

## Metodologia De Cálculo De Perdas Técnicas E Comerciais

José Henrique de O. Vilela

Companhia Energética de Brasília – CEB

Brasília/DF - Brasil

### RESUMO

Este artigo descreve uma metodologia para cálculo de perdas técnicas e comerciais na Distribuição. O cálculo é feito por circuito alimentador de Distribuição. As perdas técnicas são calculadas e discriminadas por circuito primário, circuito secundário e por transformadores. A metodologia é aplicada com dados geo-referenciados dos consumidores, da rede e dos trafos. As perdas comerciais são estimadas pela diferença entre a energia medida nas saídas e cada alimentador e o somatório dos consumos com as perdas do circuito.

**Palavras-chaves:** Perdas técnicas e comerciais. Redes primárias e secundárias. Distribuição.

### 1. INTRODUÇÃO

As perdas segundo sua origem podem ser técnica ou comercial, e segundo sua natureza podem ser de demanda e de energia.

As perdas comerciais são devidas a roubo, ausência de medidores, fraudes, desatualização de cadastro, erros no faturamento.

As perdas técnicas requerem investimentos na rede para sua redução e normalmente envolvem políticas de longo prazo. As perdas comerciais por não requererem investimentos em infra-estrutura podem envolver políticas empresariais de curto prazo.

As empresas de Distribuição vem utilizando diversos procedimentos e metodologias de cálculos de perdas: fluxo de carga, modelos estatísticos, gerência de redes, medição, etc.

Cada procedimento tem suas vantagens e desvantagens. As metodologias mais elaboradas tendem a dar resultados mais precisos e reais. Em geral elas demandam investimentos mais altos, seja em cadastro, gerenciamento, controle, etc. As metodologias simplificadas por sua vez necessitam de um volume de dados menores, menos controle e menos investimento. Os resultados dessas últimas tendem a ser mais gerais e menos precisos.

Na CEB as perdas técnicas de demanda e de energia são calculadas em quatro componentes: - perdas na rede

primária, na secundária, nos transformadores e perdas miscelâneas. Esse cálculo é mensal e feito com a ajuda da ferramenta Georede.

Com esses valores de perdas técnicas, valores de energia acumulados medidos nas saídas dos alimentadores e valores de leitura de energia dos consumidores, é possível com boa precisão a avaliação das perdas comerciais por circuito.

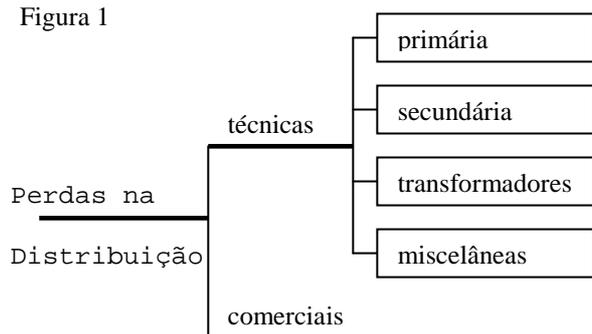
Os principais fatores que geram distorções e imprecisões nos resultados, na metodologia da CEB e nas demais, são: - diferentes rotas de leitura, não coincidência entre os períodos de medição dos consumidores e da energia na saída dos alimentadores, manobras executadas transferindo cargas entre circuitos, dificuldades de obter fatores de carga e de perdas, sazonalidades, necessidade de um cadastro preciso.

No caso da CEB, para que sejam calculadas as perdas técnicas, é necessária uma boa base cadastral, contendo informações como resistividade de cabos das redes primárias e secundárias, localização exata dos consumidores, fases, comprimentos, potências dos transformadores...

### 2. ASPECTOS TÉCNICOS

As perdas técnicas ocorrem por efeito joule nos condutores das redes primárias e secundárias, nos enrolamentos de cobre dos transformadores, nas conexões e emendas, nos ramais de ligação. Também ocorrem perdas técnicas no ferro dos transformadores, em fugas de correntes, nas bobinas dos medidores de energia, nos capacitores e em outros equipamentos, além de diversas outras como efeito corona. Dessas perdas técnicas, normalmente podem ser calculadas as perdas nos circuitos primário e secundário e as perdas nos transformadores. As demais perdas normalmente são estimadas. No cálculo desenvolvido para a CEB são denominadas miscelâneas as diversas perdas como em ramais de ligação, bobinas de medidores, fugas em árvores, isoladores, conectores, para-raios, reguladores, capacitores, etc. As perdas nos circuitos primários e secundários são calculadas utilizando as correntes, o comprimento e as resistividades em cada trecho. As perdas nos transformadores são calculadas pela soma da perda a vazio, parcela fixa, com a perda em carga, parcela variável.

