

Metodologia para Avaliação e Medição das Perdas Técnicas, Comerciais e Totais da Distribuição

J.A.Cipoli, M.A.Marco, N. Simão, S.E.Fronterotta, J.Gramulia Jr e L.C.Oliveira

Resumo - Este trabalho apresenta uma metodologia para a avaliação e medição da perda total de um circuito de distribuição, e discorre sobre o cálculo e a segmentação das perdas técnicas na rede primária, transformadores, rede secundária, ramais de serviço, medidores, conectores e isoladores. Com a medição da perda total e com o cálculo da perda técnica, é possível avaliar com boa aproximação o montante da perda comercial. Adicionalmente o trabalho apresenta: o resumo dos estudos sobre o fluxo anual de energia e de perdas de uma empresa, recomendações para a redução das perdas técnicas e das perdas comerciais e ainda o resultado de um ensaio para avaliar o ganho obtido com a reforma de rede secundária em regiões que apresentem elevada queda de tensão. **Palavras Chave** – perdas, perdas elétricas, perdas de energia e perdas na distribuição.

I. INTRODUÇÃO

Este informe foi preparado a partir dos estudos e pesquisas desenvolvidos no Projeto de P&D “ Perdas de Energia Elétrica “, realizado pela Universidade Mackenzie para a Bandeirante Energia.

O projeto de P&D teve como objetivo estabelecer um modelo e uma metodologia para a avaliação e para o cálculo sistemático das perdas: totais, técnicas e comerciais de energia elétrica no sistema elétrico da Bandeirante Energia.

Priorizou-se a obtenção dos dados de perdas de forma direta através de pesquisas em campo e de medições amostrais na rede elétrica e em componentes.

O projeto de P&D concentrou-se inicialmente nos estudos detalhados das Perdas no circuito primário de distribuição Campo Limpo-01 (CLI-01), com cerca de 5.000 consumidores e demanda da ordem de 6.000 kW.

Em seguida a mesma metodologia aplicada no circuito CLI-01 foi estendida para mais outros dois circuitos, sendo um em São José do Campos com 9.000 consumidores e o outro em Guarulhos com cerca de 11.000 consumidores.

O presente artigo apresenta também algumas recomendações quanto a redução das perdas, enfocando com mais detalhes possibilidades atraentes de redução das perdas técnicas em circuitos primários e transformadores de distribuição e ainda, a viabilidade da redução das perdas comerciais com a instalação de medição mais adequada em consumidores de baixa tensão atendidos pelo sistema estrela aterrada.

II. METODOLOGIA PARA MEDIÇÃO DAS PERDAS TOTAIS DE UM CIRCUITO

Deve-se realizar:

A. Medição da Energia Total Fornecida ao Circuito

É necessário que se instale o mais próximo possível da saída do circuito:

- Conjunto de medição de três elementos para medição, uso ao tempo e,
- Um medidor eletrônico de energia com boa precisão (ex. classe 0,2 %).

B. Leitura e Análise dos Dados Registrados

Esta etapa é composta dos seguintes passos:

- 1° – Obter os dados da medição
- 2° – Analisar o Gráfico para verificar manobras no circuito.
- 3° – Considerar as manobras na energia medida no circuito
- 4° – Cálculo da Energia Total Fornecida durante o período

C. Adequação dos Valores Registrados

É necessário que os valores da Energia Total Fornecida registrados retratem adequadamente o mês.

- 1 – Verificar o número de horas do mês
- 2 – Verificar o número de horas do período de medição.

$$kWh_{Tot\ Forn} = (Horas_{Mês} / Horas_{Medição}) \times kWh_{Medido} \quad (1)$$

D. Dados do Consumo em kWh da Iluminação Pública Conectada ao Circuito em Análise

Proceder levantamento de dados disponíveis nos sistemas de gerência de redes e comercial.

$$kWh_{I.Púb} = Potência_{I.Púb} (W) \times Horas_{Funcion} / 1000 \quad (2)$$

E. Dados do Consumo em kWh dos Consumidores Atendidos em Média Tensão – “MT”, pelo Circuito em Análise

Coletar as informações disponíveis nos bancos de dados da área comercial, do sistema de gerenciamento de redes e do C.O.D., e levantamentos de campo.

