



Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Sistemas Elétricos e de Energia
Laboratório de Alta Tensão



Estado da Arte de Transformadores Eficientes nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Parte 4 : Transformadores Trifásicos e Desbalanceamento de Cargas no Sistema de Distribuição

Eng° Aelfclêniton M. M. Diniz

Sob orientação do **Prof. Dr. Manuel Luis Barreira Martinez**, coordenador do Laboratório de Alta Tensão e do Grupo de Estudos sobre Transformadores Eficientes da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).



Sumário

- Cálculo do TSMP com base em três metodologias;
- Influência do desbalanceamento da carga existente nos terminais do transformador.



Introdução

- Transformadores representam um terço das perdas em sistemas de distribuição e transmissão;
- Analisaram-se os dados dos transformadores referentes às potências de 30, 45 e 75 kVA pertencentes à AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A.



Objetivos

- Analisar estatisticamente os dados coletados através de medições em 65 transformadores trifásicos no intuito de verificar o comportamento do TSMP;
- Verificar qual o valor mais adequado de TSMP a ser utilizado nas equações de capitalização para o cálculo das perdas sob um ciclo diário de carga típico;
- Verificar a influência do desbalancamento da carga no tempo de vida útil do transformador.



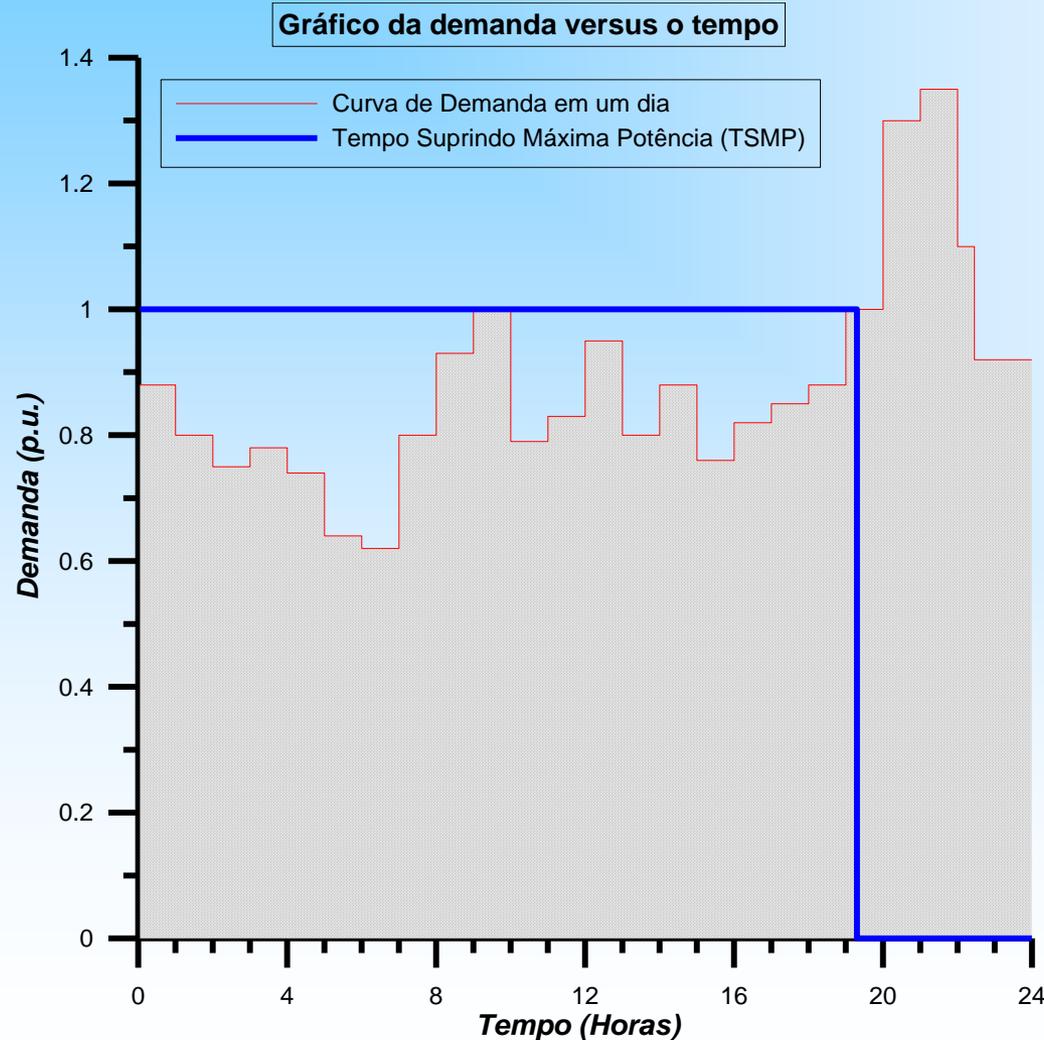
Grupos de Transformadores Analisados

- Quantidade de transformadores analisados

30 kVA	45 kVA	75 kVA
16 unidades	24 unidades	25 unidades



Tempo Suprindo Máxima Potência - TSMP



$$TSMP = \frac{24}{n_d} \sum_{i=1}^{n_d} \left(\frac{S_i}{S_n} \right)^2$$

S_i - potência instatânea em W;

S_n - potência nominal em W;

n_d - número de intervalos de tempo utilizados para discretizar a carga diária.



Metodologia

- Análise individual;
- Análise do conjunto;
- Análise do TSMP máximo.



Metodologia

○ Análise individual

- Se refere ao estudo realizado considerando as potências em cada terminal do transformador de forma isolada;
- Neste caso, cada fase do transformador é analisada como se correspondesse a um transformador monofásico;
- A potência de cada fase corresponde a $1/3$ da potência total do transformador.



Metodologia

○ Análise individual

30 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,13	0,38	2,40	15,42	43,71
15 minutos	0,12	0,35	2,31	15,45	44,83
Hora	0,15	0,32	2,14	14,21	31,14



Metodologia

○ Análise individual

45 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,10	0,36	3,12	11,44	16,98
15 minutos	0,09	0,34	3,06	11,28	16,79
Hora	0,09	0,33	2,98	11,11	16,57



Metodologia

- **Análise individual**

75 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,04	0,19	2,59	11,21	17,22
15 minutos	0,03	0,18	2,54	11,12	17,13
Hora	0,03	0,17	2,49	11,00	16,98



Metodologia

○ Análise do conjunto

- Considera a soma, ou conjunto, das potências nos terminais do transformador para realizar o estudo;
- Neste caso, o transformador trifásico é analisado como um equipamento único;
- Sua potência total corresponde a soma das potências das três fases.



Metodologia

○ Análise do conjunto

30 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,18	0,44	2,26	11,49	28,62
15 minutos	0,17	0,43	2,22	11,53	29,03
Hora	0,16	0,41	2,16	11,51	29,40



Metodologia

○ Análise do conjunto

45 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,16	0,48	3,05	9,89	14,30
15 minutos	0,13	0,40	2,70	8,98	13,06
Hora	0,13	0,39	2,68	8,93	12,98



Metodologia

- **Análise do conjunto**

75 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,14	0,31	2,38	18,10	41,94
15 minutos	0,12	0,27	2,14	16,63	38,94
Hora	0,11	0,26	2,11	16,91	40,07



Metodologia

○ Análise do TSMP Máximo

- Utiliza o maior valor de TSMP dentre os terminais do transformador para cada dia da semana;
- Este método é aplicado a partir dos dados da Análise Individual.



Metodologia

- **Análise do TSMP máximo**

30 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,39	0,89	3,91	17,24	39,58
15 minutos	0,37	0,85	3,81	17,15	39,82
Hora	0,33	0,79	3,67	17,08	40,43



Metodologia

○ Análise do TSMP máximo

45 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,29	0,82	4,90	15,4	22,1
15 minutos	0,28	0,80	4,82	15,21	21,85
Hora	0,27	0,77	4,72	15,0	21,59



Metodologia

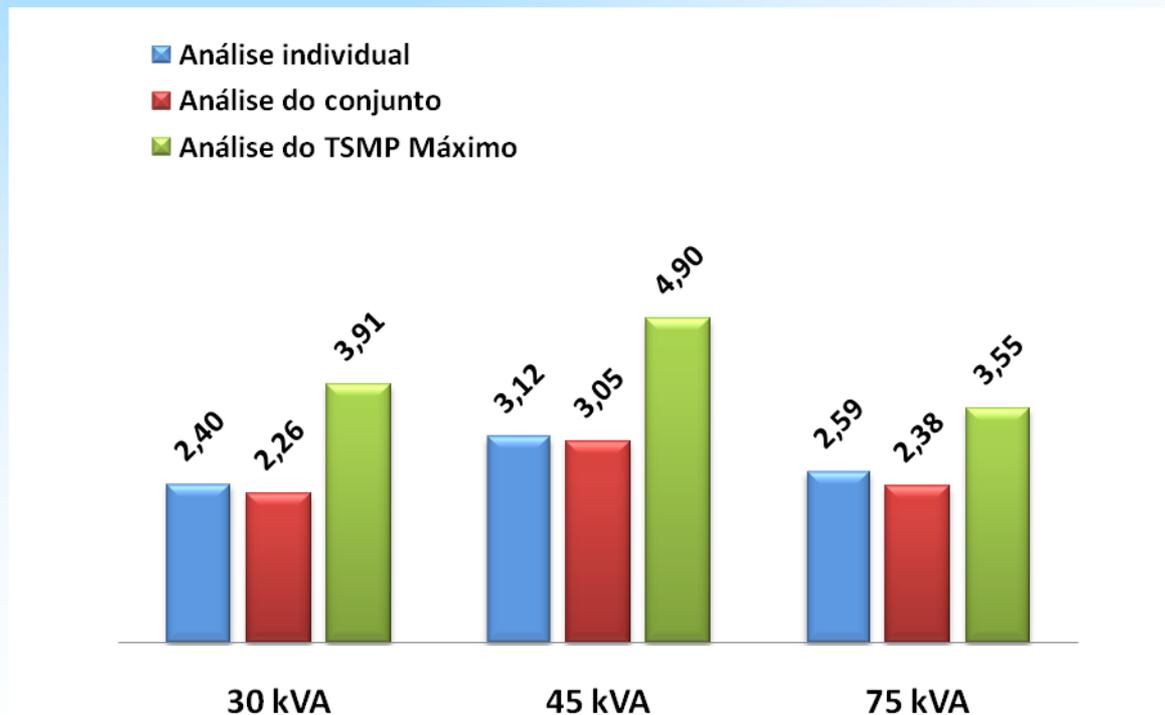
○ Análise do TSMP máximo

75 kVA					
TSMP oriundo das distribuições de probabilidade					
	1%	5%	50%	95%	99%
5 minutos	0,10	0,38	3,55	13,44	20,10
15 minutos	0,09	0,36	3,50	13,34	19,98
Hora	0,09	0,35	3,44	13,20	19,80



Metodologia

- TSMP (Horas/dia) resultantes das metodologias utilizadas para medições realizadas a cada 5 minutos referentes à probabilidade de 50 %.





Desbalanceamento de cargas

- O desbalanceamento em um transformador refere-se à diferença entre as potências das cargas instaladas em cada uma das fases;
- A rigor, estas cargas deveriam ser aproximadamente iguais;
- Na prática, é comum encontrar transformadores com diferenças de até 2 vezes entre a potência instalada na fase mais carregada e na menos carregada.



Desbalanceamento de cargas

- Distribuição de carga nos terminais do transformador

30 kVA			
Valores em pu.			
	R	S	T
Segunda	0,790	1,211	1,087
Terça	0,605	1,448	1,092
Quarta	0,696	1,204	1,394
Quinta	0,622	1,215	0,784
Sexta	0,811	1,280	1,144
Média das demandas	0,790	1,211	1,087



Desbalanceamento de cargas

- Distribuição de carga nos terminais do transformador

45 kVA			
Valores em pu.			
	R	S	T
Segunda	1,369	1,085	0,799
Terça	1,101	1,143	0,521
Quarta	1,644	1,057	0,729
Quinta	1,221	0,987	0,763
Sexta	1,255	1,047	0,679
Média das demandas	1,369	1,085	0,799



Desbalanceamento de cargas

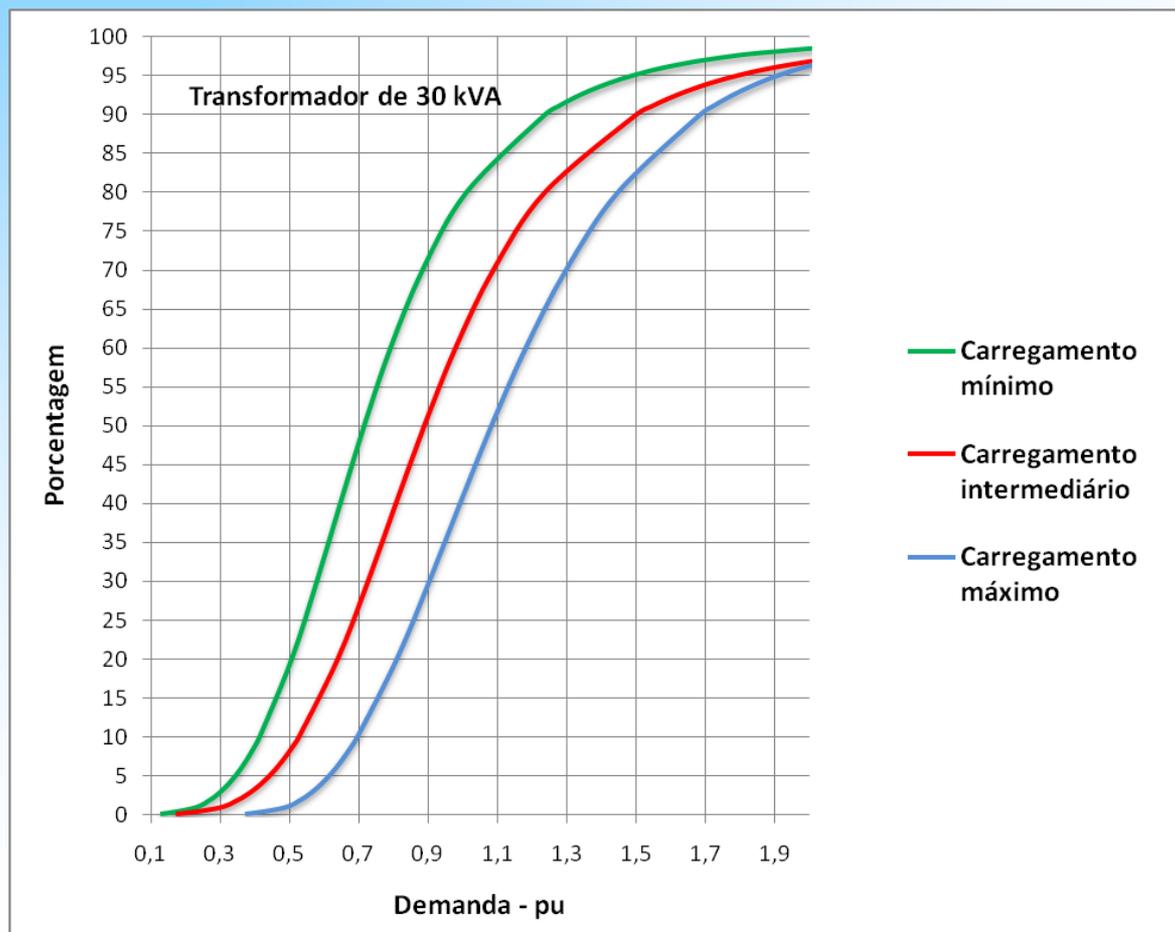
- Distribuição de carga nos terminais do transformador

75 kVA			
Valores em pu.			
	R	S	T
Segunda	1,391	1,472	1,148
Terça	1,586	1,284	1,276
Quarta	1,752	1,795	1,118
Quinta	1,491	1,532	1,241
Sexta	1,401	1,276	1,326
Média das demandas	1,391	1,472	1,148



Desbalanceamento de cargas

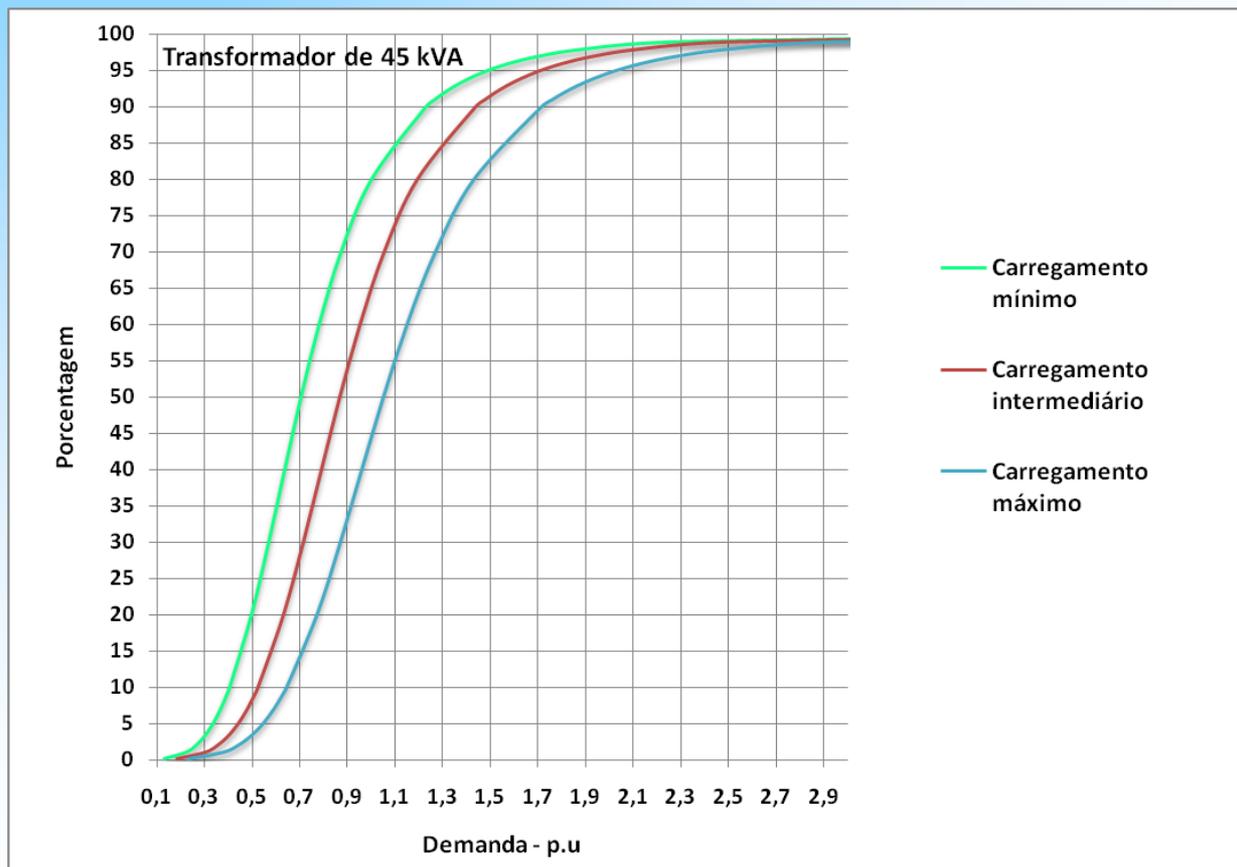
- Gráfico resultante das distribuições de probabilidade – 30 kVA





Desbalanceamento de cargas

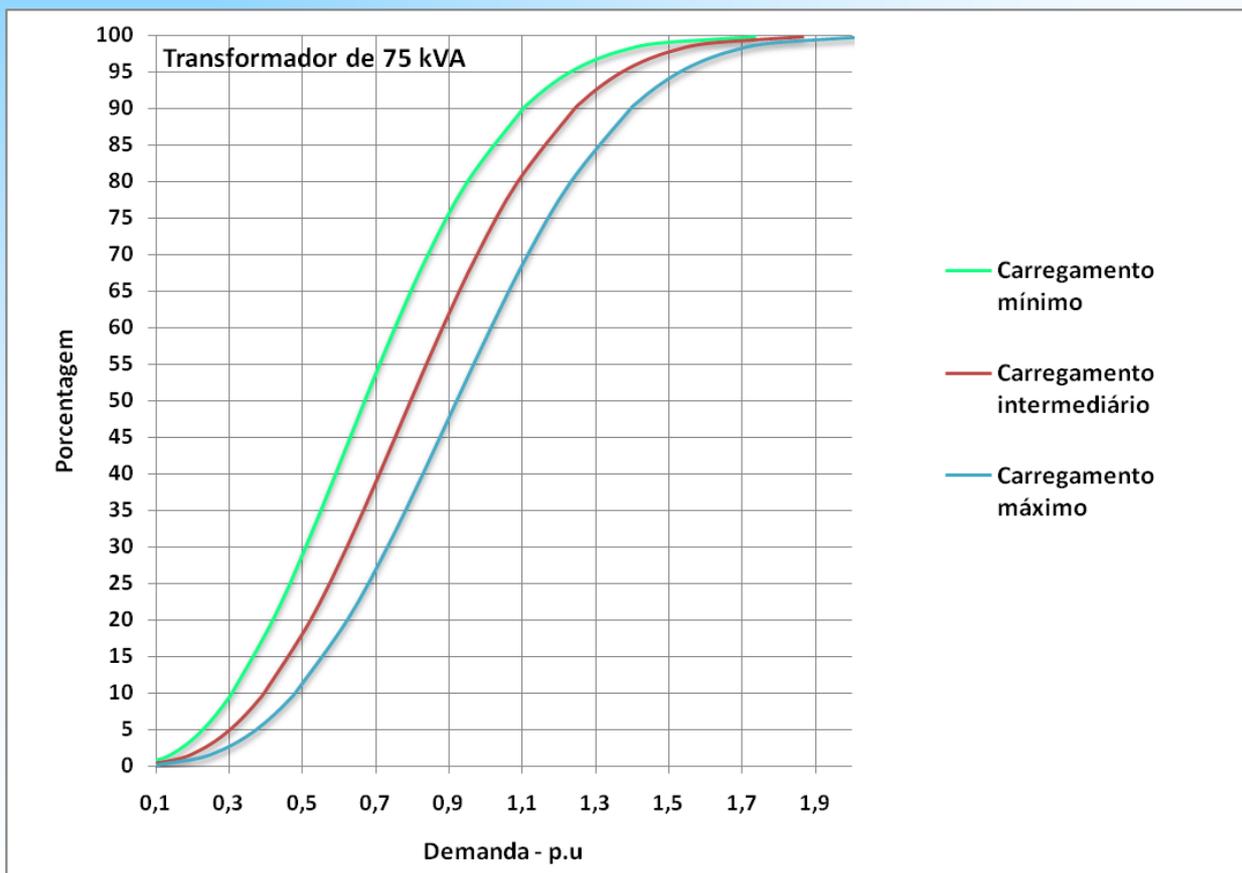
- Gráfico resultante das distribuições de probabilidade – 45 kVA





Desbalanceamento de cargas

- Gráfico resultante das distribuições de probabilidade – 75 kVA

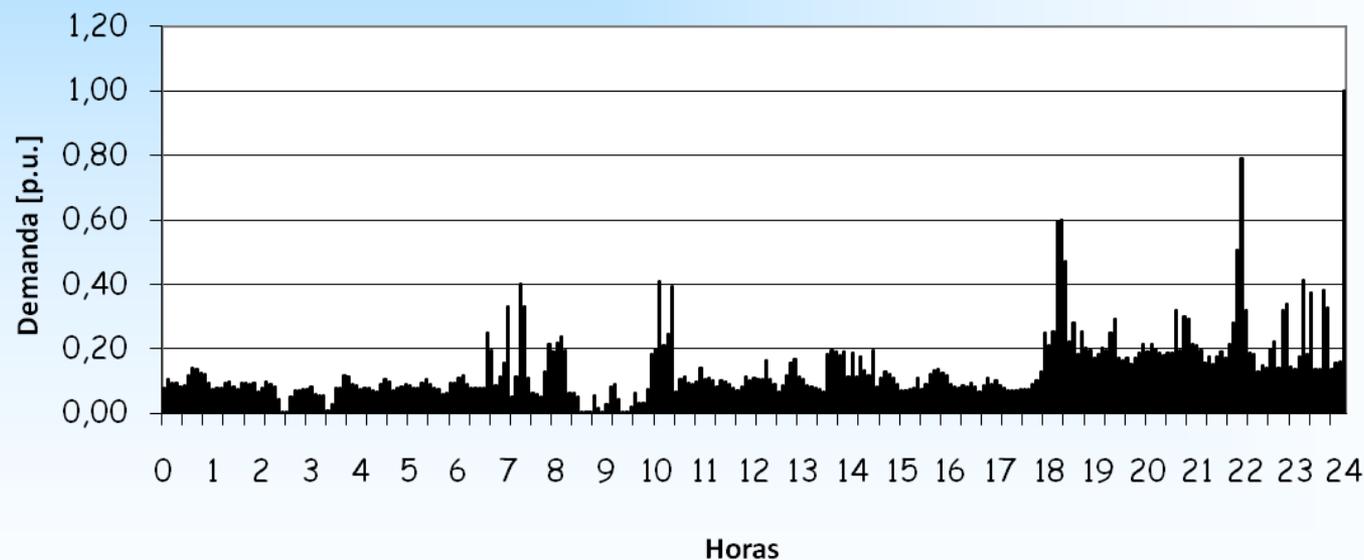




Desbalanceamento de cargas

- Carregamento mínimo – 30 kVA

Curva de Demanda Diária

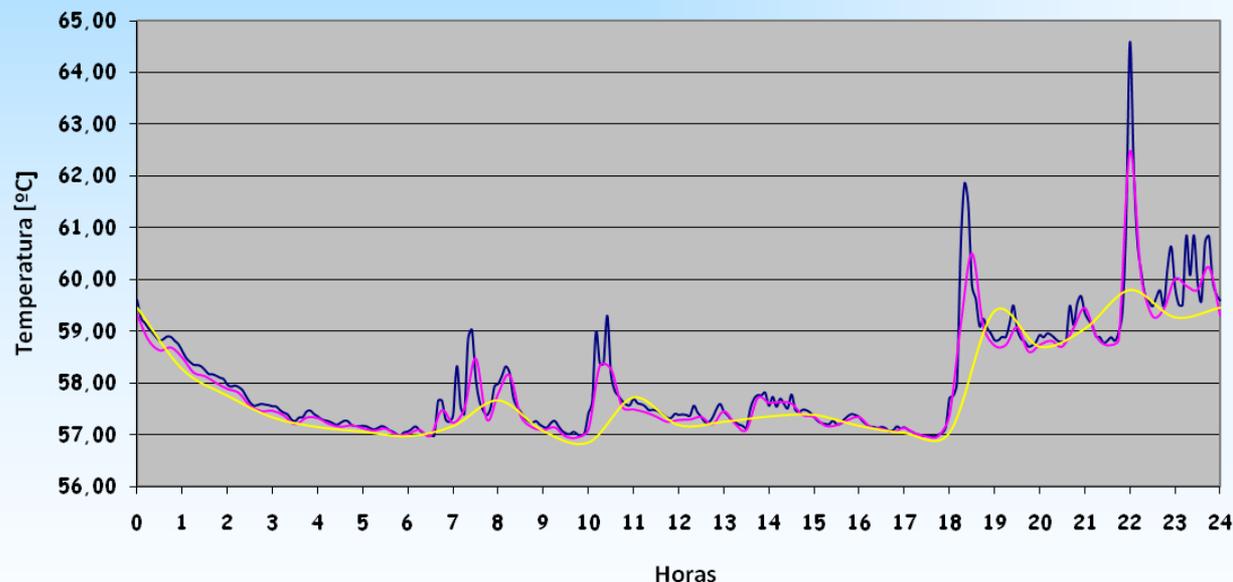




Desbalanceamento de cargas

- Carregamento mínimo – 30 kVA

PERFIS DE TEMPERATURA DO ENROLAMENTO



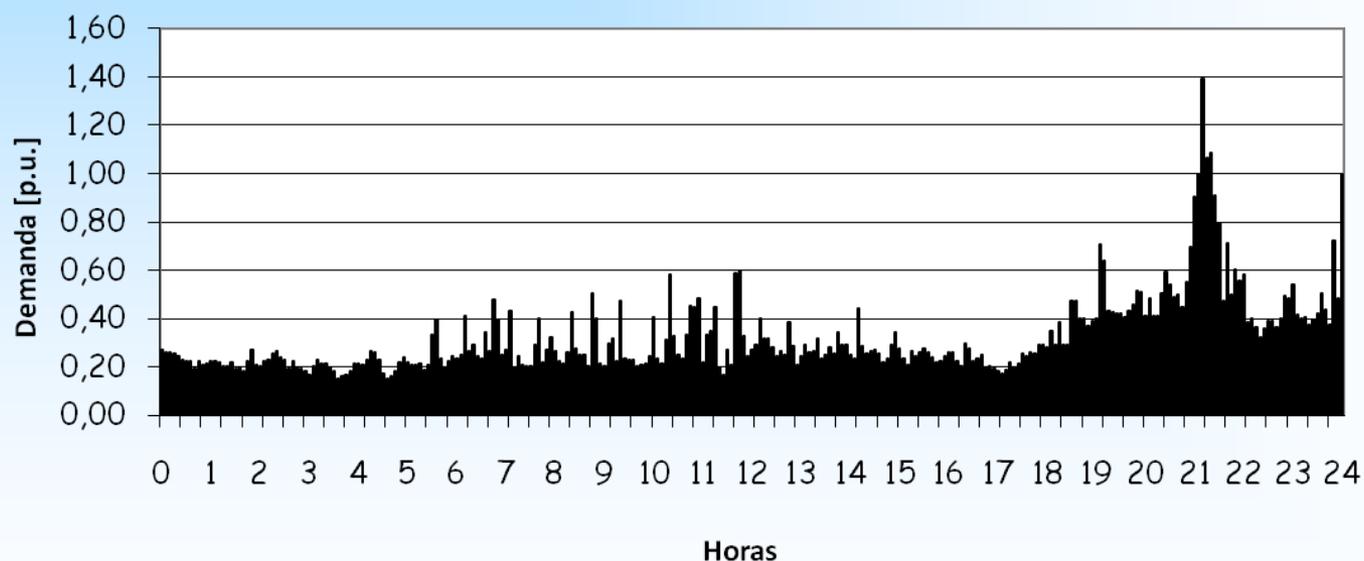
TSMP	Temp.
0,68	64,6°C



Desbalanceamento de cargas

- Carregamento intermediário – 30 kVA

Curva de Demanda Diária

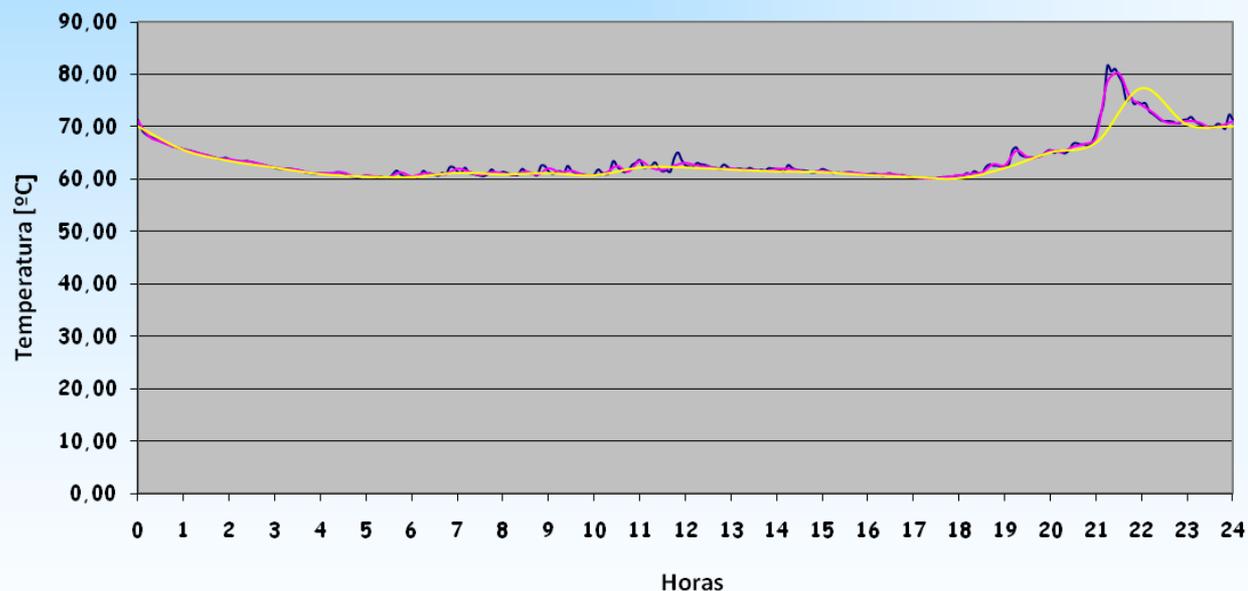




Desbalanceamento de cargas

- Carregamento intermediário – 30 kVA

PERFIS DE TEMPERATURA DO ENROLAMENTO



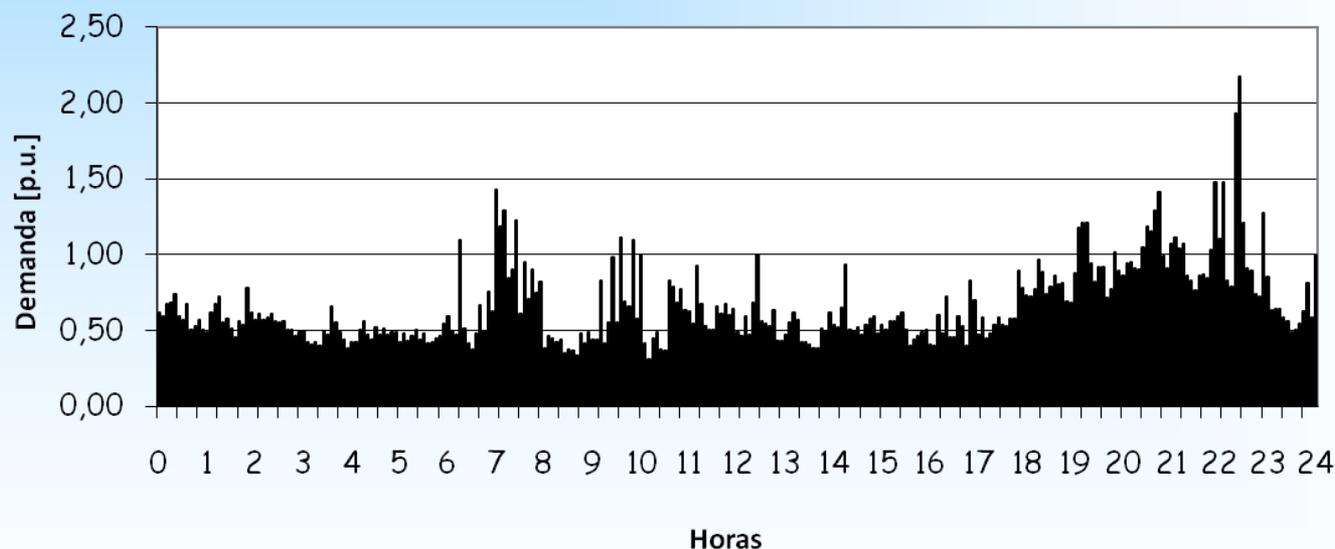
TSMP	Temp.
3,12	81,6°C



Desbalanceamento de cargas

- Carregamento máximo – 30 kVA

Curva de Demanda Diária

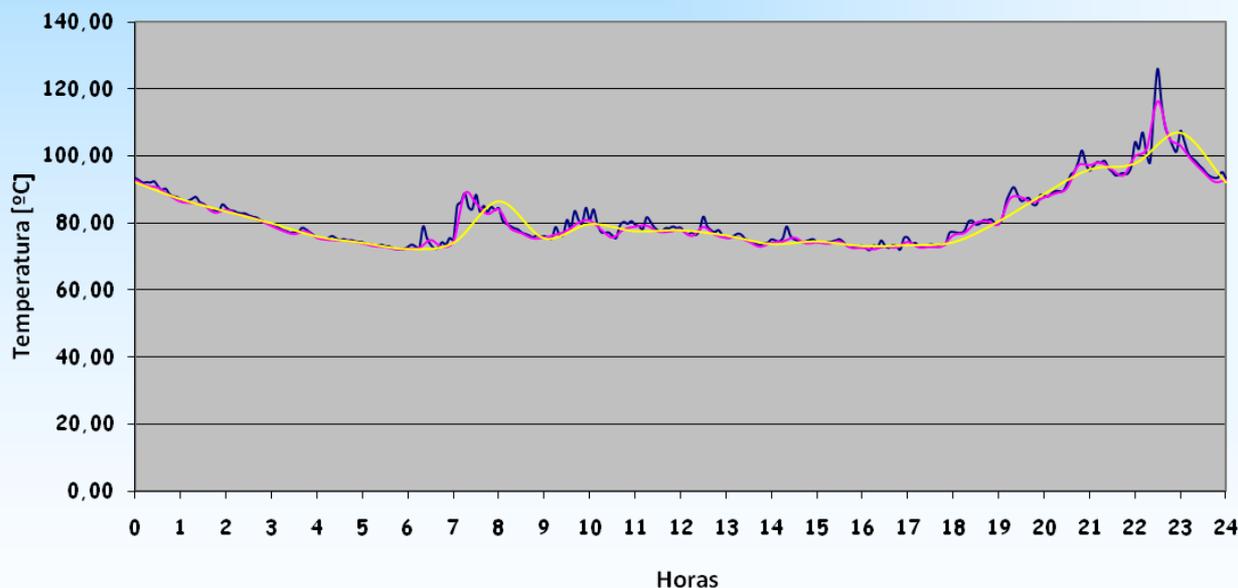




Desbalanceamento de cargas

- Carregamento máximo – 30 kVA

PERFIS DE TEMPERATURA DO ENROLAMENTO



TSMP	Temp.
12,14	125,9 °C



Comentários

- Observou-se que a partir das metodologias utilizadas tornou-se possível calcular o valor de TSMP mais adequado para o projeto de transformadores trifásicos e para as equações de capitalização utilizadas no cálculo das perdas sob um ciclo diário de carga típico;



Comentários

- A metodologia mais adequada foi a Análise do TSMP máximo na qual resultou em valores de TSMP de 3,91, 4,90 e 3,55 para as potências de 30 kVA, 45 kVA e 75 kVA respectivamente;
- Verificou-se que a Análise individual e a Análise do conjunto apresentaram resultados semelhantes;



Comentários

- A maioria dos transformadores trifásicos parece funcionar adequadamente, de acordo com um valor de TSMP apropriado. Mas essa conclusão é alcançada quando a análise considera a carga total dos transformadores;
- Se cada fase é analisada separadamente, percebe-se que, geralmente, há uma fase sobrecarregada, apresentando valores inadequados de TSMP. Isso resulta em uma degradação prematura desta fase, comprometendo todo o equipamento.



Dúvidas e Contato



Aelfclêniton Diniz

mouroner@lat-efei.org.br

(35) 9100-2969