



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE-07
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XIV
GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – GCE**

**UM ESTUDO SOBRE AS PERDAS NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS – CAUSAS,
IMPACTOS NO SISTEMA E MITIGAÇÃO.**

**José Aquiles Baesso Grimoni *
PEA-EPUSP**

**Geraldo Francisco Burani
USP e PEA-EPUSP**

**Hélio Eiji Sueta
IEE-USP**

RESUMO

Os processos em curso de certificação compulsória de componentes da instalação elétrica de baixa tensão, a crise energética e a possível certificação da instalação motivou um estudo onde foram feitas medições sobre as perdas elétricas dos componentes da instalação através de ensaios laboratoriais e foram feitas análises da variação das perdas elétricas em função das possíveis variações dos parâmetros dos condutores, influências de situações de sobrecargas e erros de projetos, baseadas em uma pesquisa sobre o estado das instalações elétricas.

Com os dados obtidos em ensaios de laboratórios e com a especificação do apartamento típico, foram desenvolvidos quatro projetos de instalações elétricas onde foram calculadas as perdas de energia considerando curvas de demandas residenciais estimadas. O primeiro conforme a norma (NBR 5410); o segundo com menos circuitos e com alguns sobrecarregados; o terceiro conforme a indicação das pesquisas, mas com condutores com seções menores. No quarto projeto foram consideradas a correção das resistências dos condutores com a temperatura e influência da ocupação dos eletrodutos.

PALAVRAS-CHAVE

Perdas Elétricas, Instalações Elétricas Residenciais.

1 - OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar a metodologia utilizada e os resultados de um estudo[5] sobre os níveis das perdas em instalações residenciais, as suas causas e também propor

soluções para minimizá-las. Também foi feito um pequeno estudo do significado do impacto destas perdas no sistema elétrico brasileiro.

2 - METODOLOGIA

Para realizar este estudo foram utilizadas duas frentes. A primeira que se propõe através de medidas laboratoriais em redes simuladas de instalações elétricas residenciais típicas, determinar as perdas em função de situações operacionais, de montagem e de projeto que podem levar a um aumento das perdas. A segunda frente pretende, através de uma análise teórica, analisar a variação das perdas em função de possíveis variações dos parâmetros dos condutores (seção, resistividade, etc) e das características de perdas em outros componentes da instalação (disjuntores, interruptores, tomadas, etc), a influência de situações de sobrecarga nos condutores e outros componentes, a influência das emendas na rede. Estes estudos em conjunto com os de dados das concessionárias de energia sobre os consumidores residenciais e também de posse das medidas obtidas em laboratório das perdas permitirão estimar qual o montante destas perdas em função da estratificação dos consumidores e da quantidade de consumidores em cada faixa.

Além disto, foram utilizados dados de uma pesquisa que foi realizada pelo PROCOPRE, sobre as condições das instalações elétricas residenciais, para a especificação inicial de uma instalação típica: tamanho do imóvel, número de circuitos elétricos, quantidade de cômodos, uso de "Benjamin", bitola mais utilizada para os circuitos, tipos de carga.

* Avenida Prof Luciano Gualberto – Travessa 3 -158 - CEP 05508-900 – São Paulo - SP - BRASIL
Tel.: (011) 3091-5312 - Fax: (011) 3091-5719 - E-MAIL: aquiles@pea.usp.br

Com a especificação de uma instalação típica associada a um projeto elaborado conforme as normas e com os dados das perdas nos diversos componentes da instalação (fios, cabos, interruptores, disjuntores, emendas, plugues e tomadas) pode-se verificar a diferença de perdas entre uma instalação que representa o real (existente) e uma projetada conforme as normas.

O PROCOBRE realizou uma Pesquisa[6] sobre o estado das instalações elétricas residenciais na Cidade de São Paulo durante o ano de 2001 e 2002. Foram feitas pesquisas na cidade de São Paulo em 515 casas e 113 apartamentos. Esta pesquisa foi baseada em dados coletados em visitas para verificação do estado das instalações elétricas dos imóveis e também dos dados obtidos da tabulação de questionários aplicados por alunos de escolas de engenharia elétrica e de escolas técnicas. Os principais resultados desta pesquisa forma os seguintes:

- Cerca 50% das residências com mais de 20 anos não sofreram reforma na parte elétrica;
- 48,7% das residências com mais de 20 anos sofrem desarmes constantes dos disjuntores;
- 31,4 % dos usuários estão insatisfeitos com o número de tomadas na residência;
- só 56,9 % das residências são consideradas seguras ou aceitáveis pelos técnicos;
- 78,8% das residências com mais de 20 anos não apresentam a separação dos circuitos de iluminação dos de tomadas

3 - RESULTADOS E ANÁLISE

3.1 – Medidas Laboratoriais

O objetivo principal do dimensionamento das instalações elétricas é determinar a menor seção de fio adequada a suprir uma determinada carga elétrica, respeitando suas características. Assim os critérios mais visados são a capacidade de condução de corrente (ligado à vida útil dos condutores) e a queda de tensão.