F. Dados do Consumo em kWh dos Consumidores Atendidos em Baixa Tensão – “BT”, pelo Circuito em Análise

Coletar nos sistemas de gerenciamento de redes e comercial e efetuar a soma dos consumos individuais de todos os consumidores, conforme (3):

$$kWh_{ConsumBT} = \sum (Consumo\ Atual\ dos\ Consumid\ em\ BT) \quad (3)$$

G. Cálculo das Perdas

Para tornar os resultados imunes a fatores sazonais e/ou aleatórios, é recomendável que sejam efetuados dois cálculos de perda:

- Cálculo da perda mensal : este valor é sensível aos fatores sazonais e/ou aleatórios;
- Cálculo da perda acumulada : este valor torna-se imune aos fatores sazonais e/ou aleatórios.

1) Cálculo das Perdas Totais Mensais

$$kWh_{Perdas\ Mês} = kWh_{Tot\ Forn} - [kWh_{(Ilum\ Púb\ + MT + BT)}] \quad (4)$$

O valor percentual é calculado conforme (5):

$$Perdas\ \%_{Mês} = (kWh_{Perdas\ Mês} / kWh_{Tot\ Forn}) \times 100 \quad (5)$$

2) Cálculo das Perdas Totais Acumuladas

$$kWh_{Perda\ Ac\ Atual} = kWh_{Perda\ Ac\ Ant} + kWh_{Perda\ Mês} \quad (6)$$

O valor acumulado percentual é obtido por (7):

$$Perda\ \%_{Ac\ Atual} = \left[\frac{kWh_{(Perda\ Ac\ Ant + Perda\ Mês)}}{kWh_{(Medido\ Ac\ Ant + Medido\ Mês)}} \right] \times 100 \quad (7)$$

H.. Exemplo da medição da Perda Total Acumulada, em um Circuito, no período de 242 dias (oito meses):

- Energia fornecida ao Circuito CLI-01 em 242 dias:

- ✓ Energia Medida em 5.727,50 horas (dia 29/08 às 16:15 ao dia 25/04 às 08:30) = 20.634.262 kWh
 - ✓ Energia Total corrigida para o período de 242 dias = 20.860.338 kWh (Já considera as manobras do período)
- Energia fornecida aos clientes em 242 dias
- ✓ Energia Fornec. em BT Acumulada = 11.259.699 kWh
 - ✓ Energia Fornec. em MT Acumulada = 5.833.971 kWh
 - ✓ Energia Fornec. à IP Acumulada = 1.103.120 kWh
- Energia Total fornecida aos clientes em 242 dias = 11.259.699 + 5.833.971 + 1.103.120 = 18.196.790 kWh.
 Estimativa da Perda Total Acumulada da Distribuição
 Perda Tot kWh = 20.860.338 - 18.196.790 = 2.663.548 kWh
 Perda Tot % = (2.663.548/20.860.338)x100 = 12,77 %

III- SEGMENTAÇÃO DAS PERDAS TOTAIS DE UM CIRCUITO

A. Comentários

A avaliação foi realizada a partir de medições e pesquisas de campo e cálculos diretos realizados em todos os segmentos elétricos do circuito CLI-01.

B. Cálculo Direto das Perdas no Circuito Primário CLI-01

Foi preparada uma planilha para o cálculo das perdas nos troncos do circuito, encontrando-se o total de 85.219 kWh.

Tab. I Cálculo das Perdas em kWh no Tronco – Método Direto

trecho	Bitola	(A)	(m)	(Ω/km)	Perda
A	A 3 x 336	251	2561	0,19	35.404
B	500 MCM	251	37	0,11	296
C	A 3 x 336	251	71	0,19	982
D	A 3 x 336	219	703	0,19	7.399
....
Perda Total nos Troncos do CLI-01					85.219

Como resultado deste estudo, verificou-se a conveniência da substituição de cabo 1/0 para 336 numa extensão de 1.237 metros, reduzindo as perdas em 18.455 kWh por mês e ainda melhorando a tensão em um consumidor industrial.