Figura 1



Nas saídas dos circuitos alimentadores na CEB há medições de energia e demanda. Esses valores com as informações de faturamento e o cálculo estimativo das perdas técnicas, pode-se estimar as perdas comerciais. As perdas comerciais representam financeiramente um prejuízo muito maior que as perdas técnicas.

Para o cálculo das perdas por efeito joule nos condutores das redes primárias e secundárias, utilizamos as correntes em cada trecho.

As correntes são calculadas a partir da conversão do consumo faturado (kWh) em demanda (kVA). Essa demanda é então convertida em corrente (A).

Foi realizado um trabalho de levantamento das curvas de cargas dos consumidores da CEB. Com isso para cada tipo de consumidor, classificado por faixa de consumo, temos a energia consumida, sua curva de carga típica e a sua demanda típica. Para grandes clientes as demandas são medidas, não havendo necessidade de calculalas.

Com um cadastro de consumidores georeferenciado, é possível agregar cada demanda nos trechos de rede secundária e primária. Os consumidores ligados em Baixa Tensão são agregados trecho a trecho. Cada demanda é transformada em corrente que vão sendo somadas até o transformador. Se o transformador possui clientes ligados em Alta Tensão, também essa corrente correspondente é agregada. Os consumidores ligados diretamente na Alta Tensão são agregados nos respectivos trechos da rede primária. Com isso temos as correntes em todos os trechos da rede primária, rede secundária e transformadores.

Para cada trecho das redes primária e secundária temos cadastrado o comprimento, o tipo de cabo ou bitola e a resistividade.

A perda nas redes primária e secundária são calculadas pela fórmula abaixo:

$$\text{Perda primária} = \text{Comprimento} * \text{Resistividade} * \text{Corrente}_{\text{primária}}^2.$$

$$\text{Perda secundária} = \text{Comprimento} * \text{Resistividade} * \text{Corrente}_{\text{primária}}^2.$$

No entanto, na rede secundária o cálculo leva em conta as fases dos consumidores. São portanto calculadas as perdas atuais e as perdas balanceadas.

Uma vez que há circulação de corrente pelo neutro, a demanda máxima no condutor neutro é calculada pela fórmula abaixo:

$$\text{Dem}_{\text{Max\_neutro}} = \text{Demanda}_{\text{maior}} - ((\text{Demanda}_{\text{meio}} + \text{Demanda}_{\text{menor}}) / 2)$$

Essa demanda também é convertida em corrente pela fórmula:

$$\text{Corrente}_{\text{neutro}} = \text{Demanda}_{\text{Max\_neutro}} / 220.$$

Visto que a tensão fase-neutro na rede secundária é 220 V. A perda desbalanceada na rede secundária é a soma das perdas nas três fases com a perda no neutro.

A perda nos transformadores é dada pela soma das perdas no ferro e no cobre. É fácil a modelagem desta perda visto que se trata de uma parcela concentrada. Mesmo processos simplificados garantem para esse cálculo bons resultados.

A perda no ferro se deve principalmente às correntes Foucault e à histerese. Está relacionada com a corrente de excitação e pode ser considerada constante, uma vez que depende principalmente da tensão de operação do transformador. A perda no cobre é provocada pela corrente que atravessa os enrolamentos.

Abaixo na tabela 1, usada para cálculo das perdas nos transformadores, é mostrado os coeficientes típicos das perdas no cobre e no ferro.

Tabela 1

Potência do trafo	Coefficiente de perdas a vazio (Pfe - W)	Coefficiente de perdas com carga (Pcu - W)
5	34	114
10	58	192
15	101,5	327,7
25	118	391
30	155	570
37,5	218	670
45	230	780
75	320	1110
112,5	430	1550
150	505	1910
225	750	2670
300	763	2789
500	1171	5263
750	1460	6170
1000	1643	11032

A tabela acima é parametrizada no Georede de modo a ser atualizada quando necessário.

A perda de demanda nos transformadores é dada pela fórmula abaixo.

$$\text{Perda\_demanda\_trafo} = \text{Perda\_ferro} + (\text{Perda\_cobre} * \text{carregamento}^2)$$

Portanto a perda nos transformadores depende da potência nominal e do carregamento. A fórmula também retrata que a perda no ferro pode ser considerada fixa e a perda no cobre depende do quadrado da corrente.

As demais perdas são estimadas atualmente em 7% da perda total. Referências indicam que as Distribuidoras tem o percentual de perdas miscelâneas entre 6% e 10%.

