

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

RICARDO SANTOS d'AVILA

Análise de perdas em instalações elétricas residenciais

São Paulo

2007

RICARDO SANTOS d'AVILA

Análise de perdas em instalações elétricas residenciais

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Física, Faculdade de Economia, Administração e Ciências Contábeis, Escola Politécnica, Instituto de Eletrotécnica e Energia) para obtenção do título de Mestre em Energia.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani

São Paulo

2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL E PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

d'Avila, Ricardo Santos

Análise de perdas em instalações elétricas residenciais. São Paulo, 2007.

97p.

Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani

1.Instalações elétricas 2.Perdas Joule 3.Certificação 4.Fios e cabos elétricos 5. Linhas elétricas pré-fabricadas.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF

RICARDO SANTOS D' ÁVILA

"Análise de perdas em instalações elétricas residenciais"

Dissertação defendida e aprovada em 26/03/2007 pela Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani – PIPGE-IEE/USP
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora



Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni - PIPGE-IEE/USP



Prof. Dr. André Nunes de Souza - UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani e ao Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni pelas colaborações e pelo incentivo. Sempre disponíveis e atenciosos, souberam encontrar tempo dentre seus afazeres para me ajudar sempre que necessitei.

Agradeço aos colegas da Seção Técnica de Altas Correntes e da Seção Técnica de Alta Tensão do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (Luis Eduardo Caires, Sérgio Tsutsumi, Milton Shigihara, Álcio Katsuoshi Shimizu, Ivan Bueno Raposo, Marcus Eduardo Piffer do Amaral, Eduardo Chinen, Rogério Masaro e Klovis Yoshio Kodaira) pelo apoio, dedicação pelo trabalho diário, criatividade para superar dificuldades e elaborarem soluções, além de suas tradicionais competências técnicas. Seus questionamentos técnicos constantes e instigantes são incentivos pela busca do conhecimento.

Agradeço ao colega engenheiro, e amigo, Hélio Eiji Sueta pela acolhida e por impulsionar e instigar o estudo constante.

Agradeço aos professores do PIPGE pela dedicação exemplar ao ensino e às, sempre atenciosas, colegas Rosa e Adriana da secretaria.

Agradeço à equipe da biblioteca do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, sempre solícita e profissional.

Agradeço aos colegas engenheiros Eduardo Bomeisel e Renato K. F. Morel por compartilharem seus conhecimentos, além de disponibilizarem corpos de prova para execução de testes e ensaios e permitirem a utilização dos resultados obtidos.

Agradeço aos colegas engenheiros Eduardo Daniel e Alberto J. Fossa por disponibilizarem e autorizarem a utilização de dados e fotografias do Programa Casa Segura.

Agradeço aos meus pais, Maria Helena e Fernando, pelos exemplos de vida, pelo apoio, colaboração e amor incontestáveis.

Agradeço aos meus dois amores, minha esposa Eliana e minha filha Julia. Pela paciência, pelo carinho, pelo amor, pela ajuda e pelo bom humor. Nunca se furtaram em compreender e colaborar nos momentos em que necessitei de seus sorrisos e apoio, além de compreenderem minha ausência física em muitos momentos.

RESUMO

d'Avila, R. S. **Análise de perdas em instalações elétricas residenciais**. 2007. 97p. Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo.

O presente trabalho faz uma análise das perdas técnicas por aquecimento e das condições das instalações elétricas residenciais de baixa tensão na cidade de São Paulo. Aborda o aspecto das perdas técnicas das próprias instalações elétricas internas aos domicílios com seus fenômenos físicos e seus reflexos sobre os aspectos de segurança envolvidos, os impactos econômicos envolvidos pela contabilização monetária das perdas. Apóia-se em estudos de características de instalações elétricas residenciais existentes, de trabalhos relativos às perdas técnicas de energia elétrica em instalações residenciais e de testes de laboratório em elementos constituintes das instalações para elaboração de análises de viabilidade econômica e de compreensão de interesses envolvidos com os setores específicos de serviços de projeto, de instalação e de processos certificação de instalações elétricas residenciais. São também mostrados os resultados iniciais de ensaios realizados em linhas elétricas pré-fabricadas nos laboratórios da Seção Técnica de Altas Correntes do IEE-USP.

Palavras-chave: Instalações elétricas; perdas Joule, certificação, fios e cabos elétricos, linhas elétricas pré-fabricadas.

ABSTRACT

d'Avila, R. S. **Household electrical installations energy losses analysis**. 2007. 97. Master Dissertation – Post Graduation Program in Energy, University of São Paulo.

This work analyses heat losses and household electrical installations conditions in the city of São Paulo.

Deals the internal building heat losses with its inherent phenomena and its reflex on safety and, also, evaluates economical impacts due to of monetary accounting of the losses.

Based on existent electrical installations characteristics and losses studies and laboratory tests, to carry out analyses on the interests on economical investment and trends on specifics design, installation and accreditation services. Also, are shown primary data obtained for tests carried out on bus bar trunking system at the IEE-USP High Current Laboratories.

Key Words: Electrical Installations, losses, accreditation, wire and cables, bus bar trunking systems.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE-USP)

BEN (Balanço Energético Nacional)

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO)

Associação Brasileira pela Qualidade dos Fios e Cabos Elétricos (QUALIFIO)

London Metal Exchange (LME)

Ministério do Trabalho e Emprego (MTE)

Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não-Ferrosos do Estado de São Paulo (SINDICEL)

Associação Brasileira do Cobre (ABC)

Sindicato da Indústria de Instalação (SINDINSTALAÇÃO)

Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE)

Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBEI)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
TWh	terawatt hora
Wh/hab.ano	watthora por habitante por ano
hab/km ²	habitante por quilômetro quadrado
kWh/mês	quilowatt hora por mês
Ω	ohm
W	watt
A	ampere
ρ	resistividade elétrica
α	coeficiente de variação da resistividade com a temperatura
°C	grau celsius
mm ²	milímetro quadrado
kV	quilovolt
m	metro
ohm/km	ohm por quilômetro
m ²	metro quadrado
kWh	quilowatt hora
kg	quilograma
R\$	Real
US\$/tonelada	Dólar americano por tonelada
MWh/ano	megawatt hora por ano
MW	megawatt
Hz	hertz
Z	impedância
X	reatância
P	potência ativa
°C ⁻¹	grau celsius elevado a menos um
A/mm ²	ampère por milímetro quadrado
mohm/m	miliohm por metro
%aa	porcentagem ao ano

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Quantidades de consumidores por faixa de consumo mensal na cidade de São Paulo no ano de 2005.....	8
Gráfico 2 -	Tempos de Simples Retorno em função das categorias de consumo mensais e das tarifas de energia elétrica. (Referência Outubro/2003)....	22
Gráfico 3 -	Tempos de Simples Retorno em função das tarifas de energia elétrica e das categorias de consumo mensais (Referência Outubro/2003).....	22
Gráfico 4 -	Tempos de Retorno Descontado em função das categorias de consumo mensais de das tarifas de energia elétrica (Referência Outubro/2003)...	23
Gráfico 5 -	Tempos de Retorno Descontado em função das tarifas de energia elétrica e das categorias de consumo mensais de (Referência Out/2003).....	23
Gráfico 6 -	Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensais para o preço da energia elétrica de 0,33R\$/kWh (Referência Outubro/2003).....	24
Gráfico 7 -	Custo da Energia Conservada em função das taxas de desconto e das categorias de consumo mensais de (Referência Outubro/2003).....	24
Gráfico 8 -	Custo do Ciclo de Vida em função do preço da eletricidade para consumidores da categoria 150kWh/mês (Referência Outubro/2003).....	25
Gráfico 9 -	Tempo de Simples Retorno em função da categoria mensal de consumo e do preço da eletricidade (Referência Julho/2005).....	25
Gráfico 10 -	Tempo de Simples Retorno em função do preço da eletricidade e da categoria mensal de consumo (Referência Julho/2005).....	26
Gráfico 11 -	Tempo de Retorno Descontado em função da taxa de desconto e da categoria de consumo mensal para preço da eletricidade de 0,45R\$/kWh (Referência Julho/2005).....	26
Gráfico 12 -	Tempo de Retorno Descontado em função da categoria de consumo mensal e do preço da eletricidade para taxa de desconto de 12%aa (Referência Jul/2005).....	27

Gráfico 13 -	Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensal, para preço da eletricidade de 0,45R\$/kWh/mês (Referência Jul/2005).....	27
Gráfico 14 -	Custo da Energia Conservada em função da taxa de desconto da categoria de consumo mensal e para preço da eletricidade de 0,45R\$/kWh/mês (Referência Julho/2005).....	28
Gráfico 15 -	Custo da Energia Conservada em função da categoria de consumo mensal e para preço da eletricidade de 0,45R\$/kWh/mês (Referência Jul/2005).....	28
Gráfico 16 -	Custo da do Ciclo de Vida em função do preço da eletricidade para categoria de consumo mensal de 250kWh/mês (Referência Jul/2005)...	29
Gráfico 17 -	Custo da do Ciclo de Vida em função do preço da eletricidade para categoria de consumo mensal de 300kWh/mês (Referência Jul/2005)...	29
Gráfico 18 -	Tempos de Simples Retorno em função das categorias de consumo mensais e das tarifas de energia elétrica (Referência Agosto/2006).....	30
Gráfico 19 -	Tempos de Retorno Descontados em função das categorias de consumo mensais e das tarifas de energia elétrica, para a taxa de desconto adotada de 12%aa (Referência Agosto/2006).....	30
Gráfico 20 -	Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,43/kWh e para a taxa de desconto adotada de 12%aa (Referência Agosto/2006).....	31
Gráfico 21 -	Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,86/kWh e para a taxa de desconto adotada de 12%aa (Referência Agosto/2006).....	31
Gráfico 22 -	Custo da Energia Conservada em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,43/kWh e para a taxa de desconto adotada de 12%aa.....	31
Gráfico 23 -	Tempos de Retorno Descontados em função das categorias de consumo mensais e das tarifas de energia elétrica, para a taxa de desconto adotada de 12%aa e com investimentos iniciais reduzidos pela metade.....	32

Gráfico 24 - Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,86/kWh , para a taxa de desconto adotada de 12%aa e com investimentos iniciais reduzidos pela metade.....	32
Gráfico 25 - Custo da Energia Conservada em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,43/kWh, para a taxa de desconto adotada de 12%aa e com investimentos iniciais reduzidos pela metade.....	32
Gráfico 26 - Preços do Cobre em US\$/tonelada, para contratos a vista comercializados na LME, no período de 30/12/2001 a 30/12/2006.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Capacidades de condução de corrente elétrica de condutores de cobre isolados.....	11
Tabela 2 -	Excerto do relatório técnico [9] com exemplos de medições efetuadas para determinação de perdas em acessórios utilizados em instalações elétricas, mostrado na fotografia 1.....	12
Tabela 3 -	Excerto do relatório técnico [9] com exemplos de medições efetuadas para determinação de perdas em emenda utilizada em instalações elétricas, mostrada na figura 1	13
Tabela 4 -	Excerto do relatório técnico [9] com exemplos de medições efetuadas para determinação de perdas em emenda mal feita, mostrada na figura 2	14
Tabela 5 -	Resistências elétricas utilizadas para os componentes e condutores.....	15
Tabela 6 -	Características da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1).....	16
Tabela 7 -	Características da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2).....	16
Tabela 8 -	Características da instalação elétrica considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm ² . (Instalação Tipo 3).....	17
Tabela 9 -	Custos obtidos para execução dos serviços de execução/adequação das instalações elétricas propostas.....	21
Tabela 10 -	Características dos consumidores na área de concessão da empresa AES Eletropaulo.....	34
Tabela 11 -	Estimativas de economia de energia elétrica e de consumidores atingidos pela substituição proposta na área de concessão da empresa AES Eletropaulo.....	35
Tabela 12 -	Estimativas das perdas e custos para novas ligações de consumidores residenciais no Brasil, com dados referentes ao intervalo 2005 a 2006..	37
Tabela 13 -	Características dos circuitos alimentadores executados com cabos de isolamento com PVC.....	39

Tabela 14 -	Características dos circuitos alimentadores executados com linhas elétricas pré-fabricadas (Barramentos)	40
Tabela 15 -	Valores obtidos de medições e cálculos realizados em linhas elétricas pré-fabricadas para obtenção das características elétricas, conforme a norma NBRIEC60439-2.....	44
Tabela 16 -	Valores obtidos de medições no ensaio de verificação da capacidade de curto-circuito, com medições dos valores eficazes e de crista medidos em todo o intervalo da aplicação (1047ms).....	50
Tabela 17 -	Valores obtidos de medições no ensaio de verificação da capacidade de curto-circuito, com medições dos valores eficazes no intervalo de 800ms a 1200ms dos eixos de tempo ilustrados na figura 6.....	50
Tabela 18 -	Valores das impedâncias na corrente nominal e calculadas no ensaio de curto-circuito.....	51
Tabela 19 -	Grupos de interesse e atividades	53
Tabela 20 -	Resultados das atividades da QUALIFIO.....	58

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 -	Excerto do relatório técnico [9] com exemplo de montagem utilizada nas medições mostradas na tabela1	13
Fotografia 2 -	Vista geral da montagem de ensaio de elevação de temperatura.....	42
Fotografia 3 -	Vista geral da montagem de ensaio de elevação de temperatura.....	42
Fotografia 4 -	Vista parcial da montagem de ensaio de elevação de temperatura, destacando equipamentos de medição utilizados.....	43
Fotografia 5 -	Vista geral da montagem de ensaio de verificação da corrente suportável de curto circuito.....	47
Fotografia 6 -	Vista parcial da montagem de ensaio (lado da alimentação).....	47
Fotografia 7 -	Vista parcial da montagem de ensaio (lado do fechamento das três fases).....	47
Fotografia 8 -	Quadro de distribuição, montado sobre base de madeira, propiciando riscos de incêndio.....	56
Fotografia 9 -	Instalação exposta e em más condições.....	56
Fotografia 10 -	Instalação de tomada em caixa de passagem, em desacordo com a norma.....	56
Fotografia 11 -	Vista geral de caixa de passagem.....	56
Fotografia 12 -	Detalhe da falta de isolante nos conectores.....	56
Fotografia 13 -	Detalhe da fiação descascada.....	56
Fotografia 11 -	Vista parcial da caixa de entrada.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Excerto do relatório técnico [9] com exemplo de emenda utilizada nas medições mostradas na tabela 3.....	13
Figura 2 - Excerto do relatório técnico [9] com exemplo de emenda malfeita utilizada nas medições mostradas na tabela 4.....	14
Figura 3 - Ilustração orientativa (sem escala) da edificação e do alimentador.....	39
Figura 4 - Diagrama ilustrativo das conexões adotadas nos ensaios de elevação de temperatura	41
Figura 5 - Diagrama ilustrativo das conexões adotadas nos ensaios de curto-circuito...	47
Figura 6 - Formas das ondas de corrente e de tensão obtidas no ensaio de curto-circuito, em todo o intervalo da aplicação (1047ms)	48
Figura 7 - Formas das ondas de corrente e de tensão obtidas no ensaio de curto-circuito, no intervalo de 800 a 1200ms dos eixos de tempo ilustrados na figura 6	49

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iii
LISTA DE SÍMBOLOS	iv
LISTA DE GRÁFICOS	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
SUMÁRIO	xii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE.....	3
CAPÍTULO 3 - TRABALHO DESENVOLVIDO.....	9
3.1. Condições de contorno e o fenômeno físico.....	9
3.2. Análises e testes iniciais efetuados.....	12
3.3. Contabilização das perdas calculadas.....	18
3.3.1. Consumidor individual.....	18
3.3.1.1. Análises com valores referentes ao ano de 2003.....	21
3.3.1.2. Análises com valores referentes ao ano de 2005.....	25
3.3.1.3. Análises com valores referentes ao ano de 2006.....	29
3.3.2. Grupos de consumidores.....	34
3.4. Considerações sobre linhas elétricas pré-fabricadas.....	38
3.5. Testes e ensaios em linhas elétricas pré-fabricadas.....	41
3.6. Grupos de interesse e suas atividades.....	52
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES.....	60
CAPÍTULO 5 – REFERÊNCIAS.....	63
ANEXOS.....	68
ANEXO 1 – Planta baixa do imóvel utilizado para simulação dos circuitos e cálculos das perdas.....	69
ANEXO 2 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 1 de instalação elétrica considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm ² . (Instalação Tipo 3).....	70

ANEXO 3 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 2 de instalação elétrica considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção $1,5\text{mm}^2$. (Instalação Tipo 3).....	71
ANEXO 4 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 3 de instalação elétrica considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção $1,5\text{mm}^2$. (Instalação Tipo 3)	72
ANEXO 5 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 4 de instalação elétrica considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção $1,5\text{mm}^2$. (Instalação Tipo 3)	73
ANEXO 6 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 5 de instalação elétrica considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção $1,5\text{mm}^2$. (Instalação Tipo 3)	74
ANEXO 7 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 1 da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2)..	75
ANEXO 8 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 2 da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2)..	76
ANEXO 9 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 3 da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2)..	77
ANEXO 10 – Planilha de cálculo no circuito 4 da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2).....	78
ANEXO 11 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 5 da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2)..	79
ANEXO 12 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 1 da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1)...	80
ANEXO 13 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 2 da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1)...	81
ANEXO 14 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 3 da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1)...	82
ANEXO 15 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 4 da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1)...	83
ANEXO 16 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 5 da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1)...	84
ANEXO 17 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 6 da instalação elétrica	85

	segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1)...	
ANEXO 18 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 1250A com condutores de cobre.....	86
ANEXO 19 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 250A com condutores de alumínio..	87
ANEXO 20 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 1250A com condutores de alumínio.....	88
ANEXO 21 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 800A com condutores de alumínio..	89
ANEXO 22 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 1600A com condutores de cobre.....	90
ANEXO 23 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 1500A com condutores de alumínio.....	91
ANEXO 24 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 800A com condutores de cobre.....	92
ANEXO 25 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 400A com condutores de alumínio..	93
ANEXO 26 –	Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 550A com condutores de alumínio..	94

ANEXO 27 – Verificações iniciais da relação entre os valores das correntes elétricas e os valores das potências elétricas ativas trifásicas totais, sem distinção do material do condutor, obtidos no ensaio de elevação de temperatura em linhas elétricas pré-fabricadas.....	95
ANEXO 28 – Verificações iniciais da relação entre os valores das correntes elétricas e os valores das potências elétricas ativas trifásicas totais para linhas elétricas pré-fabricadas com condutores de alumínio, obtidos no ensaio de elevação de temperatura.....	96
ANEXO 29 – Verificações iniciais da relação entre os valores das correntes elétricas e os valores das potências elétricas ativas trifásicas totais para linhas elétricas pré-fabricadas com condutores de cobre, obtidos no ensaio de elevação de temperatura.....	97

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O racionamento de energia elétrica decretado entre 1º de Junho de 2001 a 1º de Março de 2002 impôs à população do Brasil uma redução compulsória de consumo de energia elétrica, com reflexos diretos e repercussões em toda a cadeia envolvida da produção ao uso final. As metas mensais contabilizadas nas faturas emitidas pelas empresas concessionárias colaboraram para que os consumidores se ativessem ao preço pago pela energia elétrica e à quantidade de energia elétrica consumida e repercutiu em outros setores que não os consumidores, apenas. Outros setores, como as empresas concessionárias, os fabricantes de materiais e equipamentos elétricos e prestadores de serviços de projeto e de instalação também foram sensibilizados.

Associado ao comportamento dos preços das tarifas de energia elétrica no setor residencial brasileiro, que evoluíram 170,77% nominais no período de 1995 a 2002 (equivalente a aumento real de 96,11% para IPCFIPE de 74,66%) [1], sugere o interesse em estudos pormenorizados relativos ao setor residencial.

Dentro da cadeia que envolve da produção ao uso final da energia elétrica, em ambiente de restrição de consumo e de aumento real de tarifas, destacam-se interesses no setor residencial por parte dos consumidores preocupados com as imposições de consumo e com as oportunidades de economia de energia e, especificamente sobre as instalações elétricas residenciais por parte dos fabricantes de equipamentos e materiais para instalações elétricas que buscam continuamente oportunidades de negócios, associados ao setor de prestação de serviços de projeto, execução e processos verificação de instalações elétricas.

O presente trabalho aborda a questão das perdas técnicas e condições das instalações elétricas residenciais de baixa tensão e contribui para o melhor entendimento do assunto, quer pelo aspecto das perdas técnicas das próprias instalações elétricas internas aos domicílios com seus fenômenos físicos e seus reflexos sobre os aspectos de segurança envolvidos, quer pelos impactos econômicos na contabilização monetária das perdas, quer pelas ações e interesses na prestação de serviços de projeto, de execução e de processos verificação de instalações elétricas residenciais de baixa tensão.

As perdas aqui consideradas são aquelas decorrentes do aquecimento dos elementos constituintes da instalação (condutores, dispositivos funcionais e de proteção) por conta da circulação das correntes elétricas neles, conhecidas como “Perdas Joule”, proporcionais à corrente elétrica, à resistência elétrica dos elementos constituintes da instalação e seus modos de instalação. Apóia-se em estudos de características de instalações elétricas residenciais

existentes, de trabalhos relativos às perdas técnicas de energia elétrica em instalações residenciais e de testes de laboratório em elementos constituintes das instalações para elaboração de análises de viabilidade econômica e de compreensão de interesses envolvidos com os setores específicos de serviços de projeto, de instalação e de processos de instalações elétricas residenciais.

Inicia-se pelo esclarecimento das condições de contorno e do fenômeno físico gerador das perdas, em seguida expõe as análises e os testes iniciais efetuados e um apanhado do estado da arte com considerações do contexto das instalações residenciais na cidade de São Paulo.

São mostrados, então, valores contabilizados das perdas por aquecimento dos condutores em instalações elétricas residenciais de consumidores individuais e em grupos de consumidores.

Durante a realização deste trabalho surgiram oportunidades, nos laboratórios da Seção Técnica de Altas Correntes do IEE-USP, de se realizar medições de características elétricas em linhas elétricas pré-fabricadas utilizadas para distribuição interna de energia elétrica em edificações. Tais medições compõem assunto diretamente ligado aos estudos de perdas em instalações elétricas e estão em andamento. São apresentados os dados iniciais já obtidos, a metodologia e as considerações.

Em seguida, é feito um apanhado dos grupos de interesse envolvidos e algumas de suas ações ligadas ao uso da energia elétrica, dos materiais e serviços.

Finalmente, são expostas as conclusões e as possíveis perspectivas e oportunidades associadas ao uso e consumo da energia elétrica em edificações de uso residencial e, ainda, indicativos para trabalhos futuros relativos aos ensaios em linhas elétricas pré-fabricadas.

CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE

No Brasil, o projeto, a execução e a manutenção das instalações elétricas residenciais são balizados por uma norma técnica Brasileira [2], a NBR5410/2004, que é bastante enfática quanto à segurança das pessoas e dos bens patrimoniais em todas as suas prescrições e recomendações técnicas. Isto se deve em boa parte à evolução técnica e aos interesses das diversas entidades envolvidas nos processos de projeto, execução e manutenção das instalações; de fabricação de materiais e equipamentos elétricos; da prestação de serviços dos laboratórios de ensaios e dos organismos certificadores.

As prescrições e recomendações técnicas da norma técnica Brasileira [2] não compreendem ainda considerações diretas sobre cálculos de perdas nas instalações elétricas residenciais, embora contenham especificações expressas das capacidades de condução de corrente elétrica dos elementos condutores e dos limites de quedas de tensões dos circuitos elétricos, o que indiretamente reflete em limites de perdas, mantidas as condições de segurança de operação das instalações. Considerações sobre perdas nas instalações, de modo mais detalhado, são feitas pelos projetistas considerando-se as condições de contorno da norma técnica Brasileira [2] e das exigências das empresas concessionárias de energia elétrica, da edificação e seus usos e das opções de preços e tipos de materiais elétricos disponíveis no mercado.

Os estudos de perdas em sistemas elétricos de potência se concentram quase que exclusivamente nas instalações e processos de responsabilidade das empresas concessionárias não se atendo às instalações residenciais que são de responsabilidade dos consumidores. Justificado na medida em que os estudos específicos de perdas se fazem em conjunto com os estudos de operação do sistema elétrico para fornecimento da energia elétrica em condições continuidade e padrões de qualidade de operação e fornecimento aos quais as empresas concessionárias são responsáveis em atender. Estes estudos podem ser divididos basicamente entre as perdas técnicas e as perdas não técnicas, sendo as primeiras aquelas derivadas dos fenômenos físicos inerentes à produção, transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica; e as perdas não técnicas decorrentes de ações voluntárias de fraudes na utilização e medição e questões comerciais. Alguns trabalhos [34][35][36] trazem contribuições específicas de interesse das concessionárias de energia elétrica com discussões sobre perdas técnicas e comerciais, tecnologias de medição de energia, ações de inspeção nos sistemas elétricos, aspectos regulatórios das perdas e seus reflexos nos sistemas elétricos.

Pesquisa específica sobre contabilização de perdas em instalações elétricas residenciais leva basicamente a um trabalho em 1994 por Chu et al [3] e a outro trabalho em 2004 por Fischmann [4].

Em Chu et al [3] justifica-se estudo de perdas elétricas em instalações elétricas residenciais de Taiwan em detrimento das instalações elétricas de instalações industriais e comerciais, sendo que estas duas últimas são projetadas e executadas por técnicos e engenheiros especializados, aliado às questões de altos custos dos condutores elétricos relativamente aos baixos custos da mão de obra e do não atendimento das prescrições técnicas de projeto e de execução das instalações elétricas residenciais o que, segundo os autores, levou ao encorajamento dos construtores em utilizar materiais impróprios significando instalações de baixo custo inicial, porém fazendo com que os consumidores pagassem pelo custo extra da energia demandada pelas perdas. Assim, propuseram uma sistemática simples de medição e avaliação econômica das perdas através de medições das tensões elétricas dos circuitos, sem medir as correntes que circulam nestes circuitos, e tendo conhecimento das características destes circuitos como material dos condutores, suas dimensões e custos e os custos da energia elétrica para a avaliação das considerações econômicas.

Em Fischmann [4] são feitos seis estudos de casos de viabilidade técnica e econômica de utilização de determinado tipo de condutor elétrico, a linha elétrica pré-fabricada que é conhecida como “barramento blindado”, utilizado especificamente em prumadas de uso coletivo de edificações residenciais. As avaliações não envolvem diretamente as “perdas Joule” (ou as perdas por aquecimento) nos condutores elétricos, mas ainda na fase de projeto das instalações, a análise das quedas de tensão (o que indiretamente traduz as “Perdas Joule” nos condutores), as condições e características físicas e de utilização das edificações e a otimização de custos.

A norma técnica IEC60287-3-2/1995 [5] trata especificamente do dimensionamento econômico de cabos elétricos e não é editada no Brasil como norma brasileira e pauta um trabalho [6] que em resumo trata de identificar a seção de um condutor elétrico que reduza o custo da energia elétrica desperdiçada, sem incorrer em custos iniciais excessivos de aquisição e instalação de um cabo.

As considerações especificamente centradas nos aspectos técnicos das perdas com seus efeitos econômicos na operação dos condutores elétricos e das instalações não são as únicas questões que devem ser consideradas, mas há implicações relativas à segurança das pessoas e do patrimônio envolvidas, pois o risco de incêndio de origem elétrica nas

instalações pode estar diretamente ligado ao fenômeno físico do aquecimento dos condutores elétricos e de outros elementos da instalação. Sob esta ótica, encontramos dois trabalhos.

Scabbia [7] com a aplicação da Análise Preliminar de Perigos (APP) no gerenciamento de riscos de incêndios originados em instalações elétricas de baixa tensão discorre especificamente sobre a adequação de uma ferramenta de gerenciamento de riscos tecnológicos para estudos de incêndios em instalações elétricas de baixa tensão, características de edificações residenciais, por demanda de legislação e posturas municipais e estaduais relativas à segurança contra incêndios em edificações. Destacam-se alguns pontos neste trabalho:

- dados referentes às ocorrências de incêndios para o ano de 2003 no Estado de São Paulo (71% das ocorrências em locais de habitação; 16% decorrentes de instalações elétricas inadequadas); origens de patologias em edificações da Comunidade Européia (ref. 2001: 42% Projeto; 28,4% Execução; 14,5% Materiais; 9,5% Uso);

- antes da ocorrência de incêndio há um intervalo de tempo para que todos os desvios ocorram simultaneamente desencadeando o início do incêndio. O tempo de latência, que pode variar de minutos a meses. Isto talvez explique porque poucas ocorrências catastróficas ocorram;

- dentre os critérios adotados pelo autor e dos dados, coletados em entrevistas com especialistas nas áreas de instalações elétricas e construção civil, o maior índice de respostas que tendem a Riscos Altos (o autor neste trabalho ainda não define faixas percentuais de riscos, as propõe como continuidade de melhoria do trabalho) é a Contratação/Subcontratação de serviços de projeto e execução de instalações;

- as práticas de certificação de equipamentos e instalações elétricas são consideradas como fatores relevantes para diminuição de riscos.