C. Perdas nos Transformadores de Distribuição do CLI-01

Estudo específico sobre “Perdas Mensais” concluiu:

	Perdas (kWh)	Perdas (%)
P Fe	49.645	78,3
P Co	13.719	21,7
TOT.	63.364	100,0

Com referência à relação “energia perdida x energia faturada por transformador”, verificou-se que em 22,8% dos transformadores, as perdas superam 10% da energia faturada, e que em 12,1% dos equipamentos, chegam a superar 20% da energia faturada.

D. Perdas nas Redes Secundárias do Circuito CLI-01

Processamento específico indicou que o total das perdas nas redes secundárias do CLI-01 era de 18.077 kWh.

Verificou-se que a região atendida por um transformador de 150 kVA respondia por cerca de 20% destas perdas, sendo escolhida para ser objeto de pesquisa conforme o item V deste trabalho.

E. Avaliação das Perdas nos Ramais de Ligação do CLI-01

Foi realizado um levantamento dos dados básicos de 110 consumidores do CLI01, obtendo-se os dados da Tab. II.

Tab. II. Comprimento Médio dos Ramais de Serviço e de Entrada do CLI-1301 - (em metros)

	1φ	2φ	1φ + 2φ	3φ
Ram. Serviço	12,72	10,38	12,34	12,81
Ram. Entrada	4,54	4,78	4,58	6,09

A seguir foi preparado o estudo “Perdas em Ramais de Serviço e de Entrada no CLI 01”, que concluiu por uma perda de potência da ordem de 90 kW e perda de energia por volta de 5.000 kWh/mês.

F. Perdas em Medidores

A estimativa das perdas em medidores foi realizada por um estudo específico, cujos resultados constam da Tab. III.

Tab. III. Perdas no CLI-01 Devidas aos Medidores em BT

	Perda de Potência	Perda de Energia
Mínima	6,52 (kW)	4.760 (kWh)
Máxima	8,15 (kW)	5.950 (kWh)

G. Perdas em Conectores

Foi utilizado na pesquisa um aparelho que mede a corrente e a resistência em microohms de uma conexão.

Tab. IV. Exemplo de Valores de Resistência de Conexões em Conector Tipo “Crimpit” à Compressão

Fase	Bitola	Resistência	
		Cabo	Conexão
A	336 MCM	63,7 μ Ω	326 μ Ω
B	336 MCM	63,7 μ Ω	115 μ Ω
C	336 MCM	63,7 μ Ω	80,4 μ Ω

Observações :

1. A medição de 63,7 μ Ω foi realizada em um pedaço de 30 cm de cabo 336 MCM. Coerente portanto com o valor de tabela do cabo que é de 0,19 ohms / km.
2. A má conexão da fase A (326 μ Ω) corresponde do ponto de vista de perdas, a estender o circuito em dois metros de cabo 336 MCM.
3. A perda de potência na fase A, para I medida de 238 A, era da ordem de 18 W (238²x326/10⁶).
4. Nota-se que a perda em conexões pode ser significativa nos locais com problemas técnicos e correntes elevadas.

H. Perdas em Isoladores

Estão sendo medidas as correntes de fuga em isoladores instalados em dois postes, um em Jundiá (interior) e outro em Caraguatuba (litoral), sendo avaliados 6 isoladores classe 15 KV de 3 tipos (comum , pilar e raybowl).

Como os isoladores são novos, as medições indicaram correntes de fuga inferiores a 0,1 mA.

Correntes de fuga superiores a 0,5 mA, justificam a colocação de isoladores de melhor qualidade nos locais poluídos ou com deposição salina elevada.

