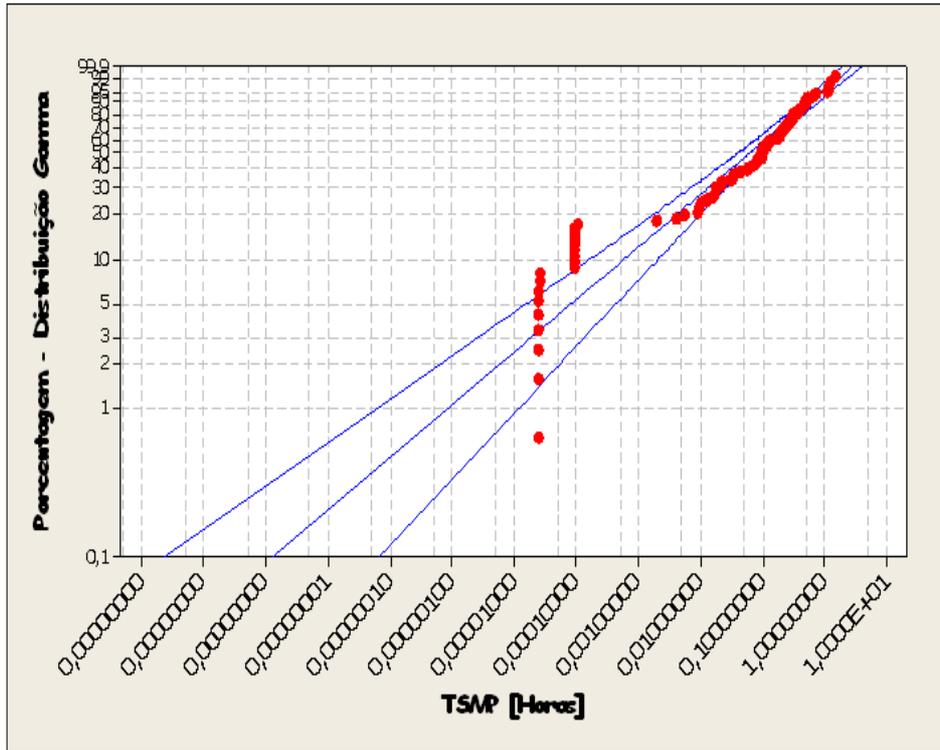


Figura – Porcentagem da distribuição gamma versus TSMP para transformadores de 5 kVA com Potência Real – Dados Completos – TSMP 5 Minutos.

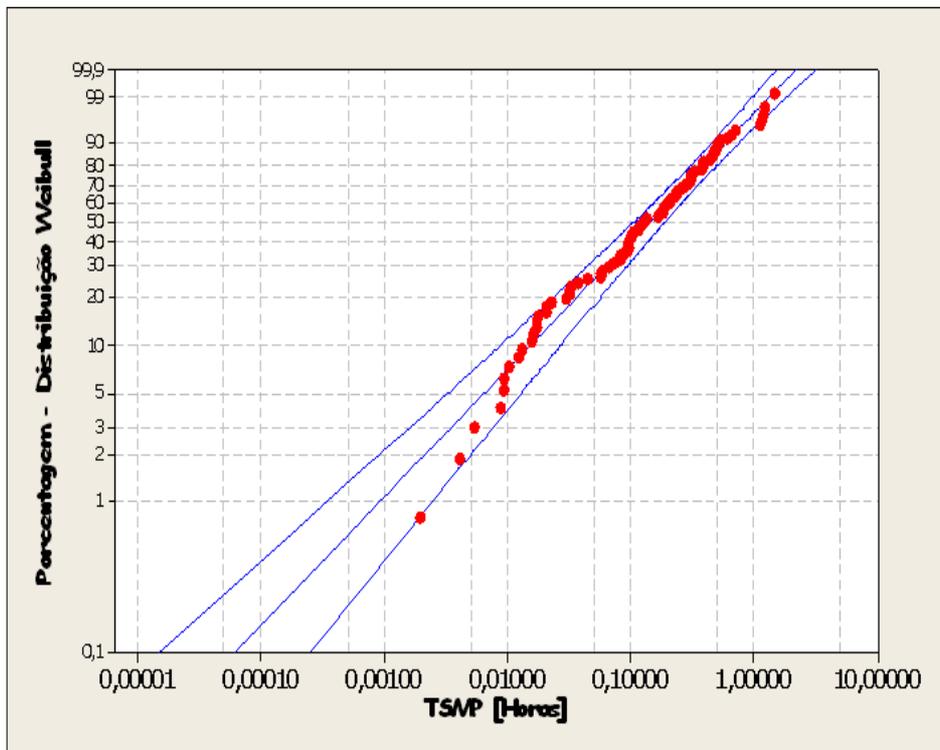


Figura – Porcentagem da distribuição gamma versus TSMP para transformadores de 5 kVA com Potência Real – Dados Ajustados à Distribuição de Probabilidade – TSMP 5 Minutos.