A Análise do estado atual das instalações elétricas residenciais em São Paulo [8] é resultado da pesquisa realizada em 628 imóveis da cidade de São Paulo e fornece considerações relevantes sobre as próprias instalações e sobre as percepções e relações dos usuários com as instalações, podem ser destacados os seguintes pontos:

- 50% das residências com mais de 20 anos de idade não sofreram nenhuma reforma nas instalações elétricas, sugerindo envelhecimento da instalação devido ao aumento de carga corroborada pelos dados que dão conta de que 48,7% das instalações com mais de 20 anos apresentam desarmes freqüentes de disjuntores ou queima de fusíveis, sendo que 42% destes eventos se devem a sobrecarga dos circuitos;

- 80% do total de desligamentos de circuitos ocorrem devido a sobrecargas; 100% de desligamentos que ocorrem por razões de curtos-circuitos se dão em habitações com 10 anos ou mais de idade; 75,1% das ocorrências de choques elétricos se dão em habitações com 10 anos ou mais de idade;

- a percepção de segurança dos usuários das instalações indica que 88,4% dos usuários consideram suas instalações elétricas como “seguras” ou “aceitáveis”. Daqueles que consideram suas instalações “inseguras” ou “muito inseguras”, 34,5% dos usuários não está disposto a investir nada para melhorá-las;

- as intervenções sobre as instalações, citadas na pesquisa como “serviços de eletricidade”, são realizados em 63,7% dos casos por não especialistas;

- 31,4% dos usuários não estavam satisfeitos com a quantidade de tomadas existentes nos dormitórios, salas e cozinhas;

- 78,8% não estão de acordo com as recomendações técnicas específicas quanto à separação de circuitos de iluminação e de tomadas.

- 52,8% dos locais possuem quadros de distribuição com partes em material combustível, como madeira por exemplo;

- 26,6% das instalações não obedecem à correta identificação do fio terra e 39,9% não obedecem não identificam corretamente a identificação do fio neutro;

- 98,4% das instalações não possuem instalados dispositivos DR;

- 21,8% das instalações utilizam dispositivos fusíveis nos quadros de distribuição de energia elétrica e 60% destes fusíveis não são compatíveis com as prescrições normativas.

Na fase inicial deste trabalho [8], no ano de 2001 e ainda com os dados de 280 domicílios associados às informações de entidades de classe de fabricantes de fios e cabos elétricos, o Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE-USP) elaborou um relatório técnico [9] que contempla uma série de testes em vários dispositivos elétricos clássicos utilizados nas instalações elétricas residenciais, tais como: plugues, tomadas, interruptores, extensões e dispositivos “benjamim”. Associados estes dados permitiram elaborar cálculos de perdas técnicas de energia elétrica em um imóvel residencial para três instalações elétricas aplicadas ao imóvel escolhido.

Os estudos e considerações na cidade de São Paulo se devem basicamente à existência e disponibilidade de dados e estudos já realizados e em andamento e convém considerar as características do consumo da energia elétrica no Brasil e na região sudeste do país para reforçar seu peso e importância.

Baseado nos dados encontrados no BEN (Balanço Energéticos Nacional) [10], o setor residencial no Brasil respondeu por 21,9% do consumo total de energia elétrica do país considerado o ano de 2004, e com participação crescente da eletricidade neste setor (20,4% no ano de 1989, 31,6% no ano 2004, 34,7% no ano de 2000 e reduzido a 31,5% no ano de 2001 por conta do racionamento). Na região sudeste, o setor residencial, respondeu por 54,7% (42990GWh) do consumo total do setor no ano de 2004 (78577GWh) e permite estimar, assim, que 12% (42990GWh) do consumo total de energia elétrica do país ocorre no setor residencial da região sudeste, especificamente 6,9% do consumo do total do país (24910GWh) no estado de São Paulo.

Considerando os Balanços Energéticos do Estado de São Paulo [11] e [12], a participação da eletricidade no consumo do setor residencial foi de 51,7% no o ano de 2004 e de 53,1% no ano de 2005 no Estado, seguidos respectivamente por 37,4% e 36,0% para o GLP, em todo o Estado.

Dados da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo [13] dão conta que 2,91% do consumo total residencial do país ocorre na cidade de São Paulo, para os dados desta secretária como mais recentes para o ano de 1998. Admitindo-se esta proporção de 2,91% para o ano de 2004, permite se estimar que este consumo anual seria de aproximadamente 8,95TWh.

As características energéticas brasileiras; a evolução do consumo *per capita* de eletricidade de 392 para 695kWh/hab.ano (aumento 4,9%a.a. na cidade de São Paulo no período de 1984 a 1996); a alta densidade populacional da região sudeste (77,93 hab/km²) [14] reforçam o peso e a importância da eletricidade e desta região geográfica no contexto brasileiro. Logo o uso de dados de pesquisas referentes à cidade de São Paulo [8] e [9] tendem a ser representativos de uma região expressiva do país e não impede que conclusões destes estudos possam ser ampliados e aplicados em outras regiões, mas levando em conta suas particularidades sócio econômicas.

Adicionalmente, dados da empresa AES Eletropaulo [15] dão conta que 70,25% de seus clientes (3.398.074 consumidores) encontram-se na cidade de São Paulo e, por faixa mensal de consumo, são mostrados no gráfico 1.

O gráfico 1 mostra incidência predominante de consumidores na faixa “101-200kWh/mês”, o que é corroborado pelos dados da Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de São Paulo de Estado de São Paulo [16] que mostram um consumo médio por consumidor de 185,6kWh/mês para o Estado. Estes dados podem indicar o enfoque em

consumidores residenciais desta categoria de consumo para efeitos de estudos de perdas nas instalações elétricas respectivas.

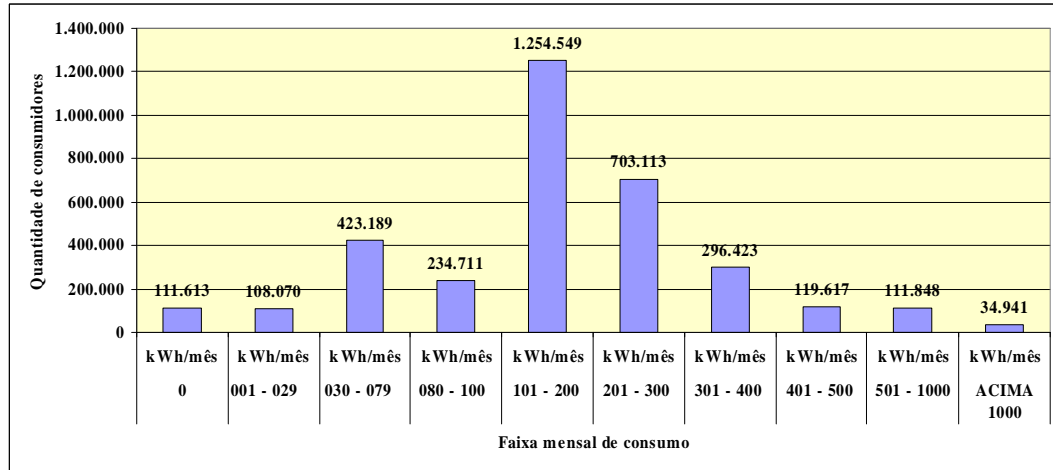


Gráfico 1 - Quantidades de consumidores por faixa de consumo mensal na cidade de São Paulo no ano de 2005. Fonte: AES Eletropaulo (2005).

CAPÍTULO 3 – TRABALHO DESENVOLVIDO

3.1. Condições de contorno e o fenômeno físico

A energia elétrica é utilizada pelos consumidores residenciais por meio de uma estrutura física da edificação constituída por elementos condutores, por elementos de proteção, por elementos de seccionamento e por e elementos de comando, denominada instalação elétrica. Através destes elementos circulam correntes elétricas com valores proporcionais às potências elétricas dos equipamentos ligados aos circuitos da instalação o que incorre em perdas também proporcionais ao produto da resistência elétrica em *ohm* (Ω) dos elementos da instalação pelo quadrado da corrente elétrica em *ampère* (A) que circula pelos elementos, expressa por:

$$P = R \times I^2, \text{ onde:}$$

P – perdas em *watt* (W);

R – resistência elétrica dos elementos da instalação em *ohm* (Ω) e

I – corrente elétrica nos elementos do circuito em *ampère* (A).

A resistência elétrica dos elementos da instalação pode ser subdividida:

- nas resistências elétricas dos elementos condutores, ou seja, as linhas elétricas definidas pela norma técnica brasileira de instalações elétricas de baixa tensão [2];
- nas resistências elétricas dos dispositivos de proteção, seccionamento e comando, definidos pela norma brasileira de instalações elétricas de baixa tensão [2];
- nas resistências elétricas nas conexões ou emendas das linhas elétricas.

As linhas elétricas nas instalações residenciais são constituídas predominantemente por material metálico condutor como, o cobre, na forma de fios, cabos, chapas, barras e lâminas; sempre circundados por elementos isolantes elétricos. A resistência elétrica (R) das partes condutoras pode ser expressa como $R = \rho \times l / S$, onde:

R – em *ohm* (Ω);

ρ – resistividade elétrica do material condutor a 20°C em ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);

l – comprimento do condutor em (m);

S – área da seção transversal reta efetiva do condutor em (mm^2).

O aumento na temperatura do condutor, decorrente da circulação da corrente elétrica, implica obrigatoriamente no aumento de sua resistência elétrica o que pode ser expresso pela expressão $R_{Tf} = R_{20^\circ C} [1 + a (Tf - 20)]$, onde:

- R_{Tf} é a resistência ôhmica, em *ohm* (Ω), do condutor na temperatura Tf em (°C);

- $R_{20^{\circ}\text{C}}$ é resistência, em *ohm* (Ω), do condutor na temperatura de 20°C ;
- α é o coeficiente de variação da resistividade com a temperatura em ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);
- T_f é a temperatura final do condutor, ou temperatura máxima de operação do condutor, em ($^{\circ}\text{C}$).

Isto permite realizar considerações e calcular o comportamento da parcela resistiva das linhas elétricas, formadas por fios, cabos e linhas elétricas pré-fabricadas de cobre para determinadas correntes, com temperaturas de operação limitadas que permitam, através de uma máxima variação de resistência ôhmica do condutor e condições de não degradação das partes isolantes a adjacentes. Neste particular a norma técnica brasileira de instalações elétricas de baixa tensão [2] determina estas condições de operação em função do modo de instalação e das características ambiente.

As linhas elétricas utilizadas nas instalações elétricas residenciais, em sua grande maioria, são constituídas por fios de cobre, e cabos, recobertos pelo processo de extrusão a quente de uma camada de isolamento elétrica de um material composto termoplástico denominado PVC policloreto de vinila. A denominação fio é utilizada para condutores singelos e a denominação cabo é utilizada para o condutor formado pela reunião de vários fios elementares. Os fios são produzidos, em sua grande maioria, com diâmetros que variam de 1,36mm a 4,41mm que correspondem a seções nominais de $1,5\text{mm}^2$ a 16mm^2 , respectivamente. Condutores com seções nominais maiores que 16mm^2 são produzidos pela reunião de 7 a 61 fios elementares para seções de 25mm^2 até 500mm^2 . Há, também, fios produzidos com seções $0,5\text{mm}^2$, $0,75\text{mm}^2$ e 1mm^2 para utilizações específicas predominantemente em equipamentos e cabos com seções até 1000mm^2 . As especificações técnicas dos condutores são regidas por normas técnicas brasileiras: NBRNM247-3 (Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750V, inclusive - Parte 3: Condutores isolados (sem cobertura) para instalações fixas); NBR7286 (Cabos de potência com isolamento extrudada de borracha etilenopropileno (EPR) para tensões de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho); NBR13248 (Cabos de potência e controle e condutores isolados sem cobertura, com isolamento extrudada e com baixa emissão de fumaça para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho) e NBR7288 (Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de cloreto de polivinila (PVC) ou polietileno (PE) para tensões de 1 kV a 6 kV).

As capacidades de condução de corrente elétrica dos fios e cabos e elétricos dependem do modo de instalação dos condutores, que está diretamente ligado às condições térmicas de operação e dissipação dos condutores. Estas capacidades e modos de instalação de condução de corrente elétrica já se encontram definidas e padronizadas na norma técnica brasileira de

instalações elétricas [2] para temperatura ambiente de referência de 30°C (no ar) e 20°C (no solo):

- 70°C de temperatura máxima de serviço contínuo, que é maior temperatura que a isolação pode atingir em serviço normal; 100°C de temperatura de sobrecarga, que é a temperatura máxima que a isolação pode atingir em regime de sobrecarga. A duração desse regime não deve superar 100 horas durante doze meses consecutivos, nem superar 500 horas durante a vida do condutor; 160°C de temperatura de curto-circuito, que é a temperatura máxima que a isolação pode atingir em regime de curto-circuito de até 5 segundos.

De modo ilustrativo entre dois extremos, baseado na norma técnica [2], as capacidades de condução de corrente, em ampères, para os condutores de cobre isolados em PVC com três condutores carregados são mostradas na Tabela 1:

Condutor de cobre Seção (mm ²)	Método referência de instalação	
	(A1) condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante	(D) cabos unipolares e multipolares em eletroduto ou canaleta enterrada
1,5	14,5A	18A
500	502A	445A

Tabela 1 - Capacidades de condução de corrente elétrica de condutores de cobre isolados.

No Brasil, os fios e cabos elétricos são fabricados e comercializados de modo a obedecerem a processos de certificação compulsória dos produtos conforme regulamentos específicos publicados e controlados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), através de processos de denominados Avaliações de Conformidade, sendo o caráter compulsório adotado quando o órgão regulador entende que o produto pode oferecer riscos à segurança do consumidor ou meio ambiente, ou ainda em casos que o desempenho do produto, se inadequado, pode trazer prejuízos econômicos à sociedade [17]. Há que se mencionar que estão inclusos nesta categoria de certificação compulsória os plugues, as tomadas, os interruptores, os fusíveis e os disjuntores utilizados nas instalações elétricas residenciais de baixa tensão. Isto contribuiu sensivelmente para se produzir, comercializar e instalar produtos em conformidade com normas técnicas específicas, com reflexos diretos sobre a segurança das instalações.

Os dispositivos de proteção, de controle, de seccionamento e as conexões (ou emendas) dos fios e cabos elétricos tiveram suas resistências elétricas analisadas através de medições em laboratório em: emendas, interruptores, disjuntores e dispositivos “benjamim”, agrupados em outra categoria denominados acessórios.

Os elementos componentes de uma instalação elétrica escolhida para análise foram então associados de modo a poder quantificar suas perdas, que associadas à grandeza tempo, permite associá-las ao aquecimento dos elementos da instalação e à energia gasta para realizá-lo. Estas perdas, ocorrendo dentro da instalação do consumidor, são medidas pelo medidor de energia da concessionária e integradas à energia total demandada e tarifada, levando a considerar, então, a análise sobre os custos dessas perdas.

3.2. Análises e testes iniciais efetuados

Os estudos foram iniciados a partir dos trabalhos desenvolvidos no IEE-USP para elaboração do relatório técnico [9] que adotou como metodologia duas frentes de trabalho: medições em laboratório para verificar as perdas elétricas dos componentes da instalação (interruptores, plugues, tomadas, disjuntores e emendas) e variação das perdas em uma instalação escolhida para análise em função de possíveis variações das seções dos condutores.

As medições de laboratório foram efetuadas em corrente alternada de 60Hz, com tensão reduzida, em 45 corpos de prova submetidos à circulação de correntes variáveis de valores de décimos até a corrente nominal. Foram medidas para cada corrente elétrica, em cada corpo de prova, as respectivas quedas de tensão, que permitiram obter valores médios de suas resistências elétricas. As tabelas 2, 3 e 4, a fotografia 1 e as figuras 1 e 2, a seguir, ilustram exemplos de montagens adotadas e valores obtidos nas medições e cálculos obtidos destas montagens.

Elemento sob teste		<input type="checkbox"/> Interruptor		<input type="checkbox"/> Emenda aérea	
		<input checked="" type="checkbox"/> Tomada/ plugue chato		<input type="checkbox"/> Emenda de derivação	
		<input type="checkbox"/> Disjuntor		<input type="checkbox"/> Emenda em caixa de passagem	
		<input type="checkbox"/> Emenda mal-feita			
Corrente nominal (A)	10	Seção do condutor (mm ²)	-	Classe de encordoamento	de -
Os resultados abaixo se referem ao conjunto formado pela tomada, o adaptador azul com terminais redondos com três saídas (foto 9) e o plugue com terminais retangulares ligado na saída lateral.					
Corrente (A)	Tensão (mV)	Resistência (mΩ)	Potência (mW)		
0,2	3	15,0	0,6		
0,4	6	15,0	2,4		
0,6	8	13,3	4,8		
0,8	11	13,8	8,8		
1	13	13,0	13		
2	26	13,0	52		
4	57	14,3	228		
6	82	13,7	492		
8	108	13,5	864		
10	132	13,2	1320		

Tabela 2 - Excerto do relatório técnico [9] com exemplo de medições efetuadas para determinação de perdas em acessórios utilizados em instalações elétricas, mostrado na fotografia 1 a seguir.



Fotografia 1 - Excerto do relatório técnico [9] com exemplo de montagem utilizada nas medições mostradas na tabela 1 acima.

Elemento sob teste		<input type="checkbox"/> Interruptor		<input type="checkbox"/> Emenda aérea	
		<input type="checkbox"/> Tomada/plugue		<input type="checkbox"/> Emenda de derivação	
		<input type="checkbox"/> Disjuntor		<input checked="" type="checkbox"/> Emenda em caixa de passagem	
Corrente nominal (A)	26	Seção do condutor (mm ²)	2,5	Classe de encordoamento	Fio Rígido
Notas:					
Os resultados abaixo se referem a uma emenda					
Corrente (A)	Tensão (mV)	Resistência (mΩ)	Potência (mW)		
10	3,6	0,4	36		
20	6,7	0,3	134		
30	10,3	0,3	309		
40	13,8	0,3	552		
50	18,4	0,4	920		

Tabela 3 - Excerto do relatório técnico [9] com exemplos de medições efetuadas para determinação de perdas em emenda utilizada em instalações elétricas, mostrada na figura 1 abaixo.

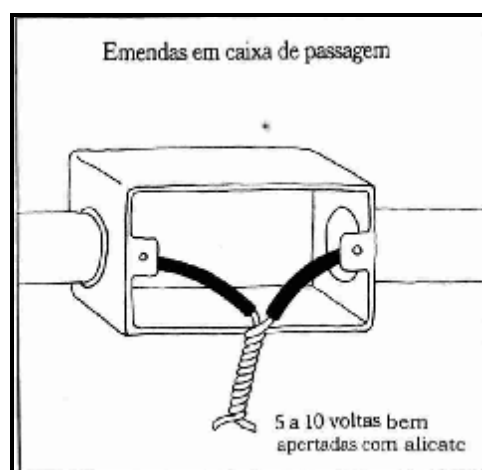


Figura 1 - Excerto do relatório técnico [9] com exemplo de emenda utilizada nas medições mostradas na tabela 3 acima.

Elemento sob teste		<input type="checkbox"/> Interruptor		<input type="checkbox"/> Emenda aérea	
		<input type="checkbox"/> Tomada/plugue		<input type="checkbox"/> Emenda de derivação	
		<input type="checkbox"/> Disjuntor		<input type="checkbox"/> Emenda em caixa de passagem	
				<input checked="" type="checkbox"/> Emenda mal-feita	
Corrente nominal (A)	26	Seção do condutor (mm ²)	2,5	Classe de encordoamento	Fio rígido
Notas:					
Os resultados abaixo se referem a uma emenda					
.					
Corrente (A)	Tensão (mV)	Resistência (mΩ)	Potência (mW)		
10	3	0,3	30		
20	6	0,3	120		
30	9	0,3	270		
40	13	0,3	520		
50	16	0,3	800		

Tabela 4- Excerto do relatório técnico [9] com exemplos de medições efetuadas para determinação de perdas em emenda mal feita, mostrada na figura 2 abaixo.

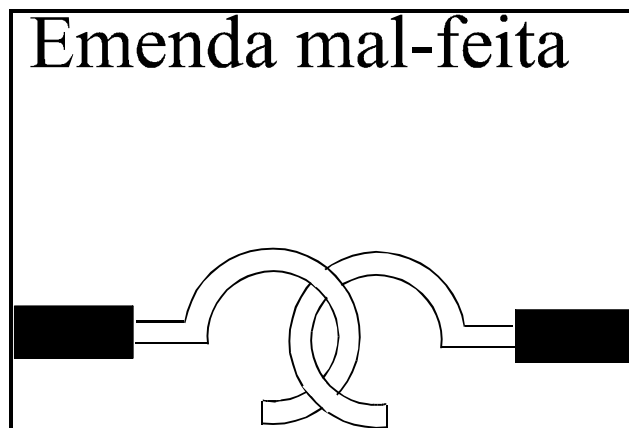


Figura 2 - Excerto do relatório técnico [9] com exemplo de emenda malfeita utilizada nas medições mostradas na tabela 4 acima.

Outros elementos componentes das instalações considerados no estudo foram os cabos de cobre isolados e os disjuntores termomagnéticos (linhas elétricas e dispositivos de proteção). As resistências elétricas dos disjuntores termomagnéticos foram calculadas e estimadas tomando como base os limites, estabelecidos pela norma NBRIEC60898/98, de máxima perda de potência por pólo, já os cabos foram considerados através das resistências elétricas máximas prescritas pelas suas próprias normas técnicas.

A tabela 5 apresenta os valores das resistências elétricas dos elementos componentes das instalações, assumidos para os cálculos das perdas destas instalações.

Componentes	Resistência (ohm) ($R_{ca}/60\text{Hz}/T_{\text{máx}}^{\circ\text{C}}$)
emenda	0,0005
interruptor	0,009
"benjamin"	0,02
disjuntor	0,03
Seção nominal do condutor de cobre (mm^2)	Resistência (ohm/km) ($R_{ca}/60\text{Hz}/60^{\circ\text{C}}$)
1.5	14,48
2.5	8,87
4	5,52
6	3,69
10	2,19
16	1,38

Tabela 5 - Resistências elétricas utilizadas para os componentes e condutores.

Por ocasião da realização dos estudos e condições das análises para elaboração do relatório técnico [9], o trabalho [8] não se encontrava completo e dispunha dos dados das instalações de apenas 280 imóveis contra 628 imóveis na versão final. Foi então escolhido um imóvel com as características abaixo para efeito de cálculos das perdas por aquecimento em componentes das instalações elétricas e, também, para comparação com outras instalações passíveis de serem encontradas:

- Apartamentos padrão normal com área útil situada na faixa de 50-100m²;
- Imóveis com 4 circuitos ;
- Imóveis compostos por: 2 quartos, 1 cozinha, 1 lavanderia, 1 banheiro e 1 sala.

Embora tenha sido ampliada a pesquisa, manteve-se a análise sobre o mesmo tipo de imóvel já escolhido anteriormente e optou-se por avaliar os cálculos das perdas nos circuitos das instalações para diferentes tempos de utilização das cargas conectadas a estes circuitos, o que permite avaliar a sensibilidade das perdas para diferentes hábitos de consumo.

Foram consideradas no imóvel com 51m², cuja planta baixa é mostrada no Anexo 1, escolhido três instalações elétricas:

- Instalação Tipo 1: segundo as orientações da norma NBR5410/1997 que era a versão aplicável na época e sem alterações, na sua versão atual, no tocante aos aspectos considerados como tipos de circuitos, fios e cabos recomendados, quantidades de pontos de luz e de tomada.

- Instalação Tipo 2: segundo as constatações dos imóveis pesquisados disponíveis na época;

- Instalação Tipo 3: é considerada a maioria dos circuitos utilizando fios de seção $1,5\text{mm}^2$. Embora esta condição não tenha sido verificada nas pesquisas efetuadas, foi levada em conta dado que havia uma suposição de sua utilização freqüente a partir de informações da Associação Brasileira pela Qualidade dos Fios e Cabos Elétricos (QUALIFIO) que indicavam a venda de fios de seção $1,5\text{mm}^2$ como dobro das vendas de fios de seção $2,5\text{mm}^2$. Esta hipótese, per si, talvez não justificasse sua consideração, mas a experiência prática mostra esta ocorrência nas instalações residenciais, que pode ser corroborada por informações constantes de outros trabalhos [3] [8] [9], que dão conta da utilização de materiais de custos mais baixos e de serviços de execução e reparo de instalações por pessoas com qualificação questionável.

Foi adotada uma curva de demanda com energia de $12,46\text{kWh}$ por dia, ou seja, $373,8\text{kWh}$ por mês, aplicada às três instalações mantidas as cargas por cômodos para os três casos e calculadas as correntes nos circuitos e suas respectivas perdas percentuais, indicadas Tabelas 6, 7 e 8, a seguir.

Circuito	Condutor de cobre Seção (mm^2)	Comprimento (m)	Fios e cabos	Perdas totais [%]
			Massa de cobre por m^2 de construção $16,84/51 = 0,3302\text{kg/m}^2$	1ª avaliação: 1,23 2ª avaliação: 1,46 a 1,47 Valor adotado: 1,29
1	2,5	36		
2	2,5	47	Metros lineares de fios e cabos por m^2 de construção $156,1/51 = 3,061\text{m/m}^2$	Composição das perdas Cabos: 92% Acessórios: 8%
3	2,5	10		
4	2,5	15		
5	2,5	15		
6	6	10		
entrada	16	24		

Tabela 6 - Características da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1).

Circuito	Condutor de cobre Seção (mm^2)	Comprimento (m)	Fios e cabos	Perdas totais [%]
			Massa de cobre por m^2 de construção $7,61/51 = 0,149\text{kg/m}^2$	1ª avaliação: 2,05 2ª avaliação: 2,08 a 2,11 Valor adotado: 2,08
1	2,5	36		
2	2,5	47	Metros lineares de fios e cabos por m^2 de construção $149,7/51 = 2,935\text{m/m}^2$	Composição das perdas Cabos: 95% Acessórios: 5%
3	2,5	10		
4	2,5	24		
5	4	10		
entrada	4	24		

Tabela 7 - Características da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2).

Circuito	Condutor de cobre Seção (mm ²)	Comprimento (m)	Fios e cabos	Perdas totais [%]
			Massa de cobre por m ² de construção 5,53/51 = 0,108kg/m ²	
1	1,5	36	Metros lineares de fios e cabos por m ² de construção 149,7/51 = 2,935m/m ²	Composição das perdas Cabos: 95% Acessórios: 5%
2	1,5	47		
3	1,5	10		
4	1,5	24		
5	4	10		
entrada	4	24		

Tabela 8 - Características da instalação elétrica considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm². (Instalação Tipo 3).

Os valores de perdas obtidos por ocasião da elaboração do relatório técnico [9] são indicados nas Tabelas 6, 7 e 8 como aqueles da “1^a avaliação”, considerados para as curvas de carga utilizadas. Posteriormente, as três instalações foram reavaliadas para diferentes curvas de carga com carregamentos variados nos circuitos, obtendo-se os valores máximos e mínimos indicados como “2^a avaliação”. Foram simulados valores de cargas e tempos máximos de utilização dos equipamentos e seus efeitos sobre os circuitos. Os valores indicados como “Valor adotado” correspondem às médias aritméticas entre os valores máximos e mínimos de cada instalação.

Assim, a adoção destes valores típicos para estas três instalações é bastante razoável no tocante aos hábitos de consumo possíveis de serem encontrados, guardados o tamanho do imóvel adotado e as possíveis cargas neles instaladas.

O índice “Metros lineares de fios e cabos por m² de construção” foi indicado a título ilustrativo e podem orientar a utilização de fios e cabos em uma construção. Aqui para os três casos estudados, apenas, mostram maior quantidade de fios cabos para a instalação “Tipo 1” que possui um circuito a mais. A citação deste índice em pesquisa efetuada é encontrada em trabalho (28) onde é mencionada sem indicação de parâmetros comparativos e este índice, aparentemente, indica que seja utilizado para o uso em orçamentos de projetos não detalhados. Como este índice considera a soma dos comprimentos lineares de todos os fios e cabos utilizados, independentemente da seção, parece na ser um bom indicador para a qualidade ou adequação dos cabos para a instalação, embora possa servir como orientação inicial de quantidades sem que se elabore um projeto detalhado.

O índice “Massa de cobre por m² de construção” sugere uma melhor aproximação para efeito de comparação de perdas, como pode se notar é inversamente proporcional às perdas calculadas das instalações.

3.3. Contabilização das perdas calculadas

Inicialmente, foram analisadas as possibilidades de ganhos financeiros por um consumidor individual que optasse por executar a intervenção de substituição da instalação elétrica, promovendo uma redução das perdas da unidade consumidora. É encarado como um investimento para obtenção de ganhos de capital.

Posteriormente, as avaliações foram feitas para grupos de consumidores que tivessem suas instalações afetadas pela mesma redução de perdas utilizada para a análise em consumidor individual.

3.3.1. Consumidor individual

Os valores das perdas para as análises iniciais realizadas no trabalho aqui mostrado foram considerados como valores típicos das três instalações e uniformes mês a mês. Logo, de toda energia tarifada em um mês, a fração referente a cada perda típica é a energia gasta com aquecimento de cabos e de demais componentes da instalação.

As perdas em cada tipo de instalação foram calculadas para um ano de consumo e foram dadas como frações dos consumos (mensal e/ou anual) por categoria de consumo mensal. É dada pelo produto da perda percentual de cada tipo de instalação pelo consumo de energia elétrica anual medido no medidor de entrada da unidade e tarifado, classificada e baseada pelo consumo mensal. Não incorporam efeito da sazonal e são admitidas constantes ao longo do ano.

