

**Alocação de Perdas em Sistemas de Distribuição**

**I. F. E. D. Denis – UNESP, A. Padilha – UNESP e R. M. Ciric - UNESP**

E-mail: [padilha@dee.feis.unesp.br](mailto:padilha@dee.feis.unesp.br)

**Palavras-chave** – Geração Distribuída, Perdas, Preço da Distribuição, Sistemas de Distribuição.

**Resumo** – Dois métodos de alocação de perdas em redes de distribuição, Método de Injeção Zero e Método Baseado na Matriz Zbus, são apresentados e comparados com outros quatro métodos, considerando a operação de alimentadores de distribuição com e sem geração distribuída. Sistemas de distribuição com geradores distribuídos requerem novos métodos de estudos devido a alterações, que aparecem, no comportamento das redes. Um dos problemas interessantes neste novo cenário é a alocação das perdas elétricas. As mais importantes propostas existentes para alocação de perdas para geradores e cargas são discutidas neste trabalho, totalizando seis métodos: Método de Perdas Baseado na Potência (PL) e no Quadrado da Potência (PQ), Método de Injeção Zero (IZ), Métodos Baseados nos Coeficientes de Perda Marginal (MLC) e Perda Direta (DLC) e Método Baseado na Matriz Zbus (Zbus). Os resultados obtidos destacam que os métodos Zbus, MLC e DLC apresentam vantagens claras quando se têm geradores distribuídos.

## **1. INTRODUÇÃO**

As redes de distribuição de energia elétrica são atingidas com impactos muito variados com a presença de geradores distribuídos nos alimentadores. Como o sistema de distribuição com geradores distribuídos apresenta novas características, todos os resultados decorrentes do planejamento, da construção, da conservação e da operação do sistema de distribuição tornam-se muito interessante a ponto de merecer re-investigação. Experiências anteriores mostraram que as integrações dos geradores dentro do sistema de distribuição podem propiciar segurança mas também causar problemas técnicos. Eles podem contribuir para a corrente de falta, causar oscilação de tensão, interferir no processo de controle da tensão, provocar aumento de perdas, etc.. Todo o conhecimento sobre o modelo global do sistema de distribuição precisa ser revisto, pois o impacto do gerador distribuído é significativo. O sistema de gerenciamento da distribuição, estimação de carga, cálculo de fluxo de potência, reconfiguração do sistema, restabelecimento do fornecimento de energia, análise de curto circuito, ajustes de relês, reguladores de tensão, etc. são significativamente afetados pelo gerador distribuído nos alimentadores. Isto significa que todo o processo de sistema de gerenciamento precisa ser revisto e provavelmente re-adaptado para considerar o gerador distribuído no sistema de distribuição.

Um dos temas interessantes, relacionadas aos geradores distribuídos em um mercado de energia elétrica competitivo, é o problema de alocação de perdas para os geradores e consumidores no sistema de distribuição. Embora o assunto sobre alocação de perdas seja naturalmente mais atribuído ao sistema de transmissão, após a introdução do gerador distribuído, o problema de alocação de perdas em sistema de distribuição vem merecendo maior enfoque [6] e [7]. Além disso, com a introdução de competição nos sistemas elétricos, a alocação de perdas no sistema de distribuição torna-se assunto significativo desde as perdas na média tensão estão na faixa de 2-5%, e as perdas na baixa tensão muitas vezes excedem os 10% [1]. A dificuldade principal na alocação de perdas às barras é que, apesar da aproximação que é feita, a distribuição final contém sempre um grau de arbitrariedade. Esta é a consequência natural do fato de que os sistemas de distribuição, como também, os sistemas de transmissão apresentam perdas como uma função não-linear das injeções nas barras. Como é concluído em [2] parece que o assunto imparcialidade na alocação de perdas jamais será concluído; pois, é provável que nunca será completamente solucionado por qualquer método.

Este artigo tem como objetivo apresentar e discutir o desempenho de dois métodos de alocação de perdas em sistema de distribuição com e sem geradores distribuídos, e compara-los com outros quatro métodos. Após esta introdução, apresentam-se os métodos de alocação de perdas com destaque para os métodos IZ e Zbus; os sistemas de distribuição utilizados; os resultados experimentais obtidos com dois diferentes sistemas; as conclusões; os agradecimentos e finalmente as referências bibliográficas.

