



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

**GRUPO -II**

**GPT - GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO-CONVENCIONAIS**

**ALOCAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO  
UTILIZANDO FLUXO DE POTÊNCIA ÓTIMO E ALGORITMOS GENÉTICOS**

**Angelo R. R. de Souza(\*)  
LACTEC**

**Thelma A. P. Fernandes  
UFPR**

**Alexandre R. Aoki  
LACTEC**

**Júlio C. Omori  
COPEL**

**Ana Paula Oening  
LACTEC**

**Débora C. Marcílio  
LACTEC**

**RESUMO**

Uma das alternativas encontradas, atualmente, para redução de custos na produção de bens e serviços no setor elétrico, é a aplicação de geradores, movidos a combustíveis fósseis ou não, para suprir o consumo local e, no caso de sobras, vender para o Sistema Interligado. Este tipo de tecnologia é chamada de Geração Distribuída (GD). Apesar das flexibilidades inerentes das GDs, as conexões das mesmas na rede de distribuição provocam impactos que exigem cuidados para escolha do melhor ponto de conexão. Ou seja, devem-se realizar estudos a fim de se definir qual o melhor ponto para alocação da GD na Rede de Distribuição, de modo a trazer benefícios para o sistema como um todo, tais como: diminuição de perdas, das violações no perfil de tensão e de sobrecarga nas linhas. A solução dessa questão envolve um problema de otimização que foi resolvido pela técnica dos Algoritmos Genéticos aliada a um Fluxo de Potência Ótimo. Os resultados da metodologia serão apresentados utilizando uma rede de distribuição de 70 barras.

**PALAVRAS-CHAVE**

Alocação de Geração Distribuída, Algoritmos Genéticos, Fluxo de Potência Ótimo, Rede de Distribuição.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

No mundo todo, ocorre uma grande demanda por energia para sustentar o crescimento das mais diversas áreas da economia, existindo, assim, um grande número de indústrias e empresas, consumidoras de energia, que buscam alternativas para redução de custos na produção de bens e serviços.

Uma das alternativas encontradas é a aplicação de geradores, movidos a combustíveis fósseis ou não, para suprir o consumo local e, no caso de sobras, vender para o Sistema Interligado. Este tipo de tecnologia está englobado na chamada Geração Distribuída, a qual inclui geradores baseados em biomassa, sistemas fotovoltaicos, células a combustível, micro-turbinas, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e turbinas eólicas.

Apesar dos atrativos que impulsionam grandes esforços mundiais, em estudo e implementação desses sistemas alternativos de geração de energia elétrica, ainda se vive um período de grande aprendizado quanto a este tipo de geração, assim como ao impacto da conexão dos mesmos às redes de distribuição de energia.

A literatura apresenta alguns trabalhos que focam, principalmente, o problema de se definir a tecnologia de GD e dimensioná-la para cada tipo de rede. Por exemplo, em (1) esse problema é resolvido com Algoritmos Genéticos e são enfatizados os efeitos sobre a confiabilidade, perfil de tensão, perdas nas linhas, intensidade da corrente de curto-circuito, assim como as quantidades de harmônicos injetados na rede após a inserção das GDs na rede de distribuição.

Alguns outros autores como (2) e (3) discutem metodologias para calcular o tamanho ótimo da unidade de GD com o objetivo de minimizar as perdas no sistema de distribuição primário, enfatizando-se o efeito do tamanho e do local das GDs no que diz respeito às perdas elétricas na rede. Ou seja, um mau posicionamento das GDs pode levar a aumentos das perdas elétricas.

Ainda em (3), a metodologia foi a de despachar unidades de GDs em todas as barras da rede com o objetivo de reduzir perdas e aumentar confiabilidade. As potências das GDs foram despachadas com valores diferentes de geração tanto no limite superior quanto inferior. A partir deste procedimento foram determinados os pontos de melhoria do perfil de tensão, assim como quais os nós ou barras que apresentaram melhores resultados quando da alocação das mesmas.