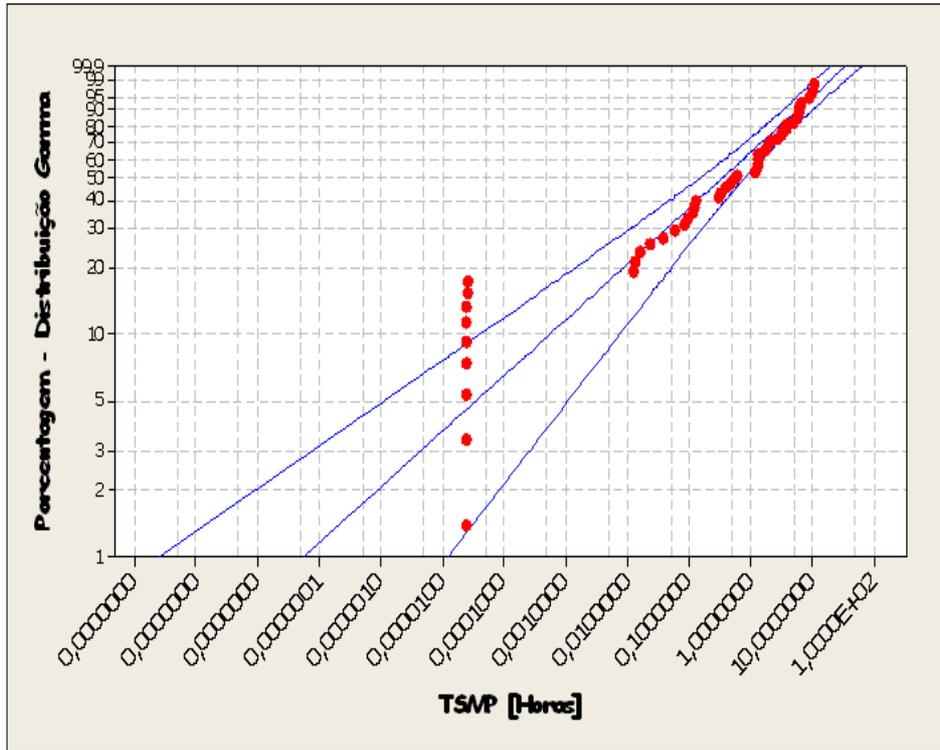


Figura – Porcentagem da distribuição gamma versus TSMP para transformadores de 5 kVA com Potência Nominal – Dados Completos – TSMP 5 Minutos.

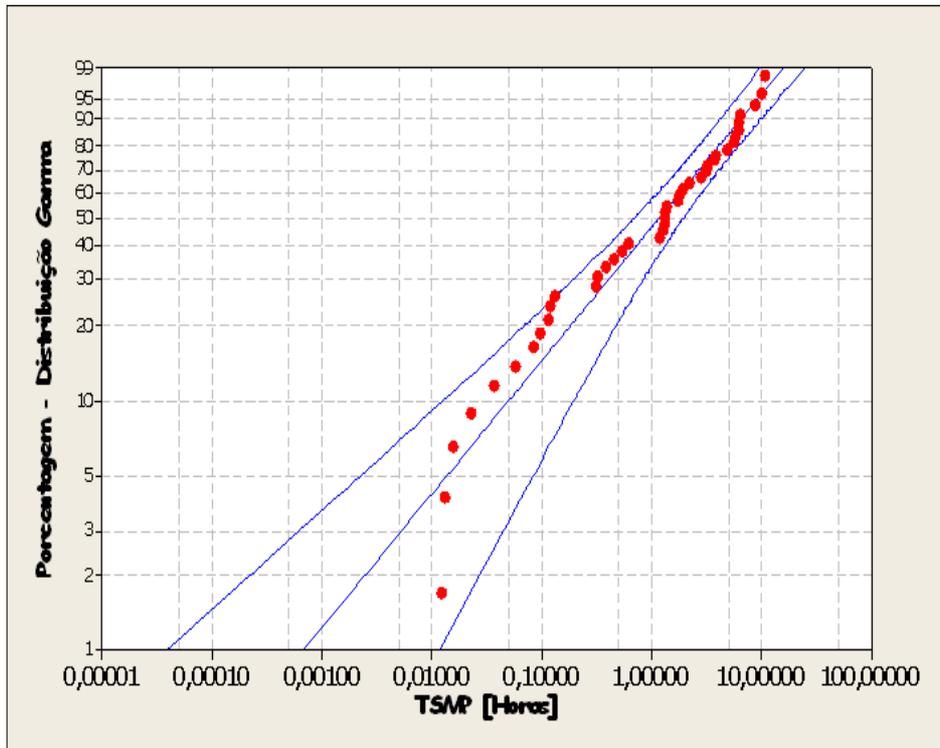


Figura – Porcentagem da distribuição gamma versus TSMP para transformadores de 5 kVA com Potência Nominal – Dados Ajustados à Distribuição de Probabilidade – TSMP 5 Minutos.

As Tabelas de 2 a 5 mostram os resultados obtidos a partir das distribuições dos TSMPs para os dois grupos de transformadores, potência nominal e potência real, para uma potência de 5 kVA . Os mesmos apresentam dados completos e ajustados à distribuição. Tais distribuições foram realizadas para todos os subgrupos (5 KVA, 10 kVA e 15 kVA) para medições a cada 5 minutos, 15 minutos e a cada hora.

Tabela - TSMP Diário dos Transformadores de 5 kVA com Potência Nominal – Dados Completos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

	5 minutos			15 Minutos			Horas		
	Média	Limite Mínimo	Limite máximo	Média	Limite Mínimo	Limite máximo	Média	Limite Mínimo	Limite máximo
1%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5%	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
50%	0,350	0,152	0,803	0,318	0,136	0,743	0,273	0,113	0,660
95%	9,631	5,495	16,878	9,296	5,268	16,405	8,937	5,001	15,971
99%	19,356	10,849	34,533	18,810	10,472	33,787	18,304	10,065	33,288

Tabela - TSMP Diário dos Transformadores de 5 kVA com Potência Nominal – Dados Ajustados à Distribuição - Valores a partir das curvas de probabilidade.

	5 minutos			15 Minutos			Horas		
	Média	Limite Mínimo	Limite máximo	Média	Limite Mínimo	Limite máximo	Média	Limite Mínimo	Limite máximo
1%	0,001	0,000	0,012	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,003
5%	0,014	0,002	0,084	0,009	0,001	0,061	0,004	0,000	0,036
50%	1,174	0,705	1,956	1,050	0,612	1,801	0,878	0,486	1,589
95%	9,092	5,873	14,076	8,963	5,698	14,100	8,900	5,507	14,384
99%	15,495	9,772	24,570	15,507	9,629	24,974	15,791	9,550	26,111

Tabela - TSMP Diário dos Transformadores de 5 kVA com Potência Real – Dados Completos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

	5 minutos			15 Minutos			Horas		
	Média	Limite Mínimo	Limite máximo	Média	Limite Mínimo	Limite máximo	Média	Limite Mínimo	Limite máximo
1%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
50%	0,063	0,041	0,096	0,049	0,032	0,077	0,035	0,022	0,056
95%	0,878	0,636	1,213	0,753	0,541	1,047	0,636	0,450	0,900
99%	1,629	1,164	2,279	1,411	1,001	1,989	1,221	0,853	1,748

Tabela - TSMP Diário dos Transformadores de 5 kVA com Potência Real – Dados Ajustados à Distribuição - Valores a partir das curvas de probabilidade.