O complemento do trabalho [8] levou a outro panorama de imóvel. Dos 628 imóveis considerados 74% são de casas com áreas úteis compreendidas na faixa de 50m² a 200m². :Dados de pesquisas levam também se considerar a maior ocorrência deste tipo de imóvel, porém a análise feita inicialmente é representativa na medida em que os dados obtidos inicialmente podem ser transpostos para os imóveis residenciais de maior incidência na região sudeste e na cidade de São Paulo, pela própria conceituação utilizada para contabilização das perdas: uma fração da energia elétrica consumida, medida pela concessionária mensalmente e admitida constante para efeito de contabilização anual e também se levando em conta as avaliações realizadas nas perdas totais das instalações para diferentes utilizações horárias das cargas nos circuitos.

Foram escolhidas 10 categorias de consumidores em função do consumo mensal de energia elétrica: 100kWh/mês, 150kWh/mês, 200kWh/mês, 250kWh/mês, 300kWh/mês, 350kWh/mês, 400kWh/mês, 450kWh/mês, 500kWh/mês e 550kWh/mês que podem ser aplicadas ao consumidor habitante do imóvel típico considerado. A categoria 50kWh/mês represente um consumo mensal extremamente baixo e foi descartada na análise e poderá ser visto que é inviável a execução da substituição pela observação do gráfico 2, adiante, que já mostra a inviabilidade para consumidores de 100kWh/mês.

O período de análise escolhido é igual à vida útil típica de uma instalação elétrica residencial, 30 anos para as três instalações. Este valor de 30 anos parece razoável e admitido como plausível entre profissionais do setor, principalmente no tocante ao material isolante Policloreto de Vinila (PVC) utilizado nos fios e cabos elétricos, embora sejam conhecidos os efeitos da temperatura (entre outros) sobre os materiais isolantes. Algumas indicações de valores, em anos de vida útil, são encontrados em trabalhos que mostram estudos específicos de materiais isolantes, mas não das instalações elétricas.

As análises, em primeira vista, tiveram como objetivo considerar a substituição de uma instalação por outra, como decisão individual do consumidor para efeitos de ganho financeiro sobre a economia de energia perdida no aquecimento da instalação. Foi escolhida para análise, a substituição de uma “Instalação TIPO 3” para uma “Instalação TIPO 1”, o que representa a maior diferença nas perdas. Foram consideradas análises em três épocas distintas, nos anos de 2003, 2005, e 2006, com os respectivos preços dos materiais, da mão de obra e da energia elétrica.

Os custos referentes a cada tipo de instalação levaram em conta: preços dos fios e cabos com impostos obtidos em consulta em empresa varejista na cidade de São Paulo; valores de mão de obra para dos serviços de execução/adequação da instalação coletado através de consultas verbais feitas a profissionais eletricitas.

Os preços da energia elétrica foram admitidos como aqueles calculados dividindo-se o valor total da conta fatura emitida pela concessionária (incluindo impostos, taxas e contribuições) pela quantidade de energia mensal medida; em um imóvel residencial de área de 80m² na cidade de São Paulo. As análises consideram valores distintos dos preços de energia elétrica, progressivos geometricamente à razão de 1,105 (de 0,43R\$/kWh a 0,86R\$/kWh), porém não contemplam a evolução ao longo do tempo, durante o período de análise de 30 anos adotado, dos preços adotados para energia elétrica.

Foram utilizadas nas análises, as figuras de mérito aplicáveis para análises econômicas de investimentos e de eficiência energética [19], a seguir listadas e explicadas:

- Tempo de Simples Retorno (TSR):

É a razão entre o investimento inicial adicional e a economia dos custos da energia no primeiro ano de operação. Simplesmente calcula o retorno do investimento em termos da energia economizada e não leva em conta o valor do dinheiro no tempo. Fornece uma aproximação inicial para a substituição proposta e é expresso por:

$$TSR = \frac{\text{(DIFERENÇA DE PREÇOS DAS INSTALAÇÕES)}}{\text{(ECONOMIA ANUAL DE ENERGIA)}}$$

- Tempo de Retorno Descontado (TRD):

É uma extensão do TSR (Tempo de Simples Retorno), porém leva em conta o período de análise e o valor do dinheiro (através do período de análise em “N” anos e do Fator de Recuperação de Capital para “N” anos e taxa de desconto “r”), fornece uma noção mais próxima da realidade sob ambientes com elevadas taxas de desconto e é expresso por:

$$TRD = TSP \times (\text{período de análise em } N \text{ anos}) \times FRC(r;N)$$

- Taxa Interna de Retorno (TIR):

É definida como o valor de uma taxa de desconto para a qual dois investimentos têm o mesmo valor presente.

- Custo da Energia Conservada (CEC):

É uma medida de eficiência de custo do investimento realizado, como sendo o custo equivalente para uma unidade de energia conservada. Leva em conta o valor do dinheiro no tempo e a vida útil, através do Fator de Recuperação de Capital (FRC) e é expressa por:

$$CEC = FRC(r;N) \times \frac{\text{(DIFERENÇA DE PREÇOS DAS INSTALAÇÕES)}}{\text{(ECONOMIA ANUAL DE ENERGIA)}}$$

- Custo do Ciclo de Vida (CCV):

É o valor presente de todos os gastos relativos à determinada instalação. Permite a comparação direta entre as alternativas de instalações que de mesma vida útil, sendo a alternativa de menor CCV aquela que apresenta maior eficiência de custos. É calculado para cada instalação e é expresso por:

$$CCV = \frac{(PREÇO DA INSTALAÇÃO) + [(PREÇO DA ENERGIA) \times (ENERGIA CONSUMIDA)]}{FRC(r;N)}$$

Foram feitas análises para várias taxas de desconto, mas deve se salientar que o valor de 12%aa é o valor mínimo recomendado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em seu documento específico de elaboração de programas de eficiência energética [20].

A Tabela 9 mostra os valores adotados nas análises para os respectivos anos.

Instalação	Material (com impostos)	Mão de Obra (sem impostos)	Total (material + mão de obra)	Energia elétrica (R\$/kWh)	Mês/Ano
TIPO 1	R\$ 348,00	R\$ 300,00	R\$ 648,00	R\$0,33/kWh	Outubro/2003
TIPO 3	R\$ 316,00	R\$ 300,00	R\$ 616,00		
TIPO 1	R\$ 550,38	R\$ 500,00	R\$ 1050,00	R\$0,45/kWh	Junho/2005
TIPO 3	R\$ 440,00	R\$ 500,00	R\$ 940,00		
TIPO 1	R\$ 782,00	R\$ 500,00	R\$ 1282,00	R\$0,43/kWh	Agosto/2006
TIPO 3	R\$ 550,00	R\$ 500,00	R\$ 1.050,00		

Tabela 9 - Custos obtidos para execução dos serviços de execução/adequação das instalações elétricas propostas.

3.3.1.1. Análises com valores referentes ao ano de 2003

Os gráficos 2 e 3 indicavam o foco inicial de interesse nos consumidores das categorias 200kWh/mês, 250kWh/mês, 300kWh/mês, 350kWh/mês e 400kWh/mês, pois mostravam tempos de retorno abaixo do período de vida útil da instalação.

Os tempos de simples retorno devem ser tomados com reservas e melhor analisados levando-se em conta o valor do dinheiro no tempo através do TRD (Tempo de Retorno Descontado).

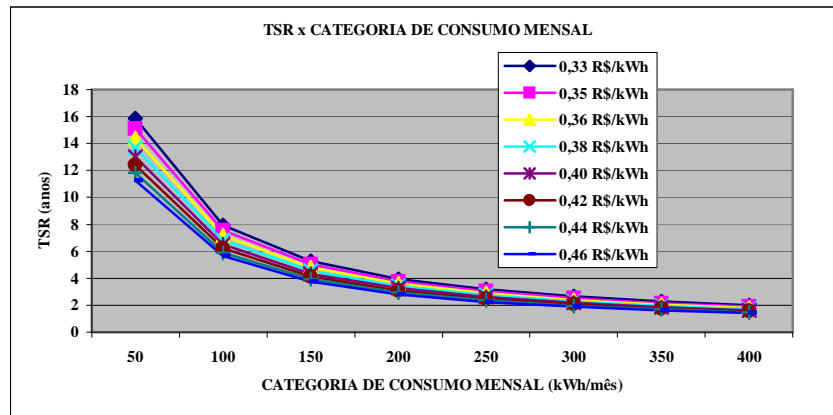


Gráfico 2 - Tempos de Simples Retorno em função das categorias de consumo mensais e das tarifas de energia elétrica. (Referência Outubro/2003).

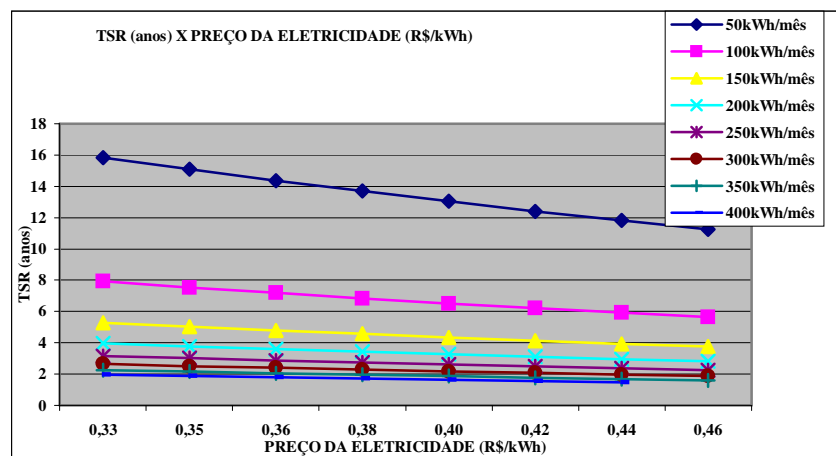


Gráfico 3 - Tempos de Simples Retorno em função das tarifas de energia elétrica e das categorias de consumo mensais (Referência Outubro/2003).

Do gráfico 4 poder-se-ia reiterar o foco da análise nos consumidores das categorias 200kWh/mês, 250kWh/mês, 300kWh/mês, 350kWh/mês e 400kWh/mês, porém os tempos de retorno máximos chegavam aos 30 anos (vida útil da instalação) e ao mínimo em torno de 15 anos. Os consumidores das faixas 50kWh/mês, 100kWh/mês e 150kWh/mês apresentavam tempos de retorno maiores que a vida útil da instalação.

O gráfico 5 reiterava a menor sensibilidade ao aumento de custo para os consumidores das categorias 200kWh/mês, 250kWh/mês, 300kWh/mês, 350kWh/mês e 400kWh/mês, pelo menos para análise através dos tempos de retorno (simples e/ou descontado).

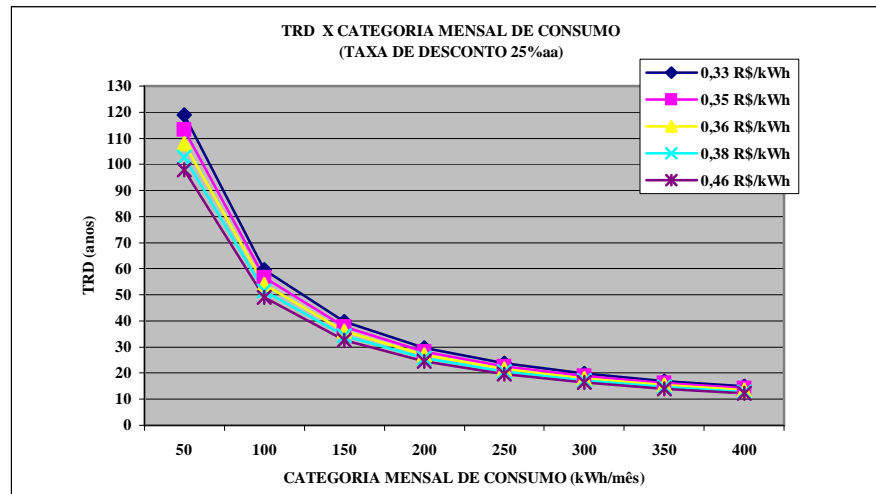


Gráfico 4 - Tempos de Retorno Descontado em função das categorias de consumo mensais de das tarifas de energia elétrica (Referência Outubro/2003).

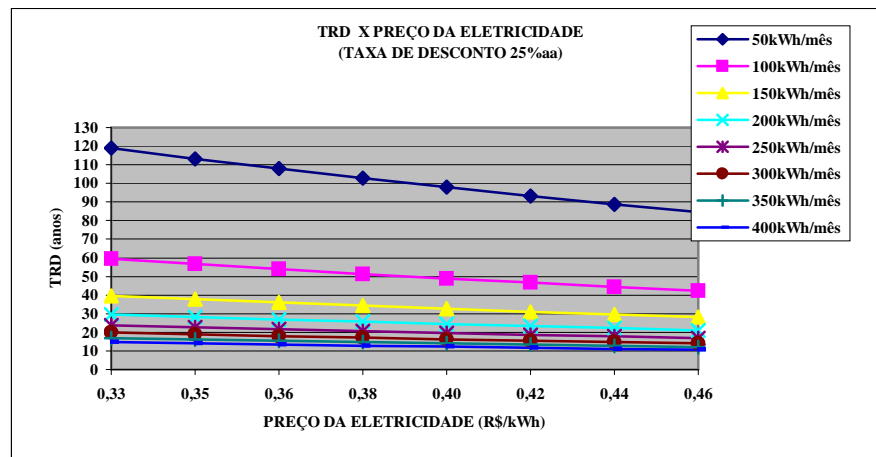


Gráfico 5 - Tempos de Retorno Descontado em função das tarifas de energia elétrica e das categorias de consumo mensais de (Referência Out/2003).

Do gráfico 6 notava-se que os valores da TIR atraentes ocorriam para os consumidores das categorias 250kWh/mês, 300kWh/mês, 350kWh/mês e 400kWh/mês. Isto reiterava as análises anteriores, mas já restringia o número de categorias.

Assim, até aqui, notava-se que a substituição estudada seria interessante para os consumidores de maior consumo mensal.

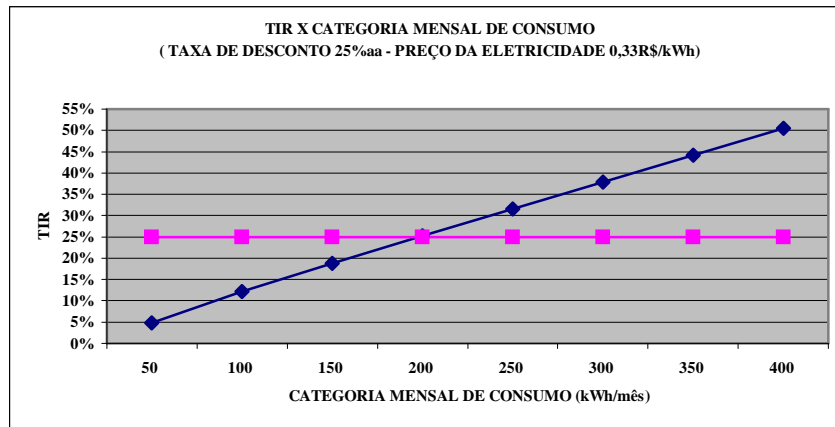


Gráfico 6 - Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensais para o preço da energia elétrica de 0,33R\$/kWh (Referência Outubro/2003).

O gráfico 7 já indicava, claramente, que valores de taxas de desconto menores que 12%aa seriam os mais indicados para serem consideradas nas análises, além de reforçar o enfoque nos consumidores de maiores consumos mensais.

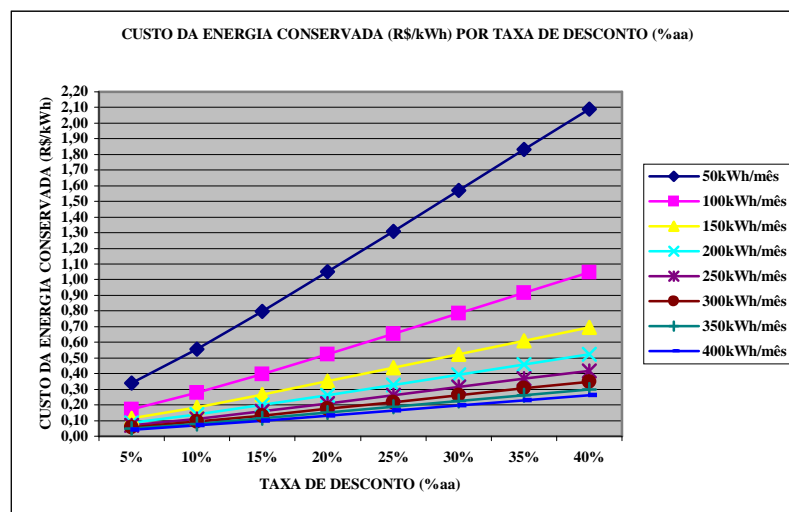


Gráfico 7 - Custo da Energia Conservada em função das taxas de desconto e das categorias de consumo mensais de (Referência Outubro/2003).

As análises dos Custos dos Ciclos de Vida (CCV), indicadas no gráfico 8, mostravam a primeira inversão nos consumidores de 150kWh/mês. Poderia ser um indicador de qual categoria seria inicialmente beneficiada pela substituição proposta, porém outras figuras de mérito indicavam que nesta categoria (150kWh/mês) não era interessante executar a substituição.

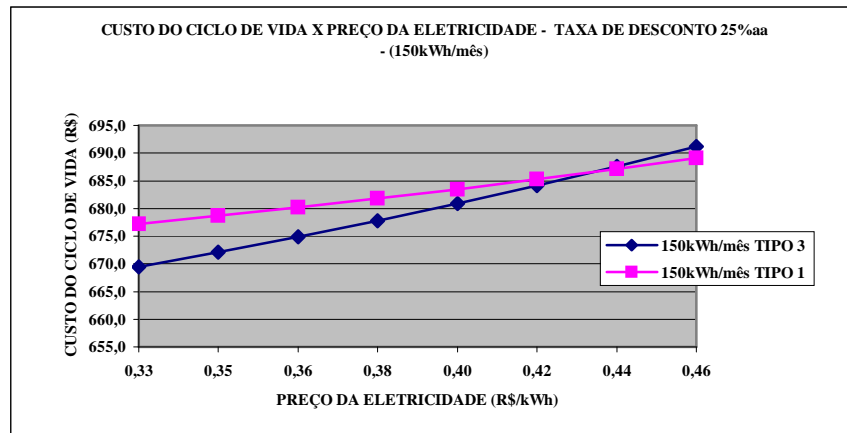


Gráfico 8 - Custo do Ciclo de Vida em função do preço da eletricidade para consumidores da categoria 150kWh/mês (Referência Outubro/2003).

3.3.1.2. Análises com valores referentes ao ano de 2005

Do gráfico 9 poder-se-ia inicialmente deduzir, em termos de tempo retorno, que a substituição estudada parecia ser mais aconselhável para os consumidores das categorias 350kWh/mês e 400kWh/mês (retorno entre 4 e 6 anos).

Do gráfico 10 notava-se que a substituição estudada era mais sensível ao aumento no preço da eletricidade para os consumidores da categoria 50kWh/mês, mas mantinha o tempo de retorno demasiadamente longo, entre 40 e 28 anos. Para os consumidores das categorias 200kWh/mês, 250kWh/mês, 300kWh/mês, 350kWh/mês e 400kWh/mês a sensibilidade era bem menor, porém mantinham o tempo de retorno, então menor, em uma faixa entre 20 e 6 anos.

Como aproximação inicial era possível focalizar e analisar os consumidores das categorias 350kWh/mês e 400kWh/mês.

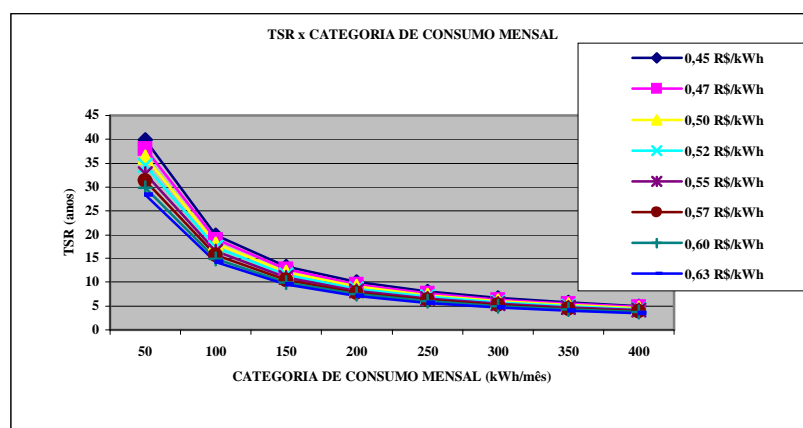


Gráfico 9 - Tempo de Simple Retorno em função da categoria mensal de consumo e do preço da eletricidade (Referência Julho/2005).

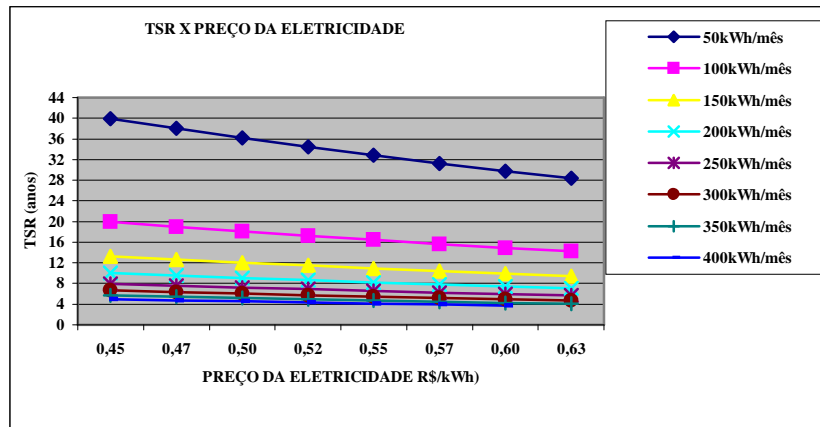


Gráfico 10 - Tempo de Simples Retorno em função do preço da eletricidade e da categoria mensal de consumo (Referência Julho/2005).

Do gráfico 11 reiterava-se o foco da análise nos consumidores das categorias 350kWh/mês e 400kWh/mês, porém o tempo de retorno máximo chegava aos 30 anos (vida útil da instalação) ao mínimo em torno de 20 anos. Os consumidores das faixas 50kWh/mês, 100kWh/mês, 150kWh/mês, 200kWh/mês, 250kWh/mês e 300kWh/mês apresentam tempos de retorno maiores que a vida útil da instalação.

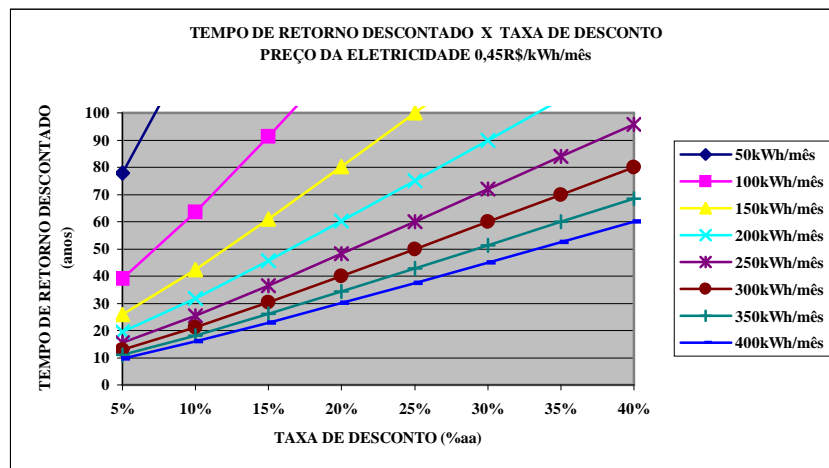


Gráfico 11 - Tempo de Retorno Descontado em função da taxa de desconto e da categoria de consumo mensal para preço da eletricidade de 0,45R\$/kWh (Referência Julho/2005).

O gráfico 12 reiterava a menor sensibilidade ao aumento de custo para os consumidores das categorias de maior consumo, pelo menos para análise através dos tempos de retorno (simples e/ou descontado).

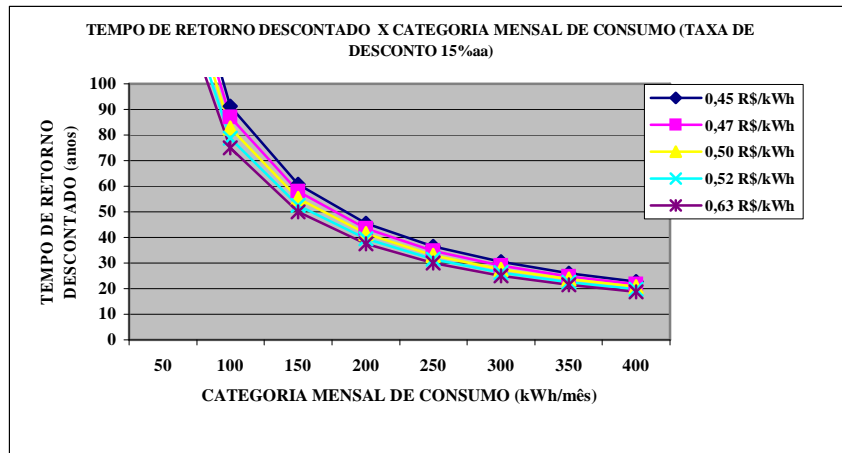


Gráfico 12 - Tempo de Retorno Descontado em função da categoria de consumo mensal e do preço da eletricidade para taxa de desconto de 12%aa (Referência Jul/2005).

Do gráfico 13 era possível notar que os valores da TIR atraentes ocorriam para os consumidores das categorias 350kWh/mês e 400kWh/mês. Isto reitera as análises anteriores e a substituição estudada reforçava interesse nos consumidores de maior consumo mensal.

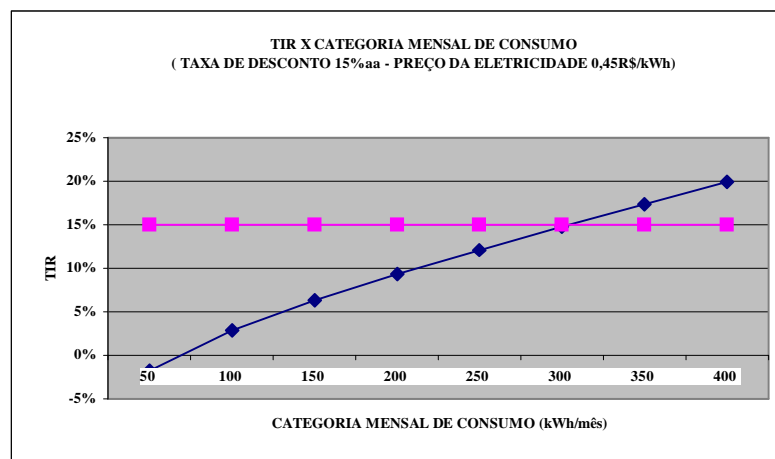


Gráfico 13 - Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensal, para preço da eletricidade de 0,45R\$/kWh/mês (Referência Jul/2005).

Nas categorias 350kWh/mês e 400kWh/mês havia valores abaixo do custo da eletricidade considerado (0,45R\$/kWh) mas com relações pouco efetivas, de 13% a 24% indicando pouco interesse do ponto de vista do consumidor individual em tomar a iniciativa de efetuar uma substituição em uma instalação existente. Os gráficos 14 e 15 ilustram esta situação.

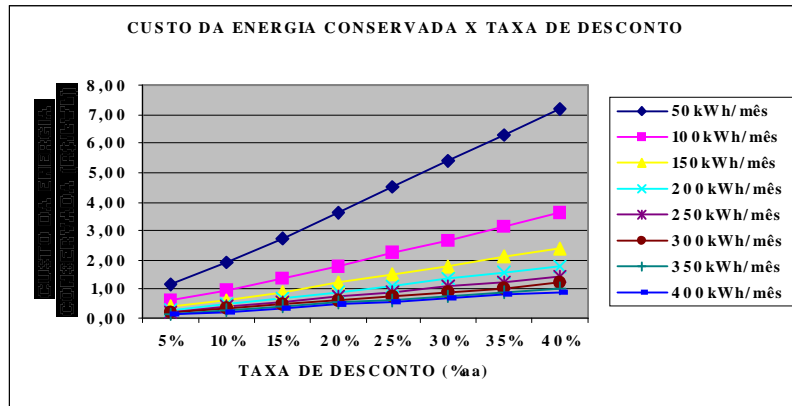


Gráfico 14 - Custo da Energia Conservada em função da taxa de desconto da categoria de consumo mensal e para preço da eletricidade de 0,45R\$/kWh/mês (Referência Julho/2005).

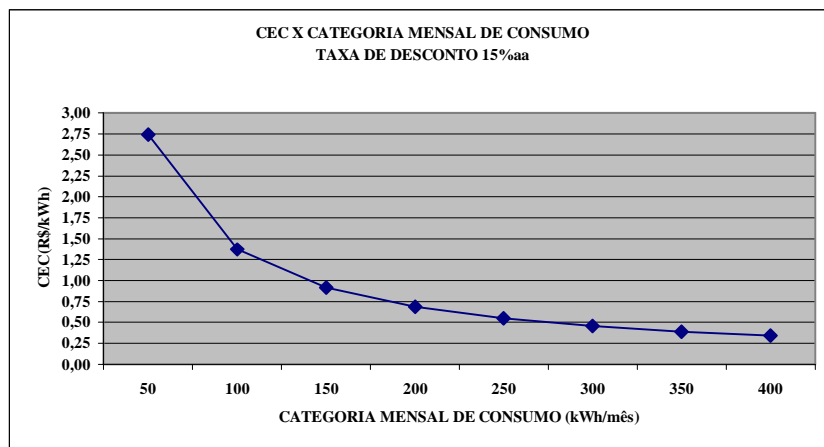


Gráfico 15 - Custo da Energia Conservada em função da categoria de consumo mensal e para preço da eletricidade de 0,45R\$/kWh/mês (Referência Jul/2005).