Nas saídas dos nossos circuitos alimentadores possuímos medidores de energia com um boa classe de precisão, (classe 0,2%). Eles fornecem a energia em kWh em intervalos de até 5 minutos.

As perdas comerciais são estimadas de acordo com a fórmula abaixo:

$$P_{\text{comercial}} = \text{Energia\_alimentador} - \text{Energia\_faturada} - P_{\text{técnica}}$$

No qual:

$P_{\text{comercial}}$  são as perdas comerciais.

Energia\_alimentador é o montante de energia em kWh disponibilizado pelo circuito alimentador.

Energia\_faturada é o montante em kWh de todos os clientes do circuito alimentador.

$P_{\text{técnica}}$  é a perda técnica total em kWh do circuito alimentador.

Esse balanço acima deve ser feito pela média dos últimos três meses ou por uma média acumulada, de modo a minimizar efeitos de rotas e períodos de leitura, as distorções de faturamento e as manobras entre circuitos.

### 3. EXEMPLO ILUSTRATIVO

O sistema GEOCEB é uma ferramenta composta de vários módulos, entre eles o Georede. O cadastro do Geoceb engloba:

- as redes primárias e secundárias, com comprimentos de cada trecho, tipo de cabos e bitolas. Com isso temos as características físicas necessárias para o cálculo da resistência de cada trecho.
- Os transformadores, localizados georeferenciados, com a potência nominal.

- Os consumidores, localizados georeferenciados, classificados por tipo, fases ligadas e montante de consumo.

Com a base cadastral e a metodologia acima, o Georede é capaz de processar mensalmente todos os consumidores e com seus consumos e demandas. As figuras 2 e 3 abaixo mostram formatos de saídas de dados de consumidores e energia.

Atualmete está sendo atualizado o cadastro para então voltarmos a fazer o processamento mensal de cálculo do Georede.

Figura 2

Consumidores (Qtde)				
Residencial	0 à 50	50 à 200	200 à 400	Acima 400
	1	2	8	20
Comercial	0 à 200	Acima 200		
	2	1		
Industrial	0			
Rural	0			
Outras	0			
Total	34			

Figura 3

Consumo (kWh)				
Residencial	0 à 50	50 à 200	200 à 400	Acima 400
	35	264	2.357	12.343
Comercial	0 à 200	Acima 200		
	89	5.028		
Industrial	0			
Rural	0			
Outras	0			
Total	20.116			

Uma vez que a CEB possui aproximadamente 285 circuitos alimentadores, são necessários relatórios de saída de fácil visualização. A figura 4 é um exemplo de indicação de carregamento, perdas e queda de tensão de uma rede primária.

Figura 4



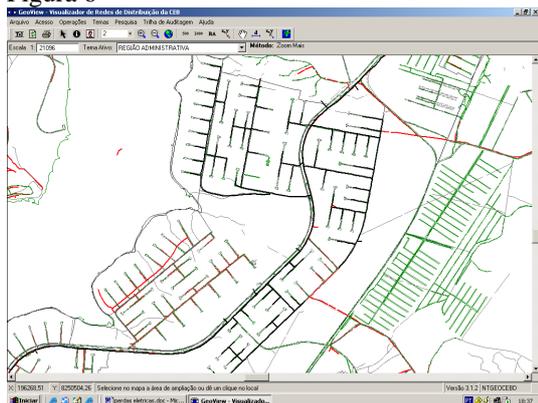
A figura 5 mostra os valores totais de perdas por demanda e energia em um circuito alimentador, discriminados em rede primária, secundária, transformadores e perdas diversas.

Figura 5

Perdas		
	Demanda (kVA)	Energia (kWh/Mês)
Trecho Primário	145,86	27.305,77
Trecho Secundário	47,26	2.185,51
Transformador	96,36	16.550,20
Miscelânea	21,79	3.465,49
<b>Total</b>	<b>311,27</b>	<b>49.506,97</b>

A figura 6 abaixo ilustra um circuito elétrico, no caso o circuito 1008, geo-referenciado. Os níveis de detalhe de visualização são escolhidos pelo usuário.

Figura 6



#### 4. IMPRECIÇÕES

A rede de 13,8kV é bastante dinâmica, pois todos os circuitos alimentadores tem como característica desejável a presença de recursos. As chaves de interligação entre circuitos são utilizadas diariamente para transferências de cargas, isolamento de ramais, reconfiguração de rede. Uma vez que o processamento deve ser feito mensalmente, é usada uma base física estática da rede, portanto não levando em considerações as transferências de energia. Na saída das subestações os medidores de energia de cada circuito registram essas transferências, no entanto o processamento não as registra nem calcula.