## **2. MÉTODOS DE ALOCAÇÃO DE PERDAS**

Diferentes propostas de alocação de perdas em redes elétricas surgiram nos últimos anos, tanto para transmissão quanto para distribuição. Obviamente o foco maior tem sido a transmissão devido aos valores atingidos e a grande quantidade de agentes com livre acesso às redes de transmissão. Porém com o incentivo à instalação de pequenos geradores que tem sido dado em vários países e, ultimamente no Brasil, o problema aparece também nos alimentadores de distribuição. Neste trabalho mostra-se que o impacto sobre as perdas pode ter importância crucial nos alimentadores existentes com a ligação de geradores. A referência [6] usa um grafo dirigido da rede elétrica e resultados do fluxo de potência, para propor dois algoritmos de alocação de perdas: PL e

PQ. Os autores não destacam o comportamento dos métodos com a presença de geradores distribuídos. Em [7] são propostos, outros, dois métodos para alocação de perdas em sistemas de distribuição com e sem geradores distribuídos: MLC e DLC.

Neste trabalho dois métodos são apresentados e testados para sistemas de distribuição: o método IZ e o método Zbus. O método Zbus foi originalmente proposto em [2] e é muito eficiente para alocação de perdas em sistemas de transmissão, porém os autores destacaram a impossibilidade de aplicação direta nos sistemas de distribuição, neste artigo apresenta-se como emprega-lo nos sistemas de distribuição.

Conforme descrito em [7], as exigências para um programa ideal de alocação de perdas podem ser assim resumidas:

- Atribuir ao consumidor o verdadeiro custo imposto por ele ao sistema.
- Ser consistente,
- Utilizar os dados medidos,
- Ser de simples interpretação e implementação.

A seguir, apresentam-se os métodos IZ e Zbus. Os demais métodos já empregados em sistemas de distribuição, não serão descritos neste artigo, porém serão utilizados para efeito de comparação dos desempenhos dos métodos IZ e Zbus.

### 2.1. Método de Injeção Zero

Este método decompõe o sistema original com n barras em n subsistemas também com n barras. Cada subsistema particular terá apenas uma carga, mas manterá os geradores distribuídos. Após o cálculo do fluxo de potência, em todos os subsistemas, é calculada a parcela de perda de cada barra em relação às perdas totais. Este tipo de decomposição é possível apenas em sistemas lineares, mas os sistemas de distribuição não são lineares [4]. Porém, esta é a única suposição feita para obter as perdas em sistemas de distribuição. A justificativa para esta suposição é que o objetivo da metodologia não é determinar a distribuição exata das perdas, mas sim a justa alocação de perdas em sistemas de distribuição com geradores distribuídos.

A variação da perda da potência ativa em sistema de distribuição pode ser calculada pela expressão:

$$\Delta P_{total} = \text{real} \left\{ \sum_{i=1}^{NF} \sum_{j=1}^{NFS_i} Z_{ij} I_{ij}^2 \right\} \quad (1)$$

em que:

$NF$  é o número total de alimentadores do sistema;

$NFS_i$  é o número total das seções no alimentador  $i$ ;

$Z_{ij}$  é a impedância complexa da seção  $j$  do alimentador  $i$ ;

$I_{ij}$  é a corrente complexa na seção  $j$  no alimentador  $i$ .

O procedimento proposto para a alocação de perdas consiste nos seguintes passos:

1. Leitura dos dados do sistema ;

2. Cálculo do Fluxo de Potência no sistema de distribuição com geradores distribuídos [8];

3. Cálculo da Perda Total do sistema  $\Delta P_{total}$  equação (1);

4. Criação do subsistema  $i$ : introdução da “injeção zero” em todas as barras exceto na barra  $i$ ;

5. Cálculo do Fluxo de Potência no subsistema  $i$ ;

6. Cálculo da Perda no subsistema  $\Delta P_i$  equação (1);

7. Repetir os passos de 4,5 6 até completar todas as barras do sistema;

8. Calcular a contribuição de cada barra do consumidor  $i$  para as perdas totais do sistema, equação (2).

$$P_{Li} = \frac{\Delta P_i}{\sum_{i=1}^N \Delta P_i} \Delta P_{total} \quad (2)$$

em que:

$P_{Li}$  é a contribuição do consumo da barra  $i$  para a perda da potência ativa do sistema.

A metodologia proposta é igualmente eficiente em sistemas de distribuição radial e fracamente malhado. De fato, qualquer método de fluxo de potência, que forneça de maneira eficiente o fluxo nas linhas do sistema de distribuição com geração distribuída, pode ser facilmente aplicado.