Sob a ótica do CCV, o gráfico 16 mostra a primeira inversão nos valores ocorria na categoria de 250kWh/mês para uma tarifa maior (0,55R\$/kWh) do que a adotada para o momento de referência (Julho/2005). Mas, como visto anteriormente nas outras análises, representa uma situação sem interesse na substituição da instalação.

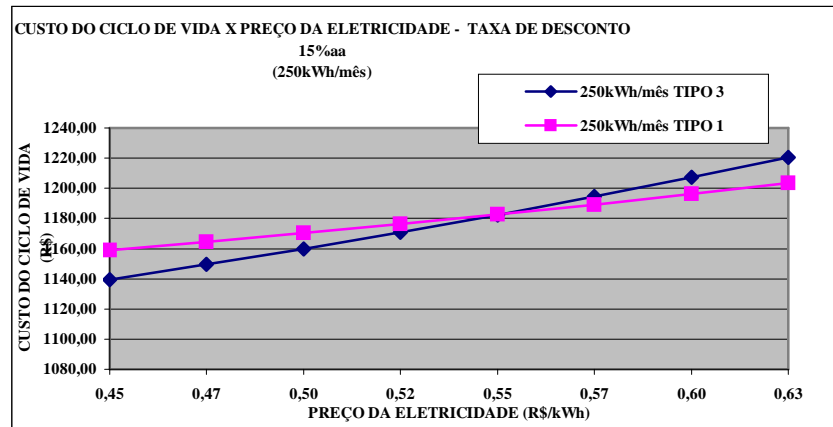


Gráfico 16 - Custo da do Ciclo de Vida em função do preço da eletricidade para categoria de consumo mensal de 250kWh/mês (Referência Jul/2005).

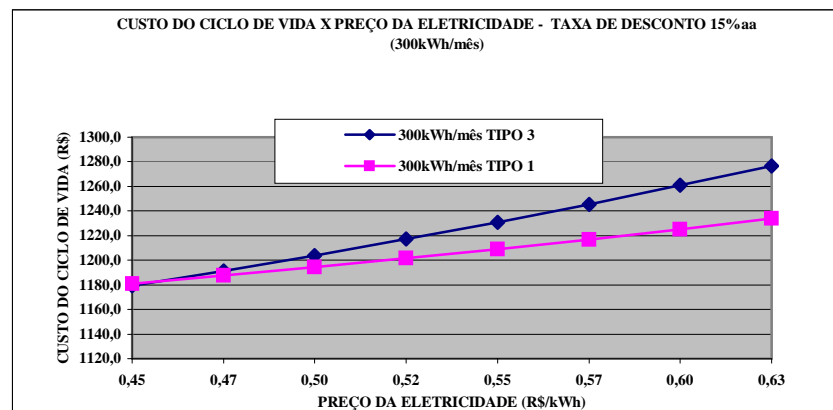


Gráfico 17 - Custo da do Ciclo de Vida em função do preço da eletricidade para categoria de consumo mensal de 300kWh/mês (Referência Jul/2005).

Continuando sob a ótica do CCV, ocorria inversão nos valores na categoria de 300kWh/mês para a tarifa adotada para o momento de referência (jul/2005). E como visto, anteriormente nas outras análises, se inicia a região de interesse para a substituição, como mostra o gráfico 17.

3.3.1.3. Análises com valores referentes ao ano de 2006

Calculados os indicadores das figuras de mérito para as condições delineadas, obteve-se, já pelo Tempo de Simples Retorno (TSP), uma situação inicial de avaliação da viabilidade de execução da substituição proposta mostrando que os consumidores de interesse encontram-se nas faixas acima de 300kWh/mês, para os quais os TSP estão dentro do período de análise (vida útil da instalação) e mostrado no Gráfico 18.

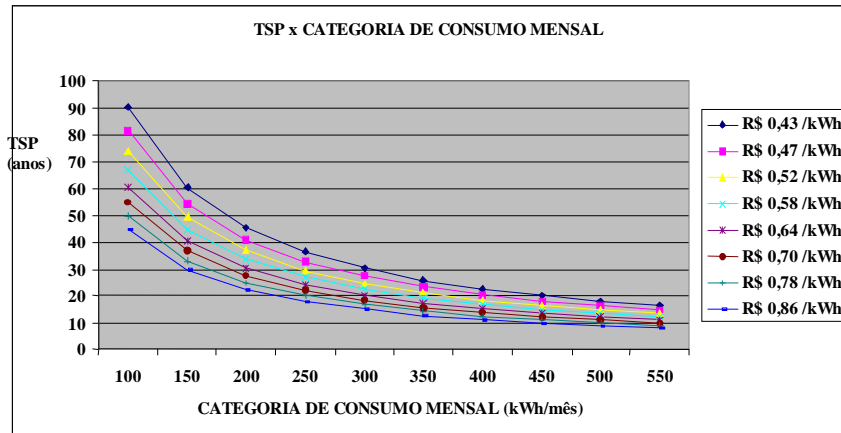


Gráfico 18 - Tempos de Simples Retorno em função das categorias de consumo mensais e das tarifas de energia elétrica (Referência Agosto/2006).

Antes de se avançar nas análises com as demais figuras de mérito, já é de se supor fortemente que a substituição proposta se mostrará inviável sob a ótica do consumidor individual, pois ao se calcular os Tempos de Retorno Descontados (TRD) é levado em conta o custo do dinheiro (taxas de desconto ou de interesse).

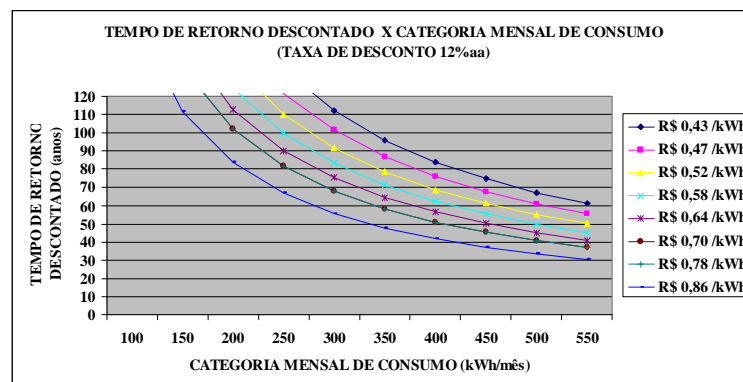


Gráfico 19 - Tempos de Retorno Descontados em função das categorias de consumo mensais e das tarifas de energia elétrica, para a taxa de desconto adotada de 12%aa (Referência Agosto/2006).

De fato, o gráfico 19 mostra, que até mesmo para o valor da tarifa de energia elétrica do dobro da praticada atualmente, não é viável se executar a substituição.

A partir deste ponto, as análises das demais figuras de mérito são meramente ilustrativas e os gráficos 20 e 21 denotam que o interesse se situa para consumidores da categoria 550kWh/mês, porém dobrado o custo da eletricidade. Isto sugeria que novas análises deveriam ser feitas ou pela redução do custo do investimento inicial atingindo consumidores das faixas de menores consumos que 550kWh/mês ou envolvendo grupos de consumidores.

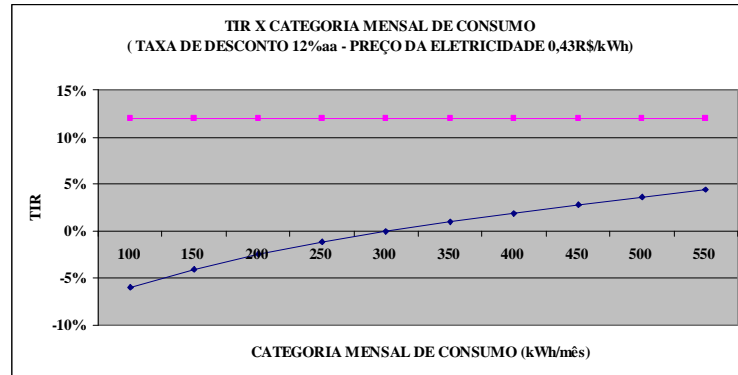


Gráfico 20 - Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,43/kWh e para a taxa de desconto adotada de 12%aa (Referência Agosto/2006).

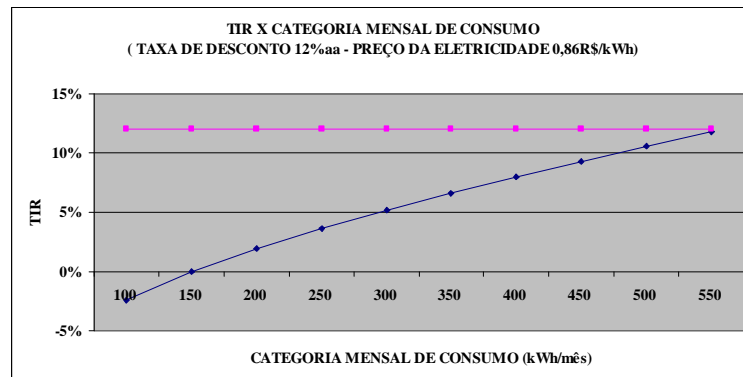


Gráfico 21 - Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,86/kWh e para a taxa de desconto adotada de 12%aa (Referência Agosto/2006).

Adicionada, a análise do Custo da Energia Conservada (CEC) mostrada no gráfico 22, evidenciou-se inviabilidade da substituição, pois o custo de se conservar uma unidade de energia era maior do que custo que se paga pra consumir esta unidade de energia.

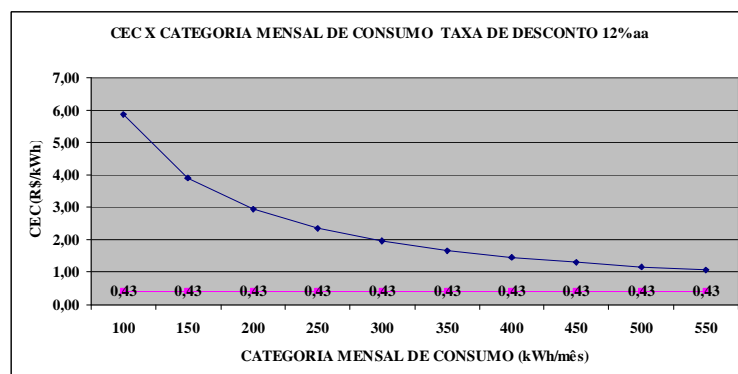


Gráfico 22 - Custo da Energia Conservada em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,43/kWh e para a taxa de desconto adotada de 12%aa.

Uma nova estimativa é feita admitindo uma hipotética redução, pela metade, dos custos dos investimentos iniciais para a substituição proposta e seus efeitos são mostrados nos gráficos 23, 24 e 25.

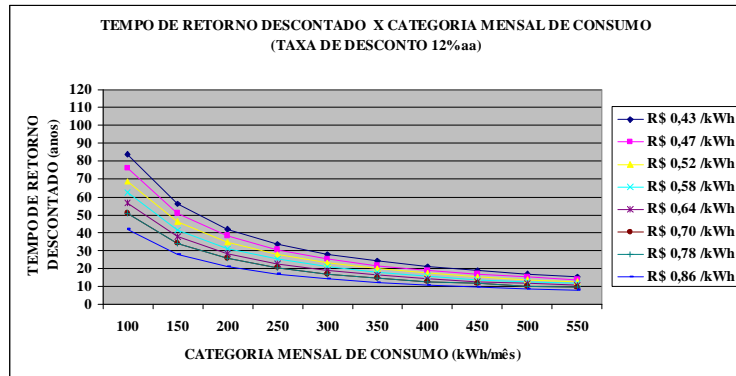


Gráfico 23 - Tempos de Retorno Descontados em função das categorias de consumo mensais e das tarifas de energia elétrica, para a taxa de desconto adotada de 12%aa e com investimentos iniciais reduzidos pela metade.

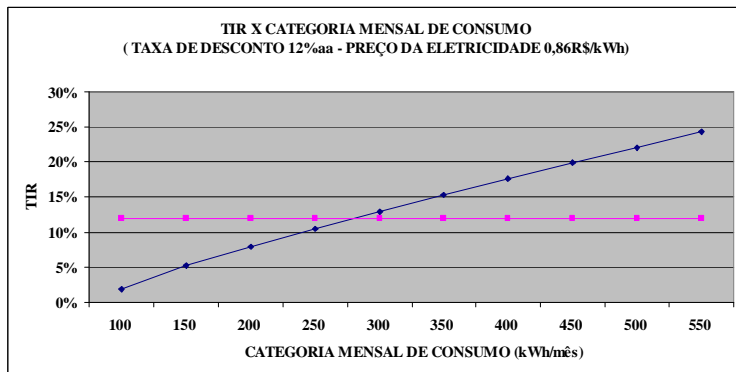


Gráfico 24 - Taxa Interna de Retorno em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,86/kWh, para a taxa de desconto adotada de 12%aa e com investimentos iniciais reduzidos pela metade.

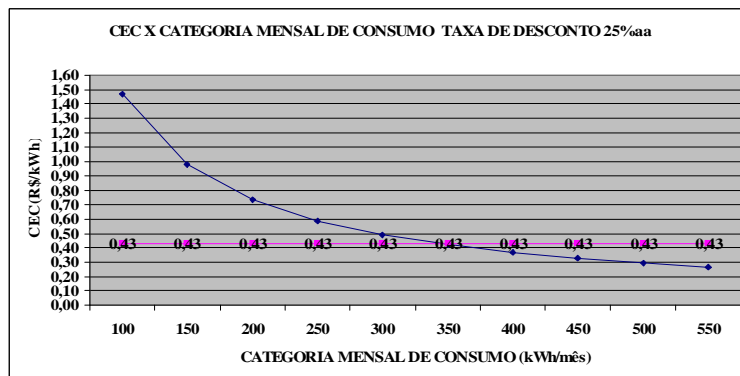


Gráfico 25 - Custo da Energia Conservada em função das categorias de consumo mensais para tarifa de energia elétrica de R\$0,43/kWh, para a taxa de desconto adotada de 12%aa e com investimentos iniciais reduzidos pela metade.

Deste modo, é possível deduzir que a promoção da redução das perdas consideradas não é atrativa aos olhos do consumidor que individualmente a promovesse. Há investimentos que proporcionam maiores ganhos de capital.

Indica o enfoque de estudos mais detalhados sobre as perdas em circuitos de entrada e ramais alimentadores, que concentram as correntes de outros circuitos terminais, e contribuem com 52% em média sobre a perda total da instalação. Sugere que sejam avaliados os impactos sobre um grupo de consumidores.

É importante considerar que modificações nas instalações elétricas levarão a acréscimos nos materiais necessários, pois há grande probabilidade de que as instalações necessitem readequação dos condutores de proteção e de dispositivos de proteção contra choque elétrico, sobretensões e sobrecorrentes e sua adequação às prescrições da norma técnica [2].

Embora tenha sido considerada a hipótese de redução pela metade do investimento inicial da instalação, que tem efeito ilustrativo para efeito de eventual adoção de incentivo para a substituição, é necessário levar em conta que o material predominante utilizado nos fios e cabos elétricos é o Cobre que tem seu preço mundial estabelecido em bolsa de negócios, a London Metal Exchange (LME) e o gráfico 26 mostra a evolução brutal de seus preços, com diretos reflexos sobre os preços dos produtos manufaturados a partir deste metal.

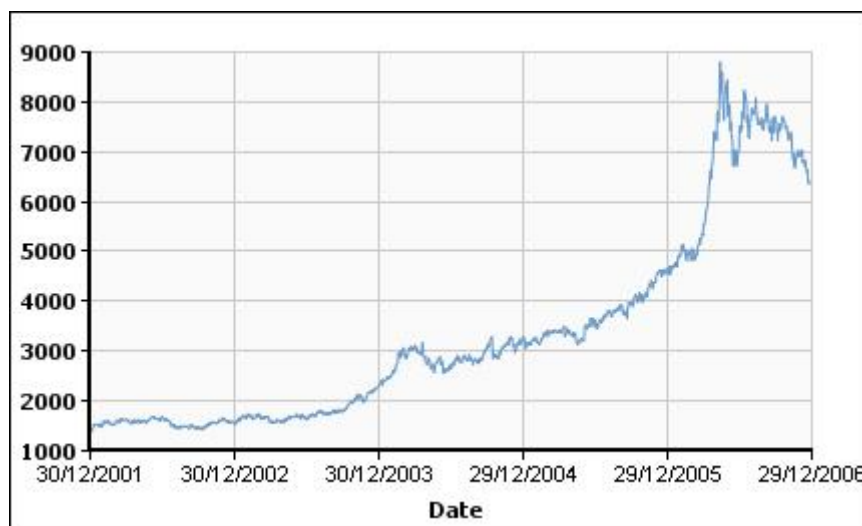


Gráfico 26 - Preços do Cobre em US\$/tonelada, para contratos a vista comercializados na LME, no período de 30/12/2001 a 30/12/2006.

O preço do Cobre pode, por si, levar à tentação pura e simples de se economizar em fios e cabos de instalações, seja por parte de projetistas, de instaladores e de consumidores finais, mas o estabelecimento de adoção de compulsória de norma técnica específica de

instalação [2], a existência de constantes fóruns de discussões de profissionais em encontros e congressos indica uma pressão razoável para não se praticar esta falsa economia.

3.3.2. Grupos de consumidores

Uma abordagem adicional para esta questão pode ser feita sobre um grupo de consumidores em um sistema elétrico regional, admitindo a substituição de instalações (com as respectivas diminuições das perdas) executada por um grande número de consumidores, dado que o incentivo sob uma ótica individual de consumidor não se mostra atrativo.

Assim, optou-se por fazer avaliações e considerações, inicialmente apenas para a cidade de São Paulo e posteriormente incorporar todas as cidades na área de concessão da empresa distribuidora de energia. A Tabela 10 mostra os dados referentes aos consumidores residenciais, para o ano de 2005.

Município	Quantidade total de ligações residenciais	% do total de ligações residenciais da concessionária	Faixa de consumo mensal predominante [kWh/mês]	Quantidade de ligações	% de ligações no município na faixa de consumo mensal predominante
Barueri	66.402	1,4%	101 - 200	27.835	41,9%
Cajamar	16.504	0,3%	101 - 200	7.375	44,7%
Carapicuíba	100.924	2,1%	101 - 200	45.158	44,7%
Cotia	56.413	1,2%	101 - 200	22.390	39,7%
Diadema	103.347	2,1%	101 - 200	45.743	44,3%
Embu	56.492	1,2%	101 - 200	23.198	41,1%
Embú-Guaçu	11.855	0,2%	101 - 200	4.815	40,6%
Itapecerica Serra	29.834	0,6%	101 - 200	12.032	40,3%
Itapevi	40.137	0,8%	101 - 200	17.559	43,7%
Jandira	28.017	0,6%	101 - 200	12.637	45,1%
Juquitiba	8.073	0,2%	101 - 200	3.022	37,4%
Mauá	105.272	2,2%	101 - 200	47.156	44,8%
Osasco	193.056	4,0%	101 - 200	75.776	39,3%
Pirapora Bom Jesus	3.215	0,1%	101 - 200	1.413	44,0%
Ribeirão Pires	27.525	0,6%	101 - 200	10.648	38,7%
Rio Gde da Serra	8.607	0,2%	101 - 200	3.882	45,1%
Santana Parnaíba	27.000	0,6%	101 - 200	8.801	32,6%
São Bernardo do Campo	216.663	4,5%	101 - 200	81.767	37,7%
São Caetano do Sul	53.175	1,1%	101 - 200	17.709	33,3%
São Lourenço Serra	3.212	0,1%	101 - 200	1.329	41,4%
São Paulo	3.398.074	70,2%	101 - 200	1.254.549	36,9%
Sto. André	208.597	4,3%	101 - 200	77.237	37,0%
Taboão da Serra	62.776	1,3%	101 - 200	25.911	41,3%
Vargem Gde Pta	12.015	0,2%	101 - 200	4.748	39,5%
Totais	4.837.185	100,0%	---	1.832.690	37,9%

Tabela 10 - Características dos consumidores na área de concessão da empresa AES Eletropaulo. (referência: ano 2005).

Da Tabela 10 é possível notar:

- a predominância da quantidade de consumidores residenciais (37,9% do total de consumidores residenciais), em todos os municípios, que se situam na faixa de consumo mensal de 101 a 200kWh/mês, ou seja, um total de 1.832.690 consumidores em toda a área de concessão da empresa;

- a cidade de São Paulo, responde por 70,2% de todas as ligações residenciais da empresa concessionária, ou seja, um total de 3.398.074 consumidores;

- na cidade de São Paulo, especificamente, os consumidores que se situam na faixa de consumo mensal de 101 a 200kWh/mês, somam um total de 1.254.549 consumidores.

Destes dados destacados é possível se concentrar inicialmente em quantidades de consumidores que optem pela execução de substituição de instalações elétricas, com suas respectivas diminuições nas perdas por aquecimento destas instalações, e avaliar o impacto desta medida sobre a empresa concessionária de energia elétrica, considerando as seguintes condições de contorno:

- Concentrar as estimativas sobre os consumidores de maior incidência, aqueles na faixa de 101 a 200kWh/mês;

- Sobre os valores típicos de perdas, adotados e mostrados nas Tabelas 5, 6 e 7, estimou-se um valor médio de diminuição de perdas por aquecimento nas instalações de 40% obtidos pela adequação de uma instalação;

- adotar que blocos de instalações residenciais, correspondentes às ligações da empresa concessionária de energia elétrica, atinjam a diminuição típica dotada;

- calcular as quantidades de energia e as usinas equivalentes, nestes cenários adotados somente para a cidade de São Paulo e para todas as cidades da área de concessão da empresa concessionária de fornecimento de energia elétrica.

Quantidade de ligações afetadas por adequações nas instalações			Energia economizada (MWh/ano)	Potência de usina equivalente(MW) = = Energia economizada / 720
313.637	25%	6%	4.900	6,81
627.275	50%	13%	9.799	13,61
940.912	75%	19%	14.699	20,42
(SP/SP) 1.254.549	100%	26%	19.598	27,22
1.832.690	-	37,9%	28.630	39,76
4.837.185	-	100%	97.465	135,37

Tabela 11 - Estimativas de economia de energia elétrica e de consumidores atingidos pela substituição proposta na área de concessão da empresa AES Eletropaulo. (Referência: Ano 2005)

A tabela 11 mostra os valores médios de energia elétrica economizada em função das quantidades de ligações afetadas pelas adequações das instalações e calcula as respectivas usinas equivalentes para fator de carga 0,5 (correspondente a uma usina funcionando na potência máxima durante meio ano, ou metade da potência máxima durante todo o ano). Esses valores podem orientar decisões de investimento por parte de empresas concessionárias.

Não são abordadas neste trabalho as análises econômicas e financeiras de conveniência e interesse da empresa concessionária de energia, que de algum modo investisse montantes financeiros para evitar as perdas mostradas. Mas, mostram que a adoção da norma técnica de instalações é sempre conveniente e interessante, pois há outros fatores envolvidos na operação das instalações que a norma técnica determina e que são de interesse da operação do sistema elétrico da empresa concessionária, como medidas de proteção e segurança elétrica do imóvel do consumidor, que podem colaborar para a operação mais regular do sistema elétrico. Isto pode ser visto nas especificações e exigências técnicas que as empresas concessionárias estabelecem, baseado nas normas técnicas vigentes no país para a entrega de energia elétrica aos consumidores, ainda que não seja imperativo que a unidade consumidora, internamente, deva demonstrar que a instalação esteja adequada à norma técnica de instalações elétricas [2].

As perdas de energia aqui mostradas acabam sendo faturadas pela empresa concessionária. Assim, é de se supor que o foco sobre o consumidor possa ser deslocado para outras partes das instalações da empresa concessionária, como condutores e conexões de ramais de distribuição de baixa tensão, transformadores de distribuição, medidores de energia e perdas comerciais incluindo o furto de energia. Todavia, dependendo do tipo e localização da medição de energia do consumidor, estas perdas podem não ser faturadas e arcadas pela empresa concessionária.

Os valores apresentados das perdas mostradas podem ser encarados como pequenos e uma visão mais ampliada e com alguma contabilização é necessária.

Assim, são mostrados na tabela 12 a seguir, valores para o todo o país considerando-se quantidades de novas ligações residenciais e estimativas das perdas e dos custos levando em conta unidades de consumo que não atendam a norma técnica de instalações e utilizando-se dados fornecidos pelo MME EPE [29] [30], como o consumo médio residencial, o total de consumidores residenciais e a taxa média anual de novas ligações do Brasil. A perda adicional se refere à perda de energia decorrente da diferença entre as novas instalações assumidas como executadas conforme a norma técnica (1,29%) e aquelas instalações admitidas pela pesquisa (2,08%). Foram considerados três preços da energia elétrica que podem representar

três pontos de vista: o das concessionárias, o dos consumidores com preço da tarifa da energia pago pelos consumidores e o valor adotado como preço da energia para as análises dos consumidores individuais.

Consumo médio Brasil 2005/2006 (kWh/mês)	Total de consumidores residenciais	Taxa média anual de novas ligações	Perda adicional anual para novas residências cujo projeto não segue a norma (GWh)	Custo da perda adicional anual para novas residências cujo projeto não segue a norma (R\$)		
				124 R\$/MWh	283 R\$/MWh	450 R\$/MWh
141,8	50700000	3,5%	23,9	2.957.891,62	6.750.672,00	10.257.204,81

Tabela 12 - Estimativas das perdas e custos para novas ligações de consumidores residenciais no Brasil, com dados referentes ao intervalo 2005 a 2006.

Análises mais detalhadas deverão ser feitas em estudo futuro para a definição do valor a ser utilizado da tarifa de energia, que contemple de modo mais real e prático os enfoques.

Há trabalhos [9] [31] que fazem esta contabilização com outro enfoque, considerando: o preço da tarifa de energia elétrica de 0,24R\$/kWh, 60 % do total de ligações considerando as existentes mais o incremento anual, perda total da ligação (3% de perda por ligação) e consumo mensal de cada ligação maior do que valor médio do país (foi utilizado a energia diária de 12460Wh). Levam a valores maiores de perdas, ou prejuízo estimado. Isto indica que há outros modos de se abordar a questão e a necessidade de se determinar premissas consolidadas para a execução das análises.

Além do enfoque dos prejuízos monetários e financeiros, quer pela parte dos consumidores quer pela parte das empresas concessionárias, podem ser também estimados os impactos ambientais decorrentes do acréscimo de perdas encontrado. Para tal, indica-se em uma primeira vista a utilização dos ciclos de vida dos materiais (PVC e Cobre) empregados no acréscimo dos fios e cabos utilizados e também das instalações de geração adicional, ou retirada, da energia necessária para suprir as perdas.

3.4. Considerações sobre linhas elétricas pré-fabricadas

Outro tipo de linha elétrica que pode ser utilizada em instalações elétricas residenciais é aquela conhecida como “barramento blindado”, ou formalmente “linha elétrica pré-fabricada” que tem suas especificações técnicas regidas por norma técnica brasileira [18]. Este tipo de linha elétrica é utilizado para a condução de correntes elétricas elevadas, de (100A a 6000A), tipicamente encontradas nas prumadas dos edifícios de onde são derivados os circuitos elétricos de cada apartamento, ou unidade de habitação, bem como nos ramais alimentadores internos (do ponto de entrega da concessionária até o quadro geral de medição e distribuição). A denominação “barramento blindado” se deve, basicamente, a forma construtiva destes que são formados por barras retangulares de material condutor (Cobre e/ou Alumínio) apoiadas paralelamente sobre suportes isolantes e enclausuradas em uma caixa metálica de seção retangular (freqüentemente, chapas finas de aço carbono zincadas). São fabricadas em trechos típicos de 3m de comprimento, contam com diversos tipos de elementos de curva, de mudança de direção, de terminações, de derivações e de interconexões com fios, cabos e outros barramentos. Não são estabelecidas as temperaturas máximas de trabalho nas partes condutoras internas neste tipo de linha elétrica, sendo limitadas pelas características mecânicas e elétricas dos materiais isolantes e influências térmicas em dispositivos a ela conectados. São estabelecidos limites para os meios de operação e invólucros.