De modo geral, os trabalhos se concentram no dimensionamento das GDs, visto sob a ótica do sistema como um todo. No entanto, os problemas que as concessionárias de distribuição vêm enfrentando são pedidos de conexão de GDs, cujas tecnologias já foram dimensionadas pelo proprietário desta, a ser conectada. Ou seja, cabe às distribuidoras levantar questões técnicas quanto ao melhor ponto de conexão das mesmas na rede, de modo a induzir a diminuição das perdas elétricas, melhoria no perfil de tensão do alimentador, redução de sobrecarga nos cabos dos alimentadores e outros.

Vários métodos eficientes para solução do problema de Fluxo de Potência (FP), em redes de distribuição radiais, estão disponíveis na literatura especializada. Esses métodos estão divididos em duas grandes categorias: o Método da Soma das Correntes – SDC ou Soma das Potências – SDP, conhecidos como “Varredura Direta e Reversa”; e os métodos baseados na “Impedância Nodal Implícita” (4). No entanto, esses métodos apenas são adequados para sistemas radiais puros. Ou seja, só são aplicados quando o alimentador não tem nenhuma malha fechada.

A fim de contornar esse problema, em (3) foi utilizada a modelagem do Fluxo de Potência Ótimo (FPO) resolvido pelos Métodos dos Pontos Interiores versão Primal-Dual.

O trabalho está organizado como segue. Primeiramente, são apresentadas algumas considerações a respeito dos AG, seguida da técnica de solução do problema de fluxo de potência ótimo e da formulação matemática do problema de otimização relacionado à alocação de GDs. Na seqüência, são apresentados os resultados e, por fim, conclusões.

## 2.0 - ALGORITMOS GENÉTICOS (AG)

Os AG são programas evolutivos inspirados na Teoria de Seleção Natural. Eles atuam sobre uma população de indivíduos baseados no fato de que aqueles com boas características genéticas têm maiores chances de sobrevivência e de produzirem indivíduos cada vez mais aptos, enquanto outros menos aptos tendem a desaparecer. Nos AG, normalmente, cada indivíduo da população corresponde a uma solução para um dado problema.

Durante o processo evolutivo, esta população é avaliada. Para cada indivíduo é dado um índice (*fitness*), refletindo sua habilidade de adaptação a um determinado ambiente. Uma porcentagem dos mais adaptados é mantida, enquanto os outros são descartados. Os membros mantidos pela seleção podem sofrer modificações em suas características, através de recombinação e mutação, gerando descendentes para a próxima geração que, de alguma forma, mantenham as características da geração anterior, possibilitando a variabilidade dos indivíduos na população.

Nesse trabalho, o indivíduo é uma seqüência binária que contém a potência e a localização das GDs. O *fitness* é obtido pelo valor da FO a ser descrita no item IV. A população foi de 18 indivíduos e os operadores genéticos utilizados foram: seleção via roleta, mutação com taxa de 10%, cruzamento disperso com taxa de 70% e elitismo de dois indivíduos. A criação da população inicial foi aleatória e o critério de parada foi o de número máximo de gerações igual a 10.000.

## 3.0 - MODELAGEM DO FPO

Um dos problemas da aplicação de GD está em definir qual o melhor ponto para inserção desta na Rede de Distribuição. Para cada solução analisada, é necessário resolver as equações de balanço de potência ativa e reativa considerando a nova configuração, a fim de se avaliar o desempenho da rede em relação às perdas, perfil de tensão e sobrecarga nas linhas. Ou seja, é preciso se resolver um problema de FP.

Vários métodos eficientes para solução do problema de FP, em redes de distribuição radiais, estão disponíveis na literatura especializada (4). No entanto, esses métodos apenas são adequados para sistemas radiais puros. Além disso, conforme o porte da GD inserida no alimentador, pode haver necessidade de se controlar a tensão da barra na qual ela está conectada e para tanto há necessidade de se ajustar o valor de potência reativa a ser gerada. Esse controle de tensão e potência reativa não pode ser realizado com os métodos de varredura.