### 2.2. Método Baseado na Matriz Zbus.

O método de alocação de perdas baseado na Zbus [2] tem como objetivo distribuir as perdas,  $P_{loss}$ , de transmissão entre as n barras do sistema, atribuindo a cada barra a responsabilidade de pagar pelas perdas que ela provoca:

$$P_{loss} = \sum_{k=1}^N L_k \quad (3)$$

A componente perda,  $L_k$ , em (3) é a fração das perdas alocadas no sistema, obtida a partir da injeção da potência ativa na barra  $k$ . Pode ser expresso como:

$$L_k = \text{real} \left\{ \underline{I}_k^* \left( \sum_{j=1}^N R_{kj} \underline{I}_j \right) \right\} \quad (4)$$

em que:

$R_{kj}$  é a parte real do elemento  $k$ - $j$  da matriz  $Z_{bus}$  do sistema;

$\underline{I}_k$  é a corrente complexa injetada na  $k$ .

Em sistemas de distribuição, a matriz Ybus é singular, então para obter a alocação de perdas através desta matriz não se considera a contribuição da barra de referência. Esta consideração não afeta a justa alocação de perdas, nem a obtenção do valor total da perda no sistema, visto que o objetivo deste método é atribuir a cada barra a responsabilidade de pagar pela perda que ela provoca. Mais uma prova da justa distribuição de perdas é que, se a barra não possui carga nem geração, sua contribuição para as perdas é zero. Uma vantagem do método Zbus é a possibilidade de alocação de perdas

negativas. Isto indica a contribuição que a injeção de potência ocasionou no sistema, proporcionando "incentivos monetários a esse gerador distribuído". Por outro lado, geradores distribuídos e cargas "mal" colocados, obterão alocação de perdas mais altas.

Em sistemas de transmissão é fundamental a inclusão de custos para a barra de referência, porém em sistemas de distribuição a barra de referência será escolhida como sendo a barra da subestação principal de onde partem os circuitos. O objetivo principal é atribuir perdas para "consumidores livres" e para geradores distribuídos.

### 3. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO TESTADOS

Dois sistemas de distribuição de energia elétrica foram utilizados a fim de verificar o desempenho dos diferentes métodos de alocação de perdas. Um sistema com 15 barras e com possibilidade de ter até 3 geradores e outro sistema com 34 barras e com um gerador.

#### 3.1. Sistema com 15 barras

O sistema de 15 barras foi extraído de [5], e o diagrama unifilar é mostrado na figura 1. Na Tabela 1 são mostrados os dados de linha, na Tabela 2 os dados de barras e na Tabela 3 os geradores

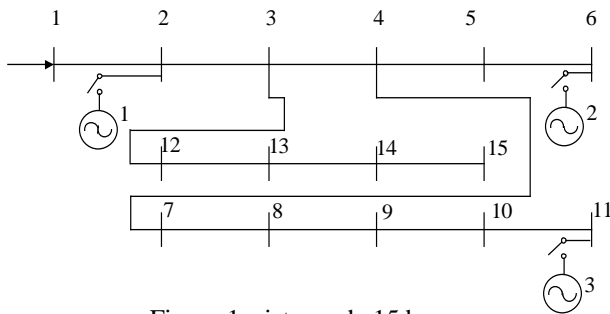


Figura 1: sistema de 15 barras

Tabela 1: Parâmetros das Linhas – Sistema de 15 barras

Linha	Barra i	Barra j	R (p.u)	X (p.u)
1	1	2	0,003145	0,075207
2	2	3	0,000330	0,001849
3	3	4	0,006667	0,030808
4	3	12	0,027502	0,127043
5	4	5	0,005785	0,014949
6	4	7	0,008001	0,036961
7	5	6	0,014141	0,036547
8	7	8	0,008999	0,041575
9	8	9	0,007000	0,032346
10	9	10	0,003666	0,016940
11	10	11	0,008999	0,041575
12	12	13	0,031497	0,081405
13	13	14	0,039653	0,102984
14	14	15	0,016070	0,004153

Tabela 2: Dados de Barras – Sistema de 15 barras

barras	Potência Ativa (pu)	Potência Reativa (pu)	Bsh (pu)
1	0,0000	0,0000	0,00000
2	0,0208	0,0021	0,00000
3	0,0495	0,0051	0,00150
4	0,0958	0,0098	0,03525
5	0,0132	0,0014	0,00250
6	0,0442	0,0045	0,00000
7	0,0638	0,0066	0,03120
8	0,0113	0,0012	0,00000
9	0,0323	0,0033	0,00150
10	0,0213	0,0022	0,00350
11	0,0208	0,0029	0,00200
12	0,2170	0,2200	0,00000
13	0,0029	0,0003	0,00000
14	0,0161	0,0016	0,00000
15	0,0139	0,0014	0,00000

