

Alocação Ótima de Geração Distribuída para a Rede de Distribuição da UFC-Campus do Pici

Fellipe Souto Soares, Douglas Aurélio Carvalho
Costa, Giovanni Cordeiro Barroso, Ruth Pastôra
Saraiva Leão, Paulo Cesar Marques de Carvalho

Universidade Federal do Ceará

fellipesout@gmail.com, douglas.aurelio84@gmail.com,
gcb@fisica.ufc.br, rleao@dee.ufc.br, carvalho@dee.ufc.br

José Roberto Bezerra

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Ceará

jbroberto@yahoo.com.br

Resumo — O presente trabalho se propõe a realizar a alocação ótima de geradores distribuídos em redes elétricas de distribuição com alimentadores radiais, com foco na rede do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará. A técnica escolhida para realização da minimização do problema de otimização foi o algoritmo genético, que realiza a busca da melhor solução para o sistema estudado através do cálculo das perdas de potência ativa. Foram realizadas a alocação de geradores e comparadas as reduções percentuais destes casos com relação à rede base (sem geração distribuída). Por fim foi realizada uma análise simplificada de tempo de retorno de investimento usando o *PayBack* descontado concluindo que o projeto é economicamente viável.

Palavras-chaves — alocação, geração distribuída, minimização, otimização, perdas, análise financeira.

I. INTRODUÇÃO

A reestruturação do setor elétrico deu origem a um mercado competitivo, aumentando as exigências com relação à qualidade, continuidade e segurança no fornecimento de energia elétrica. Dentro deste contexto, os Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE) têm uma grande responsabilidade na qualidade do serviço prestado ao consumidor [1], sendo a implantação no SDEE de geração distribuída (GD) algo recente, que ainda precisa esgotar todos os possíveis impactos positivos e negativos que a interligação da GD à rede elétrica pode causar, sendo que cada rede possui cenários de operação distintos e cada um deles deve ser analisado em particular [2].

A descentralização na geração de energia elétrica visa o aproveitamento de todo potencial energético possível, sendo a GD uma das formas de descentralização, com objetivo que a energia elétrica seja gerada próxima ao consumidor, desta forma diminuindo as perdas no SDEE. Dentre as principais vantagens da GD na rede, podemos citar a redução das perdas de potência, o aumento nos índices de confiabilidade, maior estabilidade e a melhora no perfil de tensão, porém alguns problemas podem ser citados, tais como o aumento do nível das correntes de curto-circuito, maior flutuação da tensão e a perda da seletividade do sistema de proteção [3].

O Brasil tende a seguir uma tendência mundial de diversificação de suas fontes de energia e descentralização, sendo lançado em Dezembro de 2015 pelo MME (Ministério de Minas e Energia) o ProGD (Programa de Desenvolvimento da GD). O ProGD prevê projeto específico de instalação de sistemas de GD em Universidades Federais [4], além de incentivar a GD com base em energias renováveis e cogeração (MME Portaria nº 538, 2015).

A rede de distribuição de energia elétrica do Campus do Pici, por ser antiga, é desatualizada, portanto esta rede passará por reformas, tendo este trabalho o objetivo de trazer contribuições para melhorias de desempenho do sistema.

As pesquisas para alocação ótima de unidades geradoras têm atraído recentemente diversos pesquisadores para a área. Isto contribui positivamente para o desenvolvimento de novos métodos de busca, ou seja, além dos métodos clássicos que já foram consolidados como, por exemplo, o algoritmo genético (AG) usado em [5], o método de busca baseado em posição de partículas usado em [6], muitos pesquisadores inovam mesclando dois ou mais métodos procurando obter uma boa resposta do software para a busca e tomada de decisão como foi feito, por exemplo, em [7] ao mesclar o AG com o gradiente em árvore, e em [8] ao combinar o método de posição de partículas com o algoritmo de clone.

Em [2] foi feita a alocação ótima de 1 MWp de geração fotovoltaica para um sistema de 11 barras, sendo constatado que não ocorreu grandes impactos na rede elétrica, mas houve melhora no perfil da rede e redução das perdas elétricas totais. Em [9] foi utilizada uma técnica baseada na ecolocalização dos morcegos para a alocação e dimensionamento ótimo das GD's em sistemas radiais de distribuição com 33 e 69 barras, obtendo-se resultados que mostram que esta técnica é competitiva com as técnicas encontradas recentemente na literatura. Foi feita em [10], a fim de diminuir as perdas dos sistemas e melhorar os níveis de tensões, a alocação de uma GD e de duas GD's em sistemas de 10, 34, 70 e 126 barras, baseando-se no algoritmo genético de Chu-Beasley, mostrando eficiência nos resultados desde sistemas simples até aos sistemas mais complexos.