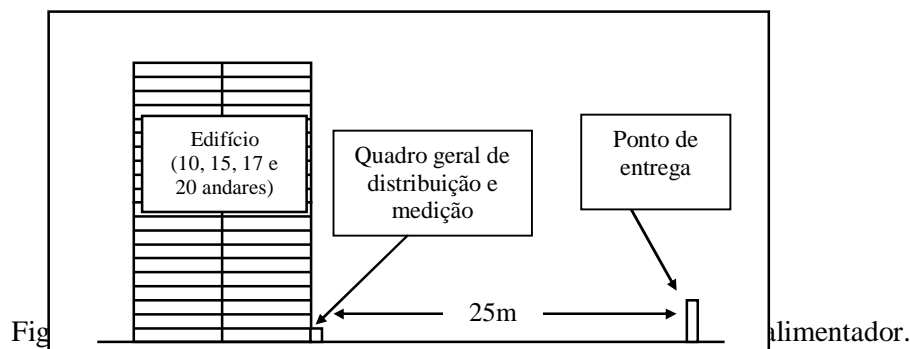
A situação atual, no Brasil, dá conta de que as linhas elétricas pré-fabricadas não são objetos de certificação compulsória, porém sua utilização nas prumadas dos edifícios atualmente é objeto de acordos entre os fabricantes, instaladores e empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica. As empresas concessionárias de energia elétrica, atualmente, estabelecem regulamentos específicos de uso e modo de instalação de diversos materiais elétricos nas instalações de modo que os fabricantes têm se comprometido com as concessionárias em realizar os ensaios de tipo especificados pela respectiva norma técnica brasileira [18]. Atualmente, e de modo geral, os fabricantes utilizam serviços de testes e ensaios prestados por laboratórios do IEE-USP.

As linhas elétricas pré-fabricadas, utilizadas para transporte de quantidades de energia elétrica maiores do que aquelas transportadas nos circuitos terminais dos consumidores individuais, podem ser os condutores de toda a energia elétrica já medida nos consumidores finais e com suas respectivas perdas assumidas pela empresa concessionária, ou podem

conduzir toda a energia elétrica de um ou mais consumidores medida integralmente na entrada da instalação e com suas perdas respectivas assumidas pelo consumidor. Durante os estudos de perdas nas instalações elétricas do imóvel típico foi possível constatar que as contribuições das perdas no circuito de entrada do consumidor eram significativas (de 58% de todas as perdas na instalação tipo 1; de 35% de todas as perdas na instalação tipo 2; de 41% de todas as perdas na instalação tipo 3), o que sugere estudos das linhas elétricas pré-fabricadas.

Para efeitos de comparação, no uso de cabos e linhas elétricas pré-fabricadas, é proposta uma situação de utilização destes condutores em um ramal alimentador de uma edificação de habitação coletiva.

Foram admitidos quatro edifícios de 10, 15, 17 e 20 andares com quatro apartamentos por andar e, para cada apartamento, foi considerada uma potência instalada de 13,32kW que é a potência instalada utilizada nas três instalações admitidas nas análises iniciais e no relatório técnico [9] elaborado pelo IEE-USP. Para cada edifício foi calculada a demanda seguindo as prescrições do documento técnico [32] da empresa AES Eletropaulo e então calculada a respectiva corrente elétrica do circuito alimentador trifásico 220Vac/60Hz, com comprimento de 25m interligando o ponto de entrega da energia pela concessionária e o quadro geral de distribuição e medição interno ao edifício. A figura 3, ilustra a situação proposta.



Para os condutores selecionados, foram calculadas as características resultantes de interesse (queda de tensão e energia perdida no alimentador) e mostradas nas Tabelas 13 e 14.

Andares	Total de apartamentos	Demanda máxima (kW)	Demanda calculada (kW)	Corrente do alimentador (A)	Cabo de cobre com isolamento em PVC (mm ²)	Queda de tensão (%)	Perda de Energia (%)
10	40	534	100	270	150	1,0%	0,70%
15	60	799	130	352	240	0,9%	0,79%
17	68	906	146	393	300	0,9%	0,88%
20	80	1066	166	449	400	1,0%	1,18%

Tabela 13 - Características dos circuitos alimentadores executados com cabos de cobre com isolamento em PVC.

Andares	Total de apartamentos	Demanda máxima (kW)	Demanda calculada (kW)	Corrente do alimentador (A)	Barramento (cobre)		Queda de tensão (%)	Perda de Energia (%)
					Corrente nominal (A)	Seção (mm ²)		
10	40	534	100	270	325	142,27	0,4%	0,69%
15	60	799	130	352	450	220,27	0,4%	0,58%
17	68	906	146	393	450	220,27	0,4%	0,65%
20	80	1066	166	449	450	220,27	0,5%	0,74%

Tabela 14 - Características dos circuitos alimentadores executados com linhas elétricas pré-fabricadas (Barramentos com condutores de cobre).

É possível notar as diferenças existentes entre as quedas de tensão e perdas de energia entre as duas situações, denotando vantagens, nestes particulares, para as linhas elétricas pré-fabricadas. Isto sugere que sua utilização pode ser vantajosa em certas situações, embora no presente trabalho não sejam feitas análises de viabilidade econômica e financeira para esta situação estudada. Devem ser levados em conta os custos envolvidos e as possibilidades físicas de execução para cada caso e verificar as vantagens advindas da solução adotada.

São frequentes as discussões entre os setores produtivos de cada tipo de condutor, cada qual advogando suas vantagens e desvantagens (ou inconvenientes) do outro. Os fabricantes de fios e cabos alegam que seus produtos: a) são produzidos há muito tempo; b) têm sua utilização consagrada; c) têm seus dados e características de amplo conhecimento; d) têm facilidade de instalação com poucas emendas; e) têm seus produtos certificados compulsoriamente; entre outras. Os fabricantes de linhas elétricas pré-fabricadas alegam que seus produtos: a) são robustos; b) também são de instalação rápida e fácil; c) são seguros; e) podem substituir cabos com diminuição de perdas em alguns casos; f) permitem agregar novas possibilidades de medição de energia; entre outras.

Empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica realizam processos de homologação de equipamentos e materiais para uso nas instalações de seus clientes e com relação às linhas elétricas pré-fabricadas, podemos citar o caso da empresa AES Eletropaulo.

A empresa publicou um documento [33] específico para homologação de linhas elétricas pré-fabricadas que estabelece as condições mínimas exigidas dos fabricantes para demonstração de várias características dos produtos, muitas delas obtidas por ensaios e testes. Assim neste particular, o IEE-USP está envolvido na realização de testes e ensaios nestes equipamentos.

3.5. Testes e ensaios em linhas elétricas pré-fabricadas

O teste de interesse realizado em linhas elétricas pré-fabricadas foi o ensaio de determinação das características elétricas, que é assunto correlato ao estudo proposto nesse trabalho.

As medições e cálculos foram realizados no IEE-USP seguindo os critérios do Anexo N1 da norma NBRIEC60439-2(2004). Esta sistemática, embora não esteja na norma expressa, admite inicialmente que as linhas elétricas pré-fabricadas trifásicas (com ou sem condutor neutro) têm por fase valores iguais de impedância composta por uma fração resistiva pura em série com outra fração reativa indutiva pura. Assim, são calculados valores médios dos elementos da impedância a partir de médias de valores medidos de tensão, de corrente e de potência elétrica ativa total de um sistema elétrico trifásico.

As medições são realizadas por ocasião da execução do ensaio de verificação dos limites de elevação de temperatura, em sua fase final após ser atingido o equilíbrio térmico. O corpo de prova é formado por dois trechos, de 3m lineares cada, de linha elétrica pré-fabricada trifásica e conectado a uma fonte de corrente trifásica 60Hz (através dos condutores de fase e sem conectar o condutor neutro) tendo na outra extremidade interligados os condutores fase. São, então, medidos os valores eficazes das tensões entre fases (V_{12} , V_{23} e V_{31}), os valores eficazes das correntes nas fases (I_1 , I_2 e I_3) e a potência ativa trifásica total (P). A potência ativa total é medida pelo método dos dois wattímetros. A figura 4 e as fotografias 2, 3 e 4, abaixo e a seguir, ilustram a montagem do ensaio.

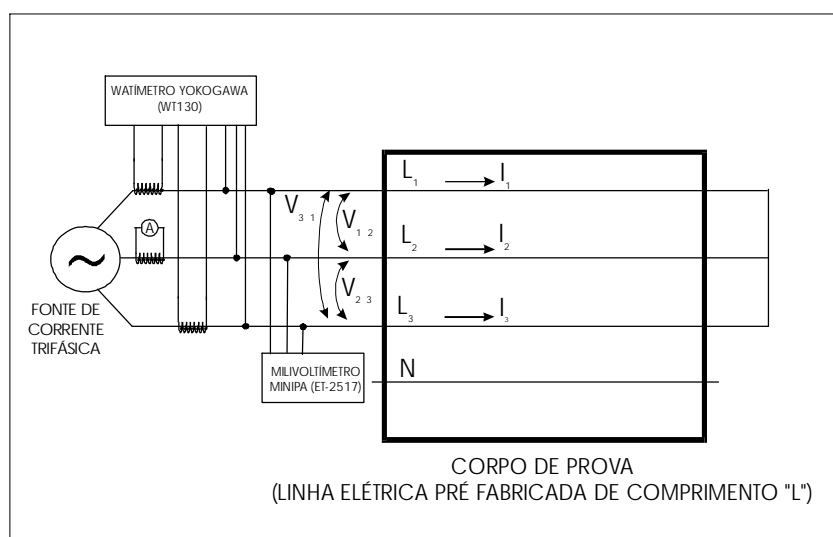
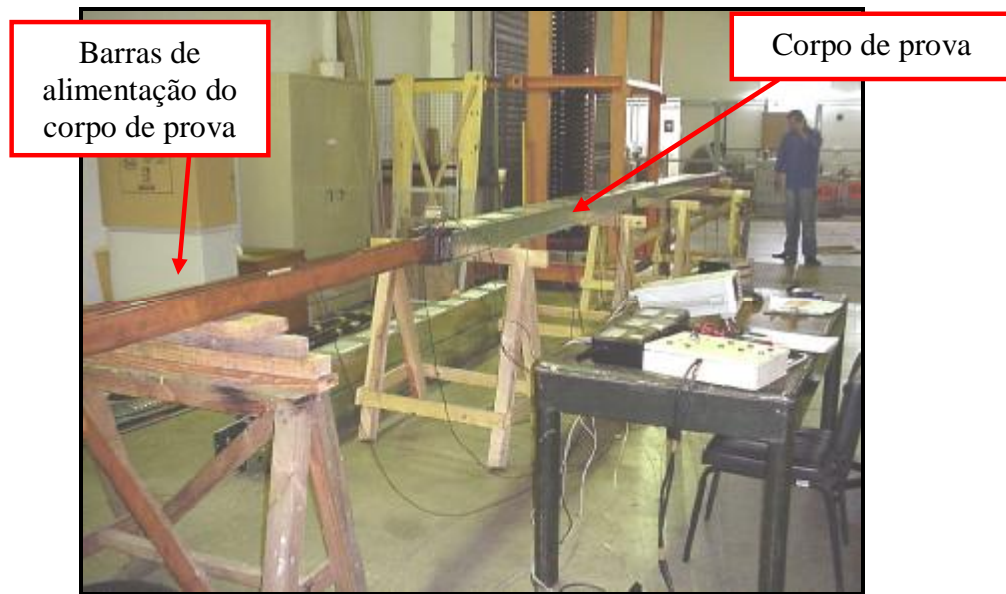
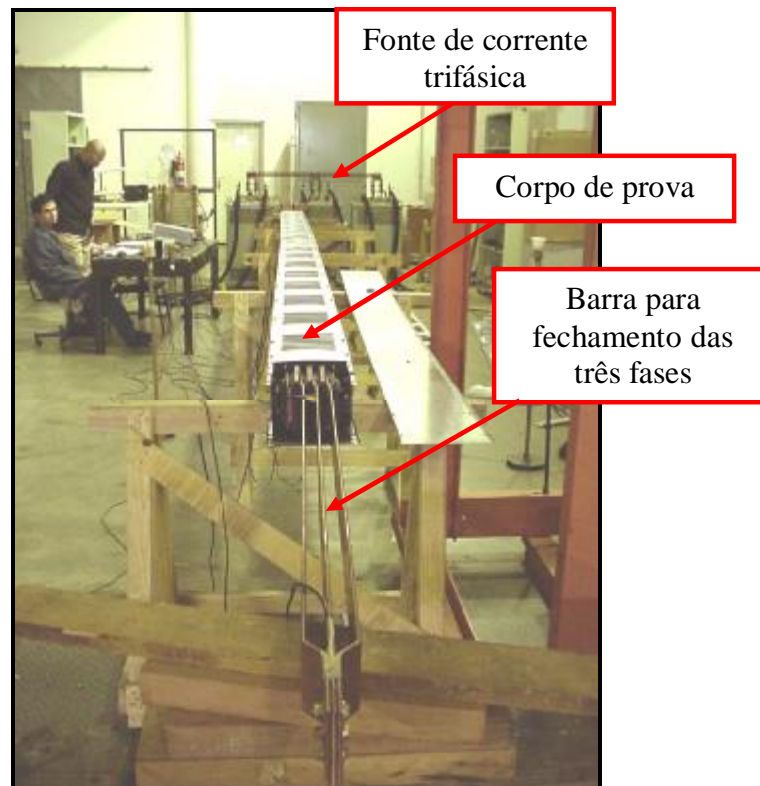


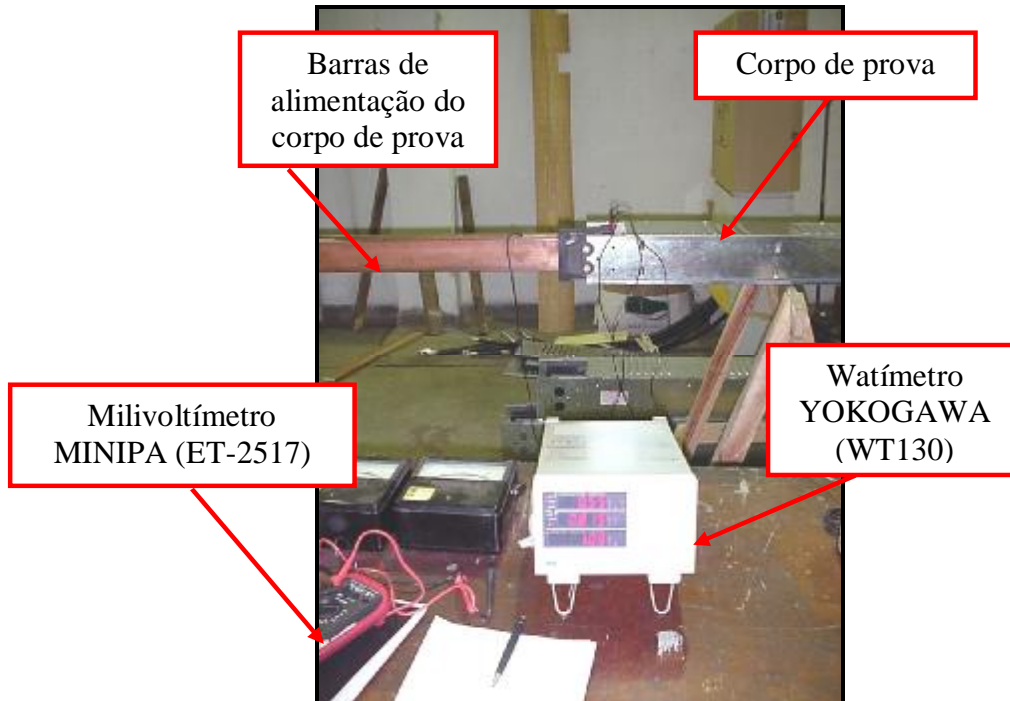
Figura 4 - Diagrama ilustrativo das conexões adotadas nos ensaios de elevação de temperatura.



Fotografia 2 - Vista geral da montagem de ensaio de elevação de temperatura.



Fotografia 3 - Vista geral da montagem de ensaio de elevação de temperatura.



Fotografia 4 - Vista parcial da montagem de ensaio de elevação de temperatura, destacando equipamentos de medição utilizados.

Os valores assumidos para realização dos cálculos são:

- A queda de tensão média entre fases, em valor eficaz: $V = (V_{I2} + V_{23} + V_{31})/3$, em (V)
- A corrente de ensaio média, em valor eficaz: $I = (I_1 + I_2 + I_3)/3$, em (A)
- A potência ativa trifásica total (P), em (W)
- O comprimento total (L) do corpo de prova, desde os pontos de conexão dos condutores do voltímetro na extremidade de entrada até o ponto onde os barramentos são interligados na extremidade de saída, em (m).

A impedância e seus componentes, em (Ω/m) são calculados, na temperatura de estabilização, como: $Z = V/(\sqrt{3} \times I \times L)$; $R = P/(3 \times I^2 \times L)$; $X = (Z^2 - R^2)^{1/2}$.

Em seguida os valores de Z e de R são recalculados para a temperatura de referência de 20°C, adotando-se os fatores e os critérios abaixo:

- Resistividade (ρ) do Cobre a 20°C: 0,018 $\Omega \cdot \text{mm}^2$;
- Coeficiente (α) de variação da resistividade do Cobre a 20°C: 0,00393 $^\circ\text{C}^{-1}$;
- Resistividade (ρ) do Alumínio a 20°C: 0,029 $\Omega \cdot \text{mm}^2$;
- Coeficiente (α) de variação da resistividade do Alumínio a 20°C: 0,00403 $^\circ\text{C}^{-1}$;

$$- R_{\text{Estabilização}} = R_{20^\circ\text{C}} \times [1 + \alpha \times (T_{\text{estabilização}} - 20)] \text{ ou,}$$

$$R_{20^\circ\text{C}} = R_{\text{Estabilização}} / [1 + \alpha \times (T_{\text{estabilização}} - 20)]$$

Foram no total realizados 10 ensaios, até Outubro/2006, em conjuntos de linhas elétricas pré-fabricadas e obtidos os valores mostrados na Tabela 15.

Material do condutor	Seção transversal do condutor fase (mm ²)	Corrente nominal [A]	Elevação de temperatura média na medição (°C)	Potência ativa total trifásica medida (W)	Potência ativa total trifásica calculada (W)	Impedâncias na temperatura de medição (mohm/m)			Impedâncias a 20°C (mohm/m)		
						Z	R	X	Z	R	X
Cobre	540	1250	82	1460	1652	0,08814	0,04089	0,07808	0,08400	0,03095	0,07808
Alumínio	150	250	61	360	389	0,30797	0,23571	0,19821	0,27705	0,19358	0,19821
Alumínio	965	1250	55	1350	1464	0,06244	0,03683	0,05042	0,05876	0,03018	0,05042
Alumínio	540	800	91	1060	1080	0,11248	0,07620	0,08273	0,10005	0,05625	0,08273
Cobre	660	1600	87	2090	2336	0,05660	0,03473	0,04470	0,05164	0,02586	0,04470
Alumínio	916	1500	65	1850	2208	0,05115	0,03615	0,03619	0,04617	0,02867	0,03619
Cobre	540	800	82	741	643	0,06188	0,05401	0,03020	0,05084	0,04091	0,03020
Alumínio	413	400	34	306	314	0,12731	0,08388	0,09577	0,12105	0,07404	0,09577
Alumínio	413	550	59	610	620	0,13473	0,09169	0,09871	0,12347	0,07416	0,09871

Tabela 15 - Valores obtidos de medições e cálculos realizados em linhas elétricas pré-fabricadas para obtenção das características elétricas, conforme a norma NBRIEC60439-2(2004).

O levantamento das características elétricas (impedância total por metro linear e seus componentes resistivos e reativos) das linhas elétricas pré-fabricadas, por ocasião da realização do ensaio de verificação dos limites de elevação de temperatura, é objeto de crítica por alguns especialistas em laboratórios, devido ao fato de estes ensaios serem realizados com fontes de corrente. Isto significa dizer que os valores de tensão fornecidos pela fonte ao corpo de prova são bastante baixos (466mV a 1930mV) sob um campo magnético bastante intenso na região de conexões das medições das tensões, o que sugere a introdução de erros por conta de possíveis interferências eletromagnéticas sobre os equipamentos de medição, especialmente os milivoltímetros. Estas críticas chegaram, em momentos iniciais, a serem impeditivas para a execução dos ensaios, porém como não havia sequer tentativas de realizá-los, na mesma medida insistiu-se em realizar as medições e avaliá-las; mesmo porque se utilizou metodologia sugerida por uma norma técnica [18].

Assim, logo depois de atingida a estabilização térmica, o circuito de ensaio foi desligado por aproximadamente 5 minutos para a conexão das pontas de prova de tensão e, principalmente, dos cabos dos secundários dos transformadores de corrente. Foram então anotados os valores das grandezas de ensaio medidas.

Foi possível observar, durante a realização dos ensaios, que as leituras de tensão obtidas pelo milivoltímetro digital MINIPA ET-2517 e pelo watímetro YOKOGAWA WT130 foram bastante próximas e puderam assim pautar alguma confiança inicial nas medidas de tensão, entre dois medidores distintos, posicionados em locais distintos em

relação ao corpo de prova, e com suas respectivas pontas de prova conectadas no mesmo ponto.

Os valores de potência ativa, estimados por cálculo para corrente nominal de ensaio e para as resistências elétricas em corrente contínua (R_{dc} na temperatura de estabilização), serviram para orientar os trabalhos de medição nas polaridades das conexões dos cabos dos sinais de tensão e de corrente. Considerando-se que foi utilizada a medição de potência ativa pelo método dos dois watímetros para potências em sistemas trifásicos, polaridades invertidas podem indicar valores negativos de potência no respectivo watímetro orientando a correção das conexões. Pode fornecer informação adicional para detalhamento dos cálculos das características elétricas que leva em conta diferenças de materiais e dimensões das barras de conexão de fechamento da estrela do circuito de ensaio. A questão específica dos materiais e dimensões utilizados nas barras de conexão ao corpo de prova necessita mais estudos detalhados para verificação das influências.

As diferenças encontradas entre os valores de potências ativas, estimados por cálculo e medidos, mostram tendências aumento com aumento das correntes de ensaio e as densidades de corrente nos condutores e sugerem possível efeito de campos magnéticos e suas possíveis influências nas disposições de condutores e equipamentos de medição.

Outras experiências realizadas nos laboratórios da Seção Técnica de Altas Correntes do IEE-USP mostraram que a compreensão do assunto de medições de valores de grandezas elétricas sob altas correntes e com baixas tensões demanda estudos mais aprofundados.

Os testes e ensaios nas linhas elétricas pré-fabricadas, mais especificamente os de elevação de temperatura, de curto-circuito, de determinação dos valores em condições de falta e de verificação de eficácia do circuito de proteção, demandam montagens cuidadosas dos corpos de prova e dos equipamentos de laboratório. Envolvem condutores, cargas e corpos de prova pesados que necessitam movimentações cuidadosas de materiais pesados e de dimensões grandes e exige do laboratório e sua equipe bastante tempo e atenção.

Uma oportunidade adicional de verificação das características elétricas das linhas elétricas pré-fabricadas, e para colaborar com a compreensão de medições e cálculos em corpos de prova com correntes elétricas elevadas (da ordem de dezenas de milhares de amperes), é o ensaio de verificação da corrente suportável de curto circuito estabelecido no item 8.1.1 da norma técnica NBRIEC60439-2:2004 e no item 8.2.4 da norma técnica NBRIEC60439-1:2003. Este ensaio, dentre os citados no parágrafo anterior, é aquele que talvez exija mais atenção e cuidados em sua montagem e execução, pois as elevadas correntes elétricas envolvidas propiciam efeitos térmicos e dinâmicos proporcionais aos quadrados das

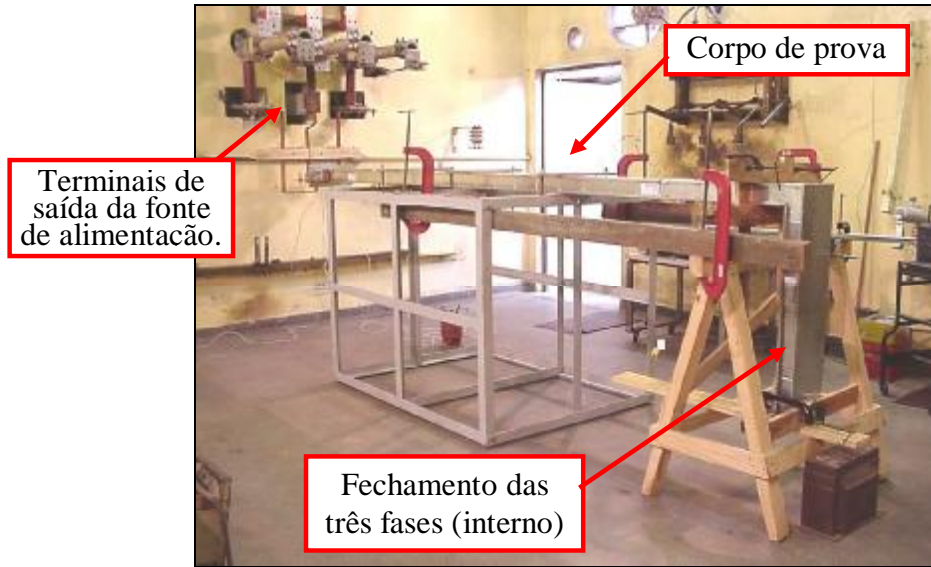
correntes elétricas e podem ser potencialmente destrutivos ao corpo de prova e equipamentos do laboratório. Embora o corpo de prova deva suportar os esforços térmicos e dinâmicos das correntes de curto-circuito, por vezes um pequeno descuido, em uma conexão mal apertada por exemplo, pode provocar sérios danos. Este ensaio basicamente verifica o comportamento durante a realização da aplicação da corrente de curto-circuito especificada e o estado do corpo de prova após o ensaio verificado por inspeção visual a olho nu, devendo o corpo de prova não apresentar sinais de deformações mecânicas substanciais no invólucro, nas barras internas, estados das conexões e nos suportes isolantes internos; além de não ocorrer a fusão de um elemento fusível indicador conectado entre a carcaça e o centro estrela da fonte do laboratório. É aplicada ao corpo de prova uma corrente trifásica de curta duração especificada em valor eficaz e em valor de crista, durante 1 segundo, (com valores de dezenas de milhares de amperes suprido por fonte de potência de 3MVA e com tensão de 256Vac em vazio) e medidas as correntes com transformadores de corrente e registrador/analizador digital marca YOKOGAWA (DL716).

Foi proposto que se aproveitasse a execução do ensaio de verificação da capacidade de curto-circuito para se determinar as características elétricas do corpo de prova pelo método proposto na norma técnica (5) que utiliza a corrente nominal do corpo de prova para medição das tensões, das correntes e das potências. Adicionando-se ao ensaio as medições das três tensões de linha e obtendo-se a potência ativa trifásica total por cálculo a partir dos arquivos eletrônicos de digitalização dos sinais executados pelo analisador/registrator.

As medições foram realizadas em corpo de prova é um conjunto formado por: um elemento alimentador, um trecho reto de 3m lineares de linha elétrica pré-fabricada trifásica um elemento de mudança de direção cantonal vertical; interligados em série perfazendo um comprimento total de 4,5m lineares; contendo duas emendas; com carcaça em chapa de aço zincada de dimensões externas 82mm x 200mm; internamente com 4 barras de cobre de dimensões 4200mm x 37mm x 6mm; com corrente nominal 450A, tensão 750V e corrente suportável de curta duração 32kA (valores de placa).

O corpo de prova foi conectado a uma fonte trifásica 60Hz (através dos condutores de fase e sem conectar o condutor neutro) tendo na outra extremidade interligados os condutores fase. Foram realizadas as aplicações das correntes de calibração e de ensaio e também medidas a temperatura ambiente e a temperatura na barra central antes e após as aplicações das correntes.

A montagem do ensaio é ilustrada nas fotografias 5, 6 e 7 e na figura 5.



Fotografia 5 - Vista geral da montagem de ensaio de verificação da corrente suportável de curto circuito.



Fotografia 6 - Vista parcial da montagem de ensaio (lado da alimentação).



Fotografia 7 - Vista parcial da montagem de ensaio (lado do fechamento das três fases)

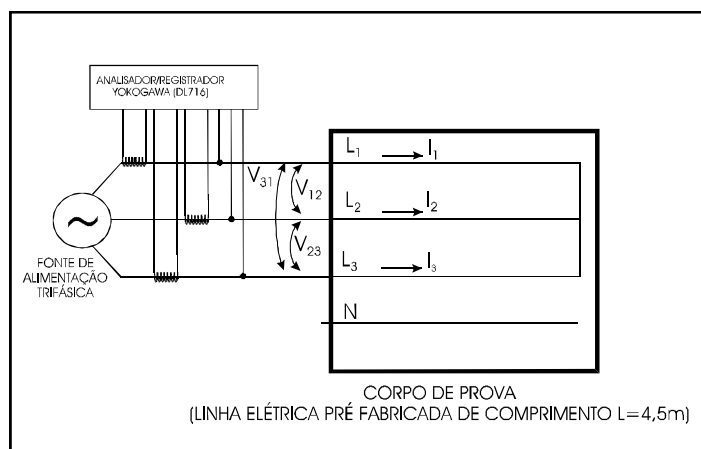


Figura 5 - Diagrama ilustrativo das conexões adotadas nos ensaios de curto-circuito.

A figura 6 mostra as formas das ondas de corrente e de tensão obtidas no ensaio e ilustram os perfis das correntes de ensaio, seus valores máximos e a indicação para escolha do trecho final da aplicação, já amortecida a componente direcional para medição dos valores eficazes das três correntes e das três tensões para cálculo da impedância do corpo de prova.