Tabela 3: dados dos geradores

geradores	Potência Ativa	Potência Reativa
1	0,3000 p.u	0,2000 p.u
2	0,0400 p.u	0,0010 p.u
3	0,0400 p.u	0,0010 p.u

#### 3.2. Sistema IEEE 34

O sistema de 34 barras é mostrado na figura 2, e é um sistema teste adotado como padrão pelo IEEE [3]. Os parâmetros de linha estão na Tabela 4, os dados do gerador na Tabela 5 e os dados das barras na Tabela 6. As bases adotadas são de 24,9KV e 1MVA. A barra de referência é a barra de número zero, com tensão de 25,647 KV.

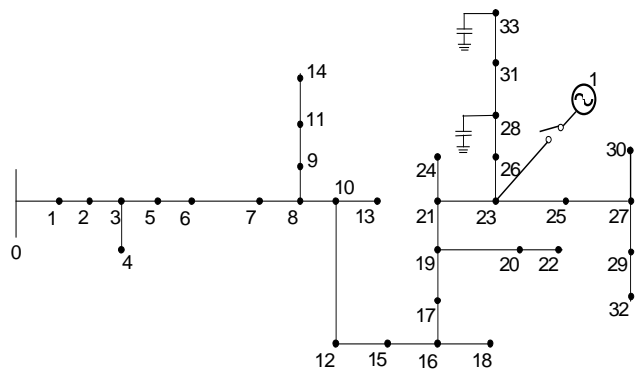


Figura 2: Sistema IEEE 34

Tabela 4: Parâmetros das Linhas – Sistema IEEE 34

Linha	Barra i	Barra j	R (p.u)	X (p.u)
1	0	1	2,030825E-3	8,953083
2	1	2	1,361754E-3	6,003423
3	2	3	2,536956E-2	1,118441
4	3	4	4,596905E-2	2,026589
5	3	5	2,951780E-2	1,301320
6	5	6	2,340171E-2	1,031687
7	6	7	7,871413E-4	3,470187
8	7	8	2,440138E-4	1,075758
9	8	9	1,346012E-3	5,934020
10	8	10	8,036713E-3	3,543061
11	9	11	3,790085E-2	1,670895
12	10	12	6,611987E-4	2,914957
13	10	13	2,385038E-3	1,051467
14	11	14	1,081532E-2	4,768037
15	12	15	1,608917E-2	7,093062
16	15	16	4,093135E-4	1,804497
17	16	17	2,899042E-2	1,278070
18	16	18	1,836401E-2	8,095946
19	17	19	7,871416E-4	3,470187
20	19	20	3,064467E-3	6,580539
21	19	21	3,856993E-3	1,700392
22	20	22	8,312212E-3	3,664518
23	21	23	4,589034E-3	2,023119
24	21	24	1,275169E-3	5,621703
25	23	25	1,590025E-3	7,009778
26	23	26	2,203996E-4	9,716525
27	25	27	2,109539E-3	9,300102
28	26	28	1,062641E-3	4,684753
29	27	29	2,203996E-4	9,716525
30	27	30	6,769415E-4	2,984361
31	28	31	2,865194E-3	1,263148
32	29	32	2,558431E-3	1,684948
33	31	33	4,171849E-4	1,839199

Tabela 5: Dados do gerador

Gerador -1				
barra	V(kV)	Pg (KW)	Qmin(KVAr)	Qmax(KVAr)
23	24,9	150	15	35

Tabela 6: Dados das Barras IEEE 34

barras	Potência Ativa (KW)	Potência Reativa (KVAr)	Capacitor (KVAr)
0	000,00	000,00	000,00
1	19,10	9,87	0,00
2	0,00	0,00	0,00
3	5,29	2,74	0,00
4	0,00	0,00	0,00
5	00,00	0,00	00,00
6	00,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00
8	00,13	0,07	00,00
9	11,30	5,84	00,00
10	14,90	7,71	0,00
11	11,84	23,36	00,00
12	2,06	1,07	0,00
13	0,00	0,00	00,00
14	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00
16	1,24	0,64	0,00
17	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00
19	4,37	2,26	00,00
20	0,00	0,00	0,00
21	10,00	5,17	00,00
22	27,00	21,62	00,00
23	50,00	25,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00
25	46,57	29,72	00,00
26	3,04	1,57	00,00
27	13,10	6,77	00,00
28	149,05	114,90	100,00
29	9,20	4,76	0,00
30	8,86	7,09	00,00
31	7,54	3,90	0,00
32	00,00	00,00	0,00
33	19,45	15,57	150,00

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A experiência mostra que a alocação de perdas ativas em sistema de distribuição é uma função complexa da carga, da configuração da rede, dos parâmetros da linha, da colocação e avaliação dos geradores distribuídos, do tempo e, principalmente, do método usado.

Primeiramente apresentam-se resultados utilizando o sistema de 15 barras para avaliar o desempenho dos diferentes métodos com e sem a presença de geradores distribuídos. As figuras de 3 a 8 mostram o desempenho dos diferentes métodos com os três geradores desconectados, com o gerador 3 conectado na barra 11 e com os geradores 2 e 3 conectados nas barras 6 e 11, respectivamente. Nota-se, claramente, que a presença de geradores diminui sensivelmente as perdas e, portanto as perdas alocadas para cada barra também diminuem. Os agentes que provocam a diminuição das perdas são os geradores, então os métodos devem indicar que estes geradores devem receber benefícios por este fato. Os métodos PL, Zbus, MLC e DLC indicam isto, alocando

uma perda com valor negativo para as barras com gerador. Perda negativa indica que esta barra (gerador ou consumidor) deve receber por provocar redução de perdas, e valor positivo indicar que a barra deve pagar por perdas. Observa-se que os métodos PQ e IZ não conseguem alocar perdas com valores negativos para nenhuma barra e isto é uma grande deficiência destes métodos.

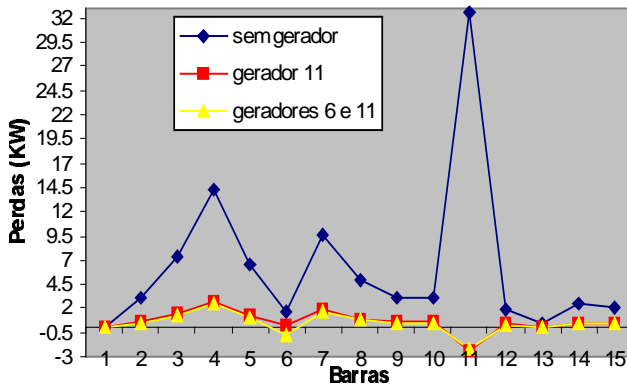


Figura 3- Alocação de perdas com o método PL para o sistema de 15 barras.

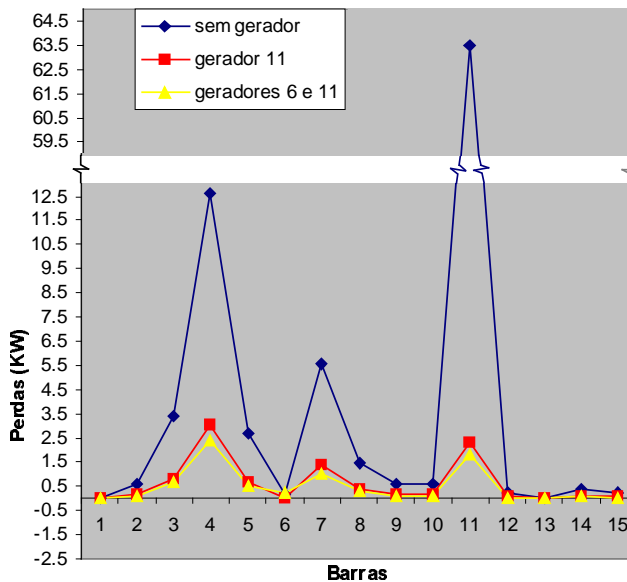


Figura 4- Alocação de perdas com o método PQ para o sistema de 15 barras.

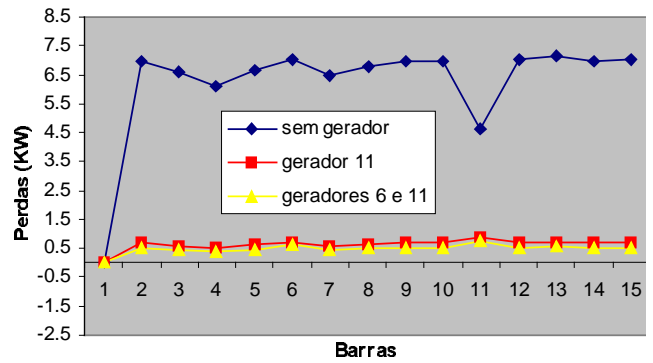


Figura 5- Alocação de perdas com o método IZ para o sistema de 15 barras.

