

XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

MONITORAMENTO DE PERDAS EM ALIMENTADORES DE DISTRIBUIÇÃO

Autores: Vagner Camilo Fernandes/Ivan Marques de Toledo Camargo.
Empresa ou Entidade: CEB-Companhia Energética de Brasília/UnB- Universidade de Brasília.

Palavras-chave: alimentador – perdas – energia.

Foz do Iguaçu, 19 a 23 de novembro de 2000

MONITORAMENTO DE PERDAS EM ALIMENTADORES DE DISTRIBUIÇÃO

Vagner Camilo Fernandes
Companhia Energética de Brasília

Ivan Marques de Toledo Camargo
Universidade de Brasília

1. INTRODUÇÃO.

O presente trabalho apresenta uma metodologia de monitoramento e análise de perdas técnicas e comerciais de energia em alimentadores de distribuição, definindo procedimentos que possibilitam priorizar os casos mais críticos, com atuação conjunta dos setores envolvidos da Empresa, minimizando as referidas perdas. Para tanto, foram realizadas uma série de medidas de demanda e energia em um alimentador típico, localizado na cidade-satélite de Sobradinho, comparando-se com os dados de kWh faturados e cadastrados no sistema de consumidores da CEB, analisando valores típicos de perdas técnicas no mesmo, assim como a determinação das perdas comerciais.

As perdas globais brasileiras no ano de 1.995 foram de 57,9 TWh (sendo 50% no seguimento de distribuição), correspondente a 16,6% da energia total produzida no país. A título de exemplo, admitindo-se que as perdas otimizadas atingissem 10%, isso representaria uma economia de 23 TWh de energia, ou, supondo custo médio de R\$ 90,00/MWh, R\$ 2,07 bilhões por ano.

As Concessionárias de energia elétrica que fazem parte do Comitê de Distribuição (CODI) realizam levantamento de suas perdas globais anualmente, na sua maioria, seguindo uma mesma metodologia de cálculo (Resolução CODI/26-aprovada na 115ª ROC em 17/11/94).

São avaliadas as perdas na transmissão e na distribuição, chegando-se a um índice global de perdas que, a partir do ano de 1.994 passaram a seguir a seguinte sistemática:

$$\text{Perdas(\%)} = \left(\frac{kWhentra - kWhsai}{kWhentra} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

A CEB vem adotando metodologia própria desde 1.980. A evolução das perdas globais dos últimos 13 anos está descrita no gráfico da figura 1 a seguir.

A evolução das perdas de forma global por ano representou um avanço. Porém a identificação das perdas de forma localizada, e com períodos de avaliação menores, tornou-se primordial para atuação da empresa em pontos prioritários e em tempo hábil.

Com a avaliação das perdas dos alimentadores de distribuição é possível concentrar esforços das áreas de operação, engenharia, fiscalização e manutenção no sentido de atuar com eficiência naqueles circuitos apontados como mais críticos. Esta avaliação, sendo realizada em períodos menores (mensal, trimestral etc), otimizará a recuperação da energia, minimizando os custos.