Já os métodos usuais de FP utilizados em sistema de transmissão, tais como os Métodos de Newton-Raphson e seus variantes: Método Desacoplado e Desacoplado Rápido, não apresentam desempenho adequado no caso de redes de distribuição radiais devido a problemas de dominância e mau condicionamento da matriz de admitância nodal. Esse fato resulta de características particulares das redes de distribuição tais como a baixa relação X/R (reatância/resistência) dos parâmetros dos alimentadores, trechos com impedâncias relativamente baixas (representação de chaves, RT e trechos pequenos de linha entre cargas muito próximas) associados a outros com valor de impedância relativamente alto (4).

Recentemente, (5) e (6) aplicaram o Método de Pontos Interiores versão Primal-Dual para resolução das equações de balanço de potência ativa e reativa de redes de distribuição. Para resolvê-las, foi formulado um problema de otimização, tal como um FPO, mas com várias simplificações, por exemplo, ausência de restrições de tensão, ausência de controle de fluxo nas linhas e outros. Os resultados apresentados para redes radiais foram satisfatórios, sendo por isso adotado para resolver a rede elétrica.

A função objetivo utilizada foi a minimização de perdas:

$$LO = \sum_{k,m \in C_{CS}} (P_{km} + P_{mk}) \quad (1)$$

onde

$C_{CS}$ : conjunto de circuitos do sistema.

As restrições de igualdade correspondem às equações de balanço de potência ativa e reativa de uma rede com  $nb$  barras:

$$\mathbf{Pg} - \mathbf{Pd} = \text{real} [\dot{\mathbf{V}} \cdot (\dot{\mathbf{Y}} \cdot \dot{\mathbf{V}})^*] \quad (2)$$

$$\mathbf{Qg} - \mathbf{Qd} = \text{imag} [\dot{\mathbf{V}} \cdot (\dot{\mathbf{Y}} \cdot \dot{\mathbf{V}})^*] \quad (3)$$

onde

$\mathbf{Pg}$ : vetor ( $nb \times 1$ ) de geração de potência ativa;

$\mathbf{Pd}$  – vetor ( $nb \times 1$ ) de demanda de potência ativa;

$\mathbf{Qg}$  – vetor ( $nb \times 1$ ) de geração de potência reativa;

$\mathbf{Qd}$  – vetor ( $nb \times 1$ ) de demanda de potência reativa;

$\dot{\mathbf{V}}$  – vetor ( $nb \times 1$ ) de tensão fasorial;

$\dot{\mathbf{Y}}$  – matriz ( $nb \times nb$ ) de admitância de barra.

E, como a ANNEL especifica as tensões de saída para cada patamar de carga, tem-se mais uma restrição de igualdade que é:

$$|\dot{\mathbf{V}}_1| = V_{saída} \quad (4)$$

onde

$|\dot{\mathbf{V}}_1|$  – magnitude de tensão na barra da SE;

$V_{saída}$  – tensão de saída do alimentador que depende do patamar de carga.

As restrições de desigualdade representam os limites das variáveis do sistema, ou seja, as restrições funcionais dos equipamentos e operacionais do sistema. Com o objetivo de evitar problemas de convergência, os limites nas magnitudes de tensão não foram considerados, pois os alimentadores estudados podem, para algum patamar de carga, estar com violações de tensão, o que torna ineficaz a solução do FPO.