	5 minutos			15 Minutos			Horas		
	Média	Limite Mínimo	Limite máximo	Média	Limite Mínimo	Limite máximo	Média	Limite Mínimo	Limite máximo
1%	0,001	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
5%	0,007	0,003	0,013	0,003	0,002	0,007	0,000	0,000	0,001
50%	0,144	0,108	0,192	0,107	0,078	0,148	0,059	0,040	0,088
95%	0,820	0,624	1,078	0,745	0,548	1,014	0,652	0,473	0,898
99%	1,366	0,993	1,880	1,318	0,920	1,888	1,171	0,837	1,637

Para melhor entendimento, tem-se a Figura 5, que apresenta os resultados dos TSMPs diários, medidos a cada 5 minutos, para o grupo de 5 kVA que compõem as Tabelas de 2 a 5. As figuras contendo os resultados para os demais grupos podem ser vistas no anexo.

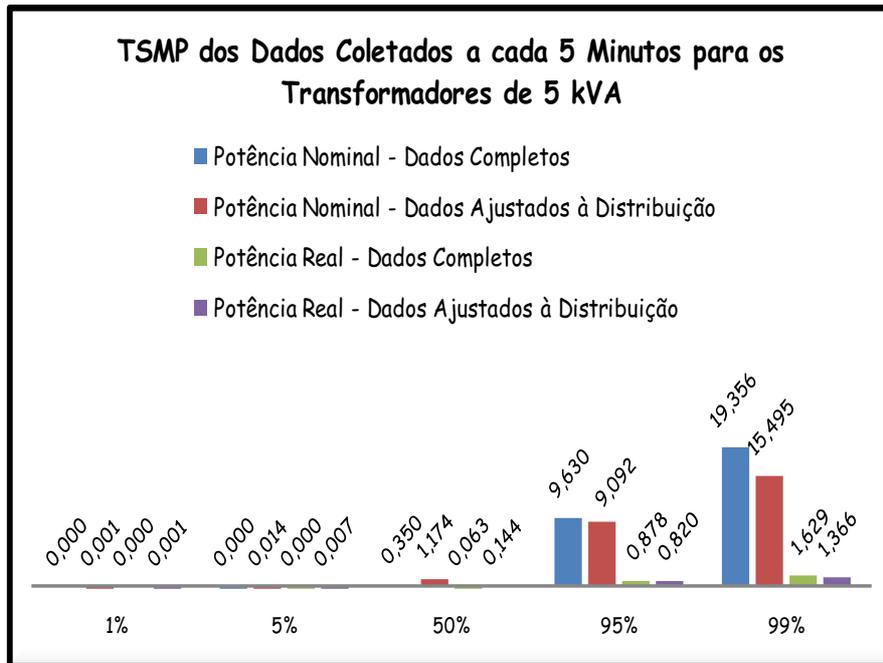


Figura - TSMP dos Transformadores de 5 kVA – 5 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Foram plotados gráficos para as curvas de referência dos dados obtidos das curvas de probabilidade das demandas dos dias úteis, referentes aos 69 transformadores. As curvas de referência foram plotadas para 1, 5, 50, 95 e 99%, e para os dois grupos: potência nominal e potência real. Uma curva típica está ilustrada na Figura 6

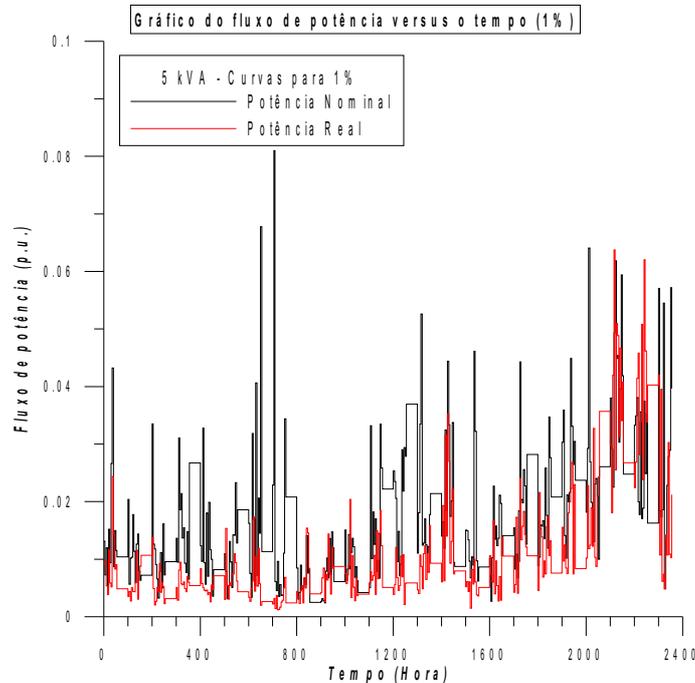


Figura - Curvas de 1% para os transformadores de 5 kVA –
Valores a partir das curvas de probabilidade.

A partir dos dados das curvas de probabilidade foram calculados os TSMPs para 1%, 5%, 50%, 95% e 99% para todos os grupos. As Tabelas 6 e 7 são típicas destes resultados.

Tabela - TSMP Obtido das Curvas de Probabilidade para os Transformadores de 5 kVA – Potência Nominal.

TSMP	Transformadores de 5 kVA - Potência Nominal				
	1%	5%	50%	95%	99%
5 Minutos	0,012	0,062	1,622	17,171	45,187
15 Minutos	0,010	0,058	1,612	16,925	41,857
Hora	0,009	0,055	1,605	16,825	40,662

Tabela - TSMP Obtido das Curvas de Probabilidade para os Transformadores de 5 kVA – Potência Real

TSMP	Transformadores de 5 kVA - Potência Real
------	--

	1%	5%	50%	95%	99%
5 Minutos	0,006	0,023	0,392	4,537	14,512
15 Minutos	0,005	0,021	0,386	4,430	13,266
Hora	0,005	0,021	0,381	4,362	12,519

De acordo com as análises realizadas, para potência de 5 kVA, verificou-se que os TSMPs médios do grupo de transformadores com potência real são significativamente inferiores aos do grupo de transformadores com potência nominal. Observou-se que o grupo de transformadores com potência real apresenta 9 transformadores, dos 22 que o compõem, com demandas máximas inferiores a 2,5 kVA, ou seja, 40,91% dos transformadores do grupo apresentam demandas máximas relativamente pequenas, impondo, com isso, em TSMPs médios relativamente curtos.