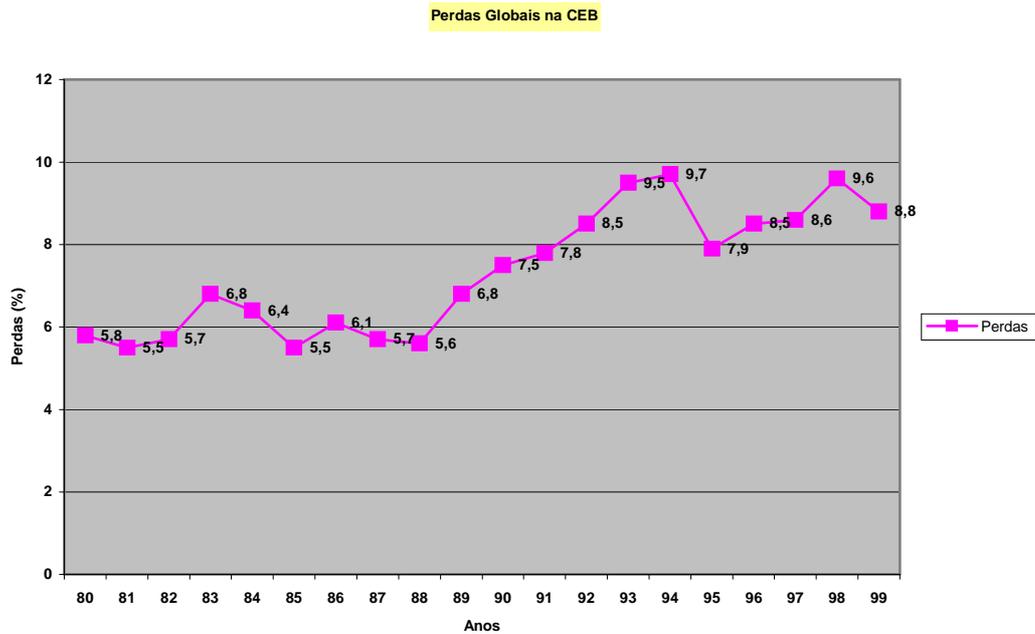


Figura 1 - Evolução das Perdas Globais da CEB.

Este trabalho tem como objetivo definir uma metodologia que permita, com boa aproximação, definir os índices percentuais de perdas por alimentadores de distribuição da CEB. Os critérios para priorização de melhorias também serão definidos, de forma a uniformizar as ações necessárias à redução das referidas perdas.

Para simplicidade de análise e devido às limitações de tempo e equipamentos (medidores eletrônicos), os testes foram realizados em apenas um alimentador na subestação de Sobradinho.

2. INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.

Para a avaliação proposta, utilizou-se um medidor eletrônico multifunção que permite obter dados de demanda ativa, reativa indutiva e capacitiva, tensão em uma das fases, com capacidade de armazenamento de dados durante 37 dias consecutivos. O equipamento utilizado foi o modelo ELO 521.

O referido medidor foi instalado no alimentador SB-05, escolhido por apresentar características genéricas, apresentando consumidores residenciais, comerciais, industriais, iluminação pública, envolvendo unidades dos grupos tarifários A e B.

A medição foi instalada na saída do alimentador SB-05 conforme esquema unifilar descrito na figura 3, utilizando-se transformadores de corrente do próprio alimentador e transformadores de potencial da barra do transformador.

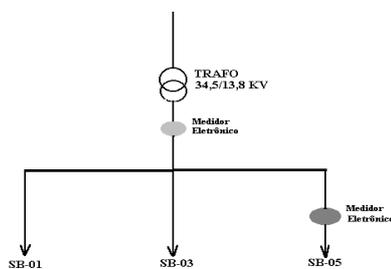


Figura 3 - Esquema de Localização da Medição no Circuito SB-05.

3. COLETA DE DADOS DO MEDIDOR E DO CADASTRO DE CONSUMIDORES.

As medidas foram realizadas no período de 19/08/96 a 02/10/96.

Foram definidos 13 (treze) subperíodos de 30 dias com a finalidade de verificar a influência dos possíveis remanejamentos de carga no valor do kWh medido mensalmente. A tabela 1 mostra os valores obtidos, assim como a média e o desvio padrão.

Tabela 1 - Amostras de Consumos Mensais.

Períodos (ano 1996)	Energia Medida (kWh)
19/08 a 19/09	1.046.177
20/08 a 20/09	1.047.974
21/08 a 21/09	1.047.798
22/08 a 22/09	1.045.233
23/08 a 23/09	1.046.984
24/08 a 24/09	1.051.615
25/08 a 25/09	1.059.729
26/08 a 26/09	1.063.465
27/08 a 27/09	1.065.466
28/08 a 28/09	1.063.749
29/08 a 29/09	1.059.337
30/08 a 30/09	1.060.735
31/08 a 01/10	1.065.692
Média (kWh)	1.055.689
Desvio (kWh)	8.114 (0,77%)

A figura 4 apresenta a curva de carga característica do alimentador SB-05. A curva representa o valor médio diário de uma amostra de 37 dias (englobando dias úteis, sábados e domingos), além do desvio padrão. Pela pequena amplitude do desvio, podemos dizer que esta curva de carga é representativa do circuito analisado, não sendo necessária diferenciação dos finais de semana.