Assim, a formulação completa do FPO é:

$$\min FO \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\mathbf{Pg} - \mathbf{Pd} = \text{real} [\dot{\mathbf{V}} \cdot (\dot{\mathbf{Y}} \cdot \dot{\mathbf{V}})^*] \quad (6)$$

$$\mathbf{Qg} - \mathbf{Qd} = \text{imag} [\dot{\mathbf{V}} \cdot (\dot{\mathbf{Y}} \cdot \dot{\mathbf{V}})^*] \quad (7)$$

$$|\dot{\mathbf{V}}_1| = V_{saída} \quad (8)$$

$$\mathbf{Pg}^{\min} \leq \mathbf{Pg} \leq \mathbf{Pg}^{\max} \quad (9)$$

$$\mathbf{Qg}^{\min} \leq \mathbf{Qg} \leq \mathbf{Qg}^{\max} \quad (10)$$

onde

$\mathbf{Pg}^{\min}$ ,  $\mathbf{Pg}^{\max}$ : limites mínimo e máximo de geração de potência ativa

$\mathbf{Qg}^{\min}$ ,  $\mathbf{Qg}^{\max}$ : limites mínimo e máximo de geração de potência reativa.

### 3.1 Modelagem do problema de alocação de geração distribuída

Como a premissa inicial do problema é a de que a (ou as) tecnologias de GD que se deseja instalar é conhecida, ou seja, seu custo de aquisição já foi contabilizado em estudos prévios, pretendem-se então levantar, nesse estudo, questões mais técnicas quanto à localização da mesma.

Assim, propõem-se obter as melhores alocações de GD que diminuam as perdas, as violações de tensão e as quedas de tensão maiores que 4 % a um custo de conexão à rede elétrica baixo. Cada um desses critérios a serem considerados caracteriza um problema multi-critérios que contempla a minimização das seguintes funções:

$$FO = \min f_1, f_2, f_3, f_4 \quad (11)$$

onde

$f_1$ : perdas;

$f_2$ : violação de limites de tensão;

$f_3$ : violação de queda de tensão;

$f_4$ : custo de conexão da GD.

O horizonte de estudo escolhido para solução do problema foi de 5 anos, analisando-se os patamares de carga leve e pesada. Do ponto de vista de conexão, é importante se analisar apenas os dias úteis de semana. Assim, foram considerados 10 patamares de carga.

#### 3.1.1 Perdas de potência ativa

A potência reativa que flui pelas linhas dos sistemas de distribuição causa efeitos indesejáveis como, por exemplo, o aumento das perdas de potência ativa.

Uma vez obtido os valores dessas perdas totais de potência ativa para cada condição de carga em cada ano, pode-se obter o valor da energia total consumida pelas perdas durante os 5 anos através da seguinte equação:

$$f_1 = \text{Energia} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^5 \text{Perdas}_{ij} \cdot \text{Horas}_i \cdot \text{Dias} \quad (12)$$

onde

$i$ : corresponde a condição de carga Pesada e Leve;

$j$ : corresponde ao ano considerado;

$\text{Perdas}_{ij}$ : perda de potência ativa correspondente à condição de carga  $i$  no ano  $j$ ;

$\text{Horas}_i$ : número de horas correspondente à condição de carga  $i$ ;

$\text{Dias}$ : número de dias úteis no ano.

#### 3.1.2 Violações dos limites de tensão

A Resolução N° 505, de 26 de novembro de 2001 da ANEEL, determina que o sistema elétrico deva atender aos níveis de tensão de energia elétrica em regime permanente preestabelecidos, os quais estão sujeitos a multas. Os valores de  $V_{\text{mínimo}}$  e  $V_{\text{máximo}}$ , 0,93 e 1,05 pu, respectivamente, são os limites da escala de tensão adequada e a lógica para determinação das violações estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Regras para Obtenção das Violações dos Limites de Tensão	
Se	Então
$V_{\text{mínimo}} \leq V_{\text{barra}} \leq V_{\text{máximo}}$	$\text{Violação\_tensão}_{\text{barra}} = 0$
$V_{\text{barra}} < V_{\text{mínimo}}$	$\text{Violação\_tensão}_{\text{barra}} = V_{\text{mínimo}} - V_{\text{barra}}$
$V_{\text{barra}} > V_{\text{máximo}}$	$\text{Violação\_tensão}_{\text{barra}} = V_{\text{barra}} - V_{\text{máximo}}$

A partir do somatório das violações de tensão de todas as barras para cada condição de carga, em cada ano, pode-se obter o valor de violação de tensão total do sistema, através da seguinte equação:

$$f_2 = \text{Violação}_V = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^5 \text{Violação}_{\text{tensão}_{ij}} \quad (13)$$

onde

$\text{Violação}_V$ : violação de tensão total do sistema em um ano.

