

# RELATÓRIO TÉCNICO

Nº: DIE – 6454/08

Nº DE PÁGINAS: 16

Nº DE ANEXOS:

**TÍTULO: DETERMINAÇÃO DAS PERDAS TÉCNICAS DOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO INSTALADOS NAS EMPRESAS CONCESSIONÁRIAS NO BRASIL.**

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Instalações e Equipamentos - DIE

**Nº DA ÁREA DE RESPONSABILIDADE:** B300

**Nº DA CONTA DE APROPRIAÇÃO:** 3212

**DESTINATÁRIOS:** International Copper Association, Ltd.  
Av. Brigadeiro Faria Lima, 2128 – cj. 203, São Paulo  
CEP:01451-903 - SP – Brasil

**ATENÇÃO:** **Glycon Garcia Junior**  
Sustainable Electrical Energy Latin America

**RESUMO:** O presente relatório tem por objetivo determinar as perdas técnicas de transformadores com dielétrico líquido, instalados nas redes aéreas de distribuição das empresas concessionárias no Brasil.

**AUTOR(ES):**

Carlos Azevedo Sanguedo  
Ana Angélica da Silva Oliveira  
Carmem Polycarpo Medeiros

**PALAVRAS-CHAVE:**

**Transformador de Distribuição, Perdas Técnicas,**

**CLASSIFICAÇÃO:** Controlado

  
GERENTE

**NOME:** Carlos Azevedo Sanguedo

**TEL:** (21) 2666-6341

**EMAIL:** sanguedo@cepel.br

  
CHEFE DO DEPARTAMENTO DE INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

**NOME:** Glória Suzana Gomes de Oliveira

**TEL:** (21) 2598-6082

**FAX:** (21) 2270-4189

**EMAIL:** gloria@cepel.br

  
DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO  
Albert Cordeiro Geber de Melo

**CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

**www.cepel.br**

**Sede:** Avenida Horácio Macedo, 354 - Cidade Universitária – CEP 21941-911-Rio de Janeiro-RJ - Brasil - Tel.: 21 2598-6000-Fax: 21 2260-1340

**Unidade Adrianópolis:** Av. Olinda s/nº - Adrianópolis – CEP 26053-121 - Nova Iguaçu - RJ - Brasil - Tel.: 21 2667-2111 - Fax: 21 2667-3518

**Endereço Postal:** CEPEL - Caixa Postal 68007 – CEP 21944-970 - Rio de Janeiro - RJ – Brasil / **Endereço Eletrônico:** cepel@cepel.br

# **Determinação das perdas técnicas dos transformadores de distribuição, com dielétrico líquido, instalados nas empresas concessionárias de energia no Brasil**

---

## **RELATÓRIO TÉCNICO DIE - 6454/08**

**Autores:**

Carlos Azevedo Sanguedo - CEPEL

Ana Angélica da Silva Oliveira - CEPEL

Carmem Polycarpo Medeiros - CEPEL

---

## ÍNDICE

1.	HISTÓRICO _____	1
2.	OBJETIVO _____	1
3.	METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS _____	1
4.	TRANSFORMADORES INSTALADOS ATÉ 2006 POR REGIÃO _____	2
5.	CONSUMIDORES DE ENERGIA ATÉ 2006 POR TIPO DE CONSUMIDOR ____	3
6.	ENERGIA CONSUMIDA POR TIPO DE CONSUMIDOR NO ANO DE 2006 ____	3
7.	CONSUMIDORES DE ENERGIA POR REGIÃO ATÉ 2006 _____	4
8.	ENERGIA CONSUMIDA EM 2006 POR REGIÃO _____	5
9.	DISTRIBUIÇÃO MONOFÁSICA POR REGIÃO _____	6
10.	DISTRIBUIÇÃO TRIFÁSICA POR REGIÃO _____	6
11.	CARGA TÍPICA POR PERFIL DE CONSUMO E PERDA POR DIA ASSOCIADA	7
12.	PERDAS TÉCNICAS _____	10
13.	IMPACTO FINANCEIRO COM AUMENTO DA EFICIÊNCIA DOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO _____	12
14.	BIBLIOGRAFIA _____	13

## 1. HISTÓRICO

Em dezembro de 2005 foi assinado um convênio para a Promoção da Qualidade e Eficiência Energética de Transformadores de Distribuição, que entre si celebraram, de um lado, a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, como interveniente, e de outro, a Confederação Nacional da Indústria – CNI e o Instituto Euvaldo Lodi – IEL, com o objetivo principal, dentre outros, levantar o estado da arte dos Transformadores de Distribuição de produção nacional, com o propósito de averiguar e melhorar seu desempenho.

Em abril de 2006 foi realizada uma pesquisa com as Concessionárias de Distribuição no Brasil, com o objetivo de levantar as informações sobre estes equipamentos no ano de 2005.

Durante as reuniões do grupo de trabalho formado por representantes dos agentes potencialmente envolvidos no programa, a empresa *International Copper Association Ltd.*, demonstrou interesse para que o CEPEL, baseado neste levantamento, elaborasse um estudo visando a determinação das perdas técnicas de transformadores, instalados nas redes aéreas de distribuição das empresas concessionárias no Brasil.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste relatório técnico é determinar a perda técnica de energia nos transformadores instalados nas redes de distribuição das empresas concessionárias no Brasil no ano de 2007, por tipo de aplicação e o impacto financeiro que irá representar uma redução percentual das perdas técnicas destes transformadores.