A referida curva foi considerada no levantamento de alguns dados do item 5 deste trabalho como por exemplo o fator de carga e o fator de perdas.

O Sistema de Gerência de Consumidores (G.C.O) fornece relatórios de históricos de consumo dos últimos 12 meses de todos os consumidores faturados e ligados aos alimentadores de distribuição. O Sistema permite obter dados ainda mais detalhados como, por exemplo, identificar os consumidores ligados nas chaves de manobra/proteção. Foram identificadas algumas falhas no cadastro e que foram corrigidas através de levantamento em campo. A principal falha encontrada foi a falta de dois consumidores do G.T.A (Grupo de Tarificação em Alta Tensão), vitais na composição do banco de dados deste estudo.

Curva de Carga Característica do Alimentador SB-05

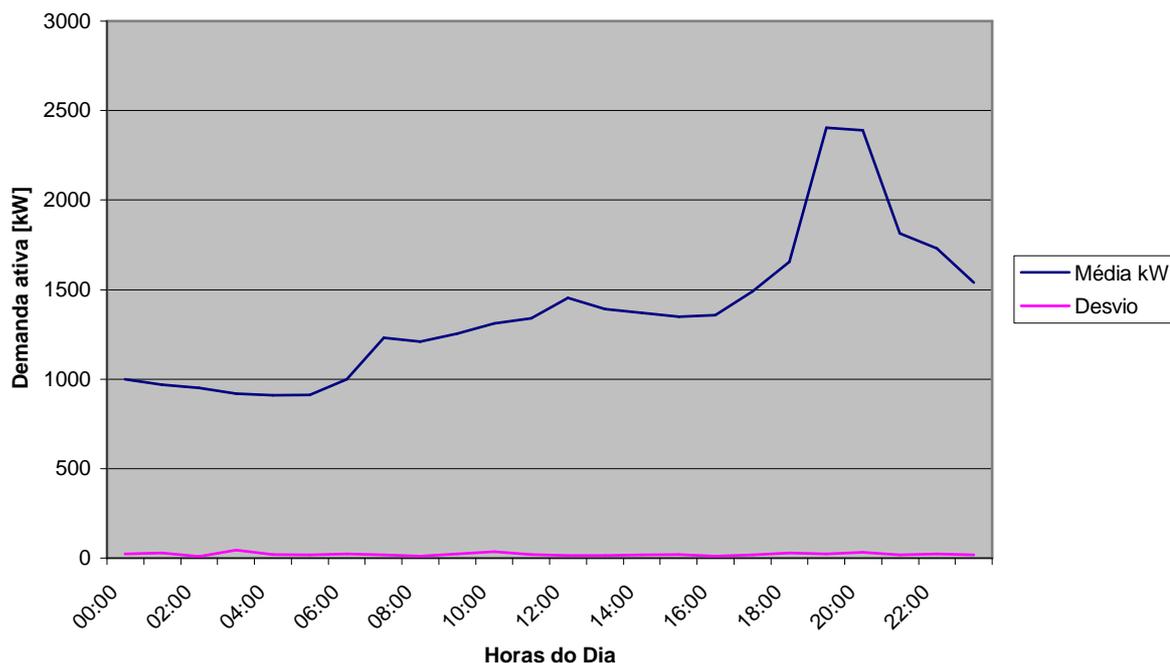


Figura 4 - Curva Característica do Circuito SB-05.

Do sistema de gerenciamento de consumidores (GCO) obteve-se a relação dos consumidores em formato público, permitindo compor em planilha Excel o somatório mensal, a média, o valor máximo, o valor mínimo e o desvio padrão dos consumos dos últimos doze meses.