No que se refere à potência de 10 kVA, verificou-se a partir dos resultados mostrados no estudo dos grupos de transformadores, que o grupo com potência real apresentou um aumento significativo dos TSMPs médios quando comparado ao grupo com potência nominal. O resultado obtido é devido ao grupo com potência real apresentar uma amostra de dados composta de 36 demandas médias máximas, nas quais apresentam valores superiores e com menor dispersão quando comparados ao grupo com potência nominal, composto por 30 transformadores. Portanto, após o remanejamento, as demandas do grupo com potências reais apresentaram uma melhor adequação à potência de 10 kVA, obtendo, com isso, valores mais significativos para o TSMP médio.

Verificou-se para os transformadores de 15 kVA, que ao fazer o remanejamento descrito neste relatório, o TSMP sofre um acréscimo para os três tipos de coletas de dados, 5 minutos, 15 minutos e uma hora, isto considerando as probabilidades de 5, 50 e 95%. Isto ocorre devido ao remanejamento dos transformadores antes considerados como sendo de 15 kVA e que estavam operando com demanda inferior a 8,5 kVA. Desta maneira, os transformadores com baixa demanda são remanejados, fazendo com que a probabilidade da média aumentasse. Isto pode ser visto também nas Figuras 7 e 8, onde as curvas da demanda para os dados de potência real apresentam valores superiores comparados aos dados de potência nominal.

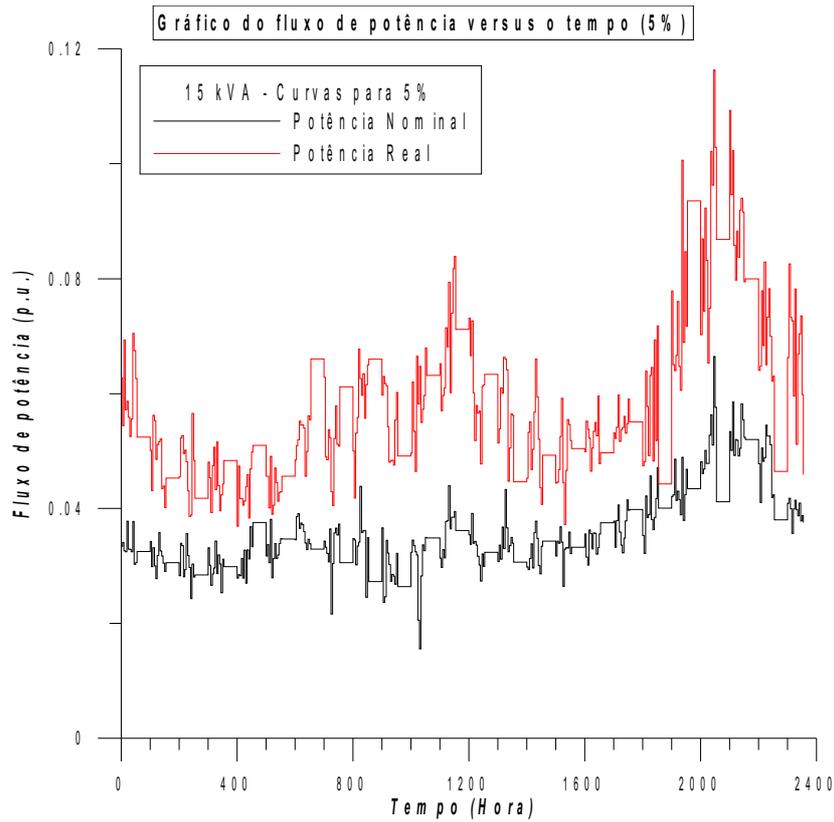


Figura - Curvas de 5% para os transformadores de 15 kVA –
Valores a partir das curvas de probabilidade.

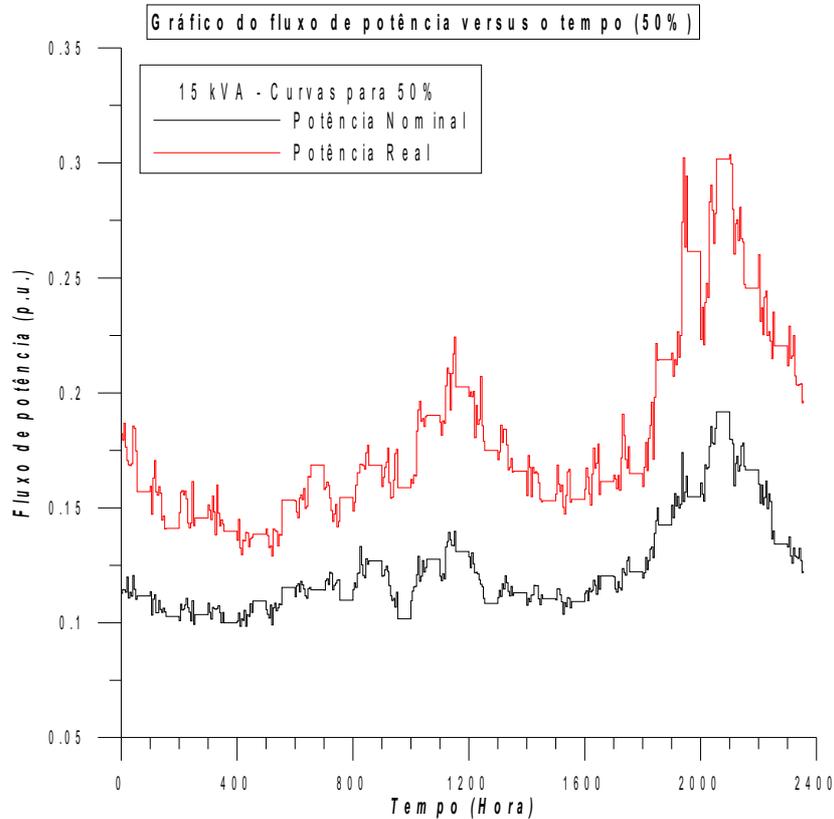


Figura - Curvas de 50% para os transformadores de 15 kVA –

Valores a partir das curvas de probabilidade.

Com base na análise realizada, decidiu-se recomendar o uso do conjunto de transformadores como sendo o de Potência Real, como também utilizar o TSMP calculado a partir da curva característica (curva de probabilidade). Recomenda-se também utilizar os dados maiores que 1% do fluxo de carga, para obter o modelo estatístico e assim plotar as curvas características das probabilidades de 1, 5, 50, 95 e 99%.

Uma atividade também desenvolvida durante o período do estágio foi o estudo sobre a Análise do Padrão de Transformadores de Distribuição Brasileiros e sua Adequação aos Limites de Perdas. Este estudo foi utilizado na elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso referente à disciplina Projeto de Engenharia Elétrica.