$\text{Violação}_{\text{tensão}_{ij}}$ : violação de tensão de todas as barras para a carga  $i$  no ano  $j$ .

### 3.1.3 Custo das violações das quedas de tensão

Conforme recomendações contidas em (7), existe um custo adicional oriundo de quedas de tensão maiores que 4%, entre as barras da rede de distribuição e a barra inicial do alimentador, que devem ser incorporadas como um custo adicional na função objetivo.

Desta forma, para os patamares de carga Pesada e Leve, nos Dias Úteis, buscam-se as barras que apresentam uma queda de tensão maior que 4% e aplica-se para essas barras a equação mostrada a seguir, somando os valores encontrados para as dez condições de carga.

$$f_3 = \text{Custo}_{\text{Queda}_{\text{Tensão}}} = 1,144 \cdot VD \cdot \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^5 \left\{ \text{Horas}_{ij} \cdot \text{Dias}_j \cdot \sum_{b \in \Phi} \left[ (QT_{bij} - 4)^{1,45} \cdot P_{ij} \cdot CP_b \right] \right\} \quad (14)$$

onde

$VD$  – valor do dólar;

$b$  – barra com queda de tensão superior a 4%;

$\Phi$  – conjunto de barras com queda de tensão superior a 4%;

$QT_{bij}$  – tensão na barra  $b$  referente ao patamar de carga  $i$  e dia da semana  $j$ ;

$P_{ij}$  – porcentagem da carga pesada referente ao patamar de carga  $i$  e dia  $j$ ;

$CP_b$  – valor da carga pesada na barra  $b$ .

### 3.1.4 Custo de conexão

Já que o enfoque está baseado na alocação de uma determinada tecnologia já previamente escolhida e cuja região de instalação é conhecida, o problema de alocação acaba se restringindo à escolha do melhor ponto de conexão dentro da área de abrangência da GD.

Assim, deve ser contemplado o custo de instalação da GD (R\$/km para as categorias de potência, Custo). Ou seja, se forem dadas as coordenadas da fonte é possível obter as distâncias da fonte de GD para cada barra  $k$  do sistema ( $\text{distância}_k$ ), obtendo-se assim o custo de conexão da GD em reais para cada barra,  $\text{Custoconexão}$ .

Desse modo, uma quarta função objetivo passa a ser incluída no problema de otimização multi-critérios que é a minimização do custo de conexão da GD:

$$f_4 = \text{Custoconexão} = \text{Custo} \cdot \text{distancia}_k \quad (15)$$

onde

$\text{Custoconexão}$ : custo de conexão da GD (em estudo) na barra  $k$ .

Os critérios de otimização descritos são modelados conforme o chamado Método do Critério Global (8):

$$\min \frac{f_1 - f_1^0}{f_{\max_1} - f_1^0} + \frac{f_2 - f_2^0}{f_{\max_2} - f_2^0} + \frac{f_3 - f_3^0}{f_{\max_3} - f_3^0} + \frac{f_4 - f_4^0}{f_{\max_4} - f_4^0} \quad (16)$$

onde

$f_1$ : perdas;

$f_2$ : violação de limites de tensão;

$f_3$ : violação de queda de tensão;

$f_4$ : custo de conexão da GD;

$f_1^0$ : valor ideal de perdas totais;

$f_2^0$ : valor ideal de violação de limites de tensão;

$f_3^0$ : valor ideal de queda de tensão;

$f_4^0$  : valor ideal de custo de conexão da GD;