A análise levou em consideração a média e o desvio padrão de forma a minimizar os efeitos de eventuais sazonalidades na avaliação das perdas globais. Os dados obtidos encontram-se na tabela 2 a seguir.

Os dados referentes ao consumo de iluminação pública faturado poderiam ser obtidos de duas maneiras. A primeira através das curvas de carga do alimentador e a segunda através de levantamento cadastral. Optou-se pela primeira, por apresentar-se mais precisa e rápida, quando comparada à outra alternativa.

Tabela 2 - Dados Históricos de Faturamento.

Meses	Consumo Total (kWh)
set/95	807.458
out/95	845.304
nov/95	781.027
dez/95	784.758
jan/96	858.067
fev/96	851.229
mar/96	804.443
abr/96	817.924
mai/96	779.614
jun/96	813.320
jul/96	853.299
ago/96	846.435

Média	820.239
Máximo	858.067
Mínimo	781.027
Desvio Padrão	29.714 (3,62%)

A carga de iluminação pública foi obtida através das curvas de demanda do alimentador. Através de estudos destas curvas verificou-se que entre 6:00 h e 7:00 h das manhãs dos domingos havia um valor máximo e outro mínimo bem definidos. A diferença entre estes valores permanece praticamente constante, indicando que uma carga fixa sai do sistema naquele intervalo (atuação dos relés fotoelétricos). O valor desta diferença representa a carga de iluminação pública. A figura 5 exemplifica este fenômeno.

O valor obtido levou em consideração que no faturamento de Iluminação pública a CEB utiliza o período de 12(doze) horas diárias de utilização da carga. Para um período de faturamento de 30 dias temos a energia de iluminação pública (EIP) calculada por:

$$EIP \text{ [kWh]} = CIP \text{ [kW]} \cdot 12 \text{ [horas]} \cdot 30 \text{ [dias];} \quad (2)$$

como: CIP = 285 kW (do gráfico 5) ➡

EIP = 102.600 kWh.

O consumo total faturado é a soma do valor médio, com o valor de EIP. Assim:

$$EFT = Eméd + EIP \quad \text{➡} \quad (3)$$

EFT = 922.839 kWh

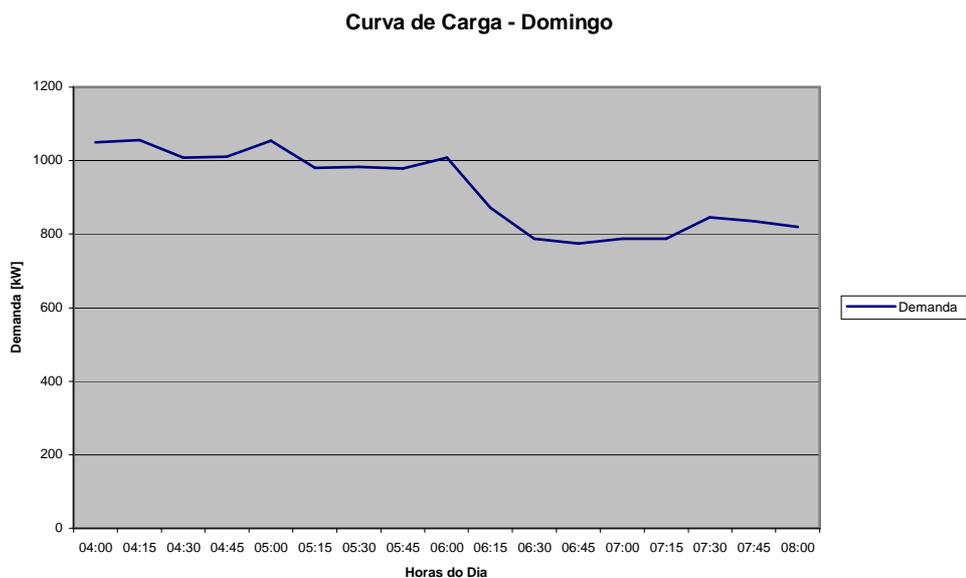


Figura 5 - Curva de Carga do Circuito SB-05 (Domingo).

4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO CIRCUITO ANALISADO.

Para possibilitar o cálculo das perdas técnicas no alimentador SB-05, houve a necessidade de realizar a pesquisa de vários parâmetros do circuito. Abaixo são relacionados estes parâmetros, além de grandezas medidas e calculadas.

Dados gerais:

-mês de referência: ago/1996;

-energia requerida pelo sistema:

$$E = 1.055.689 \text{ kWh};$$

-energia requerida pelos consumidores cadastrados:

$$\text{CDIST} = 922.839 \text{ kWh};$$

-fator de carga :

$$\text{FC} = 0,502;$$

-número de circuitos primários :

$$n = 1;$$

-comprimento total da rede primária :

$$L = 10,697 \text{ Km};$$

-resistência do condutor predominante no tronco (CA 2/0) :

$$r = 0,38567;$$

-tensão nominal entre fases da rede primária :

$$V = 13,8 \text{ kV};$$

-fator de potência típico da rede primária :

$$\cos \varphi_{AT} = 0,86;$$

-demanda máxima do circuito SB-05 :

$$D_p = 2.450 \text{ kW};$$

-número de circuitos primários na SE Sobradinho:

$$N_a = 6;$$

-número de transformadores no circuito SB-05:

$$N_p = 37;$$

-número de trafos (MT/BT) com rede secundária associada:

$$N_s = 24;$$

-número de trafos exclusivos:

$$N_E = 13;$$

-potência nominal total dos trafos com rede secundária:

$$\text{kVAs} = 3.012,5;$$

-potência nominal dos trafos exclusivos:

$$\text{kVAE} = 2142,5;$$

-carregamento médio dos trafos com rede secundária:

$$f_{us} = 0,55;$$

-carregamento médio dos trafos exclusivos:

$$f_{uE} = 0,55;$$

-tensão entre fases da rede secundária:

$$V_Z = 380 \text{ V};$$

-fator de potência típico da rede secundária:

$$\cos \varphi_{BT} = 0,86;$$

-resistência do condutor da rede secundária principal (CA 1/0):

$$R_1 = 0,53512;$$

-resistência dos demais vãos da rede secundária (CA 2):

$$R_2 = 0,85279;$$

-número médio de postes por rede secundária:

$$n_s = 19;$$

-fator de desequilíbrio típico da rede secundária:

$$\delta = 1,1 \text{ (desequilíbrio de 20\%)};$$

-número total de consumidores ligados ao SB-05:

$$N_c = 2165;$$

-incidência de consumidores monofásicos:

$i_1 = 0,816$ (81,6%);

-incidência de consumidores bifásicos:

$i_2 = 0,014$ (1,4%);

-incidência de consumidores trifásicos:

$i_3 = 0,17$ (17%);

-resistência do condutor do ramal de ligação típico (Cu-4mm²):

$RL = 5,374 \Omega/Km$;

-comprimento do ramal de ligação típico:

$l = 15$ m;

-número de equipamentos (capacitores, reguladores, etc):
desprezível.

As grandezas acima especificadas foram obtidas a partir de dados cadastrais e através dos valores medidos no alimentador SB-05. Os mesmos são fundamentais para obtenção das perdas técnicas, conforme descrito na tabela 3 do item 6 a seguir. Os cálculos levarão a valores aproximados já que alguns dos citados dados (fator de potência na média e na baixa tensão, fator de carga dos transformadores, resistências dos condutores, fator de desequilíbrio) representam o alimentador de forma genérica.

5. METODOLOGIA PARA A DEFINIÇÃO DAS PERDAS.

Para o alimentador analisado, o balanço energético pode ser representado pelo conjunto de equações abaixo descritas:

$$E = e_{tot} + E_{dist} \quad [kWh]; \quad (4)$$

$$e_{tot} = e_{tec} + e_{com} \quad [kWh]; \quad (5)$$

$$e_{tec} = e_p + e_t + e_s + e_r + e_m + e_{eq} + e_d \quad [kWh]. \quad (6)$$

Para cálculo das perdas técnicas, foi utilizada neste trabalho a metodologia simplificada, onde alguns valores médios são usados para representar as características do sistema (resistência dos condutores, carregamento dos trafos com rede secundária, carregamento dos trafos exclusivos etc). O fato da CEB não possuir gerência de redes e estudos de fluxo de carga nos alimentadores obrigou à utilização do método simplificado.