## 3. METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DAS PERDAS

A metodologia adotada para a determinação dessa perda de energia, que nada mais é do que a potência ativa dissipada no tempo pelos circuitos elétricos e magnéticos das unidades de transformação sob carga no sistema de distribuição brasileiro foi a seguinte:

a) determinar inicialmente o quantitativo de transformadores de distribuição, monofásico e trifásico, por região para o ano de 2006 e de 2007, baseado na pesquisa realizada pelo CEPEL, relativa aos transformadores de distribuição instalados nos sistemas de distribuição nacionais no ano de 2005, descrita no trabalho técnico intitulado “Qualidade e Eficiência Energética de Transformadores de Distribuição”. Este trabalho foi divulgado no XVII SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica de 21 a 25 de agosto de 2006, em Belo Horizonte, que reuniu empresas de distribuição de todo país. Foi aplicada uma atualização do quantitativo obtido em 2005 para 2006 e 2007, adotando o crescimento anual distribuído por região;

b) efetuar a classificação dos transformadores por: tipo de transformador (1Φ ou 3Φ), potência do transformador (kVA), por região e perfil de consumo do usuário (curva de carga) que utiliza transformadores de distribuição. Foram considerados como perfis de consumo significativos os seguintes tipos de usuários\*; comercial, residencial, rural e público\*\*;

c) calcular a potência trifásica e a monofásica total instalada por região;

\* O consumo industrial não foi considerado como consumidor representativo do sistema de redes aéreas de distribuição em função de estar normalmente ligado à distribuição com transformador de força.

\*\* O consumo público considerado engloba iluminação pública, serviços públicos e poder público.

- d) determinar o número e o perfil dos consumidores de energia até dez de 2007 através dos valores obtidos também no sítio da ABRADDEE em - Dados de Mercado das Empresas Distribuidoras Associadas;
- e) determinar o consumo de energia em GWh no ano de 2006, a ser utilizado no cálculo das perdas anuais, através do sítio da ABRADDEE em - Dados de Mercado das Empresas Distribuidoras Associadas;
- f) estabelecer as curvas de carga típicas para as aplicações residenciais, comerciais, rurais e públicas para determinar o carregamento dos transformadores e conseqüente perda diária como função de sua aplicação;
- g) totalizar a perda de energia no sistema em kWh/dia e MWh/ano, e seus respectivos valores em reais, a partir do carregamento dos transformadores, em função da sua aplicação e depois de conhecida a perda por potência e tipo de transformador com base na NBR 5440:1990, utilizando os dados dos itens b), c) e d);
- h) simular o caso de melhoria do rendimento dos transformadores em 1%, estabelecer a equivalente redução percentual de perdas e conseqüente redução da perda anual do sistema em MWh.

#### 4. TRANSFORMADORES INSTALADOS ATÉ 2006 POR REGIÃO

A quantidade dos transformadores de distribuição instalada nos sistemas brasileiros até o ano de 2007, foi obtida aplicando um multiplicador aos dados levantados em 2005, baseado na evolução anual das unidades pesquisadas por região, tanto para unidades monofásicas quanto para as unidades trifásicas.

A Tabela 1 apresenta o resultado final desta evolução para os transformadores monofásicos instalados no sistema de distribuição e a Tabela 2 para os transformadores trifásicos.

Tabela 1: Transformadores de distribuição 1  $\phi$  instalados no ano de 2006 e de 2007

Transformadores de distribuição 1 $\phi$ instalados no ano de 2006 e 2007		
Região	Quantidade no ano 2006	Quantidade no ano de 2007
Nordeste	190.228	216.617
Norte	67.263	105.173
Sul	364.000	389.782
Sudeste	759.325	774.259
Centro Oeste	53.678	66.277
<b>Total</b>	<b>1.434.494</b>	<b>1.552.107</b>

Tabela 2: Transformadores de distribuição 3  $\phi$  instalados até o ano de 2006 e de 2007

Transformadores de distribuição 3 $\phi$ instalados no ano de 2006		
Região	Quantidade no ano de 2006	Quantidade no ano de 2007
Nordeste	170.951	180.598
Norte	52.197	65.746
Sul	252.511	264.613
Sudeste	539.971	542.301
Centro Oeste	48.916	50.937
<b>Total</b>	<b>1.063.546</b>	<b>1.104.195</b>

## 5. CONSUMIDORES DE ENERGIA ATÉ 2006 POR TIPO DE CONSUMIDOR

A determinação da quantidade de consumidores de energia no Brasil foi obtida manipulando os dados da tabela da ABRADDEE - Dados de Mercado das Empresas Distribuidoras Associadas disponibilizada no sítio da ABRADDEE para o ano de 2006.

A Tabela 3 apresenta o número de consumidores no Brasil, até o ano de 2006 e o respectivo percentual por tipo de consumidor, se residencial, comercial, rural e público.

Tabela 3: Quantidade de consumidores por tipo de consumidor no ano de 2006

Número de consumidores		
Tipo de usuário	Nº de Consumidores	% Consumidor
Residencial	49.188.466	86,08
Comercial	4.315.311	7,55
Rural	3.115.496	5,45
Público	529.382	0,92
Total	57.148.65	100,00

O Gráfico 1 apresenta o percentual de consumidor brasileiro por tipo de usuário de energia referente ao ano de 2006.