$fmax_2$  : pior caso de violação de limites de tensão. Será considerada subtensão de 3% em todas as barras da rede, ou seja,  $\{i \cdot j \cdot \sum_{k=1}^{nb} (Vmin^k \cdot 0,03)\}$ ;

$fmax_3$  : pior caso de queda de tensão. Será considerada queda de 10% em cada barra, ou seja,

$$1,144 \cdot VD \cdot i \cdot j \left\{ Horas_{ij} \cdot Dias_j \cdot \sum_{b \in \Phi} [(10 - 4)^{1,45} \cdot P_{ij} \cdot CP_b] \right\};$$

$fmax_4$  : pior caso de custo de conexão. Será considerada a conexão com a barra mais distante da GD, ou seja,  $Custo \cdot \max_k(distancia_k)$ .

Os valores ideais das respectivas funções objetivos foram considerados nulos por simplicidade.

O número máximo de GDs a serem alocados pode variar de 1 a 3.

### 3.1.5 Codificação do indivíduo

Os Algoritmos Genéticos requerem que indivíduos sejam codificados para a solução do problema. Neste estudo, os indivíduos são do tipo binário, que indicam as barras de conexão. A Figura 1 apresenta um exemplo de decodificação para um sistema de  $nb$  barras. Os bits são convertidos para decimal e apontam para uma posição no vetor das barras candidatas a receber uma GD. A quantidade de bits necessários depende do tamanho do sistema a ser simulado, ou seja, pode variar desde o total de barras do sistema, exceto a barra correspondente a subestação (SE), até um conjunto de barras que se encontram mais próximas da GD instalada, diminuindo assim o campo de busca do problema.

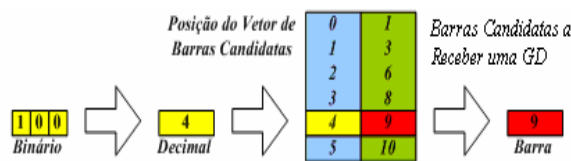


Figura 1 – Decodificação da Barra para uma GD

## 4.0 - RESULTADOS

A metodologia foi testada através de um Sistema Radial de 70 barras (9). O diagrama unifilar do circuito do alimentador está apresentado na Figura 2.

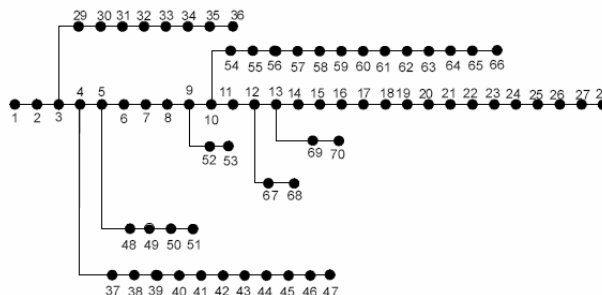


Figura 2 – Diagrama unifilar do sistema de 70 Barras.

Os valores de horas e números de dias foram obtidos de acordo com as curvas de carga do alimentador, levando-se em conta os patamares de carga Pesada e Leve para os Dias Úteis. Nesse trabalho considerou-se 4 horas para carga pesada e 6 horas para a leve. O número de dias úteis por ano foi de 249.

As tensões na saída da subestação que alimenta a rede de distribuição foram fixadas em 0,9928 pu para carga pesada e 0,9565 pu para carga leve.

A fim de se avaliar as melhorias no sistema pela inserção das GDs, o sistema de 70 barras foi simulado inicialmente sem alocação de qualquer GD. Todos os resultados desta simulação foram comparados com os demais, permitindo-se a alocação de 3 unidades de GD. Os resultados a serem apresentados são referentes à carga pesada. Nesse caso, a única fonte de geração é a subestação, que injeta uma potência de 3,9863 + 2,7828

j pu. A perda ativa total é de 0,1841 pu. A potência base utilizada foi de 1000 kW.