É importante ter em mente que o principal objetivo do cálculo das perdas técnicas é, que ao se conhecer a perda global do sistema, permitirá a estimativa das perdas comerciais.

Utilizando-se os dados do item 5 deste trabalho, obtidos através de pesquisas nas áreas envolvidas, consultas cadastrais e algumas estimativas, permitiu o cálculo aproximado da perda técnica mensal no alimentador SB-05. Foram adotados os procedimentos definidos pelo relatório nº 3.2.19.34.0 do CODI - "Metodologia para Determinação, Análise e Otimização de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição".

Os resultados obtidos encontram-se resumidos na tabela 3 a seguir.

Calculadas as perdas globais e técnicas dos alimentadores individualmente, é possível estimar, por diferença, o montante das perdas comerciais. Este conhecimento, que constitui a principal finalidade do cálculo das perdas técnicas, ajuda a estabelecer uma estratégia de otimização.

No caso do alimentador SB-05 analisado, verifica-se um equilíbrio entre o percentual de perdas técnicas e comerciais. As empresas do setor elétrico consideram como o valor máximo aceitável de 1% para as perdas comerciais, indicando a necessidade de ações junto a este alimentador no sentido de reduzir as mesmas a níveis aceitáveis. As perdas técnicas estão em níveis razoáveis, verificando-se, porém, uma diferença considerável entre a potência aparente requerida pelos transformadores e a potência nominal dos mesmos, indicando sobredimensionamento e conseqüente perda por operação a vazio. Os dados abaixo esclarecem o problema.

$kVA_{requerido(máx)} = 3.840$

kVAtrafos(nominal) = 5.155

Diferença(%) = 25,5

Tabela 3 - Resumo das Perdas Mensais (ago/96) do alimentador SB-05.

ÍTENS DE PERDAS	kWh	%
Energia/Demanda Requerida pelo Sistema	1.055.689	100
Energia/Demanda Requerida pelos Consumidores	922.839	87,42
Perda nos Condutores da Rede Primária	12.911	1,22
Perda no Ferro dos Transformadores	5.283	0,50
Perda no Cobre dos Transformadores	4.775	0,45
Perda Total nos Transformadores	10.058	0,95
Perda nos condutores da Rede Secundária	30.004	2,84
Perdas nos Condutores dos Ramais de Ligação	1.559	0,15
Perda nos Medidores de Energia	829	0,08
Perda nos Equipamentos	0	0
Perdas Diversas	2.775	0,26
Total das Perdas Técnicas	58.136	5,51
Perdas Comerciais	74.714	7,08
Perda Global	132.850	12,58

Vale ressaltar que a diferença de 25,5% é o melhor caso, já que apenas o período mais crítico da ponta (aproximadamente 1 hora) esse valor é válido. Trabalhando-se com valores médios de demanda, verifica-se um agravamento significativo das perdas em vazio.

As perdas na rede secundária também se mostraram elevadas quando comparadas aos demais itens analisados. Talvez um estudo de relocação de trafos e redimensionamento dos condutores poderiam ser alternativas eficazes na redução das referidas perdas.

Obviamente, qualquer atuação no combate às perdas deverá ser precedida de avaliação custo-benefício.

No caso das perdas comerciais, atuação das áreas de fiscalização e faturamento se faz necessária, analisando as unidades consumidoras por prioridade de carga instalada. Os consumidores com medições indiretas devem ser inspecionados em sua totalidade. Os demais serão inspecionados através da definição de um espaço amostral, priorizando as unidades trifásicas, bifásicas e monofásicas, nesta sequência. Este procedimento visa reduzir os custos das inspeções e consultas cadastrais.