I. Balanço das Perdas em um Circuito

As medições e os estudos de avaliação realizados no circuito CLI-01, no período de 8 meses, indicam :

Balanço de Energia Medida e Perdas Totais (Tab. V):

Tabela V. Balanço da Energia Medida e Perdas Totais – CLI-01

Em	Energia Medida (kWh)	Perdas (kWh)
242 Dias	20.860.338	2.663.548
Mês Médio	2.607.542	332.944

Tabela VI. Segmentação das Perdas Técnicas – Circuito CLI01

Perda no Segmento	Mínimo (kWh)	Máximo (kWh)
Circuito Primário	70.000	100.000
Transformadores	60.000	80.000
Rede Secundária	18.000	25.000
Ramal de Serviço	5.000	6.000
Medidores	5.000	6.000
Outras Perd. Técnicas	15.000	20.000
Total Perdas Técnicas	173.000	237.000

Tabela VII. Balanço das Perdas Técnicas e Comerciais – Circuito CLI01

Em “kWh”	Mín / Máx	Mín / Máx
Perdas Comerc.	159.944 - Máx	95.944 - Mín
Perdas Técnic.	173.000 - Mín	237.000 - Máx
Perdas Totais	332.944 kWh	332.944 kWh
Em “%”	Mín / Máx	Mín / Máx
Perdas Comerc.	6,14 - Máx	3,68 – Mín
Perdas Técnic.	6,63 - Mín	9,09 – Máx
Perdas Totais	12,77 %	12,77 %

IV – AVALIAÇÃO DA PERDA COMERCIAL DE UM CIRCUITO

O balanço das perdas tem registrado no circuito CLI-01: Perdas : totais da ordem de 12,5 %, Técnicas da ordem de 7%, e consequentemente, Comerciais da ordem de 5,5%.

Considerando que a área atendida pelo circuito CLI-01 não mostra a existência de desvios evidentes de energia (não existem áreas invadidas), ficou caracterizada a hipótese dos medidores instalados em baixa tensão nos consumidores, não estarem efetuando as medições de forma adequada.

A. Medição de Clientes 220 V entre fases – sem neutro (Medidor Monofásico – 240 V – 15 A – 3 fios – 1 fase)

Quando o consumidor consegue instalar cargas entre fase e terra, os registros do medidor dependem do fator de potência e são sempre à menor (de 0 à 50% menos).

B. Medição dos Clientes Trifásicos sem Neutro na Baixa Tensão (é utilizado o Medidor Trifásico de 2 elementos)

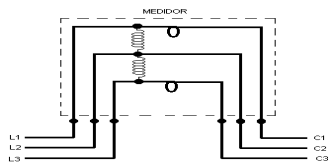


Fig. 1. Medidor de 2 Elementos para Clientes Trifásicos Sem Neutro

A utilização deste medidor não é recomendada em hipótese alguma na baixa tensão, por possibilitar registros sempre a menor, nas seguintes condições :

1) Ligação de carga monofásica em “terra” criado pelo cliente

Caso o cliente ligue uma carga monofásica na fase central e um terra criado por ele, o medidor nada registrará.

2) Ligação de uma bobina entre uma das fase e terra

A corrente que percorre esta bobina está atrasada de 90° em relação a tensão VC1N (o medidor roda para trás)

3) Ligação de um capacitor entre uma das fases e terra

A corrente que percorre este capacitor está adiantada de 90° em relação a tensão VC3N (o medidor roda para trás).

4) Empréstimo de fases entre vizinhos

A ligação de cargas entre duas fases de dois clientes distintos sem que elas sejam medidas. Basta que a fase da entrada central do medidor 1 seja diferente da do medidor 2.

V – AVALIAÇÃO DA REFORMA DE UMA REDE DE BAIXA TENSÃO

A. Melhoria Realizada

A rede escolhida para melhoramentos, era alimentada por um transformador de 150 kVA e atendia 246 consumidores . Foi dividida em quatro setores, nos quais se utilizaram cabos de diferentes tipos visando verificar a influência na qualidade, os custos e os benefícios. Foram projetados: 1circuito – cabo 336,4 MCM nu, outro em cabo 3/0 AWG nu e os dois restantes em cabo 120 mm² multiplexado.

B. Processamento da Rede Secundária Antes da Reforma

Dados do processamento de mês típico indica : 246 consumidores; perdas de energia na secundária – 4051 kWh e no transformador de 150 kVA – 893 kWh.