Após dimensionar os condutores que transportarão a energia com segurança, o próximo passo é dimensionar os elementos de controle e proteção adequados (geralmente os esquemas de ligação já são disponíveis nesta etapa do projeto). Neste aspecto, com relação ao objetivo principal, que é o de determinar as perdas dos elementos das instalações existe uma certa dificuldade, pois os limites destas geralmente não estão claramente definidos para o uso trivial nos projetos de instalação. Algumas normas como a NBR IEC 60898/98 (para disjuntores residenciais) definem limites de potência dissipada. Alguns fabricantes fornecem em seus catálogos dados sobre as perdas, mas a forma atual de tratar do assunto contempla a funcionalidade (visando o dimensionamento) e dificulta a determinação das perdas. Na melhor das hipóteses pode ser determinado o limite de perdas normalizado e nesse caso se chegaria a uma estimativa aproximada, porém limitada a poucos elementos da instalação. Neste caso pode ser mais fácil determinar os elementos principais da instalação e, através de ensaios, as suas perdas.

Outros elementos como emendas, tomadas, conectores também demandariam ensaios para determinar as suas perdas.

Desta forma, o objetivo dos ensaios deve ser o de determinar os principais elementos da instalação e a forma de testá-los para definir a potência perdida por elemento. Neste processo podem ser definidas formas de execução que contemplem, por exemplo, maneiras diferentes de se fazer uma emenda.

O trabalho se dividiu em três partes:

- 1) Definição dos principais elementos para ensaio e modo de execução dos ensaios;
- 2) Execução dos ensaios e coleta dos dados e
- 3) Análise e elaboração do modelo matemático dos dispositivos ensaiados visando servir de suporte para os cálculos envolvendo as perdas em instalações.

Os principais elementos cujos valores de perda devem ser determinados, através de ensaio, inicialmente foram: Interruptores, tomadas, plugues, emendas, terminais, disjuntores, chaves e chaves fusíveis. Uma maior variedade de elementos deveriam ser ensaiados, entretanto os listados já abrangem uma grande quantidade de itens.

O procedimento utilizado nas verificações e medições foi o seguinte:

a) Interruptores, disjuntores e chaves: Dez dispositivos são interligados e por eles circula uma corrente que foi ajustada em degraus de 10 em 10% do valor da corrente nominal e foi medida a queda de tensão no conjunto. Este método é similar ao da norma NBR IEC 60898 e considera que os interruptores sejam puramente resistivos e portanto a perda se obtém diretamente pelo produto da corrente aplicada pela queda de tensão. O número de amostras selecionado destina-se a facilitar a medição. Será considerado que a perda esteja distribuída uniformemente pelos interruptores. Os fios de interligação dos interruptores devem ter o comprimento reduzido para que suas perdas possam ser desprezadas.

b) Emendas: O ensaio não pode ser feito de maneira similar ao que se executa em interruptores, ou seja, um conjunto de dez emendas feito em um determinado comprimento de fio ou cabo e suas perdas, a partir deste modelo, determinadas. Isso se deve ao fato observado que o valor da resistência da emenda não é tão relevante se comparado à impedância do cabo. Desta forma o comprimento adicional de condutores introduzidos no circuito para interligar as emendas encobre o valor que se deseja obter. Para contornar esse problema pode ser utilizado um valor superior de corrente em somente uma emenda.

Para iniciar as atividades pode ser feito um trabalho com as emendas de fios ou cabos entrelaçados, que são mais comuns nas instalações, sem estanho e em suas formas mais usuais. Além disso, como elemento de comparação, pode ser feita uma emenda grosseira, de apenas um laço entre os dois fios, denominada emenda mal-feita.

Com os resultados obtidos, pode-se incluir no estudo de perdas os valores medidos como dados reais de perdas nos componentes.