Foram alocadas 3 unidades de GD com potências de 0,2 pu nas barras 62, 63 e 65.

As tensões ao longo do alimentador, como apresentado na Figura 3, demonstram que comparando os valores originais e aqueles obtidos a partir da injeção de GDs no sistema, tem-se uma melhora sensível, principalmente nas barras onde a redução do módulo das tensões é maior, no final do alimentador.

A Figura 4 apresenta a resposta dos fluxos nas linhas nas duas condições estudadas (sem GD e com GD).

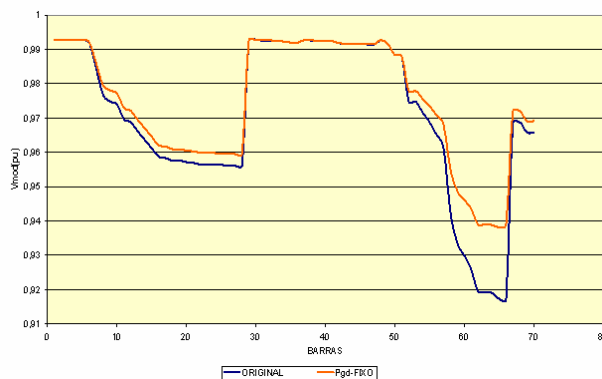


Figura 3 – Tensões nas barras do sistema 70 barras em PU, patamar pesado.

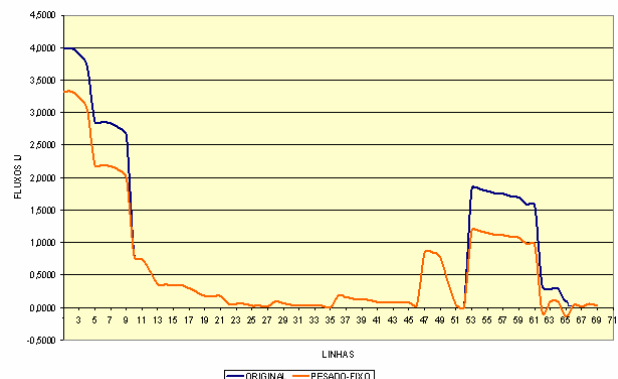


Figura 4 – Fluxos nas linhas em pu, comparando situações com e sem alocação de GD.

Comparando-se com os valores originais tem-se uma melhora sensível nos pontos onde os fluxos são maiores, ou seja, próximos à SE e no final do alimentador.

Na Figura 5, tem-se o comportamento da queda de tensão para o alimentador em estudo.

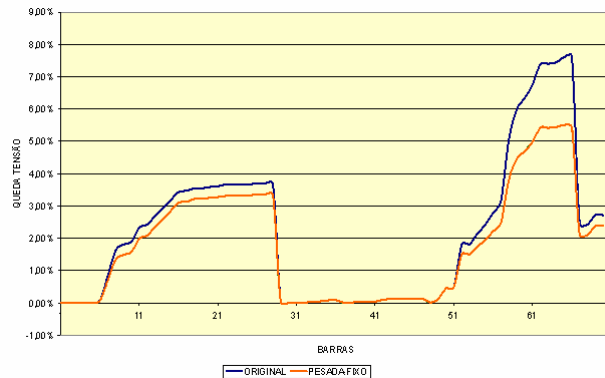


Figura 5 – Queda de tensão comparando os casos estudados para o patamar pesado.

Observando o comportamento das tensões nas barras finais do alimentador pode-se avaliar o benefício da GD nesta análise. Quedas que antes eram bastante superiores a 7%, muito acima do permitido pelo ONS (4%) passam a ficar mais próximas do limite, conduzindo a um benefício indireto, advindo da economia por conta da redução dos valores de multas aplicadas pelo sistema.