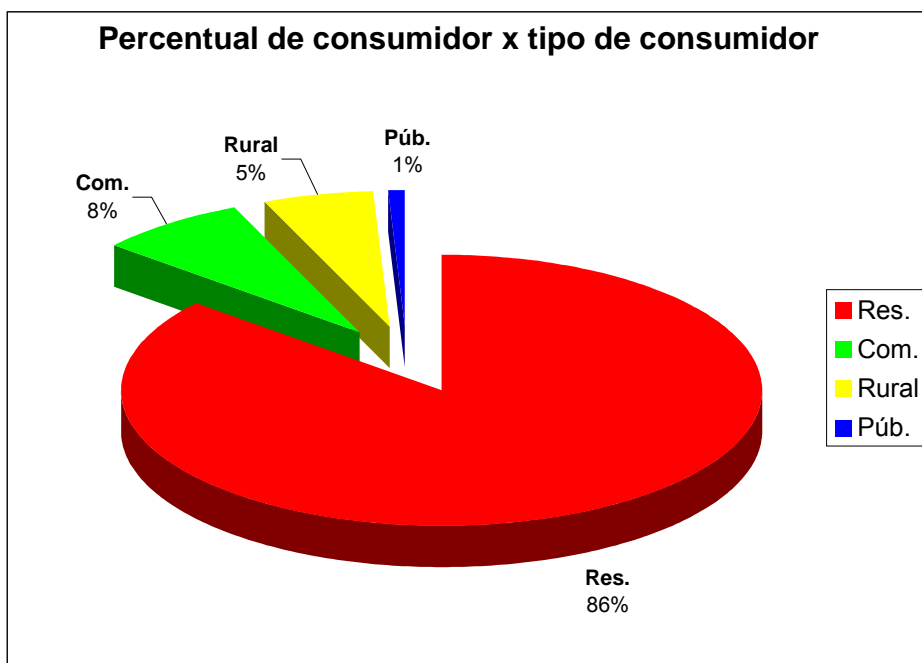


Gráfico 1: Número de Consumidores por tipo de consumidor

## 6. ENERGIA CONSUMIDA POR TIPO DE CONSUMIDOR NO ANO DE 2006

Para obtermos a perda diária de energia por tipo de carga, foi necessário determinar a Energia consumida no ano de 2006 por tipo de usuário no estado brasileiro, tais como Residencial, rural, público e comercial.

Estes dados foram obtidos da tabela “Dados de Mercado” disponibilizada no sítio da ABRADDEE.

A Tabela 4 apresenta o valor da energia em GWh consumida no ano de 2006 e o respectivo percentual por tipo de usuário.

Tabela 4: Energia consumida em GWh por tipo de consumidor

Energia consumida (GWh) por tipo de consumidor		
Tipo de Usuário	Energia consumida (GWh)	% de Energia consumida
Residencial	85.277	45,81
Comercial	53.801	28,90
Rural	1.562	28,90
Público	31.452	16,90
<b>Total</b>	<b>186.153</b>	<b>100,00</b>

O Gráfico 2 apresenta o percentual de energia consumida em GWh em 2006 por tipo de consumidor de energia.

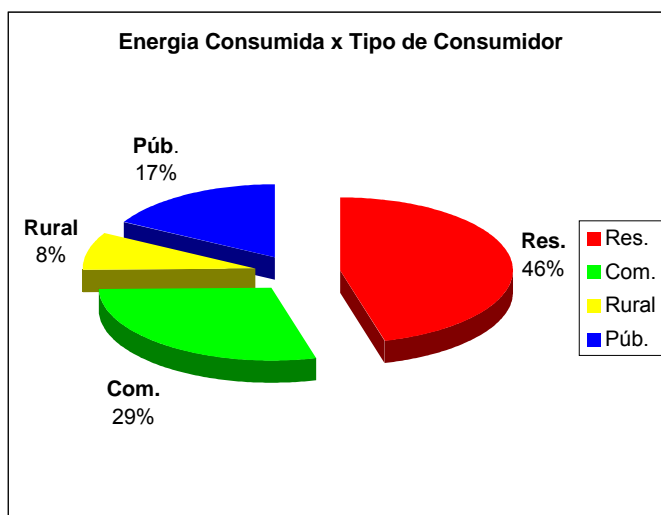


Gráfico 2: Energia consumida por tipo de consumidor

## 7. CONSUMIDORES DE ENERGIA POR REGIÃO ATÉ 2006

A quantidade de consumidores de energia no ano de 2006 por região brasileira foi obtida na tabela de "DADOS de MERCADO" encontrada no sítio da ABRADDEE.

A Tabela 5 apresenta o número de consumidores de energia no ano de 2006 e o seu respectivo percentual por região do Brasil.

Tabela 5: Número de consumidores no ano de 2006 por região do Brasil

Nº de Consumidores por região		
Região	Nº de Consumidores	% de Consumidores
<b>Norte</b>	2.602.895	4,55
<b>Sul</b>	8.885.65	15,55
<b>Sudeste</b>	27.110.522	44,47
<b>Centro Oeste</b>	4.585.592	8,02
<b>Nordeste</b>	13.963.98	24,44
<b>Total</b>	<b>57.148.655</b>	<b>100,00</b>

O Gráfico 3 apresenta o número de consumidores de energia no ano de 2006 por região.

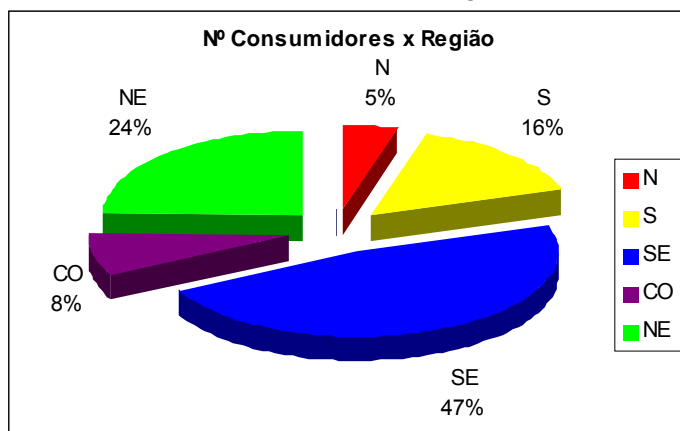


Gráfico 3: Nº de consumidores de energia em 2006 por região do Brasil

## 8. ENERGIA CONSUMIDA EM 2006 POR REGIÃO

A energia consumida em GWh por região brasileira foi obtida no sítio da ABRADEE em - Dados de Mercado das Empresas Distribuidoras Associadas

A Tabela 6 apresenta a energia consumida em GWh no ano de 2006 e o respectivo percentual por região do Brasil.

Tabela 6: Energia consumida em GWh no ano de 2006 por região do Brasil

Energia consumida (GWh) por região		
Região	Energia Consumida (GWh)	% de Energia Consumida
<b>Norte</b>	8.123	4,36
<b>Sul</b>	34.625	18,60
<b>Sudeste</b>	95.855	51,50
<b>Centro Oeste</b>	15.924	8,02
<b>Nordeste</b>	31.626	19,98
<b>Total</b>	<b>186.153</b>	<b>100,00</b>

O Gráfico 4 apresenta o percentual da energia consumida em GWh no ano de 2006 por região do Brasil.

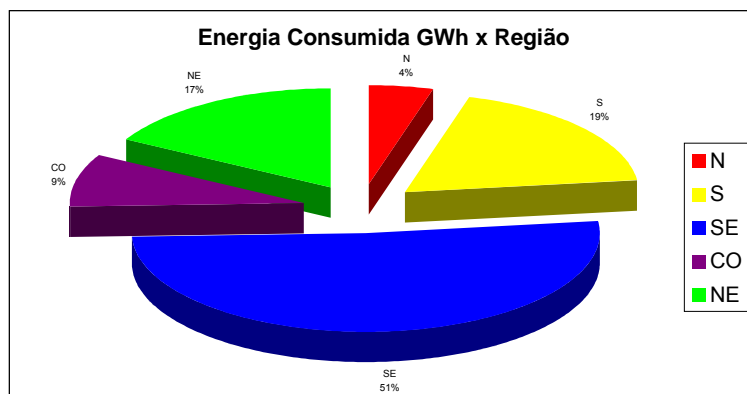


Gráfico 4: Energia consumida em GWh no ano de 2006 por região

## 9. DISTRIBUIÇÃO MONOFÁSICA POR REGIÃO

A Tabela 1 apresentada no item 4 desse relatório, mostra a quantidade de novos transformadores de distribuição monofásicos instalada no ano de 2007, obtida através da estimativa de um crescimento proporcional ao universo existente em 2005 para os anos de 2006 e 2007, e que desta forma foram extrapolados para o transformador monofásico. Estes resultados são validados pela comparação com os resultados nos “DADOS de MERCADO” encontrado no sítio da ABRADEE.

Conforme levantamento apresentado no Relatório Técnico CEPEL Nº 9402/07 - *Análise das informações fornecidas pelas Concessionárias de Energia Elétrica, relativas aos transformadores instalados nos seus sistemas de distribuição - Ano 2007*, foi possível, mantendo a mesma proporção extrapolar a distribuição dessas unidades monofásicas para o ano de 2007 com a representação do volume de transformadores de distribuição monofásicos instalados no parque das concessionárias de energia elétrica por região no ano de 2005.

A Tabela 7 apresenta o número de transformadores monofásicos por potência e por região para o ano de 2007.

Tabela 7 – Número de transformadores 1 $\phi$  por potência por região - 2007

Região	3 kVA	5 kVA	10 kVA	15 kVA	20 kVA	25 kVA	37,5 kVA	50 kVA	100 kVA	Total kVA
NE	0	22.473	178.968	11.669	0	3.437	70	0	0	216.617
N	1.811	5.596	70.932	25.532	103	1.190	9	0	0	105.173
S	0	0	227.923	105.752	0	56.106	0	0	0	389.782
SE	0	255.932	406.686	89.540	0	13.378	0	7.329	1.394	774.259
CO	0	39.586	20.154	5.108	0	1.398	32	0	0	66.277
<b>TOTAL</b>	1.811	323.587	904.663	237.600	103	75.509	111	7.329	1.394	1.552.107
%	0,1	20,8	58,3	15,3	0,0	4,9	0,0	0,5	0,1	100,0

## 10. DISTRIBUIÇÃO TRIFÁSICA POR REGIÃO

A Tabela 2 também apresentada no item 4 desse relatório, mostra a quantidade de transformadores trifásicos instalada no ano de 2007, obtida através da estimativa de um crescimento proporcional ao universo existente em 2005 para os anos de 2006 e 2007, e que desta forma foram extrapolados para o transformador trifásico. Os resultados também são validados pela comparação com os resultados encontrado no sítio da ABRADEE - Dados de Mercado das Empresas Distribuidoras Associadas.

Da mesma forma, o levantamento apresentado no Relatório Técnico CEPEL Nº 9402/07 - *Análise das informações fornecidas pelas Concessionárias de Energia Elétrica, relativas aos transformadores instalados nos seus sistemas de distribuição - Ano 2007*, foi possível, mantendo a mesma proporção extrapolar a distribuição dessas unidades trifásicas para o ano de 2007 com a representação do volume de transformadores de distribuição trifásicos instalados no parque das concessionárias de energia elétrica por região no ano de 2005.

A Tabela 8 apresenta o número de transformadores trifásicos por potência e por região para o ano de 2007.

Tabela 8 – Número de transformadores 3φ por potência por região - 2007

Região	10 kVA	15 kVA	30 kVA	45 kVA	75 kVA	112,5 kVA	150 kVA	225 kVA	300 kVA	500 kVA	Total kVA
NE	0	55.241	48227	29.156	24.870	15.999	4.516	2.269	0	321	180.598
N	0	35	4.077	18.069	23.078	12.196	6.910	1.036	345	0	65.746
S	0	1.780	40.752	96.389	81.775	40.381	3.042	495	0	0	264.613
SE	343	111.881	133.345	93.259	91.200	39.156	38.862	11.320	18.573	4.362	542.301
CO	0	6.942	5.214	19.252	12.680	5.276	1.388	185	0	0	50.937
<b>TOTAL</b>	<b>343</b>	<b>175.878</b>	<b>231.614</b>	<b>256.125</b>	<b>233.604</b>	<b>113.007</b>	<b>54.717</b>	<b>15.306</b>	<b>18.919</b>	<b>4.682</b>	<b>1.104.195</b>
%	0,03	15,93	20,98	23,20	21,16	10,23	4,96	1,39	1,71	0,42	100

## 11. CARGA TÍPICA POR PERFIL DE CONSUMO E PERDA POR DIA ASSOCIADA

O perfil de consumo é determinado pelas cargas típicas dos diversos usuários; o residencial, o comercial, o rural e o público, que são diretamente alimentados pelos transformadores de distribuição monofásicos e trifásicos. O perfil do consumo público foi considerado como similar ao comercial e assim a curva de carga típica adotada é a mesma.