3.2 – Análise Teórica

As principais recomendações da norma NBR-5410[1] são as seguintes:

- Definição de pontos de luz e tomadas: (TUE e TUG);
- Definição de número de circuitos;
- Especificação dos condutores e da proteção de sobrecarga e curto-circuito;
- Uso de RCBOs (Disjuntores a corrente diferencial-residual) em circuitos potencialmente perigosos (banheira, chuveiro, áreas externas, equipamentos no exterior e cozinhas, copas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e áreas molhadas ou sujeitas a lavagens);
- Uso de condutor de proteção (PE) – Aterramento;
- Uso de condutores resistentes ao fogo e com baixa emissão de fumaça;
- Uso de protetores de sobretensão em BT;
- Uso de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

Um dos efeitos que pode aumentar as perdas de maneira expressiva é o uso de condutores com bitolas menores do que as obtidas pelos critérios de corrente, queda de tensão e ainda os critérios de curto-circuito, o dos valores mínimos da norma, ou ainda o do condutor econômico, mais utilizado em instalações de maior potência, como as de indústrias. Este efeito do aumento das perdas para seções menores de condutores pode ser estimado simplesmente pela relação dos inversos das seções dos condutores.

Outro efeito importante é o aumento das perdas devido ao aumento da resistência do condutor devido a passagem da corrente. Se a corrente atingir valores de sobrecarga, além de poder danificar a isolação do condutor, que tem um limite bem definido de temperatura, pode elevar muito as perdas do condutor. Este efeito do aumento das perdas devido ao aumento da resistência pode ser estimado simplesmente pela relação das resistências para cada valor de corrente do circuito. Aumento da resistência é determinado por ábacos fornecidos pelos fabricantes de cabos.

O próprio aumento da corrente devido a uma sobrecarga permite aumentar as perdas de uma maneira proporcional ao quadrado da relação da corrente de sobrecarga sobre a corrente normal de trabalho.

Um relatório da Qualifio (Associação Brasileira pela Qualidade dos Fios e Cabos Elétricos) do ano 2000, mostra que as resistências elétricas dos condutores, com cobertura de PVC para tensões de até 750 V (norma NBR 6148), encontradas no mercado, têm a seguinte variação apresentada na tabela 1 a seguir.

TABELA 1 – PORCENTAGEM DE AMOSTRAS COM PROBLEMA NO VALOR DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA EM RELAÇÃO AO ESPERADO PELA NORMA.

	Certificadas(%)	Não Certificadas(%)
Amostras com problemas	11	66
Desvio Médio	6	26
Desvio no Setor	0,7	17,2

Um desvio médio de 0,7% implica num aumento de perdas da mesma ordem para as certificadas. Já um desvio médio de 17,2% implica num aumento de perdas de pelo menos esta mesma ordem para as não certificadas. Devemos considerar que como se trata de um desvio médio, temos valores acima deste, que levariam as perdas a valores maiores ainda.

Um desvio médio do mercado poderia ser dado pela ponderação de 85 para 15 para empresas certificadas e não certificadas respectivamente. Teremos assim:

Desvio no mercado geral (norma 6148) = $0,85 \times 0,7 + 0,15 \times 17,2 = 3,2 \%$

3.3 - Cálculo das Perdas em Instalações Elétricas

O relatório da Jorge Wilhelm Consultoria sobre o perfil de consumo residencial da cidade de São Paulo [4] concluiu, que 60% das residências de São Paulo tem área de 50 a 100 m² e consumo entre 300 e 400 kWh/mês.

Baseado nas respostas de questionários aplicados pelo PROCOBRE[6], obteve-se uma estimativa de um imóvel médio para efeito de cálculo das perdas por aquecimento em componentes das instalações elétricas e, também, para comparação das instalações selecionadas com outras instalações reconhecidamente projetadas conforme a respectiva norma de instalações elétricas NBR5410.

Os critérios utilizados foram:

- 1) Apartamentos padrão normal com área útil situada na faixa de 50-100m²;
- 2) Imóveis da seleção acima que apresentavam número de circuitos com maior ocorrência;
- 3) Imóveis com maior semelhança quanto ao número de cômodos;

Dos imóveis acima foram levantados os seguintes dados:

- Número de tomadas disponíveis e utilizadas por cômodo;
- A utilização de dispositivos "tipo Benjamin" por cômodo;
- Bitolas dos cabos utilizados nos circuitos, por imóvel;
- Equipamentos instalados por cômodo;
- Faixa de idade dos imóveis.

Assim obtivemos um imóvel médio sendo composto por 2 quartos; 1 cozinha; 1 lavanderia; 1 banheiro e 1 sala.

A cálculo das perdas será feito na instalação elétrica deste imóvel e será comparado com as perdas da instalação projetada conforme a norma NBR5410.