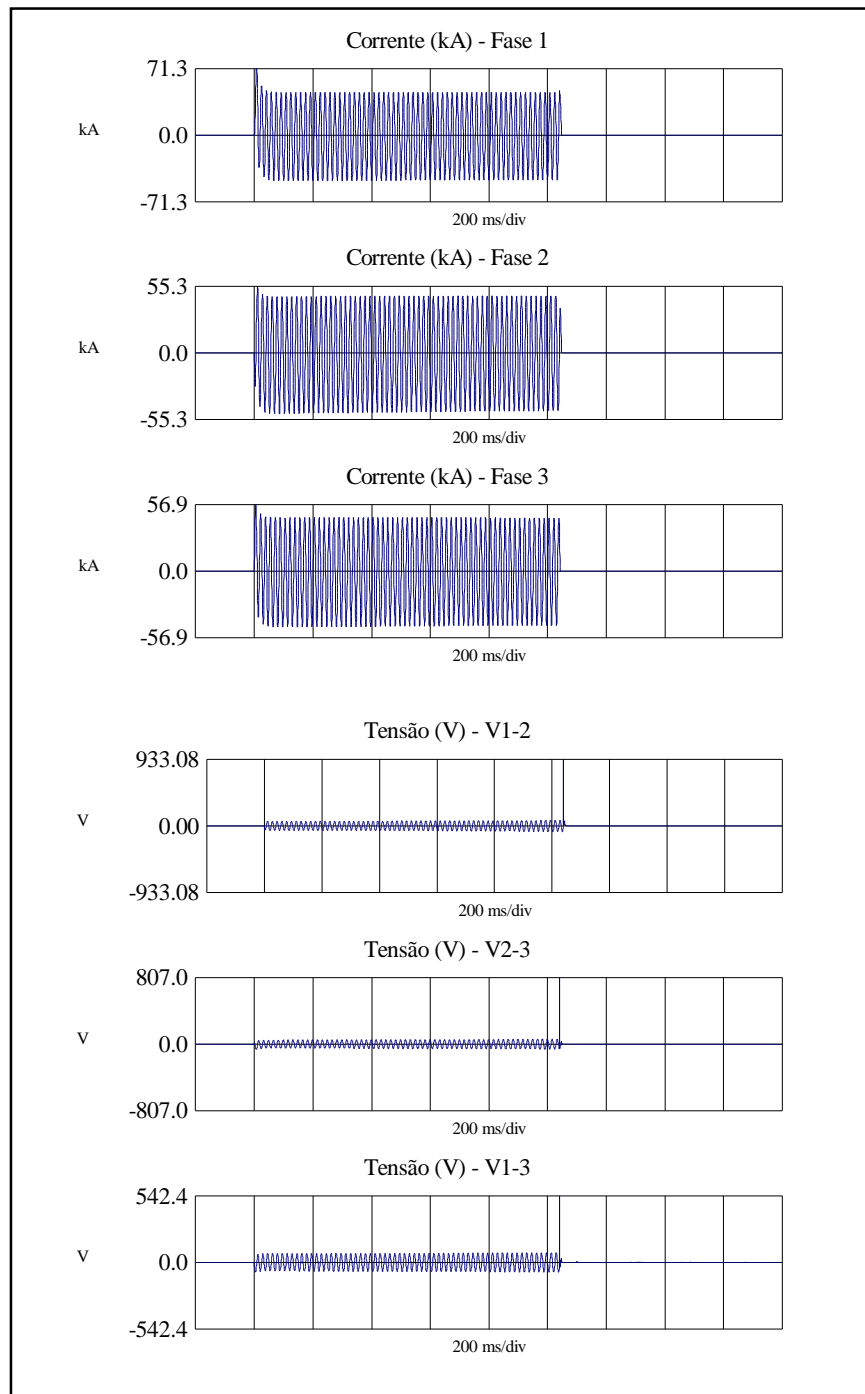


Figura 6 - Formas das ondas de corrente e de tensão obtidas no ensaio todo o intervalo da aplicação (1047ms).

A figura 7 mostra as formas das ondas de corrente e de tensão obtidas no ensaio, no trecho escolhido para a medição dos valores eficazes, que corresponde ao intervalo de 800ms a 1200ms dos eixos de tempo ilustrados na figura 7.

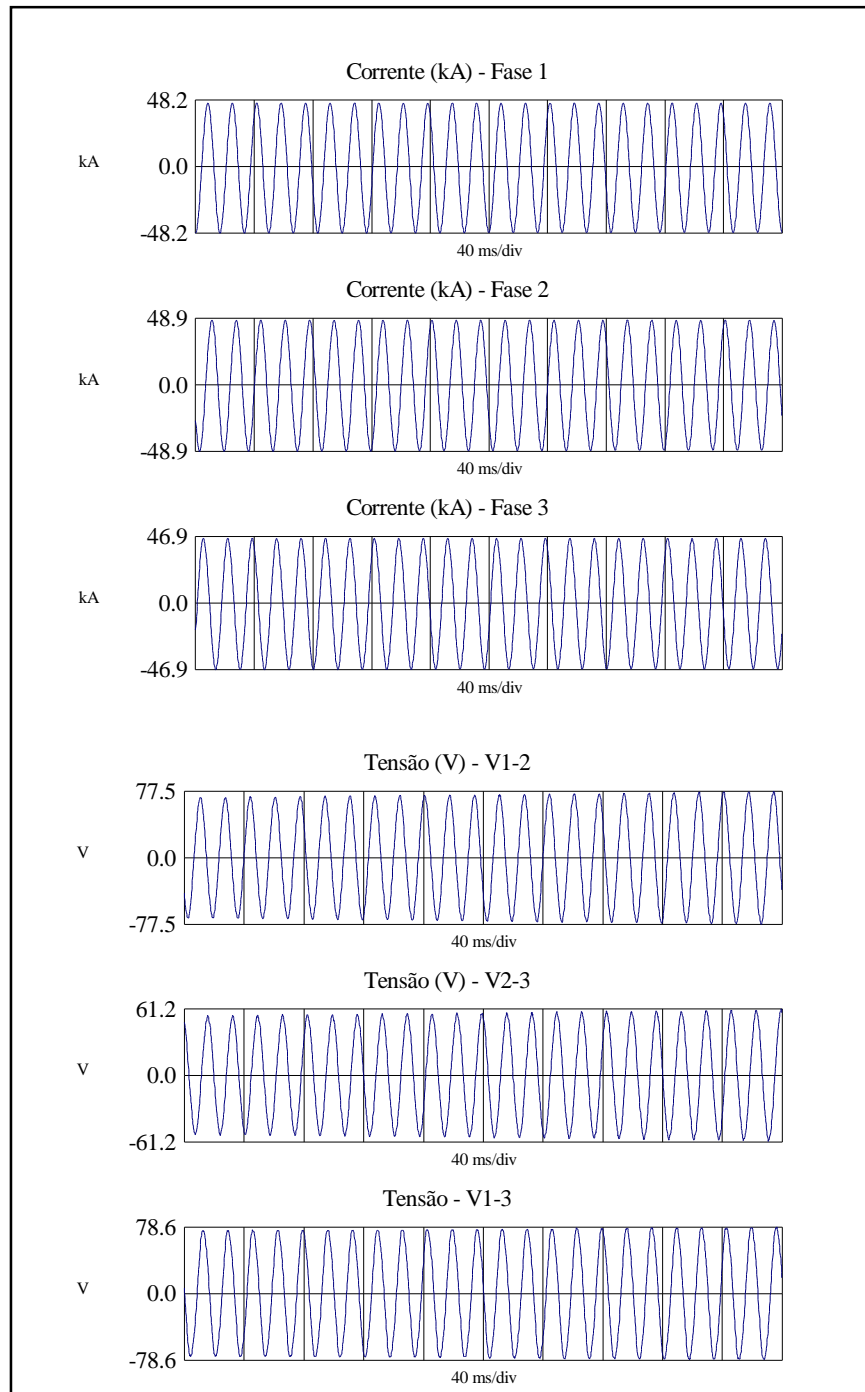


Figura 7 - Formas das ondas de corrente e de tensão obtidas no ensaio, no intervalo de 800ms a 1200ms dos eixos de tempo ilustrados na figura 6.

Os valores das grandezas medidas no ensaio são mostrados nas tabelas 16 e 17 e foram utilizados para os cálculos das impedâncias mostradas na tabela 18.

Aplicação	Duração (ms)	Fase 1		Fase 2		Fase 3	
		Corrente suportável de curta duração (valor eficaz) (kA)	Valor de crista da corrente suportável de curta duração (kA)	Corrente suportável de curta duração (valor eficaz) (kA)	Valor de crista da corrente suportável de curta duração (kA)	Corrente suportável de curta duração (valor eficaz) (kA)	Valor de crista da corrente suportável de curta duração (kA)
Calibração	115	25,7	55,2	26,8	44,0	25,2	44,1
Aplicação da corrente de Ensaio	1047	33,4	71,3	33,9	55,3	32,3	56,9

Tabela 16 - Valores obtidos de medições no ensaio de verificação da capacidade de curto-circuito, com medições dos valores eficazes e de crista medidos em todo o intervalo da aplicação (1047ms).

Aplicação (800 a 1200ms)	Potência trifásica total calculada com valores do ensaio (kW)	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Tensões (valores eficazes) (V)		
		Corrente suportável de curta duração (valor eficaz) (kA)	Corrente suportável de curta duração (valor eficaz) (kA)	Corrente suportável de curta duração (valor eficaz) (kA)	V12	V23	V13
Corrente de ensaio	2036	33,7	33,1	32,2	51,2	39,6	53,9

Tabela 17 - Valores obtidos de medições no ensaio de verificação da capacidade de curto-circuito, com medições dos valores eficazes no intervalo de 800ms a 1200ms dos eixos de tempo ilustrados na figura 6.

A potência ativa trifásica total foi calculada, no intervalo 800ms a 1200ms, através da soma das médias aritmética das potências aparentes ponto a ponto, admitindo o método dos dois watímetros considerando as bobinas de corrente nas fases 1 e 2 e as bobinas de tensão entre as fases 1e 2 e as fases 3 e 2. Foi estimado um valor de potência ativa trifásica total, calculado para três condutores de cobre de iguais seções aos e do corpo de prova, com suas resistências corrigidas para temperatura final da aplicação obtida no ensaio e para média das correntes obtidas no ensaio.

Efetuando-se os cálculos pelo método proposto na norma técnica [18] obtemos os valores das impedâncias e notam-se as diferenças para os valores de catálogo do fabricante que são referidas às correntes nominais dos equipamentos. Possivelmente, se dão devido ao fato de que com correntes elevadas, no caso 73 vezes a corrente nominal, devam ser consideradas as influências de impedâncias mútuas entre as barras e as barras e carcaça, o que

já poderia sugerir um modelo elétrico distinto daquele assumido para os cálculos das impedâncias com correntes nominais, que afetariam a parcela da reatância indutiva do corpo de prova. A densidade de corrente não uniforme em um condutor percorrido por corrente alternada, causada pelo campo magnético variante interno ao condutor originado pela corrente do próprio condutor e do efeito proximidade causado pelos condutores próximos, os efeitos pelicular e de proximidade, afetariam a parcela resistiva das impedâncias. Isto pode ser verificado pela diferença entre os valores da potência ativa trifásica calculada com valores do ensaio (2036kW) e da potência ativa trifásica estimada (1811W). O valor da potência trifásica foi calculado para corrente nominal de ensaio e para as resistências elétricas em corrente contínua (Rdc na temperatura de estabilização) para efeito orientativo durante as medições das potências.

Impedâncias na corrente nominal (450A) e referidas a 20°C. (valores do catálogo do fabricante) (mohm/m)			Impedâncias na corrente calculadas no ensaio de curto circuito e referidas a 20°C (mohm/m)		
Z	R	X	Z	R	X
0,108365	0,099696	0,042470	0,156278	0,091833	0,126450

Tabela 18 - Valores das impedâncias na corrente nominal e calculadas no ensaio de curto circuito.

A elaboração de um modelo elétrico representativo da linha elétrica pré-fabricada, as análises das aplicações e condições deste modelo, a execução de testes e ensaios e estudo de fatores que possam afetar as medições como a influência das correntes elevadas nos equipamentos de medição ou disposição dos condutores de medição, por exemplo, é matéria para o campo de vários estudos dos laboratórios da Seção Técnica de Altas Correntes do IEE-USP. Serão estudadas as possibilidades de aproveitar os dados obtidos em ensaio de curto-circuito, adequá-los e determinar os valores das impedâncias para a corrente nominal.

Pretende-se obter futuramente um modo de determinar as impedâncias com um sistema de manipulação mais simplificada e que não exija manipulação de grandes e pesados equipamentos, fornecendo dados confiáveis a serem utilizados utilizadas nos cálculos de condutores, por exemplo em circuitos alimentadores como os citados anteriormente nas considerações sobre linhas elétricas pré-fabricadas.

3.6. Grupos de interesse e suas atividades

O difundido uso da energia elétrica devido, principalmente, à sua grande praticidade de distribuição entre os pontos de utilização, permite dispor de quantidades suficientes de energia, e com padrões de qualidade bastante aceitáveis, para o cumprimento de diversos serviços energéticos.

A questão da segurança da utilização e da exposição aos riscos da energia elétrica, em sua utilização pelos consumidores e no manuseio pelas pessoas que intervêm diretamente nas instalações elétricas na realização de serviços, é matéria recorrente entre entidades empresariais, entre associações de profissionais, entre órgãos de classe e autoridades constituídas do poder público.

A segurança de trabalhadores que realizam serviços em eletricidade é objeto de regulamento trabalhista específico [21], que é bastante rígido e exigente em suas prescrições e tem atualmente mobilizado empresas e trabalhadores para o atendimento de suas prescrições compulsórias. Este regulamento enfoca a execução de tarefas na construção, operação e manutenção das instalações dos sistemas elétricos de potência até o medidor de energia do consumidor, mas boa parte de suas prescrições pode ser perfeitamente aplicável para a execução de tarefas realizadas por trabalhadores na instalação e na manutenção de instalações elétricas residenciais. Sob fiscalização do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), a aplicabilidade compulsória deste regulamento pode colaborar para a difusão de conceitos e práticas de cuidados com o uso da energia elétrica.

No Brasil, o projeto, a execução e a manutenção das instalações elétricas residenciais são balizados por uma norma técnica Brasileira [2], que é bastante enfática quanto à segurança das pessoas e dos bens patrimoniais em todas as suas prescrições e recomendações técnicas. Isto se deve em boa parte à evolução técnica e aos interesses das diversas entidades envolvidas nos processos de projeto, execução e manutenção das instalações; de fabricação materiais elétricos; da prestação de serviços dos laboratórios de ensaios e dos organismos certificadores. Sua aplicação prática é constantemente reforçada e discutida entre os profissionais do setor e os estudos de perdas aqui apresentados envolvendo esta norma colaboram para o entendimento de que sua aplicabilidade seja plenamente justificada e incentivada.

Os estudos de situação das instalações elétricas residenciais mostram a necessidade de intervenção constante nestas instalações, tanto em sua situação atual e sua regularização, quanto em sua manutenção e evoluções das regulamentações.

Neste cenário são classificados atores mostrados na Tabela 19, a seguir juntamente com seus interesses.

GRUPOS	INTERESSES			
	Econômicos Financeiros imediatos	Demais Interesses estruturais e de médio e longo prazos		
Usuários	Baixa Tarifa da energia	Continuidade de fornecimento	Segurança na utilização	
Projetistas e Instaladores	Projetos otimizados; Rapidez e facilidade na instalação	Atendimento de normas técnicas	Segurança na utilização	
Fabricantes	Preços competitivos	Atendimento de normas técnicas	Atualização e adequação de normas técnicas	Processos de certificação de produtos
Reguladores	Não se aplica	Elaboração e estabelecimento de normas e regulamentos	Atualização de normas técnicas e regulamentos	
Concessionários	Manutenção e aumento da base de consumidores	Confiabilidade de materiais e equipamentos	Elaboração, estabelecimento e atualização de normas e regulamentos	Processos de homologação de produtos
Entidades de classe de profissionais e de empresas	Não se aplica	Defesa de associados e programas de auxílio ao incentivo na prestação de serviços de regularização e de processos de certificação de instalações	Elaboração, estabelecimento e atualização de normas e regulamentos	
Organismos de certificação e Laboratórios de ensaios.	Prestação dos serviços de certificação e ensaios	Desenvolvimento e melhoria de métodos de testes e ensaios	Elaboração e atualização de normas e regulamentos	

Tabela 19 - Grupos de interesse e atividades.

As atuações e relações entre os interessados, em diversos fóruns, produzem regulamentação de produtos e serviços ligados às instalações elétricas. Salientam-se os processos de certificação compulsória de produtos e materiais elétricos (fios, cabos, tomadas, plugues, interruptores e disjuntores) regulados pelo INMETRO, que têm claro foco na segurança do usuário de eletricidade.

Os processos de certificação de produtos mencionados são realizados por terceira parte, isto é por uma organização independente, acreditada pelo INMETRO para executar esta tarefa de avaliação de conformidade e com modelos de certificação que envolvem Ensaio de: Ensaio de Tipo e Avaliação e aprovação do Sistema de Qualidade do fabricante [17].

Há casos nos quais fabricantes de materiais e equipamentos elétricos e empresas concessionárias de energia elétrica promovem a homologação destes materiais, por meio de Testes Tipo baseados em normas técnicas e regulamento da concessionária, realizados pelo fabricante, sem enquadramento exato em metodologia de Avaliação de Conformidade preconizada pelo INMETRO, porém assemelha-se à Declaração de Conformidade Pelo Fornecedor [17].

Dentre entidades de classe de empresas atuantes sobre a questão das instalações elétricas e de materiais e equipamentos valem ser mencionados:

- Sindicato da Indústria de Condutores Elétricos, Trefilação e Laminação de Metais Não-Ferrosos do Estado de São Paulo (SINDICEL), fundado em 1979, conta em seu quadro de filiados os principais fabricantes de fios e cabos elétricos, de telecomunicações e de produtos semimanufaturados (chapas, tiras, tubos e outros);
- Associação Brasileira do Cobre (ABC), fundada em 1963, que vem, neste período, atuando em benefício não só de consumidores, como também dos produtores, importadores e quaisquer outras empresas associadas cujas atividades se relacionem, de alguma maneira, com o uso do metal;
- Associação Brasileira pela Qualidade dos Fios e Cabos Elétricos (QUALIFIO), constituída por empresas fabricantes de condutores elétricos na forma de uma associação civil, sem fins lucrativos, de duração indeterminada, tendo como objetivo principal promover a melhoria contínua da qualidade dos fios e cabos e fomentar sua correta utilização, iniciou os trabalhos de monitoração dos fios e cabos elétricos de baixa tensão, no ano de 1994, através de amostragem restrita inicialmente ao estado de São Paulo e aos produtos da antiga norma ABNT NBR 6148.
- Sindicato da Indústria de Instalação (SINDINSTALAÇÃO), fundado em 27/09/46 como Associação dos Encanadores e transformado em Sindicato em 29/12/51, é uma entidade patronal sem fins lucrativos que representa as empresas do setor de instalações.
- Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE) é uma rede de instituições latino-americanas cuja missão é a promoção do uso do cobre, faz parte da International Copper Association (ICA) encarregada de liderar a promoção do cobre mundialmente.
- Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações (COBEI) é uma sociedade civil de direito privado, sem fins lucrativos, com prazo de duração indeterminado, cuja missão é as empresas e entidades do complexo eletroeletrônico e afins, visando apoiar as atividades de normalização do setor no país.

Estas entidades promovem alguns, conjuntamente entre si e com apoio de entidades de classe de profissionais e de empresas (CREA, ABINEE) e órgãos públicos (Corpo de bombeiros), alguns projetos que dizem respeito às instalações elétricas e também qualificação de eletricitistas [23] [24] [27].

Podemos destacar três atividades desenvolvidas pelas entidades: o Programa Casa Segura, o Programa de qualificação de empresas instaladoras (Qualinstal) e as atividades da QUALIFIO.

O “Programa Casa Segura”, criado em 2005, atua para orientar a população sobre a necessidade de modernizar as instalações elétricas, argumentando com a diminuição os riscos de acidentes, com a valorização dos imóveis e com a promoção de economia de energia. Atua basicamente na cidade de São Paulo com as entidades parceiras, faz uso de assessoria de imprensa para divulgação e de sítio de internet próprio para orientações aos interessados. Promove atividades de alerta sobre situações de instalações elétricas [22] [23].

Neste programa podemos destacar um projeto piloto, em que foi realizada a avaliação por profissionais habilitados das instalações elétricas de uma amostra de 150 edifícios residenciais em São Paulo, todos com idade superior a 20 anos, com exames que abrangeram as condições dos principais componentes da parte comum da instalação elétrica (incluindo entrada de energia, centro de medição, quadro geral de distribuição e de comando de bombas e prumadas) e alguns apartamentos. O objetivo foi de orientar os responsáveis pelas edificações sobre a necessidade ou não de se fazer uma ação corretiva ou preventiva. As ocorrências de destaque encontradas nas edificações são mostardas abaixo:

- falta de condutor de proteção - 98%;
- dispositivo de proteção incompatível com os condutores - 93%;
- falta de dispositivo de proteção residual DR - 98%;
- falta dispositivo contra sobretensões - 100%;
- quadro de distribuição com partes energizadas acessíveis - 79%;
- evidência de aquecimento excessivo dos condutores - 53%;
- quadro com materiais combustíveis - 82%;
- falha no sistema de proteção contra descargas atmosféricas - SPDA (aterramento, descidas, continuidade) - 85%.

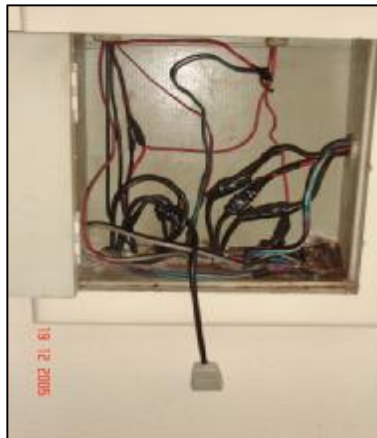
As fotografias 8, 9, 11, 12 e 13 ilustram algumas ocorrências encontradas nas avaliações.



Fotografia 8 - Quadro de distribuição, montado sobre base de madeira, propiciando riscos de incêndio.



Fotografia 9 - Instalação exposta e em más condições.



Fotografia 10 - Instalação de tomada em caixa de passagem, em desacordo com a norma.



Fotografia 11 - Vista geral de caixa de passagem.

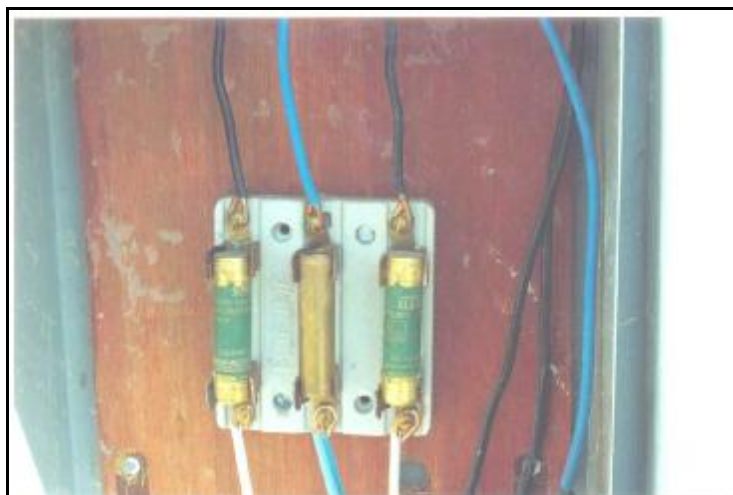


Fotografia 12 - Detalhe da falta de isolante nos conectores.



Fotografia 13 - Detalhe da fiação descascada.

Adicionalmente, e corroborando as constatações das vistorias do Programa Casa Segura, a fotografia 11 mostra o estado da instalação na caixa de entrada de energia elétrica após o medidor da concessionária de um imóvel residencial entregue construído novo por empresa de engenharia e construção civil, na cidade de São Paulo no ano de 1996 e que faz parte do arquivo pessoal do autor deste trabalho. Destaca-se a falta de seccionamento, conexões precárias na entrada da base fusível e nas derivações de saída base fusível e o uso de material inflamável (madeira) na parte interna da caixa.



Fotografia 11 - Vista parcial da caixa de entrada.

O Programa de qualificação de empresas instaladoras (Qualinstal) estabelece um sistema de qualificação das empresas instaladoras que inclui requisitos técnicos e de gestão específicos para cada escopo de serviços prestados pelas instaladoras. Procura garantir adequação do setor e melhoria da qualidade dos serviços prestados e abrangem os serviços de instalações elétricas, hidro-sanitárias, gases combustíveis, telecomunicações e sistemas de prevenção e combate a incêndio. Parece ser mais estruturado que o “Programa casa segura”, de certo modo complementar a este e conta, a título de exemplo, com cadastro de empresas qualificadas e programas de certificação amparados por entidades certificadoras. Pretende provocar, em médio prazo, reflexos positivos em outros setores afins, tais como concessionárias, fabricantes de materiais, seguradoras, instituições de ensino entre outros.

As atividades da QUALIFIO compreendem inclusive, a monitoração da qualidade dos fios e cabos elétricos de baixa tensão, com certificação compulsória, comercializados no mercado nacional. Utiliza laboratórios especializados e credenciados na avaliação técnica dos produtos. Ainda, identifica e notifica às autoridades competentes, as marcas e ou fabricantes que operam de maneira irregular (fora das exigências das normas e regulamentos pertinentes).

As avaliações, pela QUALIFIO, compreendem: Coleta nacional de amostras e envio para laboratórios acreditados pelo INMETRO para a realização de inspeção visual (identificação, marcação etc.) e para a realização dos ensaios especificados para cada produto e emissão de relatórios indicando resultados para comparação com os valores especificados nas normas; com a avaliação final dos fabricantes pela QUALIFIO. E as ações decorrentes das avaliações: Problemas detectados em produtos certificados são informados aos respectivos, à respectiva entidade certificadora e ao INMETRO. Problemas detectados em produtos não certificados, ou que usam indevidamente a marca de conformidade são informados aos Institutos de Pesos e Medidas regionais e ao INMETRO.

Os resultados das avaliações são publicados em sítio da internet e com acesso irrestrito e podem ser mostrados na tabela 20.

	Ano 2006	Ano 2005
N.º de amostras testadas	267	300
N.º de amostras "não certificadas" com baixa qualidade	81 (30%)	96 (32%)
Desvio da Resistência Elétrica (acima da norma em %)	61	60
N.º de amostras "certificadas com problemas"	78 (29%)	75 (25%)
Desvio da Resistência Elétrica (acima da norma em %)	37	38
N.º de amostras com qualidade aceitável	108 (32%)	129 (43%)
NOTA - Amostragem direcionada para os produtos em condição irregular.		

Tabela 20 - Resultados das atividades da QUALIFIO – Fonte: QUALIFIO (Janeiro de 2007).

Especificamente, as instalações elétricas residenciais são objetos de estudos [8], e que ampliados por entidades de classe como o SINDICEL e o PROCOBRE [24], chegam a estimar valores de investimentos para a regularização e a propor que as instalações elétricas residenciais da cidade de São Paulo deveriam ser obrigatoriamente inspecionadas e certificadas por órgãos acreditados pelo INMETRO e vinculada ao processo de regularização do imóvel juntamente ao Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros. Ainda, 12 meses após sua publicação a medida entraria em vigor para locais com grande afluência de público (grandes e médios centros comerciais) e grandes e médias indústrias; depois de 24 meses, para pequenas indústrias e edificações de uso múltiplo (imóveis de uso comercial e residencial); e após 48 meses, para habitações de famílias únicas e demais não abrangidas pelas classificações anteriores.

Neste aspecto específico da certificação das instalações elétricas encontra-se articulação desenvolvida por entidades de classe de profissionais e de empresas, no ano de 2001, junto ao INMETRO (mais especificamente junto ao Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade e este junto a ANEEL) para que fosse adotada como compulsória a certificação

de todas as instalações elétricas do país juntamente com a certificação de profissionais. As decisões relativas a esta proposta permanecem ainda indefinidas e parecem que permanecerão por bom tempo nesta situação [25].

A qualidade das instalações elétricas, na execução e manutenção, também está diretamente ligada à mão de obra utilizada nestas operações. E neste campo podemos encontrar propostas de desenvolvimento de metodologia para qualificação de pessoal [26] e programa específico, Programa Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal na Área de Manutenção (PNQC), desenvolvido pela Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) [27].

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES

As questões relativas às perdas nas instalações elétricas residenciais avaliadas sob a ótica do consumidor individual de categorias de consumo até 500kWh/mês, mostram-se pouco interessantes em termos de decisão de tomada do investimento em uma nova instalação. Deste modo, a sensibilização do consumidor sobre, e sob, o enfoque utilizado dos ganhos de capital fica enfraquecida; inclusive ações de incentivos, e eventuais subsídios, para redução das “perdas Joule”. Isto leva se considerar agrupamentos de consumidores e, mesmo assim, a contabilização destas perdas leva a um reflexo aparentemente pequeno no universo considerado da concessionária em questão e, possivelmente, as contabilizações em um universo maior ainda como as mostradas para o país indicam valores para os quais se inicia maior atenção, mas demanda estudos e definições para as metodologias, o universo a ser considerado e as tarifas de energia a serem aplicadas aos cálculos e análises. Todavia, estudos mais aprofundados são necessários para melhor compreender e definir interesses de empresas concessionárias e a adequação das instalações elétricas de seus consumidores residenciais e representatividade das perdas aqui avaliadas.

Os estudos das perdas nas unidades consumidoras individuais podem ser melhorados, por exemplo, através de uma melhor compreensão do índice “Massa de cobre por m² de construção” ligado às perdas em outro índice “Perdas em W por massa de cobre” demandando comparações entre vários tipos de edificações e de condutores utilizados.