As curvas apresentadas nos gráficos 5, 6 e 7 foram fornecidas pela International Cooper Association a partir de informações obtidas junto a concessionárias de energia da região sudeste e representam os perfis de consumo adotados para cálculo. Os gráficos representam a potência fornecida por uma fonte em PU em função do tempo, desta forma a área sob a curva equivale à energia consumida.

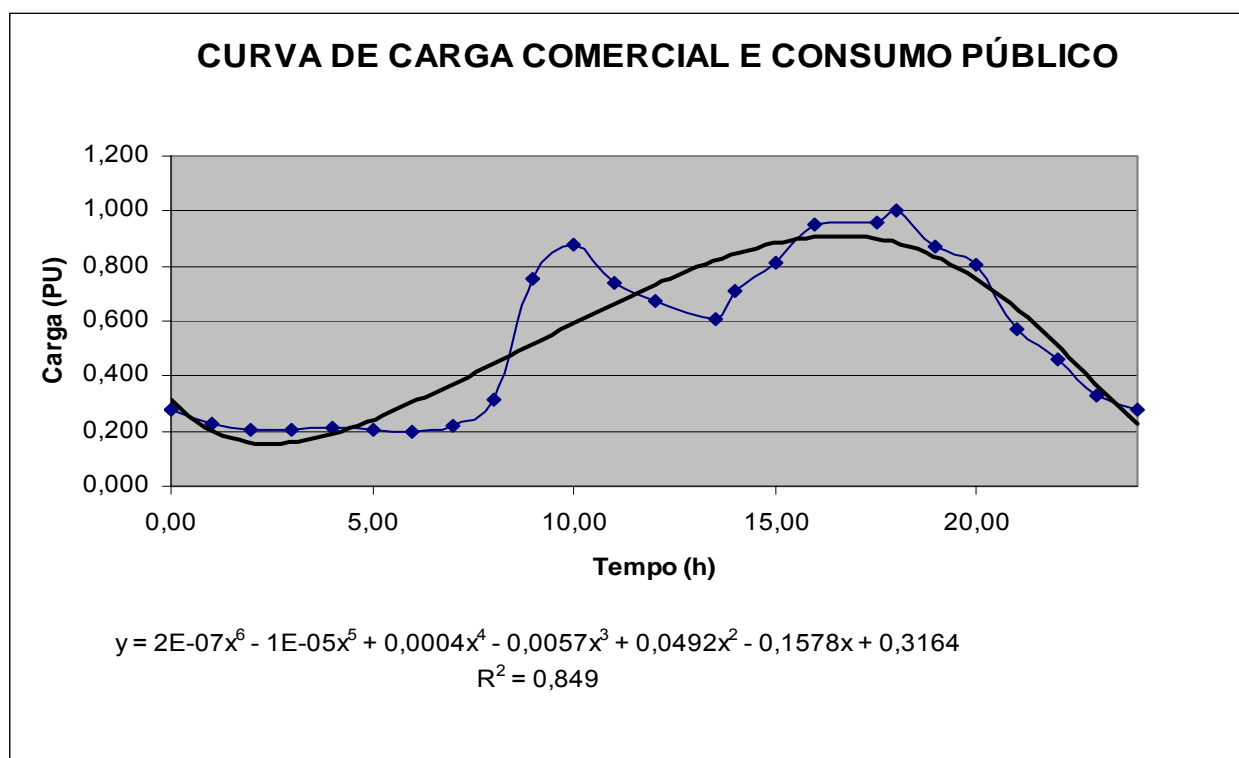


Gráfico 5 – Curva de carga representativa do consumidor comercial e público

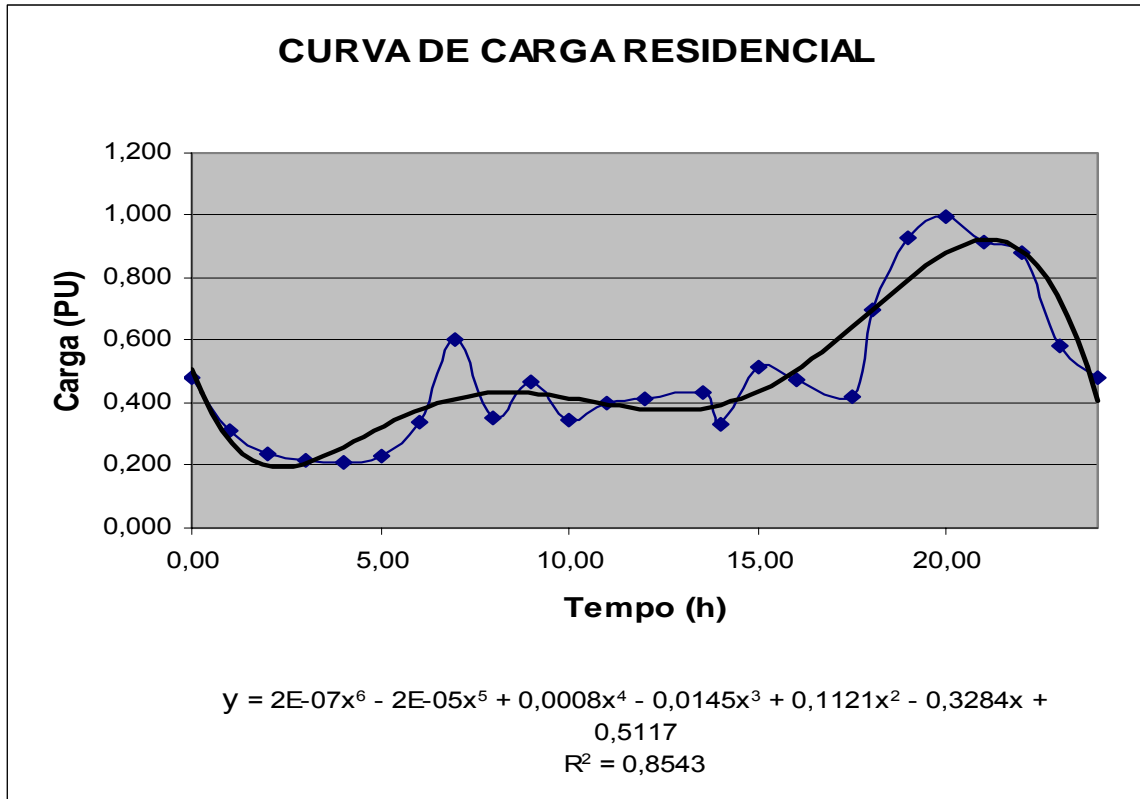


Gráfico 6 – Curva de carga representativa do consumidor residencial

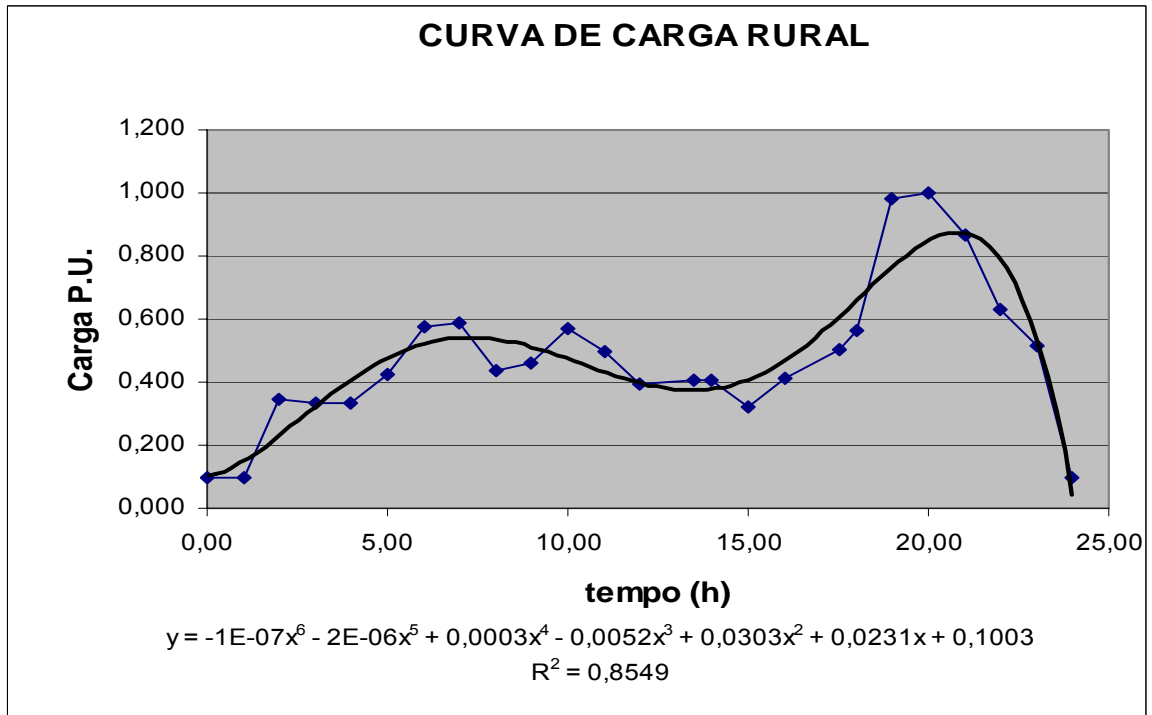


Gráfico 7 – Curva de carga representativa do consumidor residencial

O cálculo desta área sob a curva equivalente à energia consumida é aproximado pela solução da integral própria da curva de tendência no intervalo de 00:00 hora à 24:00 horas. O resultado representa a energia drenada das fontes que alimentam as cargas com o respectivo perfil de consumo.

Se considerarmos a perda a vazio como constante para cada transformador ligado na rede, como a perda Ôhmica é proporcional ao quadrado da carga e desconsiderando as perdas suplementares, podemos concluir que a perda em carga pode ser representada por uma curva de mesmo perfil da curva de carga, porém considerando como percentual da perda máxima da fonte o valor quadrático da potência em P.U.

Desta forma a integral das curvas de perda em carga, adicionada da constante de perda a vazio no tempo, vai representar a perda técnica por dia, ou seja, a energia diária perdida nos transformadores de distribuição de acordo com, tipo de transformador, perfil de consumo e região do Brasil.

Calculando a perda de energia devido a carga, por dia para um determinado perfil de consumo como a integral do percentual da perda máxima ao longo de 24 horas das respectivas fontes, temos:

Logo, a perda por dia nos transformadores de alimentação dos consumidores, será:

a) Para os consumidores comerciais:

$$P_{\text{carga comercial tot/dia}} (\%) = \int_{0:00}^{24:00} \frac{(6E-07x^6 - 4E-05x^5 + 0,0011x^4 - 0,0138x^3 + 0,0866x^2 - 0,21x + 0,1379)}{24} dx \quad (1)$$

b) Para os consumidores públicos:

$$P_{\text{carga publica tot/dia}} (\%) = \int_{0:00}^{24:00} \frac{(6E-07x^6 - 4E-05x^5 + 0,0011x^4 - 0,0138x^3 + 0,0866x^2 - 0,21x + 0,1379)}{24} dx \quad (2)$$

c) Para os consumidores residenciais:

$$P_{\text{carga residencial tot/dia}} (\%) = \int_{0:00}^{24:00} \frac{(2E-08x^6 - 1E-05x^5 + 0,0006x^4 - 0,0117x^3 + 0,0914x^2 - 0,2622x + 0,2592)}{24} dx \quad (3)$$

d) Para os consumidores rurais:

$$P_{\text{carga rural tot/dia}} (\%) = \int_{0:00}^{24:00} \frac{(1E-07x^6 - 2E-05x^5 + 0,0007x^4 - 0,0118x^3 + 0,0741x^2 - 0,1174x + 0,0476)}{24} dx \quad (4)$$

A solução das equações acima nos leva ao seguinte resultado, assumindo que os valores de  $P_0$  e de  $P_{\text{carga}}$  dependem do tipo e da potência do transformador.

$$\text{Perda}_{\text{técnica comercial tot/dia}} (\text{kWh}) = (P_0 * 24 \text{ h}) + (P_{\text{carga máx}} * 24 * 0,30055^{(1)}) \quad (5)$$

$$\text{Perda}_{\text{técnica publica tot/dia}} (\text{kWh}) = (P_0 * 24 \text{ h}) + (P_{\text{carga máx}} * 24 * 0,30055^{(2)}) \quad (6)$$

$$\text{Perda}_{\text{técnica residencial tot/dia}} (\text{kWh}) = (P_0 * 24 \text{ h}) + (P_{\text{carga máx}} * 24 * 0,38708^{(3)}) \quad (7)$$

$$\text{Perda}_{\text{técnica rural tot/dia}} (\text{kWh}) = (P_0 * 24 \text{ h}) + (P_{\text{carga máx}} * 24 * 0,28764^{(4)}) \quad (8)$$

Nota – Neste trabalho serão utilizados os valores da Norma NBR 5440:1999 apresentados na tabela de valores garantidos de perdas.

## 12. PERDAS TÉCNICAS

Para chegarmos ao valor da perda por dia nos transformadores do sistema de distribuição no Brasil, utilizaremos os dados já apresentados na “**Tabela 4 - Energia consumida em GWh por tipo de consumidor**” em conjunto com os dados apresentados nas “**Tabela 5 - Número de consumidores por região do Brasil**”, “**Tabela 7 – Número de transformadores 1φ por potência por região – 2007**” e “**Tabela 8 – Número de transformadores 3φ por potência por região – 2007**”.

Sobre o resultado desta composição aplicamos as equações de (1) a (4) de acordo com o perfil de consumo, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 9 a 16.

Tabela 9 – Perfil de consumo por região – número de consumidores

Perfil do Consumidor	Nº total de consumidores	Cons (%)	N (Qt)	S (Qt)	SE (Qt)	CO (Qt)	NE (Qt)
<b>Residencial</b>	49.188.466	86,08	2.212.451	7.205.231	23.891.147	3.822.869	12.056.768
<b>Comercial</b>	4.315.311	7,55	219.304	732.016	2.047.200	387.132	929.659
<b>Rural</b>	3.115.496	5,45	144.054	859.138	992.149	330.779	789.376
<b>Público</b>	529.382	0,92	27.086	89.272	180.026	44.812	188.186

Tabela 10 – Perfil de consumo por região – distribuição percentual

Perfil do consumidor	Nº total de consumidores	Cons (%)	N (%)	S (%)	SE (%)	CO (%)	NE (%)
<b>Residencial</b>	49.188.466	86,08	85,00	81,09	88,12	83,37	86,34
<b>Comercial</b>	4.315.311	7,55	8,43	8,24	7,55	8,44	6,66
<b>Rural</b>	3.115.496	5,45	5,53	9,67	3,66	7,21	5,65
<b>Público</b>	529.382	0,92	1,04	1,00	0,66	0,98	1,35

Tabela 11 - Perda em carga 1φ por dia proporcional por perfil por região em MWh

Região	Residencial (MWh)	Comercial (MWh)	Rural (MWh)	Público (MWh)	Total (MWh)
<b>NE</b>	343,5	20,6	16,7	4,2	385,0
<b>SE</b>	1148,2	88,4	55,6	10,9	1303,0
<b>S</b>	727,5	57,4	64,5	7,0	856,4
<b>N</b>	183,0	12,2	5,6	1,1	201,9
<b>CO</b>	80,1	6,3	5,1	0,7	92,3
					<b>2838,5</b>

Tabela 12 - Perda a vazio 1φ por dia por perfil por região em MWh

Região	Residencial (MWh)	Comercial (MWh)	Rural (MWh)	Público (MWh)	Total (MWh)
<b>NE</b>	278,8	21,5	18,3	4,4	322,9
<b>SE</b>	1.019,4	87,4	42,3	7,7	1156,7
<b>S</b>	572,1	58,1	68,2	7,1	705,5
<b>N</b>	141,4	14,0	9,2	1,73	166,4
<b>CO</b>	75,9	7,7	6,6	0,89	91,1
					<b>2.442,5</b>

Tabela 13 – Perda técnica 1 $\phi$  por dia por perfil de consumo por região em MWh

Região	Residencial (MWh)	Comercial (MWh)	Rural (MWh)	Público (MWh)	Total (MWh)	%
NE	622,3	42,1	35,0	8,5	707,8	13,37
SE	2167,6	175,7	97,9	18,6	2459,8	46,37
S	1299,6	115,5	132,7	14,1	1561,9	29,89
N	324,4	26,2	14,9	2,8	368,2	6,93
CO	156,0	14,0	11,7	1,6	183,4	3,44
	86,53%	7,07%	5,53%	0,86%	5281,1	100,00

Tabela 14 - Perda em carga 3 $\phi$  por dia proporcional por perfil por região em MWh

Região	Residencial (MWh)	Comercial (MWh)	Rural (MWh)	Público (MWh)	Total (MWh)
NE	1110,2	66,5	54,0	13,5	1244,2
SE	4413,6	293,6	136,2	25,8	4869,2
S	1973,5	155,7	174,9	19,0	2323,0
N	622,2	47,9	30,1	5,9	706,1
CO	357,3	28,1	23,0	3,3	411,6
					9554,2

Tabela 15 - Perda a vazio 3 $\phi$  por dia por perfil por região em MWh

Região	Residencial (MWh)	Comercial (MWh)	Rural (MWh)	Público (MWh)	Total (MWh)
NE	828,5	63,9	54,2	12,9	959,6
SE	3.273,9	280,5	136,0	24,7	3.715,1
S	1.461,3	148,5	174,2	18,1	1.802,1
N	459,1	45,5	29,9	5,6	540,1
CO	264,4	26,8	22,9	3,1	317,1
					7.334,0

Tabela 16 – Perda técnica 3 $\phi$  por dia por perfil de consumo por região em MWh

Região	Residencial (MWh)	Comercial (MWh)	Rural (MWh)	Público (MWh)	Total (MWh)	%
NE	1938,8	130,4	108,3	26,4	2203,8	13,05%
SE	7687,5	574,2	272,2	50,5	8584,4	50,83%
S	3434,7	304,1	349,1	37,1	4125,0	24,43%
N	1081,3	93,4	60,0	11,5	1246,3	7,38%
CO	621,7	54,9	45,8	6,4	728,7	4,32%
%	87,42%	6,85%	4,95%	0,78%	16.888,2	100%

Compondo os resultados das Tabelas 14 e 16, somando a perda técnica monofásica mais a perda técnica trifásica por dia nos transformadores, obtemos uma perda técnica total de 22.169,3 MWh por dia nos transformadores de sistema de distribuição. O que corresponde a um custo de R\$ 6.847.206,08 por dia, considerando a tarifa média de energia elétrica paga pelo consumidor brasileiro em 2007, fornecida pela ANEEL, Agência nacional de Energia Elétrica, no valor de 1 MWh = R\$ 308,86.

### 13. IMPACTO FINANCEIRO COM AUMENTO DA EFICIÊNCIA DOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO

Um aumento da eficiência ou rendimento nominal dos transformadores de distribuição é obtido por uma redução das perdas a vazio e/ou das perdas em carga.

De uma forma geral o aumento da eficiência reflete em uma redução diretamente proporcional ao valor da perda técnica considerada e conseqüentemente em uma redução também direta do MWh e valores em reais perdidos.

O impacto financeiro da utilização de transformadores monofásicos com uma eficiência em média 0,5% maior do que os transformadores considerados neste trabalho e também da utilização de transformadores trifásicos com uma eficiência em média 0,38% maior, equivaleria a uma economia anual de cerca de R\$ 600 milhões, correspondendo a uma economia de energia de cerca de 2.000 GWh.

A Tabela 17 apresenta os valores de potência monofásica, das perdas a vazio, em carga e total e o rendimento nominal dos transformadores monofásicos considerados neste trabalho e encontrados na norma NBR 5440.

São apresentados também na Tabela 17 os respectivos valores de rendimento quando consideramos uma redução de 20% das perdas totais e os aumentos de rendimento nominal para os transformadores monofásicos.

O aumento médio de rendimento encontrado nos transformadores monofásicos é de 0,51%.

Tabela 17 – Aumento do rendimento dos transformadores monofásicos

Potência monofásica (kVA)	Perda vazio (W)	Perda carga (W)	Perda total (W)	Rendimento %	Redução de 20% perdas	Rendimento com perda reduzida	Aumento do rendimento nominal
3	40	75	115	96,17%	92	96,93%	0,77%
5	50	110	160	96,80%	128	97,44%	0,64%
10	60	200	260	97,40%	208	97,92%	0,52%
15	85	270	355	97,63%	284	98,11%	0,47%
20	120	355	475	97,63%	380	98,10%	0,48%
25	120	400	520	97,92%	416	98,34%	0,42%
37,5	160	540	700	98,13%	560	98,51%	0,37%
50	190	640	830	98,34%	664	98,67%	0,33%
75	230	930	1160	98,45%	928	98,76%	0,31%
100	280	1220	1500	98,50%	1200	98,80%	0,30%

A Tabela 18 apresenta os valores de potência trifásica, das perdas a vazio, em carga e total e o rendimento nominal dos transformadores trifásicos considerados neste trabalho e encontrados na norma NBR 5440 -1999.

São apresentados também na Tabela 18 os respectivos valores de rendimento quando consideramos uma redução de 20% das perdas totais e os aumentos de rendimento nominal para os transformadores trifásicos.

O aumento médio de rendimento encontrado nos transformadores trifásicos é de 0,38%.

Tabela 18 – Aumento do rendimento dos transformadores trifásicos

Potência trifásica (kVA)	Perda vazio (W)	Perda carga (W)	Perda total (W)	Rendimento %	Redução de 20% perdas	Rendimento com perda reduzida	Aumento rendimento nominal
15	100	340	440	97,07%	352	97,65%	0,59%
30	170	570	740	97,53%	592	98,03%	0,49%
45	220	780	1000	97,78%	800	98,22%	0,44%
75	330	1140	1470	98,04%	1176	98,43%	0,39%
112,5	440	1550	1990	98,23%	1592	98,58%	0,35%
150	540	1910	2450	98,37%	1960	98,69%	0,33%
225	765	2700	3465	98,46%	2772	98,77%	0,31%
300	950	3360	4310	98,56%	3448	98,85%	0,29%
500	1325	4675	6000	98,80%	4800	99,04%	0,24%

## 14. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dados de Mercado das Empresas Distribuidoras Associadas a ABRADDEE – Disponível na Internet <<http://abradee.org.br>> Acesso em: Dez/2007
- [2] Relatório Técnico CEPEL N° 9402/07 - Análise das informações fornecidas pelas Concessionárias de Energia Elétrica, relativas aos transformadores instalados nos seus sistemas de distribuição. Ano 2007.
- [3] Tarifa média de energia elétrica paga pelo consumidor brasileiro em 2007, fornecida pela ANEEL (Agência nacional de Energia Elétrica) – Disponível na Internet <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/utl91u363178.shtml>> Acesso em: Fev/2008.
- [4] Norma Brasileira – NBR 5440 – Transformadores para redes aéreas de distribuição – Padronização – Julho 1999.
- [5] CODI - Método para Determinação, Análise e Otimização das Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição. Relatório CODI 3.2.19.34.0.