3.2 - Visita Técnica

Fábrica de transformadores

No período de 13 a 17 de julho de 2009 foi realizada uma visita técnica em uma fábrica de transformadores. A empresa completou 30 anos como uma das maiores fabricantes de transformadores – de 5 kVA até 5000 kVA de distribuição, especiais e de força para os mais variados segmentos.

A empresa trabalha com transformadores monofásicos (fase-fase e fase-neutro), trifásicos (distribuição poste e força) e especiais (pedestal e biodegradável), onde foi possível acompanhar o processo de fabricação desde a caldeiraria até a montagem final para alguns deles.

De forma geral, o setor de produção da empresa é dividido em setores. A produção da fábrica inicia na caldeiraria e finaliza na montagem final. Na caldeiraria observou-se, inicialmente, o processo de fabricação dos radiadores, onde se observou preocupações especiais tanto na retirada do óleo que a chapa metálica agrega, no início da produção, quanto na estanqueidade após a conexão dos radiadores ao tubo. A Figura 9 ilustra chapas prontas para a realização da solda no tubo.



Figura - Fotografia de chapa para radiadores.

Na caldeiraria também são confeccionados os tanques nos quais os radiadores serão soldados, mostrado na Figura 10.



Figura - Fotografia ilustrando o processo de solda dos radiadores no tanque do transformador.

Após a caldeiraria as peças são levadas para o setor de pintura nas quais são pintadas e inseridos os códigos de identificação dos mesmos. Observou-se que de acordo com a localização no qual o transformador será instalado ele será pintado com um produto específico para tal localização, como por exemplo, os transformadores que são instalados em cidades litorâneas são pintados com produtos antioxidantes.

Também foi possível verificar o processo de fabricação das bobinas de alta tensão e baixa tensão observando detalhes, tais como a fixação das cabeceiras nas extremidades da bobina em todas as camadas, a colocação dos materiais isolantes entre camadas, juntamente com a colocação do canal de óleo (regreta), nos quais facilitam a passagem do óleo entre as bobinas de alta e de baixa tensões, reduzindo assim, o aquecimento e consequentemente as perdas. As Figuras de 11 a 14 ilustram a colocação do tubo de baixa tensão na bobinadeira, da cabeceira na extremidade da bobina e do canal de óleo (regreta), respectivamente.



Figura - Fotografia ilustrando a colocação do tubo de baixa tensão na bobinadeira.



Figura - Fotografia ilustrando a colocação da cabeceira na extremidade da bobina.



Figura - Fotografia ilustrando a colocação do canal de óleo (regreta) na bobina.

Verificou-se que o processo de fabricação das bobinas, alta tensão e baixa tensão, é manual, nos quais seguem de acordo com os projetos da engenharia. Os projetos da engenharia especificam as dimensões dos condutores, especificam se os

condutores serão com isolante ou sem isolante, quantidade de camadas, quantidade de espiras por camada, o sentido do enrolamento, as dimensões do isolamento entre camadas, se o condutor é em pé ou deitado, dimensões da cabeceira, o tipo de isolantes usados, entre outros, ou seja, trata-se de um processo artesanal, mas com alto grau de complexidade que necessita de pessoas bem capacitadas para tal função. A Figura 22 ilustra as camadas isolantes entre as bobinas de alta tensão e baixa tensão.



Figura - Fotografia da vista superior das bobinas de alta tensão e baixa tensão.

O processo de fabricação do núcleo também foi possível visto, desde os cortes das lâminas até o processo de montagem. Observou-se o cuidado de não deixar o núcleo exposto por muito tempo, pois os cortes realizados nas chapas de ferro-silício podem resultar no aumento de perdas a vazio se as extremidades das lâminas de aço silício forem expostas a oxidação. As Figuras 15 e 16 ilustram o processo de fabricação da parte ativa do transformador. Na Figura 23 é ilustrado o núcleo com a parte de cima aberta e a Figura 24 ilustra a bobina inserida no núcleo.



Figura - Fotografia ilustrando núcleo do transformador com parte de cima aberta.



Figura - Fotografia ilustrando bobina inserida no terminal do núcleo.

4.0 - Ensaio realizados

4.1 - Tensão Suportável Nominal de Impulso Atmosférico

Este ensaio tem a finalidade de verificar o isolamento interno do transformador, quando este é solicitado por ondas de sobretensão de origem atmosférica. O ensaio de tensão suportável nominal é realizado utilizando-se um gerador de impulso “*Haefely*”.

4.1.1 - O Gerador de Impulsos

O gerador de impulso reproduz tensões provocadas por descargas atmosféricas e/ou surtos de manobra, satisfazendo as propriedades exigidas por normas, tais como, uma subida muito rápida e uma parte decrescente muito lenta, além de não ter oscilações superpostas.

A figura 17 ilustra o circuito de um gerador de impulso comum, onde C_1 é o capacitor de impulso, C_2 o capacitor de carga, R_1 a resistência de amortecimento e R_2 a resistência de descarga.

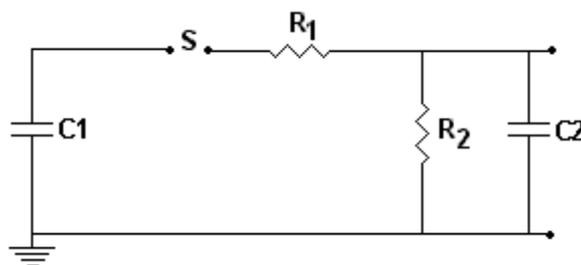


Figura – Circuito de um Gerador de Impulsos Comum

A cauda da onda é praticamente determinada pela resistência de descarga (R_2) e do capacitor de impulso (C_1). A frente da onda depende do capacitor de carga (C_2) e da resistência de amortecimento (R_1), através da qual o capacitor se descarrega. Para ensaios dielétricos com tensão de impulso atmosférico, a ABNT adota um impulso com tempo de frente de $1,2 \mu s$ e tempo de cauda de $50 \mu s$, designado como $1,2/50\mu s$, conforme Figura 18:

Figura - Forma de onda de impulso de acordo com a NBR 6936/1992

4.1.2 - Conexões do Gerador de Impulso Haefely 1,2[kJ], 450[kV] do LAT-EFEI

O circuito do gerador possui duas conexões usuais para este ensaio, a 3S2P que possui três grupos em série de dois capacitores em paralelo e atinge uma tensão máxima de 225 kV, e a 2S3P que possui dois grupos em série de três capacitores em paralelo e atinge uma tensão máxima de 150 kV. As conexões estão ilustradas nas Figuras 19 e 20 respectivamente.