Quanto às perdas, percebem-se também resultados significativos, pois sem alocação de GD (carga pesada), elas totalizavam 0,1872 pu e passaram a ser 0,1216 pu após a alocação das três GDs de 200 kW. Como se pode ver a redução das perdas é muito relevante. Os resultados são bastante expressivos, pois qualquer redução de perdas propicia ao sistema de distribuição de energia elétrica uma economia muito grande, posto que o custo relativo às perdas é o mais relevante dentre todos os avaliados neste estudo.

## 5.0 - CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia proposta para determinação de ponto de alocação ótima para unidades de Geração Distribuída (GD) apresentou resultados muito expressivos no auxílio ao planejamento e operação de sistemas elétricos.

As simulações apresentaram resultados bastante conclusivos quanto aos benefícios para o sistema quando se considera a entrada de unidades de GD, alocadas segundo vários objetivos, tais como: perdas, perfil de tensão e carregamento de cabos.

#### 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ALINEJAD-BEROMI, Y et al, Using genetic algorithm for distributed generation allocation to reduce losses and improve voltage profile, UPEC; 2007.
- (2) ACHARYA, N., MAHAT, P., MITHULANANTHAN,N., An analytical approach for dg allocation in primary distribution network; *Electric Power&Energy Systems* 28, Elsevier, pg 669-678, Fevereiro, 2006.
- (3) KHOA, T.Q.D., BINH, P.T.T., TRAN, H.B., Optimizing location and sizing of distributed generation in distribution systems, IEEE, PSCE, 2006.
- (4) SRINIVAS, M.S., Distribution load flows: a brief review, proceedings of the 2000, IEEE PES Summer Meeting, Singapura, Janeiro, 2000
- (5) CARVALHO,M. R.; 2006. *Estudo Comparativo de Fluxo de Potência para Sisemas de Distribuição Radial*. São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Carlos.
- (6) SZUVOVIVSKI, ITAMAR, Alocação simultânea de bancos de capacitores e reguladores de tensão em sistemas de distribuição usando algoritmos genéticos e fluxo de potência ótimo, Dissertação de Mestrado. Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, 2008.
- (7) EDF - ELETRICITÉ DE FRANCE, 1979. *Le Calcul Economique et le Systeme Electriq Elementaires*. 133 pages. Paris, Eyroles.
- (8) WESTPHAL, H.; 2006. Algoritmo Genético Aplicado à Otimização Multiobjetivo em Redes de Distribuição de Petróleos e Derivados. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- (9) M. E.E. Baran and F. F. WU, "Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems"; IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 725-734, 1989.

#### 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Angelo Ricardo R. de Souza, com mestrado em Engenharia Elétrica (Sistemas de Potência) pela UFPR (2009). Atualmente trabalha no LACTEC, atuando como pesquisador na área de Fontes Alternativas de Geração de Energia e Sistemas de Potência, do departamento de Eletroeletrônica.

Thelma S. Piazza Fernandes, com doutorado em Engenharia Elétrica (Sistemas de Potência) pela UFSC (2004), trabalha na UFPR como professora e pesquisadora na área de otimização de sistemas de potência.

Alexandre Rasi Aoki é Doutor em Ciências em Engenharia Elétrica pela UNIFEI (2003), na área de Sistemas de Potência. Atualmente é Pesquisador do Departamento de Eletroeletrônica do LACTEC e Professor Adjunto do DPEE-UFPR.

Julio Shigeaki Omori é Mestre em Engenharia Elétrica e Informática Industrial pela UTFPR (2007) na área de Qualidade da Energia. Atualmente é Engenheiro do Departamento de Planejamento e Proteção dos Sistemas de Distribuição da COPEL.

Ana Paula Oening é Mestre em Ciências pela UFPR (2006) na área de Matemática Computacional. Atualmente é Pesquisadora do Departamento de Eletroeletrônica do LACTEC.

Débora Cintia Marcilio é Mestre em Ciências em Métodos Numéricos em Engenharia pela UFPR (2006) na área de Programação Matemática. Atualmente é Pesquisadora do Departamento de Eletroeletrônica do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC.