



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### **Cálculo de Demanda Rede para Acréscimo de Novas Cargas na Rede de Distribuição de Baixa Tensão**

<b>Anderson Gonçalves Villela</b>	<b>Valdivino Alves de Carvalho</b>
<b>AES Eletropaulo</b>	<b>AES Eletropaulo</b>
Autor 1 – anderson.villela@aes.com	Autor 2 – valdivino.carvalho@aes.com

#### **Palavras-chave**

Cálculo de Demanda

Transformador de Distribuição

Rede de Distribuição

Carregamento de Transformador

#### **Resumo**

A AES Eletropaulo tem como premissa, estar sempre atenta às novas tecnologias e ao aprimoramento de suas práticas. O cálculo de demanda para dimensionamento de transformadores é um exemplo típico. Ao longo dos anos, o algoritmo de cálculo adotado não mais representava as reais condições de rede, sendo necessário desenvolver uma nova metodologia. Este procedimento para o dimensionamento de transformadores está fundamentado na aplicação de curvas típicas de carga para consumidores residenciais, comerciais e industriais, bem como em consumos de energia calculados com base nas informações de cargas declaradas por clientes e projetistas, a serem atendidas em baixa tensão. Neste modelo de cálculo, quanto mais precisa a estimativa de energia para atendimento das novas cargas, melhor será o resultado produzido na estimativa de demanda.

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho está fundamentado na aplicação de curvas típicas de carga para consumidores residenciais, comerciais e industriais em consumos de energia calculados com base nas informações de cargas declaradas por clientes e projetistas, a serem atendidas no sistema de distribuição de Baixa Tensão.

Neste modelo de cálculo, quanto mais precisa a estimativa de energia para atendimento das novas cargas, melhor será o resultado produzido na estimativa de demanda.

Para atingir este objetivo foram utilizados os fatores de demanda e carga, produzidos em recente projeto de P&D.

Para o cálculo do consumo de energia (kWh), são considerados os fatores de carga e demanda obtidos no projeto de P&D, denominado: “Desenvolvimento de Sistema de Estimativa de Consumo para Recuperação de Receitas” - Projeto ANEEL: 0390-058/2004.

Este projeto de P&D foi motivado pelas constantes situações de conflito entre a AES ELETROPAULO e seus clientes nos casos de fraude e irregularidade na medição, onde era necessário estimar o consumo de energia com base nas cargas instaladas, que invariavelmente apresentavam valores muito acima do razoável.

Um estudo realizado pela Diretoria de Engenharia da AES Eletropaulo produziu uma nova tabela de fatores de carga e demanda que posteriormente foi incrementada com um tratamento estatístico mais apurado pelo projeto de P&D. O resultado do projeto mostrou-se efetivo nos testes preliminares realizados, e ao seu término, foi homologado junto aos órgãos reguladores. A partir deste ponto desenvolvemos este trabalho com a elaboração de uma planilha para o cálculo de demanda visando o dimensionamento de transformadores para atendimento de novas cargas.

## 2. CARREGAMENTO DE TRANSFORMADORES

### 2.1 Cargas Iniciais

A definição da potência nominal do transformador, a ser instalado em nova estação transformadora, é feita em função da demanda calculada, que é baseada na carga declarada pelo cliente.

As tabelas A e B abaixo mostram o carregamento inicial máximo admissível de transformadores e a seqüência de substituição.

Potência Nominal do Transformador (kVA) – <b>MONOFÁSICO</b>						
10	15	25	37,5	50	75	100
Carregamento Inicial – (kVA)						
Carregamento Máximo Admissível para Atendimento (kVA)						
13	20	33	49	65	94	125
Carregamento Máximo Admissível pelo Transformador (kVA)						
16	24	40	60	80	112,5	150
Seqüência de Substituição – Potência Nominal do Novo Transformador (kVA)						
25	25	50	75 (2)	100	Fazer Nova E.T. para Aliviar a Carga	

**Tabela A**

Potência Nominal do Transformador (kVA) - <b>TRIFÁSICO</b>											
15	30	45	75	112,5	150		225 R		225 C	300 R	300 C
Carregamento Inicial – (kVA)											
Carregamento Máximo Admissível para Atendimento (kVA)											
20	39	59	94	141	188		281		248	375	330
Carregamento Máximo Admissível pelo Transformador (kVA)											
24	48	72	112,5	169	225		338		270	450	360
Seqüência de Substituição – Potência Nominal do Novo Transformador (kVA)											
30	45	75	112,5	Fazer Nova E.T. para Aliviar a Carga	300		300			Fazer Câmara Transformadora	

**Tabela B**

### 2.2 Cargas Máximas Admissíveis

Os carregamentos máximos admissíveis para os transformadores aéreos alimentando cargas distribuídas são:

- 60% para transformadores de potência nominal inferior a 75 kVA;
- 50% para transformadores de potência nominal igual ou superior a 75 kVA, exceto os de 225 kVA e 300 kVA alimentando edifícios (cargas) comerciais;
- 20% para transformadores de 225 kVA e 300 kVA alimentando edifícios (cargas) comerciais.

### 2.3 Cargas Para Atendimentos de Ligações Novas

Nas estações transformadoras existentes, os acréscimos de cargas correspondentes a novos pedidos de ligação podem ser atendidos quando a carga resultante (carga atual + carga estimada) – SR – estiver dentro dos limites estabelecidos na tabela abaixo:

Limites para atendimento	SN (Potência Nominal do Transformador)
$SR \leq 1.3 \text{ SN}$	$< 75 \text{ kVA}$
$SR \leq 1.25 \text{ SN}$	$\geq 75 \text{ kVA}$
$SR \leq 1.10 \text{ SN}$	$= 225 \text{ kVA}$ ou $= 300 \text{ kVA}$

### 2.4 Seqüência de Substituição

As substituições de transformadores nas E.T's, quando necessárias para o atendimento de crescimento de cargas ou de acréscimos devidos a novas SATR, devem ser feitas segundo as Tabelas A e B.

**Nota:** Quando a carga superar os limites especificados anteriormente, uma alternativa à substituição do(s) transformador(es), é o seccionamento do secundário. A definição da alternativa deve ser feita pelo Projetista considerando análises técnicas econômicas e diretrizes da AES ELETROPAULO.

### 3. DEMANDA PREVISTA NOS TRANSFORMADORES

#### 3.1 Roteiro Básico de Cálculo

A demanda estimada do transformador, correspondente ao acréscimo de carga, é feita considerando uma série de etapas, que envolvem a determinação de:

- a) Demanda total estimada da nova carga ou;
- b) Demanda total da nova carga referente às cargas bifásicas e trifásicas (caso a nova carga seja atendida por ET do tipo Delta);
- c) Folgas da ET;
- d) Carregamento dos transformadores;

#### 3.2 Demanda Estimada da nova Carga a ser Atendida

A demanda a ser considerada no carregamento de transformadores para atendimento de novos consumidores, deve ser calculada conforme as seguintes etapas:

- a) Determinação do Consumo (kWh)

Deve ser estimado o consumo da(s) unidade(s) com base nas informações de projeto, da carga instalada, atividade, classe de consumo e dos fatores de demanda e carga conforme tabela do ANEXO II.

$$C = F_{DT} \times F_{CT} \times P_{Inst} \times 730 \quad (f.1)$$

Onde:

$F_{DT}$  = Fator de demanda típico

$F_{CT}$  = Fator de carga típico

$P_{Inst}$  = Potencia instalada em kW

730 = Constante de tempo para cálculo da energia

**Nota:** Deve ser calculado o consumo de cada unidade típica caso exista mais de uma unidade no ponto de conexão.

- b) Determinação da Curva de Carga

Deve-se escolher a curva de carga típica em “pu” conforme consta no Anexo III, com base no consumo calculado da(s) unidade(s), e tipo de atividade (residencial, comercial e industrial).

O consumo deve ser convertido em “kVA” médio conforme (f.2) e multiplicado pelos valores em “pu” da tabela correspondente para obter-se a curva de carga resultante da(s) unidade(s).

$$kVA_{m\u00e9dio} = \frac{C}{730 \times 0,92} \quad (f.2)$$

**Nota:** No caso da exist\u00eancia de m\u00faltiplas unidades no ponto de conex\u00e3o (edifica\u00e7\u00f5es coletivas) a demanda em “kVA” obtida na curva de carga resultante deve ser multiplicada pelo n\u00famero de unidades agrupadas de acordo com a classe de consumo e atividade.

c) Acr\u00e9scimo de carga em uma ET existente

O valor de pico da curva de carga resultante no ponto de conex\u00e3o, representa a demanda estimada que ser\u00e1 acrescida na rede de distribui\u00e7\u00e3o de baixa tens\u00e3o.

Devem ser verificados os limites de folga em “kVA” para o ponto de conex\u00e3o, consultando as tabelas do sistema GIS – *Sistema de Informa\u00e7\u00f5es Geogr\u00e1ficas (Geographic Information System) utilizado como cadastro de ativos el\u00e9tricos da AES ELETROPAULO.*

Se o valor da demanda estimada for igual ou inferior ao apresentado nas tabelas do sistema GIS (figura 3.1), a carga poder\u00e1 ser conectada sem a necessidade de altera\u00e7\u00f5es na rede secund\u00e1ria.

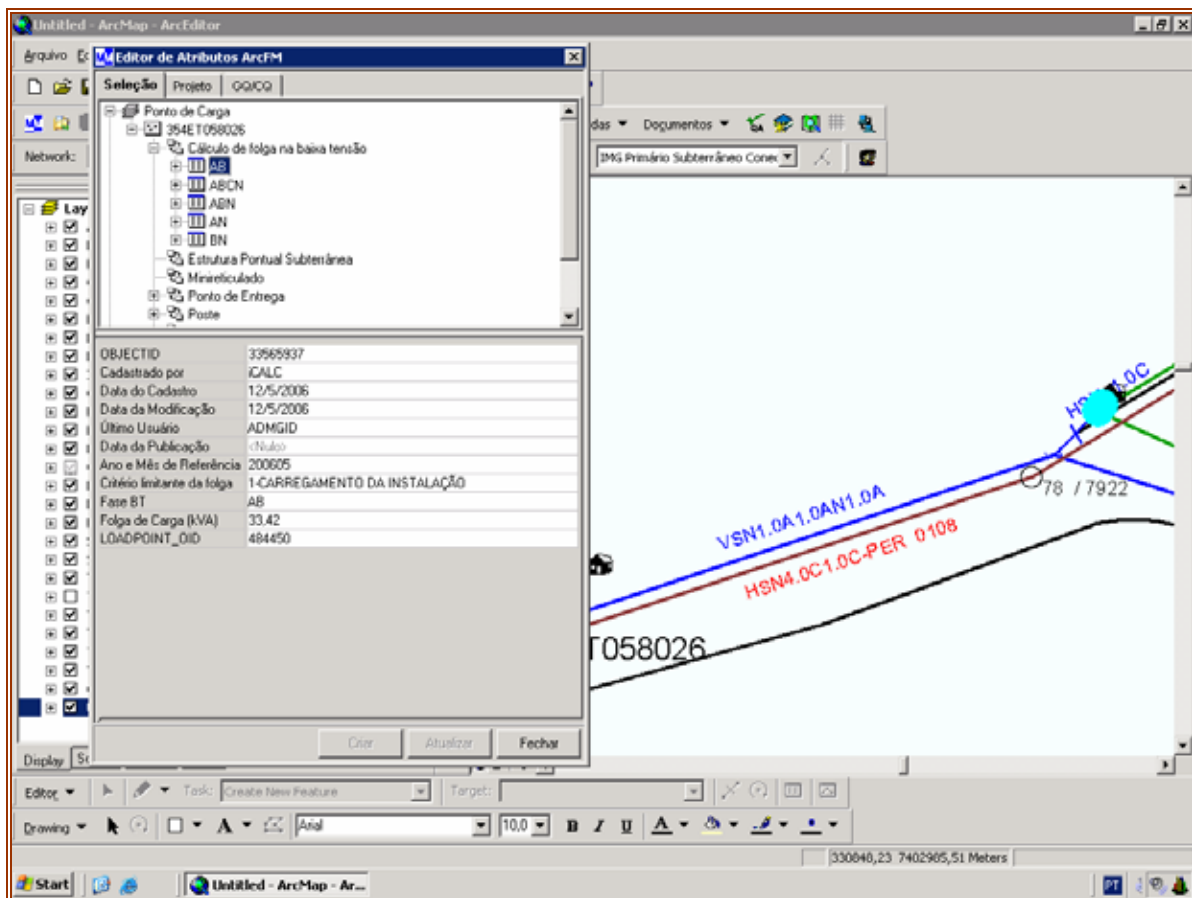


Figura 3.1

Se o valor da demanda estimada for superior ao apresentado nas tabelas do sistema GIS, deve-se verificar o tipo de restrição indicado na tabela de folgas, e, caso a restrição seja a capacidade de carga da ET, deve ser verificada a tabela de carregamentos no GIS (figura 2), que apresenta o carregamento da ET por período.

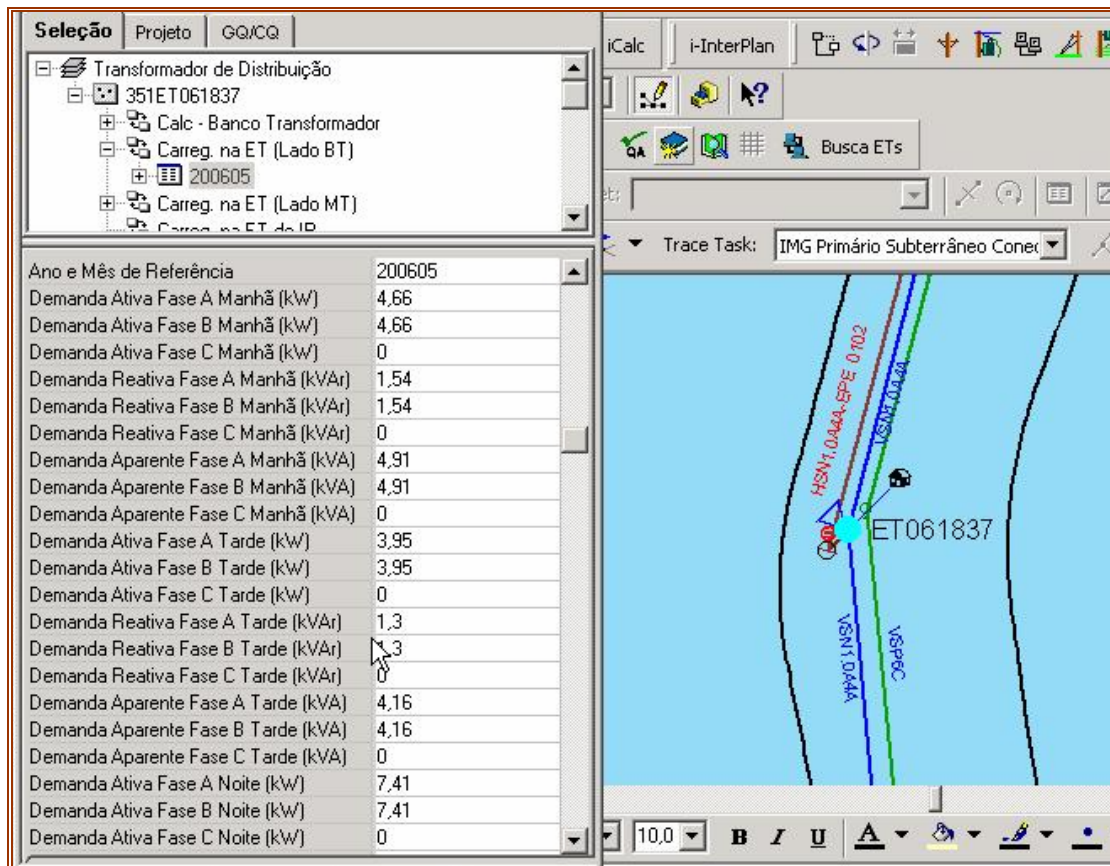


Figura 3.2

Em seguida, deve ser identificado o período que ocorre o pico de demanda estimada para a nova carga e somar ao carregamento do período correspondente da tabela, verificando os limites de carga do transformador conforme tabelas A e B.

**Nota:** mesmo que o valor resultante de carregamento obtido esteja de acordo com os limites do transformador, os parâmetros de queda de tensão e ampacidade do secundário devem ser verificados.

## ANEXO I – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Ligação de uma carga de Edifício comercial, múltiplas unidades com as seguintes características:

<b>Comercial Coletivo 50 salas - Relação de Cargas</b>			
Quantidade	Equipamentos	Potencia W	Total kW
150	Lâmpadas Incandescentes	100	15,00
150	Lâmpadas Fluorescentes	60	9,00
2900	Lâmpadas Fluorescentes	35	101,50
500	Lâmpadas Fluorescentes	10	5,00
800	Lâmpadas Fluorescentes	26	20,80
1750	Tomadas de Uso Geral	100	175,00
450	Tomadas de Uso Específico	600	270,00
50	Chuveiros	4.500	225,00
50	Aquecedor Individual de Passagem	6.000	300,00
100	Ar condicionado 18000 BTUs	2.600	260,00
50	Ar condicionado 60000 BTUs	6.000	300,00
<b>Sub Total</b>		<b>20.031,00</b>	<b>1.681,30</b>
<b>Comercial Coletivo - Administração - Relação de Cargas</b>			
Quantidade	Equipamentos	Potencia W	Total kW
10	Lâmpadas Incandescentes	100	1,00
120	Lâmpadas Fluorescentes	40	4,80
35	Lâmpadas Fluorescentes	35	1,23
35	Tomadas de Uso Geral	100	3,50
5	Tomadas de Uso Específico	600	3,00
2	Chuveiros	4.500	9,00
3	Elevadores Trifásicos 15 CV	12.820	38,46
3	Motores Trifásicos 5 CV	4.510	13,53
<b>Sub Total</b>		<b>22.705,00</b>	<b>74,52</b>
<b>Carga Total Instalada na edificação</b>			<b>1.756 kW</b>

a) Cálculo do consumo de energia estimado para as salas será:

$$C = F_{DT} \times F_{CT} \times P_{Inst} \times 730 \quad (f.1)$$

Para as salas, os fatores de demanda e carga típicos obtidos na tabela 1 do ANEXO I, são:

$$F_{DT} = 0,35 \quad F_{CT} = 0,40$$

substituindo em (f.1), temos:

$$730 = 0,35 \times 0,40 \times 33 \times 730$$

$$C = 3.373 kWh$$

b) Cálculo do consumo de energia estimado para a ADM será:

$$C = F_{DT} \times F_{CT} \times P_{Inst} \times 730 \quad (f.1)$$

Para a ADM, os fatores de demanda e cargas típicas obtidos são:

$$F_{DR} = 0,35 \qquad F_{CR} = 0,40$$

substituindo em (f.1), temos:

$$C = 0,35 \times 0,40 \times 74,53 \times 730$$

$$C = 7.617 \text{ kWh}$$

c) Com estes valores de consumo temos a seguintes demandas médias:

$$kVA_{\text{médio}} = \frac{C}{730 \times 0,92} \quad (\text{f.2})$$

$$\text{Salas} \quad kVA_{\text{médio}} = \frac{3.373 \text{ kWh}}{730 \times 0,92} \quad \rightarrow \quad kVA_{\text{médio}} = 5,02$$

$$\text{Para 50 salas temos: } kVA_{\text{salas}} = 50 \times 5,02 = 251$$

$$\text{ADM} \quad kVA_{\text{médio}} = \frac{7.617 \text{ kWh}}{730 \times 0,92} \quad \rightarrow \quad kVA_{\text{médio}} = 11,34$$

d) Em seguida escolhemos a curva típica de carga, por classe de consumo e multiplicamos seus valores de demanda em “pu” pela demanda média obtida e pelo fator Fk (Fk=1,1), como segue:

Comercial 5001 - 10000 kWh			Comercial 1001 - 5000 kWh		
Horário	val. Pu	pu * Fk * 11,34 kVA	Horário	val. Pu	pu * Fk * 251 kVA
1	0,53	6,61	1	0,45	124,25
2	0,47	5,86	2	0,44	121,48
3	0,45	5,61	3	0,45	124,25
4	0,47	5,86	4	0,44	121,48
5	0,5	6,24	5	0,45	124,25
6	0,58	7,23	6	0,55	151,86
7	0,77	9,60	7	0,67	184,99
8	0,82	10,23	8	0,88	242,97
9	1,05	13,10	9	1,19	328,56
10	1,31	16,34	10	1,35	372,74
11	1,42	17,71	11	1,63	450,04
12	1,43	17,84	12	1,57	433,48
13	1,4	17,46	13	1,43	394,82
14	1,39	17,34	14	1,55	427,96
15	1,41	17,59	15	1,54	425,19
16	1,53	19,09	16	1,54	425,19
17	1,41	17,59	17	1,53	422,43
18	1,34	16,72	18	1,42	392,06
19	1,39	17,34	19	1,12	309,23
20	1,22	15,22	20	0,96	265,06
21	1,02	12,72	21	0,86	237,45
22	0,84	10,48	22	0,77	212,60
23	0,69	8,61	23	0,67	184,99
24	0,56	6,99	24	0,53	146,33



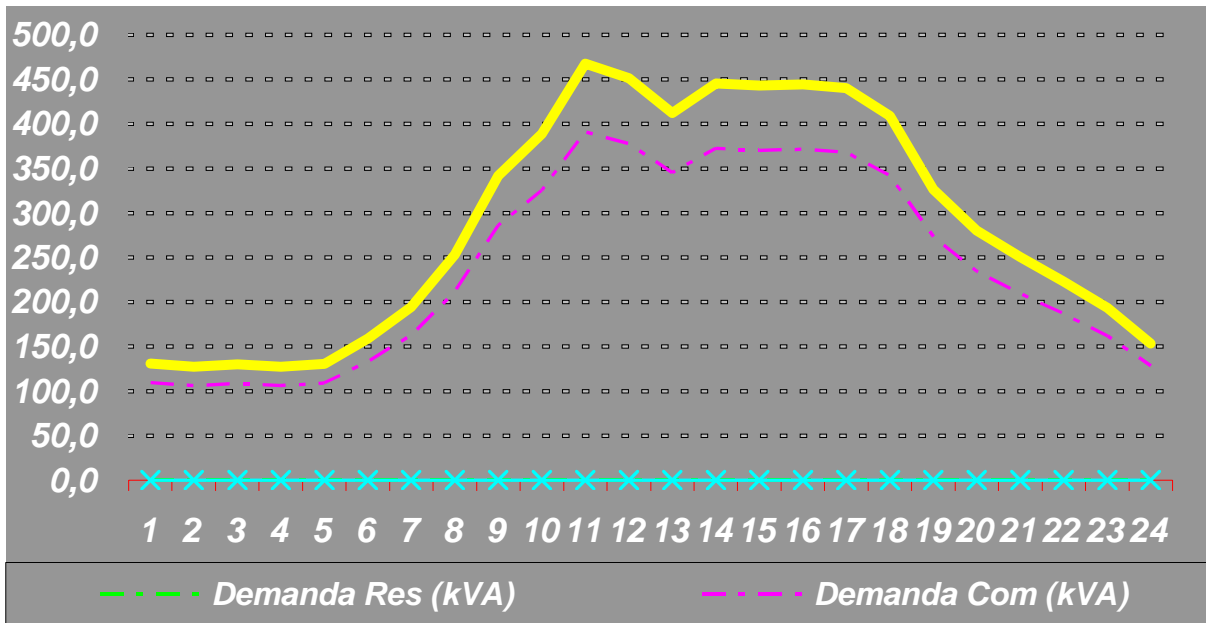


Figura 3.3

Neste caso a demanda máxima ocorre às 11:00 horas com um pico de: **467,75kVA**. Resultando na necessidade de instalação de uma câmara transformadora ou transformador em pedestal de 500 kVA ou transformador a seco de 500 kVA.

## ANEXO II – Fatores Típicos para Cálculo de Energia

ATIVIDADE	FDT	FCT
1 Residência	$0,0676 * X^{(0,1149)}$	$19,101 * X^{(-0,5121)}$
2 Bar, Botequim, café - C	0,34	0,39
2 Comercial - Geral	0,35	0,40
2 Hotel - C	0,35	0,40
2 Lanchon. Pastelaria - C	0,35	0,36
2 Oficina mecânica - C	0,35	0,40
2 Padaria - C	0,33	0,46
2 Poder Público - C	0,35	0,40
2 Posto de Gasolina - C	0,35	0,40
2 Restaur./Churras.- C	0,38	0,38
2 Serraria - I	0,22	0,43
2 Serv.de Aliment. - C	0,34	0,39
2 Serviço/Outros - C	0,35	0,40
2 Sorveteria - C	0,35	0,40
2 Supermercado - C	0,35	0,40
3 Industrial - I	0,80	0,76

## ANEXO III - Exemplo de uma Tabela de Curvas de Cargas Típicas

RESIDENCIAL					
Consumo	0 - 100 kWh	101 - 200 kWh	201 - 500 kWh	501 - 1000 kWh	>1000 kWh
Horário	PU	PU	PU	PU	PU
1	0,83	0,62	0,8	0,8	0,73
2	0,73	0,46	0,76	0,76	0,61
3	0,54	0,43	0,66	0,66	0,6
4	0,54	0,42	0,58	0,58	0,58
5	0,57	0,43	0,6	0,6	0,59
6	0,66	0,79	0,81	0,81	0,65
7	1,1	1	0,92	0,92	0,81
8	0,68	1,02	0,83	0,83	1,03
9	0,88	1,01	1,04	1,04	1,07
10	1,14	0,8	1,11	1,11	1,12
11	0,73	0,86	1,03	1,03	1,19
12	0,72	1,03	1,02	1,02	1,24
13	0,85	0,97	0,99	0,99	1,21
14	0,72	0,79	1,02	1,02	1,17
15	0,72	0,86	0,86	0,86	1,11
16	0,75	0,81	0,82	0,82	1,14
17	1,06	0,88	0,84	0,84	1,07
18	1,28	1,43	1,2	1,2	1,22
19	1,69	1,78	1,38	1,38	1,33
20	1,87	1,75	1,48	1,48	1,28
21	1,9	1,84	1,49	1,49	1,24
22	1,54	1,57	1,47	1,47	1,16
23	1,52	1,49	1,32	1,32	0,99
24	0,97	0,95	0,99	0,99	0,84

#### **4. CONCLUSÃO**

Este trabalho proporcionou uma redução de 45,5% no kVA instalado. Com a metodologia utilizada anteriormente, para o atendimento ao edifício citado no exemplo do anexo I, seria necessário utilizar dois transformadores de 500 kVA ou um transformador de 750 kVA. Com a aplicação do “cálculo de demanda reduzida” muitos clientes na área de concessão da AES Eletropaulo, que iriam ser atendidos por meio de câmaras transformadoras, passarão a ser alimentados por transformadores aéreos, resultando em uma economia, na compra de transformadores novos, de aproximadamente três milhões de reais por ano.

#### **Referências bibliográficas e/ou bibliografia**

Distribution Transformer Guide – Westinghouse;

LIG BT 2005: Livro de Instruções Gerais de Baixa Tensão da AES Eletropaulo

ND – 2.005 – Carregamento de Transformadores de Distribuição – AES Eletropaulo

Projeto de P&D: “Desenvolvimento de sistema de estimativa de consumo para recuperação de receitas” - Projeto ANEEL: 0390-058/2004 – ciclo 2003/2004.

Projeto: “Simplificação da Padronização de Transformadores de Distribuição em São Paulo” – Relatório número 2: “Carregamento Inicial e de Troca de Transformadores de Distribuição”;