C. Redução das Perdas Técnicas

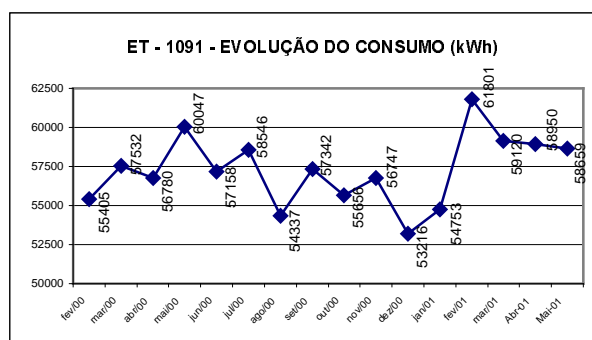
Tab. VIII. Perdas Mensais Antes e Após a Reforma

	Antes	Depois	Varição
Transfor.	893	1.469	+ 576
Rede	4.051	323	- 3.728
Total	4.944	1.792	- 3.152

Obteve-se uma redução mensal de 3.152 kWh . Além da redução das perdas técnicas, a queda de tensão máxima calculada pelo sistema de gerenciamento de rede que era superior a 40 %, foi drasticamente reduzida.

D. Avaliação do Ganho Obtido com a Reforma

O gráfico a seguir , mostra a evolução do consumo antes e depois da reforma, realizada de 14 a 19/01/01.



Em uma região na qual, no passado, a rede já se encontrava em boas condições, a expectativa seria que esse consumo passasse após o racionamento a ser da ordem de 42.000 kWh (redução do consumo residencial na região foi entre 30 a 35 %). Estudos realizados, com a vigência plena do racionamento na região, mostraram que a energia vendida em agosto 2001, situou-se próxima de 45.000 kWh.

Considerando a redução das perdas técnicas da ordem de 3.000 kWh e o aumento das vendas também de 3.000 kWh, contabiliza-se um ganho estimado da ordem de 6.000 kWh mensal, superior a 10 % da energia vendida pelo antigo transformador de 150 kVA.

VI – FLUXO ANUAL DE ENERGIA E PERDAS

A. Balanço Energético

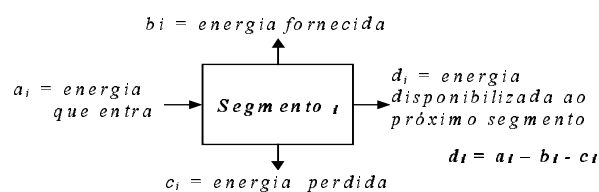


Figura 2. Fluxo de Energia de um segmento qualquer

B. Fluxo Anual de Energia e Perdas da Bandeirante Energia – Ano de 2000

ENERGIA TOTAL		26.466.721	
PERDAS TOTAIS		1.808.384	
ENERGIA VENDIDA	AT	8.247.571	
	MT	6.197.506	
	BT	7.524.941	
	TOTAL	21.970.018	

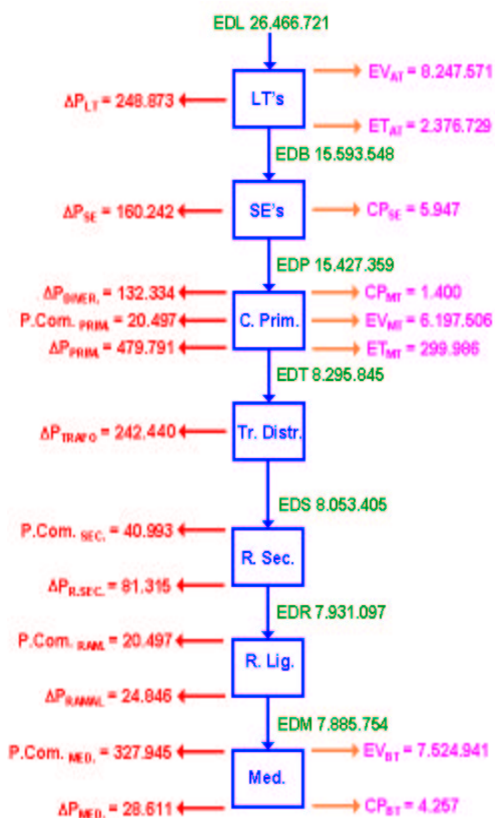
ENERGIA EM TRÂNSITO		AT 2.376.729	
		MT 299.986	
		TOTAL 2.676.715	
CONSUMO PRÓPRIO	SE's	5.947	
	MT	1.400	
	BT	4.257	
	TOTAL	11.604	