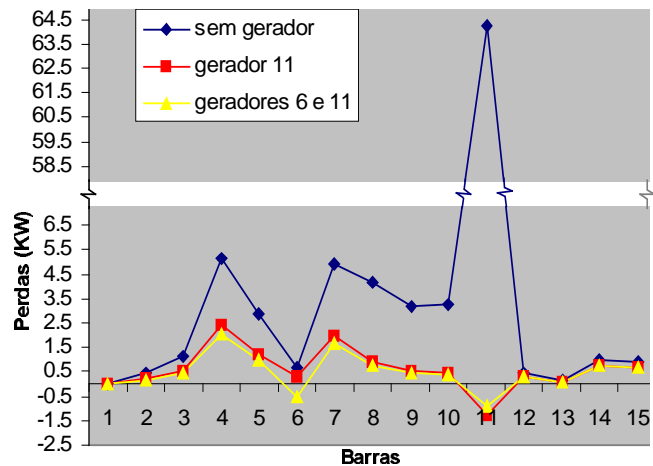


Figura 6- Alocação de perdas com o método Zbus para o sistema de 14 barras.

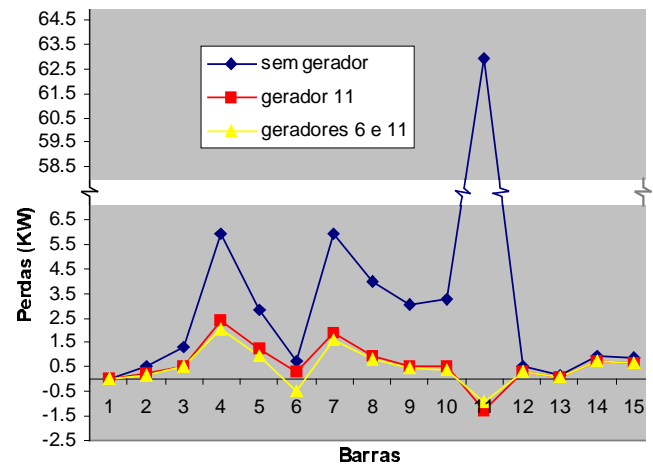


Figura 7- Alocação de perdas com o método MLC para o sistema de 14 barras.

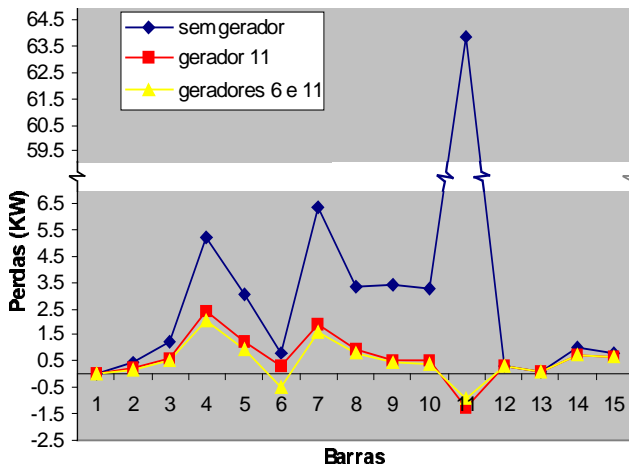


Figura 8- Alocação de perdas com o método DLC para o sistema de 14 barras.

A Tabela 7 mostra as perdas totais que ocorrem nas linhas do sistema de 15 barras e o valor do somatório das perdas alocadas para cada uma das barras com cada um dos métodos. Os valores obtidos mostram que todos os métodos apresentam uma tendência de distribuir as perdas pelas barras, porém a maneira como realizam a distribuição é bastante diferente.

Tabela 7 – Somatório das perdas atribuídas a cada barra pelos diferentes métodos

Métodos	Sem Gerador	Gerador 3	Geradores 2 e 3
PL	93,27004	9,25592	7,36964
PQ	93,27006	9,25592	7,36964
IZ	93,27005	9,25592	7,36964
MLC	93,21977	9,25642	7,35746
DLC	93,69655	9,23717	7,29439
Zbus	93,27021	9,27624	7,36971
<b>Somatório das Perdas nas Linhas</b>	<b>93,219770</b>	<b>9,256418</b>	<b>7,357465</b>

As figuras 9 e 10 mostram os desempenhos dos métodos para o sistema de 15 barras com e sem a presença de geradores e as figuras 11 e 12 ilustram o comportamento dos métodos para o sistema de 34 barras. Pode-se observar que os métodos Zbus, DLC e MLC apresentam resultados semelhantes para todos os casos simulados. O método PL consegue alocar perda negativa para barra de geração modelada como barra PQ (este modelo foi adotado para o sistema de 15 barras), mas não mostra o mesmo desempenho quando a barra de geração é modelada como PV (modelo adotado no sistema de 34 barras). Deve-se destacar que o modelo mais adequado para representar geradores em programas de fluxo de potência é através de barra PV.