Se consideradas as empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, e suas relações com cabos de energia elétrica, embora não seja matéria relacionada a este trabalho, não é possível deixar de citar os problemas que envolvem a questão dos furtos de fios e cabos e de energia de suas instalações e que leva ao desenvolvimento de novos tipos de cabos (Aço e Cobre em cabos de para raios, por exemplo), novos tipos de isolamento e de dispositivos de medição de energia. Como afeta de maneira mais direta a operação do sistema elétrico e refletem em seus patrimônios e índices de qualidade de fornecimento, parece lógico que estas sejam preocupações mais prementes.

Ainda permanecem as questões relativas à segurança nas instalações dos consumidores, assunto este de difícil contabilização específica que é associado a “uma sensação” e/ou “uma percepção” de segurança, denotada em [8], em que pesem indicações e demonstrações [9] [22] [23] e o próprio conhecimento técnico e tecnológico já acumulado e disponível. Todavia é assunto recorrente entre fabricantes de equipamentos e materiais e utilizado, inclusive, com justificativa e argumento de vendas de seus produtos.

A energia elétrica utilizada nas instalações residenciais em tensões baixas (até 220V) e correntes também relativamente baixas (até 100A de corrente de projeto nos circuitos de entrada) tem boas características de distribuição, de controle e de proteção. Demandam atenção do usuário e proprietário quanto ao uso e manutenção seguros; ao mesmo tempo permite fácil e arriscada utilização improvisada com conseqüências muitas vezes não perceptíveis em curto espaço de tempo. No caso de incêndios, há um tempo de latência que pode variar de minutos a meses antes da ocorrência de incêndio. Há um intervalo de tempo para que todos os desvios ocorram simultaneamente desencadeando o início do incêndio e isto, talvez, explique porque poucas ocorrências catastróficas ocorram.

A adoção de certificação compulsória das instalações elétricas, em tese e à primeira vista, é uma ação com efeitos benéficos sobre os consumidores e empresas concessionárias de energia, pois a adequação das instalações às prescrições à norma técnica específica vigente engloba não só as perdas por aquecimento, mas também aspectos de proteção e segurança contra choques elétricos, riscos de incêndio e efeitos de descargas atmosféricas. A existência de materiais e equipamentos elétricos fabricados e comercializados conforme regulamentações técnicas e legais compulsórias sugere que regulamentações compulsórias para projeto, execução, certificação e manutenção sejam adotadas. É possível, também, levantar para estudos futuros, duas questões relativas aos custos do processo de certificação das instalações: 1) sobre quem, e como, recairia o ônus financeiro deste processo; 2) os reflexos das instalações elétricas certificadas sobre os prêmios de apólices de seguro de edificações.

As ações das entidades ligadas a fabricantes de materiais elétricos, podem sugerir em primeira instância a promoção e regulamentação de interesses específicos do setor. Porém, como pode ser visto no caso da QUALIFIO por exemplo, há reflexo direto sobre os consumidores na medida em que promove a disponibilidade de materiais em conformidade com normas e regulamentos técnicos para o mercado consumidor.

Sobre agrupamentos de consumidores, há indicações de que os estudos de perdas por aquecimento dos condutores aqui considerados se mostram mais indicados serem enfocados sobre os ramais alimentadores. Isto sugere que, dentro dos assuntos aqui abordados, os estudos sobre as linhas elétricas pré-fabricadas se mostram mais importantes e deverão ser aprofundados aproveitando-se as relações já explicadas entre fabricantes, concessionárias, laboratórios de testes e ensaios.

Os valores obtidos nos ensaios em linhas elétricas pré-fabricadas, para determinação de suas características elétricas com corrente nominal no ensaio de elevação de temperatura

pelo método estabelecido pela respectiva norma técnica, merecem maior atenção e estudos, pois foram encontradas algumas diferenças consideráveis para valores declarados em catálogo por fabricantes. Alguns outros valores calculados a partir de ensaios, e confrontados, com cálculos de fabricante, apresentaram diferenças bastante pequenas. Como já citado anteriormente, as diferenças encontradas entre os valores de potências ativas, estimados por cálculo e medidos, mostram tendências aumento com aumento das correntes de ensaio e as densidades de corrente nos condutores e sugerem possível efeito de campos magnéticos e suas possíveis influências nas disposições de condutores e equipamentos de medição.

As medições efetuadas com correntes de curto-circuito, além do aproveitamento da montagem de ensaio já citada, têm importância em casos específicos de certas linhas elétricas pré-fabricadas que possuem mais de uma barra por fase. Isto leva a situações de montagens do ensaio de elevação de temperatura onde há igualmente mais de uma barra de conexão à fonte de alimentação, impedindo que haja um ponto comum (por fase) de tomada de tensão. Pode ser, também, adotada a solução de se alterar o tipo de conexão utilizada no ensaio de elevação de temperatura, de modo a deixar a conexão semelhante a aquela utilizada nos ensaios de curto-circuito aonde há pontos em comum para as medições de tensão.

Os valores obtidos nos ensaios de curto-circuito devem ser avaliados para a aplicação de possíveis fatores de correção que levem em conta os efeitos peliculares e de proximidade de condutores elétricos percorridos por correntes elevadas. Simulações computacionais, cálculos teóricos e novos ensaios e medições fazem parte da gama de projetos idealizados e já iniciados nos laboratórios da Seção Técnica de Altas Correntes do IEE-USP, que permitirão futuramente a publicação de trabalhos relacionados ao assunto.

REFERÊNCIAS

- [1] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. **Notas de Aula da Disciplina ENE5703**. 2005.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro. 2004. (NBR5410/2004).
- [3] CHU, W.; CHEN, B.; YU, P. **The Measurement and Economic Evaluation of the residential wiring system losses** – IEEE Transactions on Power Systems, Vol 9, N°3, August 1994.
- [4] FISCHMANN, V.E. **Estudo de casos para utilização de prumadas de uso coletivo em edificações**. 10º Encontro Nacional de Instalações Elétricas. São Paulo. 2004.
- [5] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Electric cables - Calculation of the current rating - Part 3: Sections on operating conditions - Section 2: Economic optimization of power cable size**. (IEC 60287-3-2. Edition 1.0 (1995)).
- [6] MORENO, H. **Dimensionamento econômico de condutores elétricos 3ª edição**. Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE). 2003.
- [7] SCABBIA, André Luis G. – **Aplicação da Análise Preliminar de Perigos (APP) no gerenciamento de riscos de incêndios originados em instalações elétricas de baixa tensão**. São Paulo. 2004. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.
- [8] Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE). **Análise do estado atual das instalações elétricas residenciais em São Paulo**. - Maio/2002.

[9] BURANI, G.F.; GRIMONI, J.A.B.; SUETA, H.E.; CAIRES, L.E.; d'AVILA, R.S.; **Relatório técnico sobre análise de perdas em instalações residenciais**. Universidade de São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia. Documento N°2001DP00RT001. 2001.

[10] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Rio de Janeiro: EPE, 2005 - **Balço Energético Nacional 2005: Ano base 2004**. 118P. : 10 il; 29,7cm. CDU 620.9:553.04(81).

[11] SECRETÁRIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Balço Energético do Estado de São Paulo 2005: Ano base 2004**. 210p. Série Informações Energéticas, 002.

[12] SECRETÁRIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Balço Energético do Estado de São Paulo 2006: Ano base 2005**. 212p. Série Informações Energéticas, 002.

[13] SECRETÁRIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Consumo por Classe e Município - 1998**. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/Merceeeg.htm>. (<ftp://ftp.sp.gov.br/ftpenergia/mun98.exe>).

[14] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002. 153p. CDU:912:621.31(81).

[15] AES ELETROPAULO. **Consumidores residenciais de energia elétrica (ref. Ano 2005)**. Arquivo: **Qde Residencial 2005.xls**. Disponibilizado em 18/10/2006.

[16] SECRETÁRIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Consumidores**. Disponível em <http://www.energia.sp.gov.br/Merceeeg.htm>. (<ftp://ftp.sp.gov.br/ftpenergia/nc1106.pdf>).

[17] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. (INMETRO). Rio de Janeiro. **Avaliação de conformidade – 3ª edição**. Junho/2004.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão. Parte 2: Requisitos particulares para linhas elétricas pré-fabricadas (sistemas de barramentos blindados)**. Rio de Janeiro. 2004. (NBR IEC60439-2 Primeira edição 31.08.2004).

[19] DUTT, G.S. **Techniques For End Use Electricity Analysis and Conservation Program Design and Evaluation - A Manual**. Princeton: CEES/USAID, 1992. Volume A.

[20] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Manual para elaboração do programa de eficiência energética (ciclo2005/2006)**. Disponível em: (http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/MANUAL_ELABORACAO_DO_PEE_CICLO_2005-2006_REV_DEZ_2005.pdf).

[21] BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). **Norma Regulamentadora N.º.10. Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. NR – 10: Portaria n.º 598, de 07/12/2004 (D.O.U. de 08/12/2004 – Seção 1). Ementas: Portaria n.º 126, de 03/06/2005 (D.O.U. de 06/06/2005 – Seção 1)

[22] **Programa Piloto do Programa Casa Segura avalia condições em 150 edifícios na Capital e os resultados não são nada otimistas**. Disponível em: <http://www.programacasasegura.org/interna.php?conteudo=13>

[23] **Blitz em Higienópolis leva orientação para síndicos e moradores**. Disponível em: <http://www.programacasasegura.org/interna.php?conteudo=16>

[24] **REGULARIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES**. Eletricidade Moderna. São Paulo, BR: Aranda Editora Técnica e Cultural Limitada, 1972 - . Mensal. ISSN 0100-2104. Edição Junho/2006. pág.36.

[25] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. (INMETRO). **Inmetro amplia programas de avaliação da conformidade**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/367.asp>

[26] FAVRETTO, Jaime. **Uma metodologia de competência aplicada ao eletricitista de instalações prediais em baixa tensão**. Florianópolis. 2003. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. 110p. 2003.

[27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO (ABRAMAN). **Programa Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal na Área de Manutenção (PNQC)**. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/pnqc/Default.asp>.

[26] LONDON METAL EXCHANGE (LME). **Price Graphs**. Disponível em: http://www.lme.co.uk/copper_graphs.asp.

[28] Andrade, V.A., **Modelagem dos custos para casas da classe média**. Florianópolis. 1996. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção.

[29] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE. Rio de Janeiro. 2004 – **Relatório analítico – Mercado de energia elétrica – Ciclo de planejamento/2003**.

[30] MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE. Rio de Janeiro. **Boletim Mensal de Energia Elétrica (17/05/2006). Alta de 7,5% na classe residencial puxa consumo de energia elétrica em março**.

[31] GRIMONI, J.A.B.; BURANI, G.F.; SUETA, H.E. **Um estudo sobre as perdas nas instalações elétricas residenciais – causas, impactos no sistema e mitigação**. 7º Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Uberlândia. 2003.

[32] AES ELETROPAULO. **Livro de Instruções Gerais LIG BT 2005 Fornecimento de Energia Elétrica em Baixa Tensão. Determinação da Demanda. Consumidores residenciais de energia elétrica**. 2008. Disponível em: http://www.eletropaulo.com.br/portal/download.cfm?Pasta_Id=501.

[33] AES ELETROPAULO. **Comunicado Técnico nº33 - Homologação de Linhas Pré-fabricadas com Condutores Ativos de Cobre ou Alumínio** (Publicado em 09/10/2006). Disponível em: http://www.eletropaulo.com.br/portal/download.cfm?Pasta_Id=673.

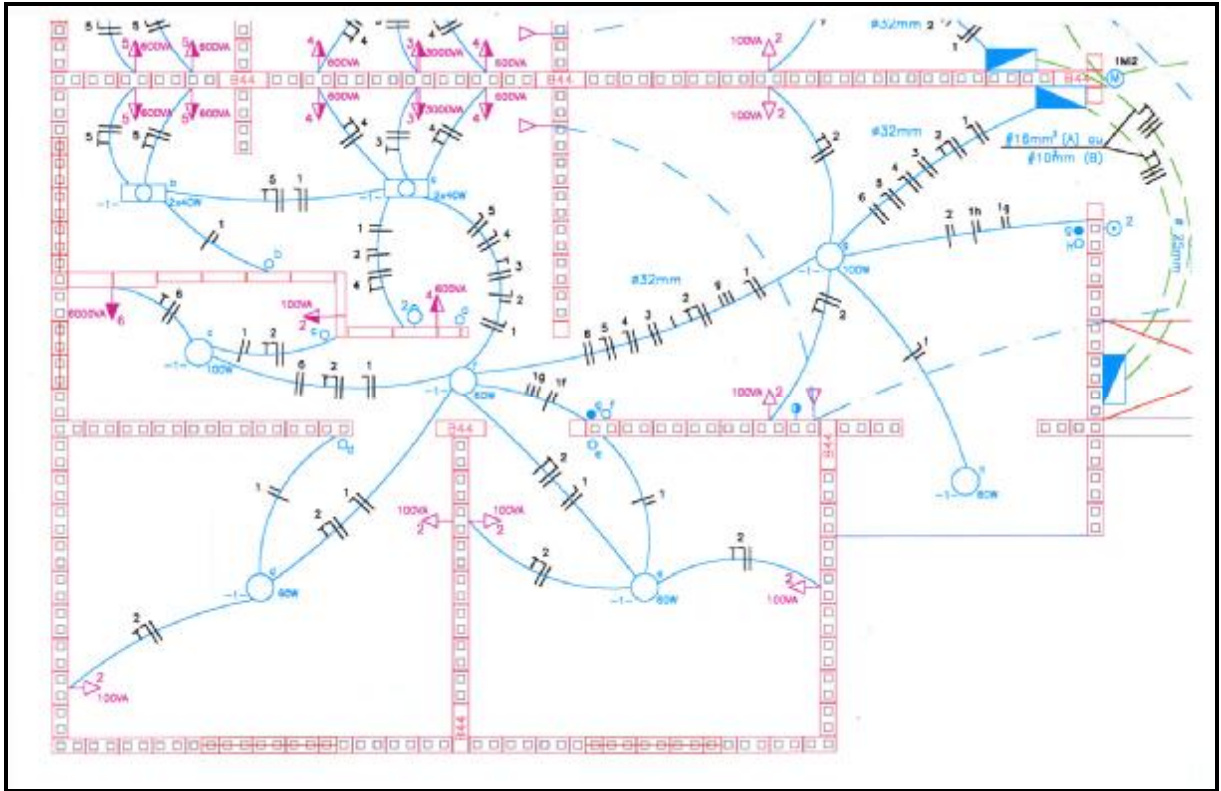
[34] ARAÚJO, ANTONIO CARLOS M. de; SIQUEIRA, CALUDIA AGUIAR de. **Considerações sobre as Perdas na Distribuição de Energia Elétrica no Brasil**. – 17º Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Belo Horizonte (MG) – 2006.

[35] COSTA, EDUARDO de S. **Detecção de Irregularidades em Unidades Consumidoras com Mutirão de Inspeções**. – 17º Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Belo Horizonte (MG) – 2006.

[36] REGUEIRA, BRUNO; FERREIRA, FABIANO CARDOSO. **Experiências e Ações de Combate a Perdas Comerciais com Resultados na Otimização de Perdas Técnicas**. – 17º Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Belo Horizonte (MG) – 2006.

ANEXOS

ANEXO 1 – Planta baixa do imóvel utilizado. Desenho sem escala e com indicações do projeto de instalação Tipo 1.



**ANEXO 2 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 1 de instalação elétrica
considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm².**

(Instalação Tipo 3)

circuito 1-iluminação		tensão		fio 1,5mm ²										0,0033333333		disjuntor														
comodo	m ² Área	m perímetro	Pontos de luz	VA potencia	emendas	interru ptores	benj amin n	disju ntor	m to	mm ² cabo	corrente A	resistencia cabos ohm	resistencia acessorios ohm	horas de uso diárias h	perdas energia cabos Wh	perdas energia acessorios Wh	energia carga Wh	5,52 4mm ²	0,0033333333	ohm/km 24	energia carga Wh	perda Wh	cabo m	disjuntor	contribuição na entrada Wh					
																										perdas energia acessorios Wh	energia carga Wh	perda Wh	cabo m	
sala	16	15,5	1	100	2	1	0	1	6,8	1,5	0,787402	0,197893333	0,041	4	0,491	0,102	340,000	0,102	0,0033333333	340,000	0,102	0,657	0,008							
terraceo	2	6,3	1	60	2	1	0	1	8,8	1,5	0,472441	0,255813333	0,041	2	0,114	0,018	102,000	0,018	0,0033333333	102,000	0,018	0,118	0,003							
quarto1	8,8	11,6	1	60	2	1	0	1	11,3	1,5	0,472441	0,328213333	0,041	2	0,147	0,018	102,000	0,018	0,0033333333	102,000	0,018	0,118	0,003							
quarto2	9,2	11,8	1	60	2	1	0	1	11,5	1,5	0,472441	0,33304	0,041	5	0,372	0,046	255,000	0,046	0,0033333333	255,000	0,046	0,296	0,003							
corredor	1,6	5,6	1	60	2	1	0	1	8,8	1,5	0,472441	0,255813333	0,041	4,7	0,268	0,043	239,700	0,043	0,0033333333	239,700	0,043	0,278	0,003							
banheiro	3,3	7,1	1	100	2	1	0	1	11,0	1,5	0,787402	0,31856	0,041	4	0,790	0,102	340,000	0,102	0,0033333333	340,000	0,102	0,657	0,008							
cozinha	6,2	9,6	1	80	2	1	0	1	10,5	1,5	0,629921	0,30408	0,041	2	0,241	0,033	136,000	0,033	0,0033333333	136,000	0,033	0,210	0,005							
AS	2,9	6,1	1	100	2	1	0	1	12,5	1,5	0,787402	0,362	0,041	5	1,122	0,127	425,000	0,127	0,0033333333	425,000	0,127	0,821	0,008							
				620																										
				FP	0,85																									
				I	5,7434																									
															total perdas =		3,545		total perdas =		4,03		total perdas =		3,156		total perdas =		0,042	
															% total perdas =		0,21%		% total perdas =		0,21%		% total perdas =		3,20		% total perdas =		0,042	

**ANEXO 3 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 2 de instalação elétrica
considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm².
(Instalação Tipo 3)**

circuito-2 tomadas geral		Tensão = 127 V		fio 1,5mm ²		14,48		ohm/km		5,52		disjuntor								
comodo	m ²	m	VA	corrente	resistencia cabos	resistencia acessorios	horas de uso diárias	perdas energia cabos	perdas energia acessorios	energia carga	energia carga	contribuição na entrada	m							
Área	perimetro	tomadas	potencia	A	ohm	ohm	h	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh								
sala	16	15,5	1	100	2	0	1	1	8,0	1,5	0,787402	0,232645333	0,072	2	0,288	0,089	170,000	0,329	0,001	disjuntor
quarto1	8,8	11,6	1	100	2	0	1	1	8,0	1,5	0,787402	0,232645333	0,072	2	0,288	0,089	170,000	0,329	0,001	disjuntor
quarto2	9,2	11,8	1	100	2	0	1	1	12,7	1,5	0,787402	0,367792	0,072	2	0,456	0,134	255,000	0,493	0,002	disjuntor
banheiro	3,3	7,1	1	100	2	0	1	1	13,0	1,5	0,787402	0,377445333	0,072	5,5	1,287	0,246	467,500	0,904	0,002	disjuntor
									13,0	1,5	0,787402	0,377445333	0,072	6	1,404	0,268	510,000	0,986	0,002	disjuntor
									11,2	1,5	0,787402	0,324352	0,072	2	0,402	0,089	170,000	0,329	0,001	disjuntor
													total perdas =	4,811	1,004	1912,500	3,696	0,010		
													%total perdas =	5,815	Wh	3,706				
													FP	0,85	A					
													I	6,484484						

**ANEXO 4 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 3 de instalação elétrica
considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm².
(Instalação Tipo 3)**

circuito-3 tomadas especial	220	m	V.A	potencia	emendas	interruptores	benjamins	disjuntor	m comprimento	mm ² cabo	fio 1,5mm ²		ohm/km		5,52		4mm ²		ohm/km	m		
											resistencia cabos	resistencia cabos	resistencia cabos	resistencia cabos	perdas energia cabos	perdas energia cabos	energia carga	energia carga			contribuição na entrada	
comodo	Área	6,2	9,6	3000	2	0	0	2	10,2	1,5	13,6363636	0,295392	0,062	0,5	27,46	5,76	1350,00	1350,00	24,63	2,48		
cozinha				0,9															cabo	disjuntor		
											total perdas =		5,76		27,46		1350,00		24,63		2,48	
											%total perdas =		33,23		Wh		27,11					
											2,46%											

**ANEXO 5 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 4 de instalação elétrica
considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm².**

(Instalação Tipo 3)

Circuito-4 Tomada Geral		fio 2,5mm ²				8,87 ohm/km				5,52 4mm ²				ohm/km		24 m		
Comodo	Área m ²	m perímetro	Tomadas	VA potencia	emendas	interru ptores	benj amin tor	(disjuntor)	m comprimen to	mm ² cabo	A corrente	ohm resistencia cabos	ohm resistencia acessorios	h horas de uso diárias	Wh perdas energia cabos	Wh perdas energia acessorios	Wh energia carga	Wh contribuição na entrada
cozinha	6,2	9,6	1	600	2	0	0	1	10,4	1,5	4,724409	0,1839047	0,032	1	4,10	0,71	510,00	5,91
			1	600	2	0	0	1	10,4	1,5	4,724409	0,1839047	0,032	2	8,21	1,43	1020,00	11,83
AS	2,9	6,1	1	600	2	0	0	1	12,4	1,5	4,724409	0,2193847	0,032	1,96	9,60	1,40	999,60	11,59
			1	600	2	0	0	1	12,4	1,5	4,724409	0,2193847	0,032	2	9,79	1,43	1020,00	11,83
				2400											31,71	4,97	3549,60	41,16
		FP		0,85											36,68	Wh		42,35
		I		22,23252	A										total perdas =			total perdas =
															1,03%			1,03%

**ANEXO 6 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 5 de instalação elétrica
considerando a maioria dos circuitos utilizando fios de seção 1,5mm².**

(Instalação Tipo 3)

Circuito-6 Tomada Especial		5,52 ohm/km										5,52 ohm/km		24 m			
		fio 4mm2					fio 4mm2					4mm2		energia carga			
220	24	corrente	resistencia cabos	resistencia acessorios	horas de uso diarias	perdas energia	perdas energia	perdas energia	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh	
area	perimetro	Tomada	V/A	emendas	interru ptores	benja min	disjuntor	m comp rimen to	mm ² cabo	A	ohm	ohm	h	Wh	Wh	Wh	
3.3	7.1	I	6000	2	0	0	2	9,5	4	27,27272727	0,10488	0,062	0,3333333333	26,00	15,37	1900,00	65,69
PP I 0,95 28,70813 A total perdas = 41,38 Wh %total perdas = 0,02																	
													15,37	1900,00	65,69	75,61	
													26,00	15,37	1900,00	65,69	75,61
													Wh	Wh	cabo	disjuntor	
													9,92				

ANEXO 7 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 1 da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2).

circuito I-iluminação		tensão 127										4mm ²		24		m		
m ² Área	m perímetro	VA potência	emendas	interruptores internos	benjamins ampli n	disjuntor or n	m comprimento	mm ² cabo	A corrente	ohm resistência cabos	ohm resistência acessorios	h horas de uso diárias	Wh perdas energia cabos	Wh perdas energia acessorios	Wh energia carga	Wh contribuição na entrada		
sala	16	100	2	1	0	1	6,8	2,5	0,787402	0,121223333	0,041	4	0,30	0,10	340,00	0,66	0,01	
terraceo	2	60	2	1	0	1	8,8	2,5	0,472441	0,156703333	0,041	2	0,07	0,02	102,00	0,12	0,00	
quarto1	8,8	60	2	1	0	1	11,3	2,5	0,472441	0,201053333	0,041	2	0,09	0,02	102,00	0,12	0,00	
quarto2	9,2	60	2	1	0	1	11,5	2,5	0,472441	0,20401	0,041	5	0,23	0,05	255,00	0,30	0,00	
corredor	1,6	60	2	1	0	1	8,8	2,5	0,472441	0,156703333	0,041	4,7	0,16	0,04	239,70	0,28	0,00	
banheiro	3,3	100	2	1	0	1	11,0	2,5	0,787402	0,19514	0,041	4	0,48	0,10	340,00	0,66	0,01	
cozinha	6,2	80	2	1	0	1	10,5	2,5	0,629921	0,18627	0,041	2	0,15	0,03	136,00	0,21	0,01	
AS	2,9	100	2	1	0	1	12,5	2,5	0,787402	0,22175	0,041	5	0,69	0,13	425,00	0,82	0,01	
													total perdas =	2,17	1939,70	0,49	3,16	0,04
													FP	0,85	Wh	3,20		
													I	5,7434	A			
													%total perdas =	0,14%				

ANEXO 9 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 3 da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2).

circuito-3 tomadas especial		220	5,52 ohm/km										24	m														
cozinha	m ² Área	m	permetro	Tomadas	VA potencia	emendas	interruptores	benjamin	disjuntor	comprim ento	m	mm ² cabo	fio 2,5mm ²		8,87 ohm/km		5,52 4mm ²		24,63 cabo	24,63 disjuntor	2,48							
													corrente	resistencia cabos	resistencia acessorios	horas de uso diárias	perdas energia cabos	perdas energia acessorios				energia carga	energia na entrada					
6,2	9,6	1	FP	3000	2	2	0	0	2	10,2	2,5	13,636364	0,180948	0,062	0,5	16,82	5,76	1350,00	24,63									
			I	0,9	A																							
			I	15,15152																								
														total perdas =			16,82			5,76			1350,00			24,63		
														%total perdas =			1,67%			22,59			Wh			27,11		

ANEXO 11 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 5 da instalação elétrica segundo as constatações dos imóveis pesquisados (Instalação Tipo 2).

Circuito-6 Tomada Especial		fio 4mm2										5,52 ohm/km			5,52 ohm/km			24 m			
220																					
m ²	m	V.A	potencia	emendas	interruptores	benja min	disjuntor	m	mm ²	A	corrente	resistencia cabos	resistencia acessorios	horas de uso diarias	perdas energia cabos	perdas energia cabos	perdas energia cabos	energia carga	contribuição na entrada		
Cômodo	perímetro	Tomada						comprim	cabos			ohm	ohm	h	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh	disjuntor	
Banheiro	7,1	1	6000	2	0	0	2	9,5	4	27,27273	0,10488	0,062	0,33333333	26,00	15,37	1800,00		1800,00	65,69	9,92	
		FP	0,9												26,00	15,37	1800,00	1800,00	65,69		
		I	30.30303	A											Wh	Wh	Wh	Wh	Wh		
															total perdas =	total perdas =	%total perdas =			75,61	
															2,30%						

ANEXO 13 – Planilha de cálculo de perdas no circuito 2 da instalação elétrica segundo as orientações da norma NBR5410/1997 (Instalação Tipo 1).

circuito-2 tomadas geral		Tensão = 127 V											0,003333 disjuntor 1,38 ohm/km 16mm ²				24 m		
comodo	m ² Area	m perimetro	tomadas	VA potencia	emendas	interrup tores	benja min	disjuntor	m compri mento	mm ² cabo	Fio 2,5mm ² 8,87 ohm/km			16mm ²			Wh contribuição na entrada		
											corrente	resistencia cabos	resistencia accessorios	horas de uso diárias	perdas energia cabos	perdas energia accessorios		energia carga	
sala	16	15,5	1	100	2	0	1	1	8,0	2,5	0,7874	0,1425113	0,072	2	0,18	0,09	170,00	0,08	0,00
quarto1	8,8	11,6	1	100	2	0	1	1	8,0	2,5	0,7874	0,1425113	0,072	2	0,18	0,09	170,00	0,08	0,00
quarto2	9,2	11,8	1	100	2	0	1	1	12,7	2,5	0,7874	0,225298	0,072	2	0,28	0,09	170,00	0,08	0,00
banheiro	3,3	7,1	1	100	2	0	1	1	13,0	2,5	0,7874	0,2312113	0,072	5,1	0,73	0,23	433,50	0,21	0,00
			1	100	2	0	1	1	13,0	2,5	0,7874	0,2312113	0,072	7	1,00	0,31	595,00	0,29	0,00
			1	100	2	0	1	1	11,2	2,5	0,7874	0,198688	0,072	4	0,49	0,18	340,00	0,16	0,00
															3,27	1,12	2125,00	1,03	0,00
															total perdas =	4,38	Wh	1,03	1,03
															%total perdas =	0,21%			
															700				
															FP	0,85			
															I	6,48448	A		

ANEXO 18 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 1250A com condutores de cobre.