4 – ANÁLISE DE PERDAS EM INSTALAÇÕES TÍPICAS E NORMALIZADAS

4.1 - Análise de Perdas em uma Instalação Típica Residencial

Baseados nas pesquisas feitas pelo PROCOBRE [6] e no relatório da Jorge Wilhelm Consultoria sobre o perfil de consumo residencial da cidade de São Paulo [4], foi proposta uma planta em que foram feitos três projetos elétricos. Um projeto seguiu a orientação apresentada pela norma NBR-5410, o outro foi elaborado através das constatações observadas nos dois documentos citados e um terceiro trabalhou com condutores de bitolas menores nos circuitos que as indicadas pela norma.

Adotamos também, no cálculo de perdas na instalação, a inclusão das perdas nos disjuntores, emendas, benjamins, interruptores, que foram apresentadas em item anterior deste relatório. Adotamos a mesma carga por cômodo da casa para efeito de comparação.

As cargas dos pontos de luz e de tomadas utilizadas para o cálculo de corrente foram as cargas indicadas pela norma, ou seja, para tomadas de uso geral (TUG) valores de 100 e 600 VA, para pontos de luz valores de lâmpadas encontradas no mercado(60 e 100 W para incandescentes e 40 W para fluorescentes tubulares). Já para os chuveiros foi adotado um valor de 4400 W e 3500 W para as torneiras elétricas.

Baseados nos dados de carga e nos circuitos definidos para cada instalação (comprimentos, trajetórias, e condutores utilizados) foram calculadas as correntes de cada carga e a perda que elas ocasionam em cada circuito. Desta maneira foi obtida a perda total dos circuitos e com a carga de cada um foi possível calcular a perda percentual referente à dissipação nos condutores e referente a perda nos acessórios (emendas, interruptores, benjamins, disjuntores).

4.2 - Dados da Planta Típica Analisada e Dados dos Cabos e Perdas nos Acessórios

A planta típica analisada é a planta de um apartamento com:

- Área: 52 m²;
- Descrição: sala, cozinha, área de serviço, 2 quartos e um corredor entre os diversos cômodos;
- Cargas Principais: chuveiro de 4400 W e uma torneira elétrica de 3000 W em 220 V;
- 6 circuitos : 4 fase-neutro e 2 fase-fase.

As diferenças entre os dois primeiros projetos analisados são:

- a existência de um circuito a menos;
- a bitola do condutor de um circuito é menor;
- existe uma tomada a menos de 600 VA na área de serviço no projeto baseado na pesquisa do PROCOBRE [6].

No terceiro projeto foram utilizadas bitola de cabos de 1,5 mm², que são valores muito comuns nos circuitos descritos pela pesquisa do PROCOBRE [6].

Resumidamente as perdas porcentuais obtidas são as seguintes:

- pelo projeto baseado na norma cerca de 1%;
- pelo segundo projeto, o valor das perdas atingem cerca de 2%;
- e para o terceiro caso, o valor das perdas chega a cerca de 3%.

Cerca de 15% das perdas encontradas em cada caso, são devidas as perdas nos componentes do circuito.

5 - CONCLUSÕES

Em função das influências que podem afetar as características de dissipação dos condutores em uma instalação residencial, das medições de perdas realizadas nos acessórios de instalações elétricas e da simulação e análise comparativa das perdas em um projeto típico de uma instalação elétrica baseado na norma e na pesquisa feita pelo PROCOBRE[6] podemos apresentar algumas constatações:

- a resistência dos condutores pode atingir valores médios de até 3% acima dos esperados , em função de pesquisa feita pela Qualifio [2], o que implica em um aumento de até 3% das perdas;
- a simples escolha de condutores de bitola menor para uma mesma corrente pode aumentar significativamente as perdas em uma instalação, além de poder comprometer a segurança da mesma e dos equipamentos por ela alimentados;
- a sobrecarga de circuitos pode também aumentar significativamente as perdas de uma instalação. Esta prática é muito comum nas instalações residenciais e é normalmente realizada através da utilização de benjamins e réguas de tomadas;
- o próprio aquecimento devido a sobrecarga aumenta a resistência do condutor aumentando ainda mais as perdas;
- as perdas obtidas são da ordem de 1% em projetos típicos feitos pela norma, sendo que a grande maioria da perda é responsabilidade da dissipação nos condutores. A perda devido aos acessórios é da ordem de 15% do total;
- as perdas podem atingir valores de até 3% em situações extremas de desrespeito às regras da norma NBR-5410.

O gráfico a seguir mostra a evolução dos consumos de energia elétrica no Brasil de 1970 e 1999 por categoria.