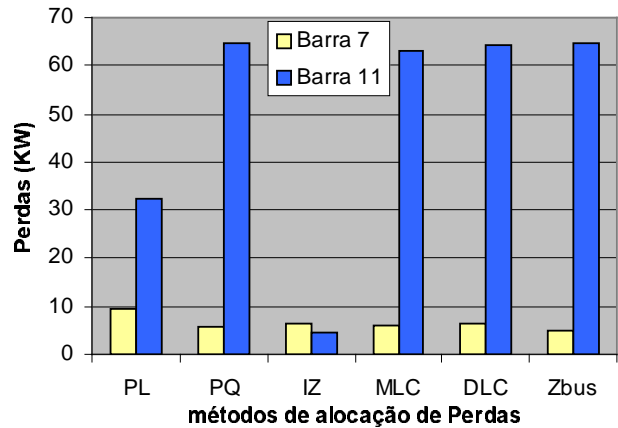


Figura 9- Alocação para barras 7 e 11 do sistema de 15 barras sem a presença de gerador

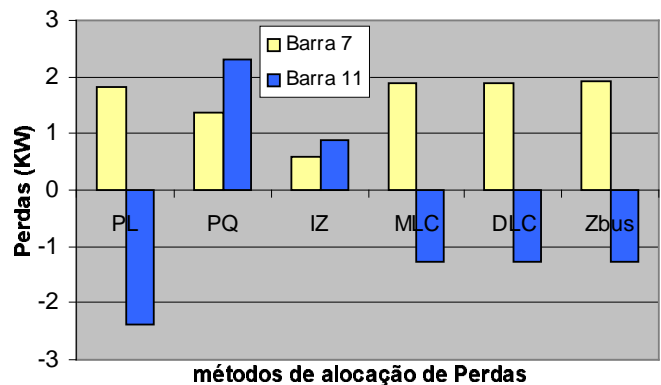


Figura 10- Alocação para barras 7 e 11 do sistema de 15 barras com gerador na barra 11.

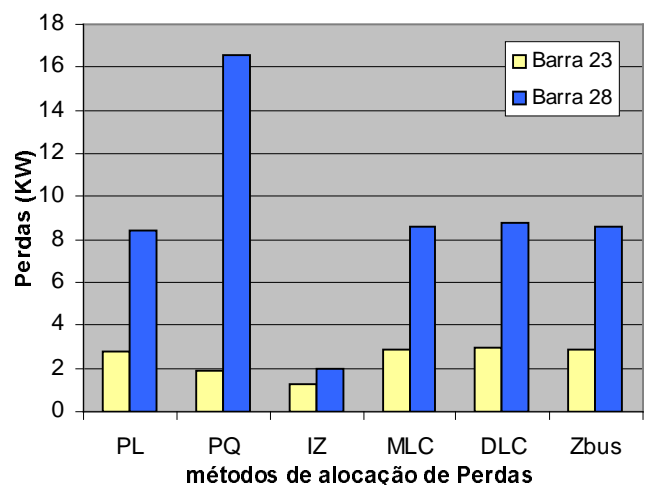


Figura 11- Alocação para barras 23 e 28 do sistema de 34 barras sem a presença de gerador.

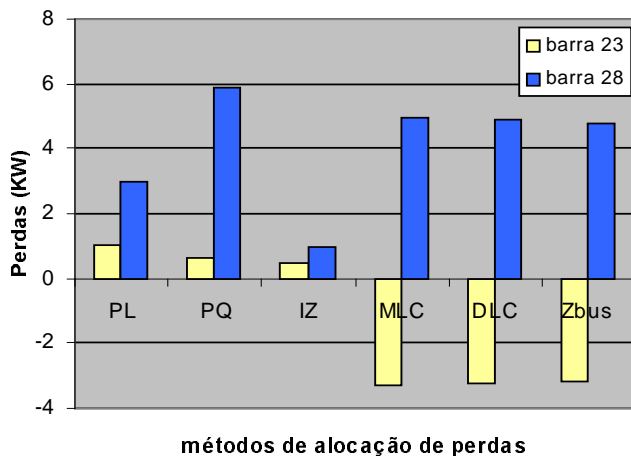


Figura 12- Alocação para barras 23 e 28 do sistema de 34 barras com gerador na barra 23.

Resumidamente comparando os resultados obtidos pelos vários métodos de alocação de perdas, pode-se concluir que:

- Os resultados para alocação de perdas diferem de um método para outro;
- Todos os métodos são simples, de fácil entendimento e implementação;
- Todos os métodos alocam perda zero para a barra de referência e para as barras sem carga e geração;
- Todos os métodos distribuem a perda pelas barras, e a soma destas alocações são bastante próximas das perdas que de fato ocorrem nas linhas, porém o que cada barra deve pagar ou receber varia muito com alguns métodos.
- Em sistema de distribuição com geradores distribuídos, os métodos de injeção zero, potência linear e quadrado da potência fornecem resultados alocando perdas para a barra de geração, o que é incorreto;
- Em todos os testes realizados o método Zbus forneceu resultados similares aos dos métodos baseados nos coeficientes de perdas, inclusive quanto à alocação de perdas negativas.
- Nos testes realizados, o gerador distribuído no sistema reduziu significativamente as perdas no sistema, melhorando o perfil da tensão, o que era esperado.

## 5. CONCLUSÕES

Este artigo não teve como objetivo realizar a alocação ótima de geradores nas redes de distribuição, mas sim a verificação de quanto cada gerador e cada carga contribui para as perdas que acontecem nas redes. Assim foram apresentados seis métodos para alocação de perdas em sistemas de distribuição que possibilitam a inserção de geradores. Todos com o mesmo objetivo: a imparcialidade desejada na alocação de perdas. Foram

verificados vários resultados diferentes entre um método e outro. Três métodos o MLC, DLC e Zbus encontraram, conforme mostrado nas figuras 6, 7 e 8, resultados similares e apresentaram a vantagem de quantificar as perdas negativas. Isto significa que barras com valores negativos devem receber, pois contribuem para diminuir as perdas nos sistemas.

Uma constatação mereceu destaque: O método Zbus, de fácil implementação e baseado apenas na teoria de circuitos elétricos (o que torna sua compreensão bastante direta), pode ser aplicado tanto em sistema de transmissão como em distribuição; neste caso, desde que se elimine a interferência na barra de referência nos cálculos das perdas, o que é realizado em todos os métodos de alocação de perdas em sistemas de distribuição.

Este artigo apresentou como contribuições principais:

- apresentar e discutir os mais destacados métodos de alocação de perdas na distribuição.
- mostrar a importância de alocar perdas quando estão presentes geradores de distribuição.
- aplicar o método Zbus em sistemas de distribuição

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP pelo apoio parcial so desenvolvimento deste projeto (processo n° 00-12099-1).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ciric, R.M., (2000). "Engineering and business systems integration - An efficient tool for distribution system load estimation and loss observation", *DistribuTECH DA/DSM Europe*, Track 3, Session 7, Vienna. Austria.
- [2] Conejo, A.J., Galiana, F.D., Kockar, I., (2001). "Z-buss loss allocation", *Trans on Power Systems*, Vol. 16, No. 1, pp. 105-110.
- [3] IEEE Distribution System Analysis Subcommittee Report, "Radial distribution test feeders," in *2000 PES Summer Meeting*. Disponível em: <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders.html>. Acesso em junho/2002.
- [4] Lakervi, E., Holmes, E. J., (1995). "*Electricity distribution network design*", IEE Power Engineering Series 21, London, UK: Peter Peregrinus Ltd. On behalf of the IEE.
- [5] Li, S., Tomsovic, K, Hiyama, T., (2000). "Load Following Functions Using Distributed Energy Resources", *Proceedings of the IEEE /PES Summer Meeting, Seattle WA, USA*, pp. 1756-1761.
- [6] Macquen, C. N., Irving, M. R., (1996). "An algorithm for the allocation of distribution system demand and energy losses", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 11, No.1, February 1996, pp. 338-343.

- [7] Mutale, J., Strbac, G., Curcic, S., Jenkins, N., (2000). "Allocation of losses in distribution systems with embedded generation", *Generation Transmission Distribution*, IEE Proceedings, Vol. 147, Issue 1.
- [8] Shirmohammadi, D., Hong, H.W., Semlyen, A., Luo, G. X., (1988). "A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 3, No. 2, pp.753-762.