Figura - Conexão 3s-2p

Figura - Conexão 2s-3p

A Figura 21 ilustra as conexões necessárias para a realização do ensaio.

Figura - Conexão do transformador trifásico

Foi realizado o ensaio de Tensão Suportável de Impulso Atmosférico, seguindo a configuração 3S2P, em um transformador no qual apresenta os seguintes dados:

- Tipo de instalação: trifásica;
- Classe de isolamento: 25 kV;
- Tensão primária: 23100 V;
- Tensão secundária: 380/220 V;
- Potência: 75 kVA;
- Impedância porcentual: 4%
- Nível básico de impulso: 125 kV.

Os resultados do ensaio estão apresentados na Tabela 8.

Tabela – Resultados do ensaio de Tensão Suportável de Impulso Atmosférico

APLICAÇÃO	ATO [V/DIV]	T [μs]	V_{LIDO} [V]	V_{APLIC.} [KV]
FRENTE	10,0	0,4	41,6	54,7
CAUDA	10,0	10,0	41,2	54,1
REDUZIDO	20,0	20,0	47,6	62,5

	5,0			
1° PLENO	50,0	20,0	94,0	123,5
	10,0			
CORT. RD.	20,0	1,0	56,0	73,6
	10,0			
1° CORT.	50,0	1,0	104	136,6
	20,0			
2° CORT.	50,0	1,0	104	136,6
	20,0			
2° PLENO	50,0	20,0	94,0	123,5
	10,0			
3° PLENO	50,0	20,0	94,0	123,5
	10,0			

4.2 - Medição de Capacitância

4.2.1 - Capacitâncias

O efeito capacitivo, que existe entre os enrolamentos do transformador e entre os enrolamentos e o tanque, apresenta grande importância quando o transformador é submetido a transitórios de alta frequência.

Figura - Capacitâncias Parasitas em um Transformador de 3 enrolamentos

O número de capacitâncias existente em um transformador depende do número de enrolamentos, do tipo de conexão dos enrolamentos (Y ou Δ) e do tipo do transformador (bancos monofásicos, trifásicos, autotransformador, etc). Como exemplo, seja o transformador, de 3 enrolamentos, apresentado na Figura 22, onde estão mostrados as capacitâncias existentes no mesmo, sendo os índices 1, 2 e 3 referentes às capacitâncias entre os enrolamentos, os índices x, y e z referentes às capacitâncias entre os terminais dos enrolamentos e os índices α , β e γ às capacitâncias entre os enrolamentos e tanque.

4.2.2 - A Ponte Schering

A medição destas capacitâncias foi realizada utilizando a ponte Schering. A sua base construtiva é uma ponte de wheatstone alimentada por uma fonte a.c. de baixa frequência, normalmente no máximo 1000 Hz. Para altas frequências, foi utilizada uma ponte especial para materiais aplicados em alta frequência, um esquema desta ponte é apresentado na Figura 23.

Figura - Ponte Schering

Em geral, a ponte é balanceada pela variação sucessiva de R3 e C4 até que o seu galvanômetro indique deflexão zero. Então, no equilíbrio:

, aproximadamente, desde que seja pequeno, e ,

onde:

ângulo de perda do capacitor

C_1 = capacitância efetiva do objeto sob ensaio

C_2 = capacitância do capacitor padrão.

Os resultados, capacitâncias e tangente de perdas, dos ensaios realizados em quatro transformadores estão indicados nas tabelas abaixo.

Transformador 1

	$C_{hl} = 141.49 \text{ pF}$		$\text{tg } \delta = 0.0007$
			μF
$S = 45 \text{ kVA}$	$C_{hl} + C_{ht} = 274.95 \text{ pF}$	$C_{ht} = 133.46 \text{ pF}$	$\text{tg } \delta = 0.3 \mu\text{F}$
Classe: 23100 V	$C_{hl} + C_{lt} = 635.62 \text{ pF}$	$C_{lt} = 494.13 \text{ pF}$	$\text{tg } \delta = 0.2 \mu\text{F}$
$Z = 3.88 \%$			

Transformador 2

	$C_{hl} = 204.65 \text{ pF}$		$\text{tg } \delta = 0.3$
			μF
$S = 45 \text{ kVA}$	$C_{hl} + C_{ht} = 367.54 \text{ pF}$	$C_{ht} = 162.89 \text{ pF}$	$\text{tg } \delta = 0.3$
Classe: 23100 V	$C_{hl} + C_{lt} = 800.41 \text{ pF}$	$C_{lt} = 595.76 \text{ pF}$	$\text{tg } \delta = 0.1$
			μF

$$Z = 3.41 \% \quad \mu\text{F}$$

Transformador 3

S = 45 kVA	Chl = 262.36 pF		tg $\delta = 0$
	Chl + Cht = 383.18 pF	Cht = 120.82 pF	tg $\delta = 0.4$
Classe: 13800 V Z = 3.37 %			μF
	Chl + Clt = 794.53 pF	Clc = 532.17 pF	tg $\delta = 0$

Transformador 4

S = 30 kVA	Chl = 129.56 pF		tg $\delta = 0.5$
	Chl + Cht = 235.93 pF	Cht = 106.37 pF	tg $\delta = 1.0$
Classe: 23100 V Z = 3.72 %			μF
	Chl + Clt = 593.71 pF	Clc = 464.15 pF	tg $\delta = 0$

Onde:

C_{hl} : capacitância entre os terminais de alta e baixa tensão do transformador;

C_{ht} : capacitância entre os terminais de alta tensão e a terra;

C_{lt} : capacitância entre os terminais de baixa tensão e a terra.

5.0 – Conclusão

O estágio realizado no período de março de 2009 a julho de 2009 foi de grande valia, pois proporcionou consolidar os conceitos referentes a transformadores de distribuição. Além de pesquisa e desenvolvimento de teorias e tecnologias, e de testes e ensaios realizados em equipamentos e materiais elétricos.

Anexo

TSMP dos Transformadores de 5 kVA, 10 kVA e 15 kVA para medições a cada 5
Minutos, 15 minutos e uma hora. Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura A. – TSMP dos Transformadores de 5 kVA – 5 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura – TSMP dos Transformadores de 5 kVA – 15 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura – TSMP dos Transformadores de 5 kVA – Hora - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura – TSMP dos Transformadores de 10 kVA – 5 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura – TSMP dos Transformadores de 10 kVA – 15 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura – TSMP dos Transformadores de 10 kVA – Hora - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura – TSMP dos Transformadores de 15 kVA – 5 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura – TSMP dos Transformadores de 15 kVA – 15 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

Figura – TSMP dos Transformadores de 15 kVA – Hora - Valores a partir das curvas de probabilidade.

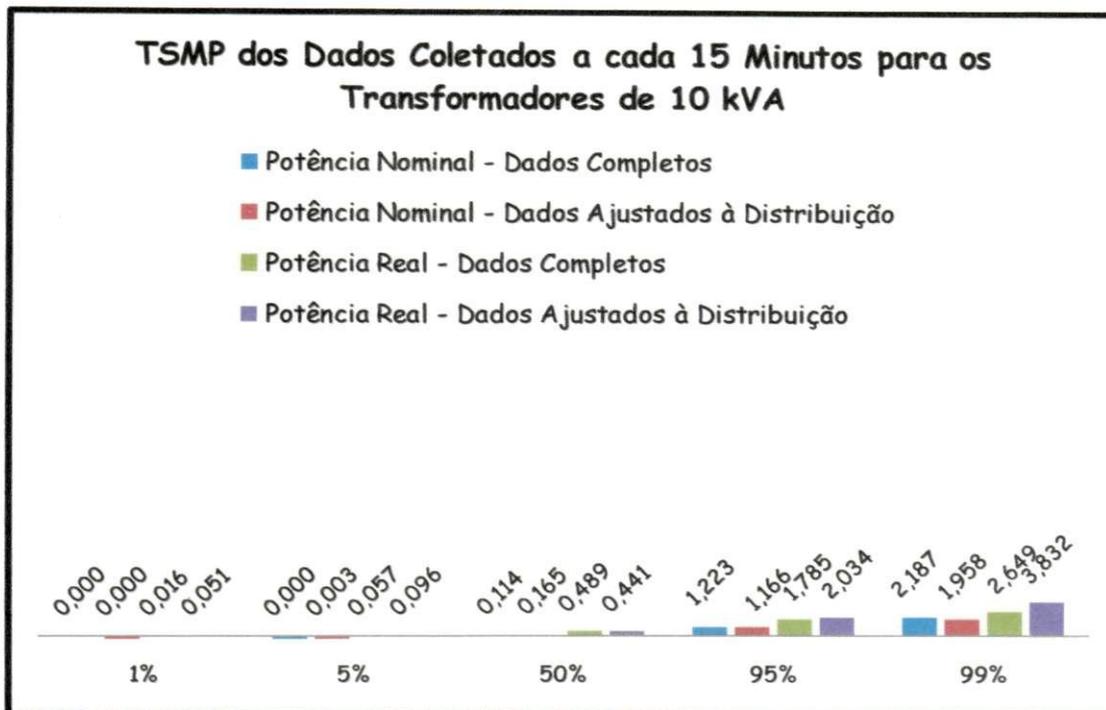


Figura 28 – TSMP dos Transformadores de 10 kVA – 15 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

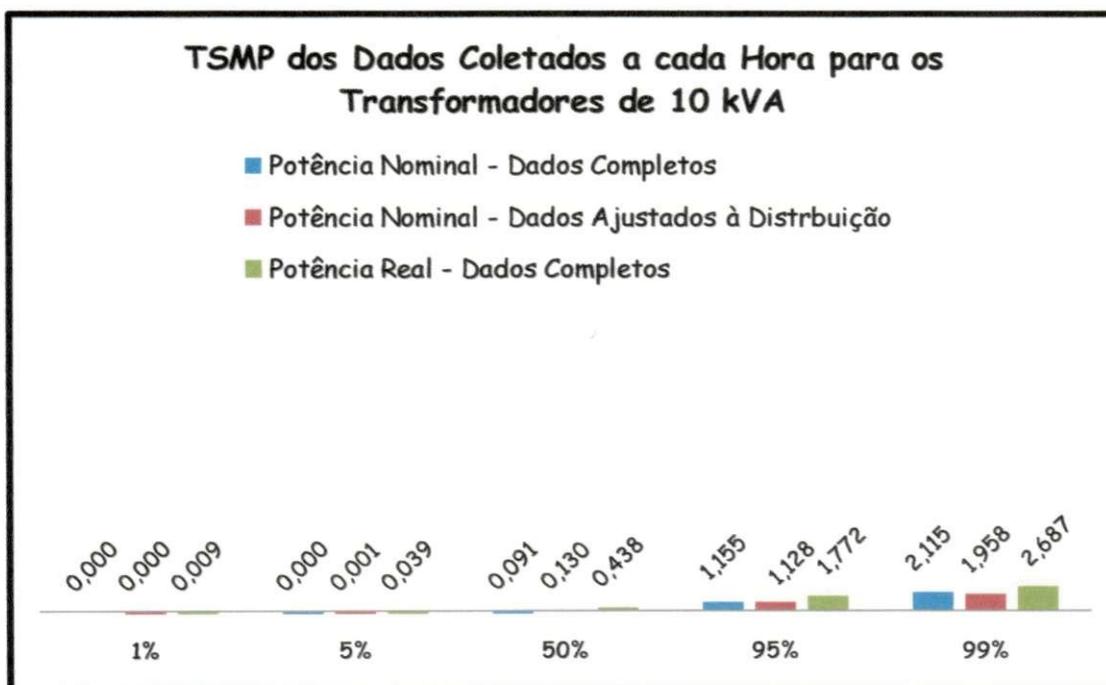


Figura 29 – TSMP dos Transformadores de 10 kVA – Hora - Valores a partir das curvas de probabilidade.