SEGMENTAÇÃO DAS PERDAS TOTAIS DE ENERGIA - ANO 2000		
SEGMENTO	ΔP	%
LINHAS DE TRANSM.	248.873	0,94%
SUBESTAÇÕES	160.242	0,61%
CIRC. PRIMÁRIOS	479.791	1,81%
TRANSFORM. DISTR.	242.440	0,91%
REDES SECUNDÁRIAS	81.315	0,31%
RAMAIS DE LIGAÇÃO	24.846	0,09%

PERCENTUAIS EM RELAÇÃO À ENERGIA TOTAL - 26.466.721 MWh		
SEGMENTO	ΔP	%
MEDIDORES EM BT	28.611	0,11%
PERD. TÊC. DIVERSAS	132.334	0,50%
PERDAS TÊC. TOTAIS	1.398.452	5,28%
PERDAS COMERC.	409.932	1,55%
TOTAL DE PERDAS	1.808.384	6,83%

Fig. 3. Resumo do Fluxo de Energia na Empresa

A Fig. 4. apresenta o esquema do balanço energético da empresa para o ano 2000 (valores em MWh) :



VII – COMENTÁRIOS FINAIS

A. Referentes à Metodologia

- ✓ A implantação da metodologia nos três circuitos de distribuição, mostrou ser eficiente para a determinação da perda total da distribuição, na localização das perdas técnicas e principalmente na quantificação mais precisa da perda comercial.
- ✓ A implantação da metodologia em cerca de dez circuitos típicos da Bandeirante (universo de 600), será um importante orientador para o estabelecimento de um plano de ação visando a redução das perdas técnicas e comerciais no sistema de distribuição.

B. Referentes aos Circuitos Primários

- ✓ Nos primeiros km de novos circuitos primários, utilizar cabo no mínimo, com bitola 477 MCM;
- ✓ Em circuitos primários com $I > 400$ Ampères, construir circuitos paralelos ou remanejar carga;
- ✓ Trechos de circuito primário com $I > 100$ Ampères e cabo 1/0, substituir por cabo 336 ou remanejar carga.

C. Referente à Transformadores de Distribuição

- ✓ Pesquisar transformadores com elevada relação “Consumo Próprio x Energia Vendida”

D. Referente à Rede Secundária

- ✓ Pesquisar redes secundárias extensas e com carregamento elevado, visando melhorar a qualidade do fornecimento, redução das perdas e aumento da energia vendida.

E. Referentes à Medição de Clientes Secundários – Circuito ΔY (220 /127 V)

Para a redução da perda comercial recomenda-se a utilização de medidores mais eficientes na baixa tensão:

- ✓ Cliente 220 V entre fases – instalar medidor de dois elementos;
- ✓ Cliente trifásico – instalar medidor de três elementos;
- ✓ Substituição de medidores antigos

VIII – REFERÊNCIAS

Livros

- (1) Solon, M. F , “ Medição de Energia Elétrica “, editora UFPE
- (2) Cipoli. J. A , “Engenharia de Distribuição “, Editora Qualitymark - 1993
- (3) Gouvêa. M.R, Hashimoto K, Maliuk. I. R. P , “ Metodologia Agregada para Avaliação de Perdas em sistemas de Distribuição “- CSPE – USP - 2000

IX – BIOGRAFIAS

- J. A.Cipoli - engenheiro eletricitista EPUSP/69, atualmente é professor e pesquisador da Universidade Mackenzie.
- M. A . De Marco – engenheiro eletricitista EFEI/75, atualmente é pesquisador da Universidade Mackenzie.
- N. Simão – engenheiro eletricitista Unicamp/74, atualmente é pesquisador da Universidade Mackenzie.
- S.E.Fronterotta – engenheiro eletricitista EEUM, professor e pesquisador da Universidade Mackenzie.
- J. Gramulia Jr – engenheiro eletricitista EEUM, atualmente é gerente de Engenharia da Bandeirante Energia.
- L. C. Oliveira – engenheiro eletricitista UNISANTA, atualmente é da Div. Engenharia da Bandeirante Energia.