É fundamental, na avaliação dos circuitos mais críticos, que existam parâmetros de comparação entre alimentadores com configurações semelhantes. Os valores obtidos anteriormente permitem apenas uma aproximação da realidade individual dos circuitos, necessitando avaliação de todo o sistema de distribuição, afim de definir valores ótimos de perdas para cada alimentador. Obviamente, esse nível ótimo é dinâmico ao longo do tempo, necessitando reavaliações periódicas.

6. CONCLUSÕES.

Diante do assunto abordado neste trabalho, pode-se extrair as seguintes conclusões:

a) as perdas globais nos alimentadores de distribuição podem ser calculadas através de métodos aproximados, mas que representam uma definição razoável entre proporcionalidades de perdas técnicas e comerciais;

b) o plano de ação é um conjunto de medidas, priorizadas por ordem crescente das respectivas relações custo benefício. Assim sendo, a otimização de um plano de ação exige um diagnóstico por componente individual, que só é normalmente viabilizado quando existe um bom sistema de medição e um gerenciamento computacional da rede;

c) calculadas as perdas globais de um alimentador do sistema de distribuição e suas perdas técnicas, é possível estimar, por diferença, o montante das perdas comerciais. Este conhecimento, que constitui a principal finalidade do cálculo das perdas técnicas, ajuda a estabelecer uma estratégia de otimização, priorizando o combate às perdas técnicas e às perdas comerciais;

d) o acompanhamento da evolução das perdas em um sistema elétrico, pode ser realizado de diversas formas. No entanto, sem dúvida nenhuma, a forma mais eficiente é a utilização de gerência de redes que, entretanto, requer custos elevados para sua implementação, e permanente manutenção de sua base de dados;

e) outros tipos de perdas técnicas que ocorrem em sistemas de distribuição (ramais de ligação, medidores, conexões, correntes de fuga etc), devido à pequena participação no valor total e em alguns casos dada a extrema dificuldade de cálculo, podem ser estimados através de processos simplificados;

f) é sempre possível utilizar a curva de carga típica de determinado alimentador de distribuição, utilizando dados da mesma para cálculo das perdas técnicas;

g) a influência das rotas de leitura nos dados de cadastro (consumos mensais) não afeta de forma significativa os cálculos de perdas globais, já que o desvio devido à variação dos períodos de faturamento é mínimo. Obviamente o erro será menor à medida que se aumenta o período de análise.

7. RECOMENDAÇÕES.

a) a CEB deve permanentemente implementar ações voltadas à otimização de suas perdas, de modo a mantê-las em nível econômico;

b) devem ser periodicamente estimadas, pela CEB, as curvas de carga típicas dos diversos seguimentos do seu sistema de distribuição, uma vez que o fator de perdas exerce forte influência na determinação das perdas técnicas e, por consequência, das perdas comerciais;

c) a implantação de sistemas de gerência de redes na distribuição, embora necessite investimentos relativamente elevados, permitirá avaliar as perdas de forma mais precisa e ágil, permitindo ainda outras vantagens, como controle de demanda, melhorias nos índices DEC e FEC etc.

8. BIBLIOGRAFIA.

- (1) CODI - Resolução CODI/26 Indicador Gerencial de Perdas de Energia.
- (2) CODI - Relatório 3.2.19.34.0 Metodo-logia para Determinação, Análise e Otimização de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição.
- (3) CODI - Projeto 1.2.08.05.0 Perdas Comerciais 1ª e 2ª Etapas.
- (4) CCON - Situação Atual do Tratamento das Perdas nas Empresas do CCON - Volumes I e II.
- (5) CESP - Estudo de Perdas não Técnicas de Energia Elétrica - Missão de Cooperação técnica ao IRHE - Panamá.

- (6) Eletricidade Moderna - Perdas de Energia: Totais, Técnicas e Não Técnicas, Janeiro/1996.
- (7) CEB - Evolução do Índice de Perdas, 1999.
- (8) CEB - Perdas de Energia nos Sistemas de Transmissão e Distribuição da CEB, maio/1993.