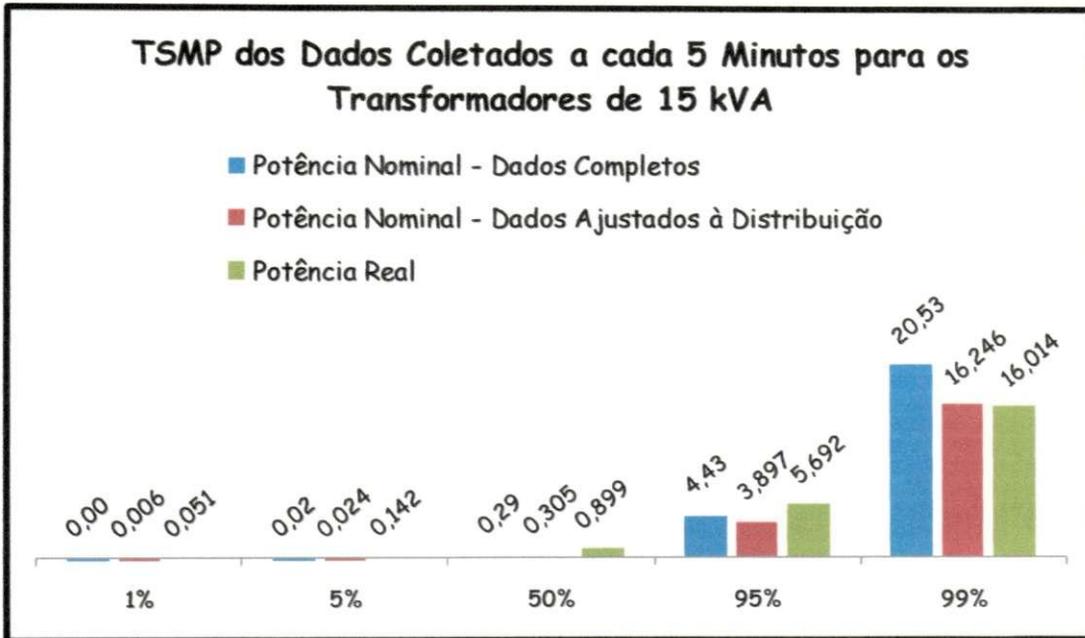


Figura 30 – TSMP dos Transformadores de 15 kVA – 5 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

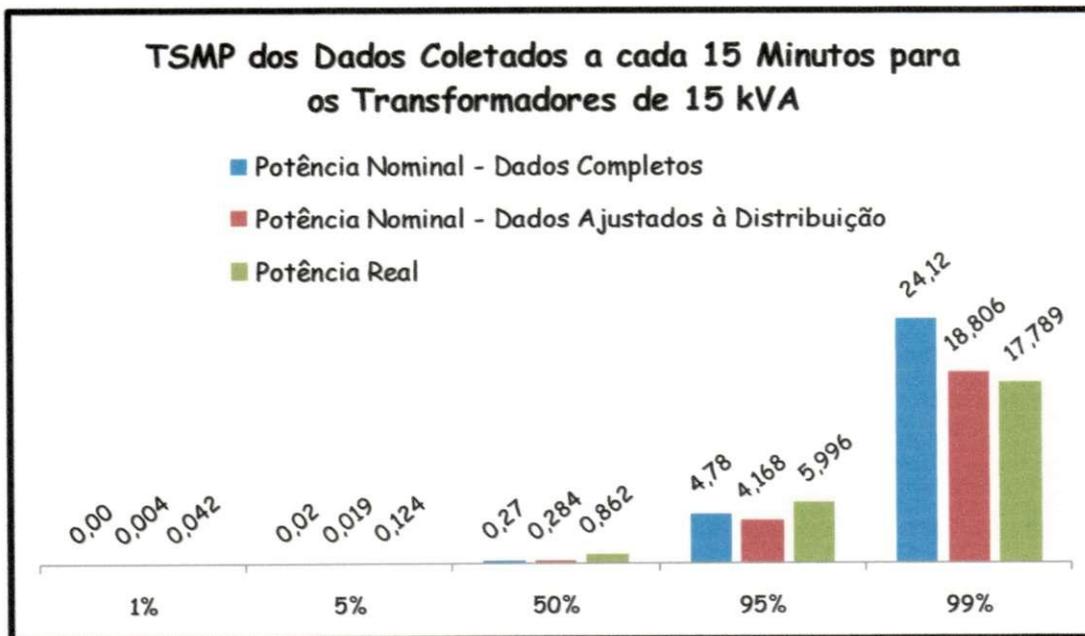


Figura 31 – TSMP dos Transformadores de 15 kVA – 15 Minutos - Valores a partir das curvas de probabilidade.

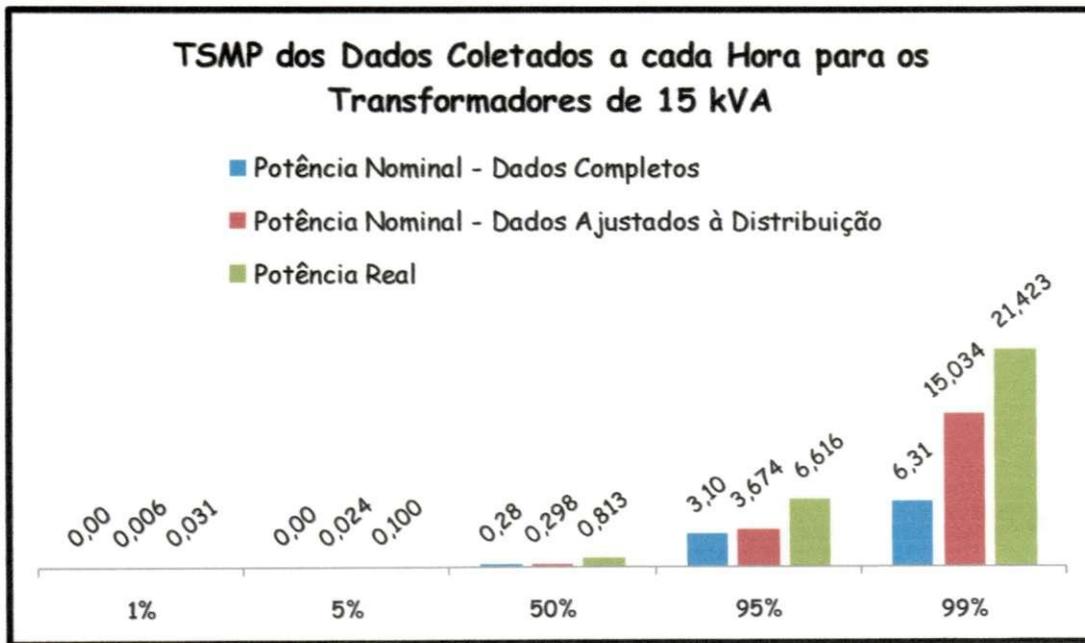


Figura 32 – TSMP dos Transformadores de 15 kVA – Hora - Valores a partir das curvas de probabilidade.