Há vários períodos de leituras, que não são coincidentes com o período de cálculo. Isso gera erros localizados, mas quando somados tendem a se anular. Portanto os valores mais globais tendem a serem mais precisos.

Erros de cadastro de consumidores ou de faturamento influenciam diretamente no cálculo. Por isso alguns valores de perdas em trechos de rede ou transformadores pode vir a ser super ou subestimado.

Uma vez que a base física do programa Geoceb é geo-referenciada, qualquer imprecisão ou erro de localização de redes ou trafos influenciam diretamente nas perdas. Uma vez que esses erros tendem a ser locais, também os valores errados tendem a ser localizados em trechos da rede primária ou secundária.

#### 5. CONCLUSÕES

O custo das perdas comerciais é baseado no preço de venda de energia e o custo das perdas técnicas é baseado no preço de compra de energia que a Distribuidora paga. Por exemplo, se uma Distribuidora compra o MWh por R\$100,00 e vende por R\$200,00, então o MWh perdido no faturamento é pelo menos duas vezes o valor do MWh perdido tecnicamente. Normalmente há pouco espaço para diminuir as perdas técnicas, pois elas são inerentes à rede elétrica. No entanto uma vez que a maior parcela das perdas, nos condutores das redes primária, secundária e nos enrolamentos dos transformadores, são proporcionais ao quadrado da corrente, deve-se atentar para as linhas e transformadores operando em sobrecarga. As perdas comerciais, por sua vez, podem ser zeradas e devem ser minimizadas ao máximo. As perdas de energia devem ser combatidas mesmo se não possuíssemos estimativas delas.

Há a necessidade de se manter um cadastro, tanto físico da rede como comercial, bastante atualizado, para que os cálculos tenham uma boa precisão.

Existem também outros métodos de cálculo de perdas elétricas, baseados em modelos estatísticos, cujo custo é menor e gera maior imprecisão. As metodologias mais elaboradas requerem um cadastro mais detalhado e mais confiável, tendendo a gerarem resultados mais próximos da realidade. As metodologias simplificadas necessitam de um volume reduzido de dados e tendem a apresentar um resultado mais confiável quando analisado de forma global.

Um exemplo de uma metodologia simplificada é a “Metodologia Simplificada para Avaliação de Perdas Técnicas em Redes de Distribuição”, documento técnico 3.2.19.34.0 do CODI.

Nem sempre a menor perda técnica é viável economicamente. O nível ótimo de perdas técnicas depende das características da região e da Distribuição. Quanto maior a densidade de carga, menor será a perda técnica.

As metodologias mais simplificadas se aplicam nos cálculos das redes primária e nos transformadores. Para as redes secundárias são necessárias metodologias mais apuradas.

As perdas miscelâneas, por serem complexas e de difícil mensuração, devem ser estimadas por processos simplificados.

Além de possibilitar o cálculo das perdas por trechos de rede e por transformadores, um cadastro geo-referenciado possibilita outros cálculos como:

- Carregamento por trechos das redes primária e secundária;
- Quedas de tensão por trechos nas redes primária e secundária;
- Carregamento dos transformadores;
- Carregamentos e queda de tensão global por circuito alimentador.

Com o cálculo das perdas na rede com tensão igual ou inferior ao 13,8kV, a CEB pode calcular todas as perdas globais. A perda na sub-transmissão pode ser calculada diretamente por medição, visto que a CEB possui medidores nos pontos de conexão com transmissoras, distribuidoras e geradores. Com as medidas de energia nas saídas dos alimentadores é possível calcular as

perdas na sub-transmissão pela simples diferença entre a energia que entra e a energia que sai na sub-transmissão.

O custo das perdas técnicas deve ser usado nas análises econômicas de comparação de alternativas no planejamento elétrico.

A forma mais eficiente e precisa de avaliação da evolução das perdas é a utilização de um sistema computacional de gerência de rede. Embora isso requer um investimento inicial alto e uma manutenção constante da base de dados.

**5. BIBLIOGRAFIA**[1] CODI. Documento Técnico 3.2.19.34.0, 1994.

[2] A. Vaz. Pinto, Metodologias e Identificação dos Índices de Perdas, , CEPEL, 2001.

[3] Projeto D.SEN 04, Avaliação Preliminar das Perdas Técnicas No Sistema Elétrico De Distribuição da CEB, 2000.

[4] S. Jonathan, Metodologia para Cálculo de Perdas, ELETROPAULO, 2001.

[5] CREG, Comision de Regulacion de Energia y Gas, , Metodologia para Definir el Indice de Perdas en La Actividad de Distribuicion, 2002.