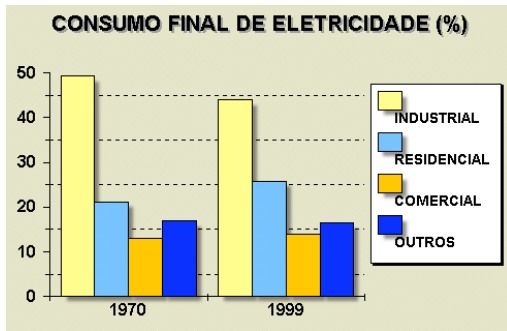


FIGURA 1 – CONSUMO FINAL DE ELETRICIDADE POR CATEGORIA EM 1970 E EM 1999 - ELETROBRÁS

A tabela 2 a seguir mostra o número de domicílios no Brasil e a sua taxa de evolução.

TABELA 2 – QUANTIDADE DOS DOMICÍLIOS NO BRASIL E SUA TAXA DE CRESCIMENTO - ELETROBRÁS

	Consumidores Residenciais	Novos Domicílios
1998	41.087.000	
1999	42.851.326	1.764.326
2005	47.294.000	4.442.674
2010	54.000.000	6.706.000

O consumo residencial é da ordem de 25% do total e temos, no país, 42 milhões de residências que está aumentando numa taxa de 1,7 milhões ao ano, conforme dados do MME ano 2000.

Para o caso mais crítico 3% de perda, que representa uma perda adicional sobre o projeto da instalação conforme a norma NBR-5410 de 1,77%, teríamos os seguintes valores de referência:

- Perda de 282 GWh/mês para 60% dos 42 milhões de residências no Brasil;
- Usina equivalente (fator de carga =0,5) = 772 MW (Henry Borden da EMAE tem cerca de 900 MW);
- Prejuízo estimado de 800 milhões R\$/ano considerando uma tarifa de 0,24 R\$/kWh

A título de comparação, segundo dados da ANEEL, a perda elétrica no conjunto Geração/Transmissão/Distribuição é da ordem de 15%, sendo que na distribuição estas perdas podem variar de 3 a 6%.

A questão da segurança nas instalações elétricas também deve ser olhada com detalhe, pois as causas mais prováveis de incêndio registradas segundo o Corpo de Bombeiros são : ato incendiário; instalações elétricas inadequadas; displicência ao cozinhar; displicência de fumante e fiação provocada por atrito.

O número de ocorrências de incêndios em 2000 em São Paulo foi de 44.407 casos, destes 16% dos são ocasionados por instalações elétricas mal feitas.

O uso de DRs (Disjuntores a corrente diferencial-residual), do condutor de proteção e de condutores resistentes ao fogo e com baixa emissão de fumaça são procedimentos que aumentam a segurança contra choques elétricos e minimizam a propagação do incêndio e todos os seus efeitos, que podem levar a perdas de vidas humanas e do patrimônio.

A necessidade de um estudo específico sobre o estado das instalações elétricas no Brasil quanto a segurança das pessoas e do patrimônio também se faz necessário.

A necessidade de uma monitoração ou um acompanhamento dos hábitos de consumo nas residências se mostra importante para que se possa, para este tipo de estudo, utilizar curvas de demanda mais confiáveis.

As seguintes recomendações gerais podem ser feitas baseadas no estudo [5] realizado:

- Usar número de circuitos correto;
- Usar seção correta do condutor;
- Distribuir a potência pelos circuitos;
- Usar condutores e acessórios certificados;
- Exigir a Certificação Compulsória para o Projeto e para a execução da Instalação Elétrica;
- Realizar estudos de perdas elétricas para os setores comercial e industrial.

6- AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao PROCOPRE-Brasil, ao Qualifio e a Pirelli Cabos do Brasil pelo apoio nesta pesquisa. Um agradecimento especial aos engenheiros do IEEUSP Luiz Eduardo Caíres e Ricardo Santos D'Ávila, pela execução dos ensaios de perdas nos acessórios utilizados em instalações elétricas.

7- BIBLIOGRAFIA

- (1) NBR-5410 – “Instalações Elétricas de Baixa Tensão” – norma ABNT – 1997
- (2) Relatório sobre Medições de Condutores – Qualifio - 2001
- (3) Relatório sobre “Estabelecimento de Curva de Carga com Base em Hábitos de Consumo”- CED – junho – 1991
- (4) Relatório “Consumo Residencial na Cidade de São Paulo” - Jorge Wilhein Consultores - 1985
- (5) Relatório Técnico sobre Análise das Perdas em Instalações Residenciais – Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP – outubro de 2001.
- (6) Avaliação das Instalações Elétricas – PROCOPRE Brasil - Junho de 2002.