Estimativa das perdas Joule comprimento = 7,85 m seção = 540 mm ² e = 6 mm a = 90 mm Tamb = 17 °C Tmáx = 98,67 °C dT = 81,67 °C R(Tmáx) = 0,36313053 mohm/fase (Ltotal) I = 1231,33 A/fase P = 550,6 W/fase (Ltotal) Ptotal = 1651,7 W (Ltotal)		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Cu) = 0,018 ohm.mm ² /m a20(Cu) = 0,00393 °C	
		média 93 102 101 98,6666667 °C 1244 1230 1220 1231,33333 A ou 0,0462587 mohm/m média	
		dif pot (med/teor) -11,6%	
Valores medidos (yokogawa - WT130) W1 = 650,0 W W3 = 810,0 W Wt = W1+W3 1460,0 W Ia = 1244,0 Arms Ib = 1230,0 Arms Ic = 1220,0 Arms Vab = 1,470 Vrms Vbc = 1,027 Vrms Vca = 1,930 Vrms		Valores medidos (minipa e amperimetro da materiais) W1 = 0,0 W W3 = 0,0 W Wt = W1+W3 0,0 W Ia = 1244,0 Arms Ib = 1230,0 Arms Ic = 1220,0 Arms Vab = 1,470 Vrms Vbc = 1,027 Vrms Vca = 1,930 Vrms	
valores considerados para cálculos W1 = 650,0 W W3 = 810,0 W Wt = W1+W3 1460,0 W Ia = 1244,0 Arms Ib = 1230,0 Arms Ic = 1220,0 Arms Vab = 1,470 Vrms Vbc = 1,027 Vrms Vca = 1,930 Vrms		cálculos Wt = 1460,0 W Im = 1231,3 Arms Vm = 1,476 Vrms	

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Cu) = 0,018 ohm.mm ² /m a20(Cu) = 0,00393 °C	
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 $V = (Vab + Vbc + Vca)/3 =$ $I = (Ia + Ib + Ic)/3 =$ $P = Wt =$ $Z = V / (r3 \times I \times L) =$ $R(Tmáx) = P / (3 \times I \times L) =$ $X1 = (Z^2 - R^2)^{0,5} =$	Tmáx 98,66667 °C
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 $Z = (R20 \times R20 + X1 \times X1)^{0,5} =$ $R(20°C) = RTmáx / (1 + a20 \times dT) =$ $X1 (Tmáx) = X1 (20°C) =$	T 20 °C

ANEXO 19 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 250A com condutores de alumínio.

Estimativa das perdas Joule comprimento = 8 m seção = 150 mm ² e = 6 mm a = 25 mm Tamb = 25 °C Tmáx = 79,00 °C dT = 54,00 °C R(Tmáx) = 2,03907893 mohm/fase (Ltotal) I = 252,27 A/fase P = 129,8 W/fase (Ltotal) Ptotal = 389,3 W (Ltotal)		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C	
		média 79 80 78 79 °C 252,4 247,5 256,9 252,2667 A ou 0,25488487 mohm/m média	
		dif pot (med/teor) -7,5%	
Valores medidos (yokogawa - WT130) W1 = 149,0 W W3 = 207,0 W Wt = W1+W3 = 360,0 W Ia = 252,4 Arms Ib = 247,5 Arms Ic = 256,9 Arms Vab = 1,470 Vrms Vbc = 1,027 Vrms Vca = 1,930 Vrms		Valores medidos (minipa e ampermetro da materiais) W1 = 0,0 W W3 = 0,0 W Wt = W1+W3 = 0,0 W Ia = 252,4 Arms Ib = 247,5 Arms Ic = 256,9 Arms Vab = 1,012 Vrms Vbc = 0,818 Vrms Vca = 1,066 Vrms	
valores considerados para cálculos W1 = 149,0 W W3 = 207,0 W Wt = W1+W3 = 360,0 W Ia = 252,4 Arms Ib = 247,5 Arms Ic = 256,9 Arms Vab = 1,241 Vrms Vbc = 0,923 Vrms Vca = 1,066 Vrms		cálculos Wt = 360,0 W Im = 252,3 Arms Vm = 1,077 Vrms	

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C ⁻¹	
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1	
$V = (Vab + Vbc + Vca)/3 =$ $I = (Ia + Ib + Ic)/3 =$ $P = Wt =$ $Z = V / (r3 \times I \times L) =$ $R(Tmáx) = P / (3 \times I \times I \times L) =$ $X1 = (Z^2 - R^2)^{0,5} =$	Tmáx 79 °C
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1	
$Z = (R20 \times R20 + X1 \times X1)^{0,5} =$ $R(20°C) = RTmáx / (1 + a20 \times dT) =$ $X1(Tmáx) = X1(20°C) =$	T 20 °C

ANEXO 20 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 1250A com condutores de alumínio.

Estimativa das perdas Joule comprimento = 8 m seção = 959,49 mm ² e = 6,3 mm a = 152,3 mm Tamb = 25 °C Tmáx = 79,67 °C dT = 54,67 °C R(Tmáx) = 0,31942506 mohm/fase (Ltotal) I = 1236,00 A/fase P = 488,0 W/fase (Ltotal) Ptotal = 1464,0 W (Ltotal)		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C	
		média 77 82 80 79,66667 °C 1230 1242 1236 1236 A	
		ou 0,03992813 mohm/m média	
		dif pot (med/teor) -7,8%	
Valores medidos (yokogawa - WT130) W1 = 620,0 W W3 = 730,0 W Wt = W1+W3 = 1350,0 W Ia = 1226,0 Arms Ib = 1242,0 Arms Ic = 1239,0 Arms Vab = 1,470 Vrms Vbc = 1,027 Vrms Vca = 1,930 Vrms		Valores medidos (minipa e amperimetro da materiais) W1 = 0,0 W W3 = 0,0 W Wt = W1+W3 = 0,0 W Ia = 1230,0 Arms Ib = 1242,0 Arms Ic = 1236,0 Arms Vab = 1,122 Vrms Vbc = 1,348 Vrms Vca = 0,724 Vrms	
valores considerados para cálculos W1 = 620,0 W W3 = 730,0 W Wt = W1+W3 = 1350,0 W Ia = 1228,0 Arms Ib = 1242,0 Arms Ic = 1237,5 Arms Vab = 1,296 Vrms Vbc = 1,188 Vrms Vca = 0,724 Vrms		cálculos Wt = 1350,0 W Im = 1235,8 Arms Vm = 1,069 Vrms	

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C ⁻¹	
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1	
V = (Vab + Vbc + Vca)/3 = I = (Ia + Ib + Ic)/3 = P = Wt = Z = V / (r3 x I x L) = R(Tmáx) = P / (3 x I x I x L) = X1 = (Z2 - R2) ^{0,5} =	1,069 Vrms 1235,833 Arms 1350,000 W 0,06244 mohm/m 0,03683 mohm/m 0,05042 mohm/m
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1	
T 20 °C	
Z = (R20xR20 + X1 x X1) ^{0,5} = R(20°C) = RTmáx/(1+a20 x dT) = X1 (Tmáx) = X1 (20°C) =	0,05876 mohm/m 0,03018 mohm/m 0,05042 mohm/m

ANEXO 21 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 800A com condutores de alumínio.

Estimativa das perdas Joule comprimento = 7,2 m seção = 540 mm ² e = 6 mm a = 90 mm Tamb = 25 °C Tmáx = 113,00 °C dT = 88,00 °C R(Tmáx) = 0,5627508 mohm/fase (Ltotal) I = 800,00 A/fase P = 360,2 W/fase (Ltotal) Ptotal = 1080,5 W (Ltotal)		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C ⁻¹			
		112	114	113	113 °C
		810	780	810	800 A
		ou	0,07815983 mohm/m		
		dif pot (med/teor)		-1,9%	
Valores medidos (yokogawa - WT130) W1 = 490,0 W W3 = 570,0 W Wt = W1+W3 = 1060,0 W Ia = 821,0 Arms Ib = 780,0 Arms Ic = 814,0 Arms Vab = 1,183 Vrms Vbc = 0,790 Vrms Vca = 1,404 Vrms		Valores medidos (minipa e amperimetro da materiais) W1 = 0,0 W W3 = 0,0 W Wt = W1+W3 = 0,0 W Ia = 810,0 Arms Ib = 780,0 Arms Ic = 810,0 Arms Vab = 1,183 Vrms Vbc = 0,790 Vrms Vca = 1,404 Vrms			
valores considerados para cálculos W1 = 490,0 W W3 = 570,0 W Wt = W1+W3 = 1060,0 W Ia = 815,5 Arms Ib = 780,0 Arms Ic = 812,0 Arms Vab = 1,183 Vrms Vbc = 0,790 Vrms Vca = 1,404 Vrms		cálculos Wt = 1060,0 W Im = 802,5 Arms Vm = 1,126 Vrms			

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C ⁻¹	
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 $V = (Vab + Vbc + Vca)/3 =$ 1,126 Vrms $I = (Ia + Ib + Ic)/3 =$ 802,500 Arms $P = Wt =$ 1060,000 W $Z = V / (r3 \times I \times L) =$ 0,11248 mohm/m $R(Tmáx) = P / (3 \times I \times L) =$ 0,07620 mohm/m $X1 = (Z^2 - R^2)^{0,5} =$ 0,08273 mohm/m	Tmáx 113 °C
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 $Z = (R20 \times R20 + X1 \times X1)^{0,5} =$ 0,10005 mohm/m $R(20°C) = RTmáx / (1 + a20 \times dT) =$ 0,05625 mohm/m $X1 (Tmáx) = X1 (20°C) =$ 0,08273 mohm/m	T 20 °C

ANEXO 22 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 1600A com condutores de cobre.

Estimativa das perdas Joule comprimento = 8 m seção = 660 mm ² e = 6 mm a = 110 mm Tamb = 22 °C Tmáx = 109,33 °C dT = 87,33 °C R(Tmáx) = 0,31193018 mohm/fase (Ltotal) I = 1580,00 A/fase P = 778,7 W/fase (Ltotal) Ptotal = 2336,1 W (Ltotal)		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Cu) = 0,018 ohm.mm²/m a20(Cu) = 0,00393 °C 107 115 103 119 121 91 109,3333 °C média 1590 1590 1560 1580 A média	
		ou 0,03899127 mohm/m	
Valores medidos (yokogawa - WT130) W1 = 1040,0 W W3 = 1050,0 W Wt = W1+W3 = 2090,0 W Ia = 1601,0 Arms Ib = 1590,0 Arms Ic = 1570,0 Arms Vab = 1,470 Vrms Vbc = 1,027 Vrms Vca = 1,930 Vrms		Valores medidos (minipa e amperimetro da materiais) W1 = 0,0 W W3 = 0,0 W Wt = W1+W3 = 0,0 W Ia = 1590,0 Arms Ib = 1590,0 Arms Ic = 1560,0 Arms Vab = 1,260 Vrms Vbc = 0,765 Vrms Vca = 1,465 Vrms	
valores considerados para cálculos W1 = 1040,0 W W3 = 1050,0 W Wt = W1+W3 = 2090,0 W Ia = 1595,5 Arms Ib = 1590,0 Arms Ic = 1565,0 Arms Vab = 1,365 Vrms Vbc = 0,896 Vrms Vca = 1,465 Vrms		cálculos Wt = 2090,0 W Im = 1583,5 Arms Vm = 1,242 Vrms	

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Cu) = 0,018 ohm.mm²/m a20(Cu) = 0,00393 °C	
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 $V = (Vab + Vbc + Vca)/3 =$ 1,242 Vrms $I = (Ia + Ib + Ic)/3 =$ 1583,500 Arms $P = Wt =$ 2090,000 W $Z = V / (r3 \times I \times L) =$ 0,05660 mohm/m $R(Tmáx) = P / (3 \times I \times I \times L) =$ 0,03473 mohm/m $X1 = (Z^2 - R^2)^{0,5} =$ 0,04470 mohm/m	Tmáx 109,3333 °C
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 $Z = (R20 \times R20 + X1 \times X1)^{0,5} =$ 0,05164 mohm/m $R(20°C) = RTmáx / (1 + a20 \times dT) =$ 0,02586 mohm/m $X1 (Tmáx) = X1 (20°C) =$ 0,04470 mohm/m	T 20 °C

ANEXO 23 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 1500A com condutores de alumínio.

Estimativa das perdas Joule comprimento = 8 m seção = 912 mm ² e = 6 mm a = 152 mm Tamb = 24 °C Tmáx = 88,67 °C dT = 64,67 °C R(Tmáx) = 0,34528485 mohm/fase (Ltotal) I = 1460,00 A/fase P = 736,0 W/fase (Ltotal) Ptotal = 2208,0 W (Ltotal)		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C ⁻¹ ou 0,04316061 mohm/m dif pot (med/teor) = -16,2%	
Valores medidos (yokogawa - WT130) W1 = 940,0 W W3 = 910,0 W Wt = W1+W3 = 1850,0 W Ia = 1506,0 Arms Ib = 1440,0 Arms Ic = 1436,0 Arms Vab = 1,140 Vrms Vbc = 0,686 Vrms Vca = 1,279 Vrms		Valores medidos (minipa e amperimetro da materiais) W1 = 0,0 W W3 = 0,0 W Wt = W1+W3 = 0,0 W Ia = 1500,0 Arms Ib = 1440,0 Arms Ic = 1440,0 Arms Vab = 1,140 Vrms Vbc = 0,686 Vrms Vca = 1,279 Vrms	
valores considerados para cálculos W1 = 940,0 W W3 = 910,0 W Wt = W1+W3 = 1850,0 W Ia = 1503,0 Arms Ib = 1440,0 Arms Ic = 1438,0 Arms Vab = 1,140 Vrms Vbc = 0,686 Vrms Vca = 1,279 Vrms		cálculos Wt = 1850,0 W Im = 1460,3 Arms Vm = 1,035 Vrms	

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C ⁻¹	
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 V = (Vab + Vbc + Vca)/3 = 1,035 Vrms I = (Ia + Ib + Ic)/3 = 1460,333 Arms P = Wt = 1850,000 W Z = V / (r3 x I x L) = 0,05115 mohm/m R(Tmáx) = P / (3 x I x I x L) = 0,03615 mohm/m X1 = (Z ² - R ²) ^{0,5} = 0,03619 mohm/m	Tmáx 88,66667 °C
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 Z = (R20xR20 + X1 x X1) ^{0,5} = 0,04617 mohm/m R(20°C) = RTmáx/(1+a20 x dT) = 0,02867 mohm/m X1 (Tmáx) = X1 (20°C) = 0,03619 mohm/m	T 20 °C

ANEXO 24 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 800A com condutores de cobre.

Estimativa das perdas Joule comprimento = 7,2 m seção = 540 mm ² e = 6 mm a = 90 mm Tamb = 22 °C Tmáx = 103,50 °C dT = 81,50 °C R(Tmáx) = 0,3376212 mohm/fase (Ltotal) I = 797,00 A/fase P = 214,5 W/fase (Ltotal) Ptotal = 643,4 W (Ltotal)		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Cu) = 0,018 ohm.mm ² /m a20(Cu) = 0,00393 °C <table border="0"> <tr> <td>108</td> <td>110</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>103</td> <td>109</td> <td>91</td> <td>103,5 °C</td> </tr> <tr> <td>783</td> <td>804</td> <td>804</td> <td>797 A</td> </tr> </table> ou 0,04689183 mohm/m		108	110	100		103	109	91	103,5 °C	783	804	804	797 A
108	110	100													
103	109	91	103,5 °C												
783	804	804	797 A												
		dif pot (med/teor) 15,2%													
Valores medidos (yokogawa - WT130) W1 = 376,0 W W3 = 365,0 W Wt =W1+W3 741,0 W Ia = 793,0 Arms Ib = 804,0 Arms Ic = 794,0 Arms Vab = 0,693 Vrms Vbc = 0,466 Vrms Vca = 0,686 Vrms		Valores medidos (minipa e amperimetro da materiais) W1 = 0,0 W W3 = 0,0 W Wt =W1+W3 0,0 W Ia = 783,0 Arms Ib = 804,0 Arms Ic = 804,0 Arms Vab = 0,693 Vrms Vbc = 0,466 Vrms Vca = 0,686 Vrms													
valores considerados para cálculos W1 = 376,0 W W3 = 365,0 W Wt =W1+W3 741,0 W Ia = 788,0 Arms Ib = 804,0 Arms Ic = 799,0 Arms Vab = 0,693 Vrms Vbc = 0,466 Vrms Vca = 0,686 Vrms		cálculos Wt= 741,0 W Im= 797,0 Arms Vm = 0,615 Vrms													

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Cu) = 0,018 ohm.mm ² /m a20(Cu) = 0,00393 °C	
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 $V = (Vab + Vbc + Vca)/3 =$ $I = (Ia + Ib + Ic)/3 =$ $P = Wt =$ $Z = V / (r3 \times I \times L) =$ $R(Tmáx) = P / (3 \times I \times I \times L) =$ $X1 = (Z^2 - R^2)^{0,5} =$	Tmáx 103,5 °C
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 $Z = (R20 \times R20 + X1 \times X1)^{0,5} =$ $R(20°C) = RTmáx / (1 + a20 \times dT) =$ $X1 (Tmáx) = X1 (20°C) =$	T 20 °C

ANEXO 25 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 400A com condutores de alumínio.

Estimativa das perdas Joule		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1)				
comprimento =	7,6 m	N - método N.1				
seção =	412,75 mm ²	ro20(Al) =	0,029 ohm.mm ² /m			
e =	6,35 mm	a20(Al) =	0,00403 °C			
a =	65 mm				média	
Tamb =	23 °C		55	58	55	56 °C
Tmáx =	56,00 °C		390	420	390	400 A
dT =	33,00 °C	ou	0,08611683 mohm/m			
R(Tmáx) =	0,65448788 mohm/fase (Ltotal)					média
I =	400,00 A/fase					
P =	104,7 W/fase (Ltotal)					
Ptotal =	314,2 W (Ltotal)					
		dif pot (med/teor)	-2,6%			
Valores medidos (yokogawa - WT130)		Valores medidos (minipa e amperímetro da materiais)				
W1 =	132,0 W	W1 =	0,0 W			
W3 =	174,0 W	W3 =	0,0 W			
Wt =W1+W3	306,0 W	Wt =W1+W3	0,0 W			
Ia =	386,0 Arms	Ia =	390,0 Arms			
Ib =	420,0 Arms	Ib =	420,0 Arms			
Ic =	394,0 Arms	Ic =	390,0 Arms			
Vab =	0,712 Vrms	Vab =	0,712 Vrms			
Vbc =	0,502 Vrms	Vbc =	0,502 Vrms			
Vca =	0,797 Vrms	Vca =	0,797 Vrms			
valores considerados para cálculos		cálculos				
W1 =	132,0 W	Wt =	306,0 W			
W3 =	174,0 W	Im =	400,0 Arms			
Wt =W1+W3	306,0 W	Vm =	0,670 Vrms			
Ia =	388,0 Arms					
Ib =	420,0 Arms					
Ic =	392,0 Arms					
Vab =	0,712 Vrms					
Vbc =	0,502 Vrms					
Vca =	0,797 Vrms					

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1)			
ro20(Al) =	0,029 ohm.mm ² /m		
a20(Al) =	0,00403 °C ⁻¹		
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1			
V = (Vab + Vbc + Vca)/3 =	0,670 Vrms	Tmáx	56
I = (Ia + Ib + Ic)/3 =	400,00 Arms		°C
P = Wt =	306,000 W		
Z = V / (r3 x I x L) =	0,12731 mohm/m		
R(Tmáx) = P / (3 x I x I x L) =	0,08388 mohm/m		
X1 = (Z2 - R2)^0,5 =	0,09577 mohm/m		
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1		T	20
			°C
Z = (R20xR20 + X1 x X1)^0,5 =	0,12105 mohm/m		
R(20°C) = RTmáx/(1+a20 x dT) =	0,07404 mohm/m		
X1 (Tmáx) = X1 (20°C) =	0,09577 mohm/m		

ANEXO 26 – Planilhas com valores medidos em ensaio de elevação de temperatura e de valores calculados das características elétricas de linha elétrica pré-fabricada de corrente nominal 550A com condutores de alumínio.

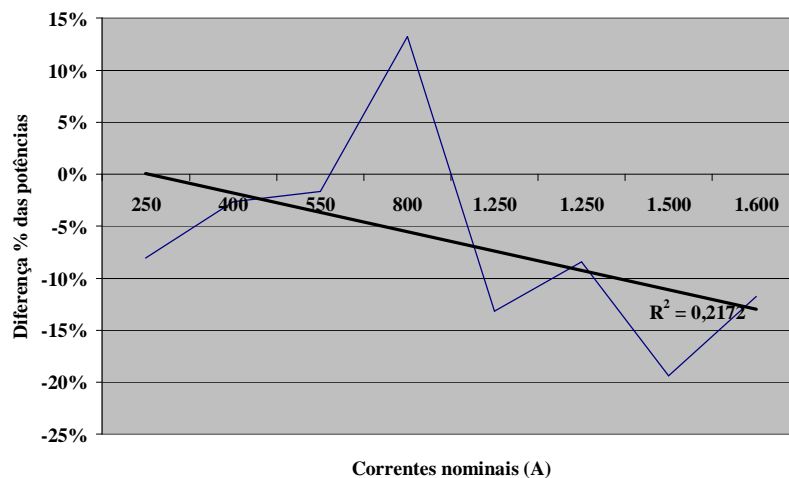
Estimativa das perdas Joule comprimento = 7,6 m seção = 412,75 mm ² e = 6,35 mm a = 65 mm Tamb = 24 °C Tmáx = 82,67 °C dT = 58,67 °C R(Tmáx) = 0,71187287 mohm/fase (Ltotal) I = 539,00 A/fase P = 206,8 W/fase (Ltotal) Ptotal = 620,4 W (Ltotal)		Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C ⁻¹	
		média 83 84 81 82,66667 °C 549 525 543 539 A	ou 0,09366748 mohm/m média
		dif pot (med/teor) -1,7%	
Valores medidos (yokogawa - WT130) W1 = 283,0 W W3 = 326,0 W Wt =W1+W3 610,0 W Ia = 555,0 Arms Ib = 525,0 Arms Ic = 544,0 Arms Vab = 1,022 Vrms Vbc = 0,668 Vrms Vca = 1,184 Vrms		Valores medidos (minipa e amperímetro da materiais) W1 = 0,0 W W3 = 0,0 W Wt =W1+W3 0,0 W Ia = 549,0 Arms Ib = 525,0 Arms Ic = 543,0 Arms Vab = 1,022 Vrms Vbc = 0,668 Vrms Vca = 1,184 Vrms	
valores considerados para cálculos W1 = 283,0 W W3 = 326,0 W Wt =W1+W3 610,0 W Ia = 552,0 Arms Ib = 525,0 Arms Ic = 543,5 Arms Vab = 1,022 Vrms Vbc = 0,668 Vrms Vca = 1,184 Vrms		cálculos Wt = 610,0 W Im = 540,2 Arms Vm = 0,958 Vrms	

Valores referências (20°C - da NBRIEC60439/2004 - anexo N - método N.1) ro20(Al) = 0,029 ohm.mm ² /m a20(Al) = 0,00403 °C ⁻¹	
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 V = (Vab + Vbc + Vca)/3 = 0,958 Vrms I = (Ia + Ib + Ic)/3 = 540,167 Arms P = Wt = 610,000 W Z = V / (r3 x I x L) = 0,13473 mohm/m R(Tmáx) = P / (3 x I x I x L) = 0,09169 mohm/m X1 = (Z2 - R2)^0,5 = 0,09871 mohm/m	Tmáx 82,66667 °C
Valores calculados (NBRIEC60439/2004) - anexo N - método N.1 Z = (R20xR20 + X1 x X1)^0,5 = 0,12347 mohm/m R(20°C) = RTmáx/(1+a20 x dT) = 0,07416 mohm/m X1 (Tmáx) = X1 (20°C) = 0,09871 mohm/m	T 20 °C

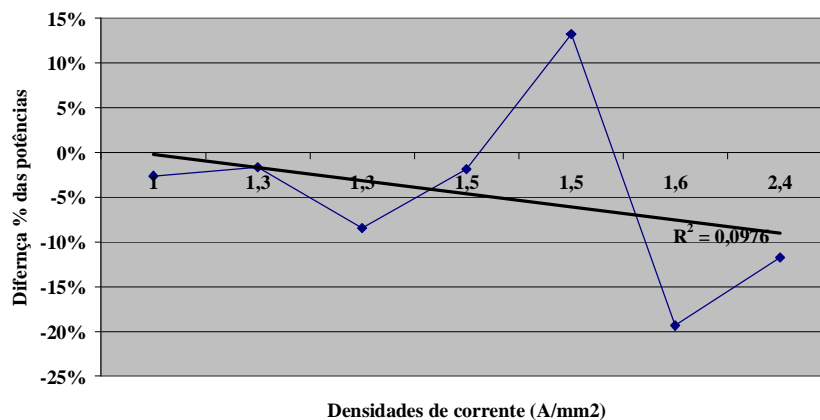
ANEXO 27 – Verificações iniciais da relação entre os valores das correntes elétricas e os valores das potências elétricas ativas trifásicas totais, sem distinção do material do condutor, obtidos no ensaio de elevação de temperatura em linhas elétricas pré-fabricadas.

Potencia medida (W)	Potência estimada (W)	dif % das potências ativas (estimada - medida)	corrente nominal (A)	Densidade de corrente (A/mm2)
1460	1652	-13,15%	1250	2,3
360	389	-8,06%	250	1,7
1350	1464	-8,44%	1250	1,3
1060	1080	-1,89%	800	1,5
2090	2336	-11,77%	1600	2,4
1850	2208	-19,35%	1500	1,6
741	643	13,23%	800	1,5
306	314	-2,61%	400	1
610	620	-1,64%	550	1,3

Diferenças % das potências ativas (estimada - medida) em função das correntes nominais

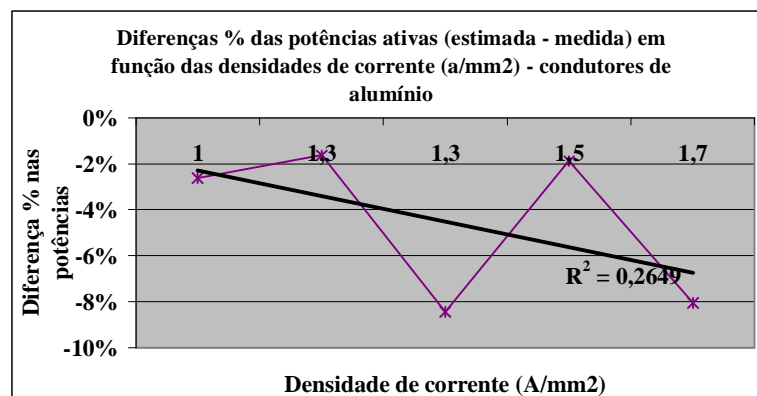
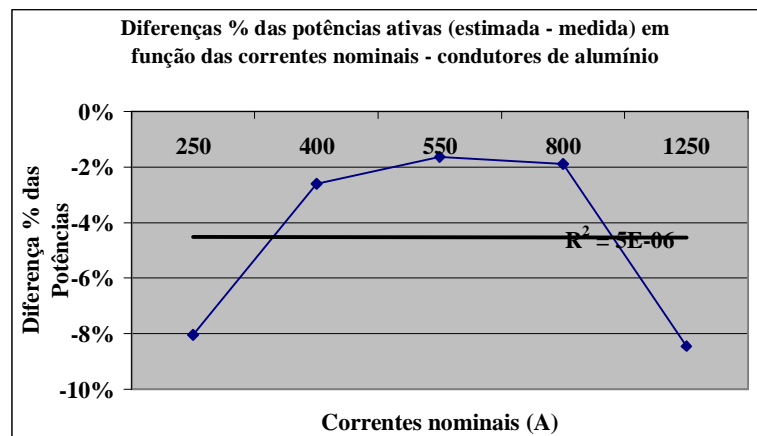


Diferenças % das potências ativas (estimada - medida) em função das densidades de corrente



ANEXO 28 – Verificações iniciais da relação entre os valores das correntes elétricas e os valores das potências elétricas ativas trifásicas totais para linhas elétricas pré-fabricadas com condutores de alumínio, obtidos no ensaio de elevação de temperatura.

Material do condutor	transversal do condutor fase	Corrente nominal [A]	Densidade de corrente [A/mm ²]	de temperatura média	Potência ativa total trifásica medida [W]	ativa total trifásica calculada [W]	dif pot (med-estim)
Cobre	540	1250	2,3	82	1460	1652	-13,15%
Alumínio	150	250	1,7	61	360	389	-8,06%
Alumínio	965	1250	1,3	55	1350	1464	-8,44%
Alumínio	540	800	1,5	91	1060	1080	-1,89%
Cobre	660	1600	2,4	87	2090	2336	-11,77%
Cobre	9156	1500	1,6	65	1850	2208	-19,35%
Cobre	540	800	1,5	82	741	643	13,23%
Alumínio	413	400	1	34	306	314	-2,61%
Alumínio	413	550	1,3	59	610	620	-1,64%



ANEXO 29 – Verificações iniciais da relação entre os valores das correntes elétricas e os valores das potências elétricas ativas trifásicas totais para linhas elétricas pré-fabricadas com condutores de cobre, obtidos no ensaio de elevação de temperatura.

Material do condutor	transversal do condutor fase	Corrente nominal [A]	Densidade de corrente [A/mm ²]	de temperatura média	Potência ativa total trifásica medida [W]	ativa total trifásica calculada [W]	dif pot (med-estim)
Cobre	540	1250	2,3	82	1460	1652	-13,15%
Alumínio	150	250	1,7	61	360	389	-8,06%
Alumínio	965	1250	1,3	55	1350	1464	-8,44%
Alumínio	540	800	1,5	91	1060	1080	-1,89%
Cobre	660	1600	2,4	87	2090	2336	-11,77%
Cobre	9156	1500	1,6	65	1850	2208	-19,35%
Cobre	540	800	1,5	82	741	643	13,23%
Alumínio	413	400	1	34	306	314	-2,61%
Alumínio	413	550	1,3	59	610	620	-1,64%