Segundo [11] problemas de otimização são encontrados diariamente em diversos campos, como na engenharia, administração, economia e em pequenas decisões do dia-a-

dia. Basicamente estes problemas são compostos por uma função objetivo, na qual estão relacionadas as diferentes variáveis consideradas, e as restrições associadas a elas. Desta forma, otimizar estes problemas significa buscar os valores para as variáveis que resultem na maximização ou minimização do valor da função objetivo de acordo com a finalidade do problema, tal que nenhuma outra solução imponha um valor, respectivamente, maior ou menor à função.

II. FLUXO DE POTÊNCIA

A ferramenta escolhida para o cálculo do fluxo de carga e, conseqüentemente, o cálculo das perdas de potência, foi o Método da Soma de Potências (MSP) proposto em [12] para resolução de fluxo de carga em redes de distribuição com alimentadores radiais. O MSP é integrante do seletor grupo de métodos iterativos computacionais para cálculos de fluxo de potência com varredura direta e inversa.

Este método é eficiente em termos de velocidade e esforço computacional por não trabalhar com matrizes de impedância ou admitância. Dentre as principais características pode-se destacar que o módulo da tensão nas barras é a variável de maior interesse, além de poder ser aplicado para sistemas monofásicos e trifásicos.

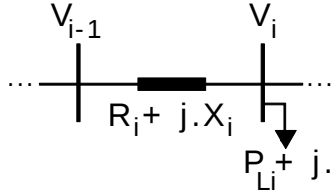


Fig. 1. Trecho genérico de um sistema de distribuição.

De acordo com [13] a GD pode ser modelada para cálculo de fluxo de carga de três formas diferentes: suprimindo valores fixos de potência ativa e reativa; fornecendo potência com um fator de potência específico; ou fornecendo uma potência com uma tensão terminal específica. Nos dois primeiros casos a GD pode ser modelada como uma barra PQ. No terceiro caso a GD é modelada como uma barra do tipo PV. Neste trabalho a GD é modelada como uma barra do tipo PQ fornecendo potências constantes.

O pseudocódigo usado para cada iteração se inicia com a varredura inversa, ou seja, partindo das barras terminais para a subestação, realizando a soma das potências. As potências da barra i (P_i e Q_i) são dadas pela soma da potência própria da barra i (P_{Li} e Q_{Li}) com o somatório de potência das barras a jusante originadas da i e as perdas dos trechos que derivam desta barra (ΔP_k e ΔQ_k) através de (1) e (2). Portanto, para as barras terminais, a soma das potências é igual à potência própria da barra ($P_i = P_{Li}$). Para a primeira iteração consideram-se as perdas nulas com isso $\Delta P_k = 0$ e $\Delta Q_k = 0$.

$$P_i = P_{Li} + \sum_{k \in \Omega_i} (P_k + \Delta P_k) \quad (1)$$

$$Q_i = Q_{Li} + \sum_{k \in \Omega_i} (Q_k + \Delta Q_k) \quad (2)$$

Em seguida é obtida a tensão V_i de cada barra do sistema (3) a partir da tensão V_{i-1} da barra imediatamente a montante da barra i (Fig. 2) por meio da varredura direta partindo da barra da subestação para as barras terminais.

$$V_i = \sqrt{\sqrt{A^2 - B} - A} \quad (3)$$

Em que:

$$A = (R_i \cdot P_i + X_i \cdot Q_i) - \frac{1}{2} V_{i-1}^2 \quad (4)$$

$$B = (R_i^2 + X_i^2) \cdot (P_i^2 + Q_i^2) \quad (5)$$

Sabendo as tensões de todas as barras do sistema e as potências equivalentes em cada barra, agora é possível atualizar o valor das perdas ativas e reativas em cada trecho.

$$\Delta P_i = R_i \cdot \left(\frac{R_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right) \quad (6)$$

$$\Delta Q_i = X_i \cdot \left(\frac{R_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \right) \quad (7)$$

O pseudocódigo descrito é realizado até que o critério de parada seja atingido, este pode ser especificado como uma tolerância estabelecida ou um número máximo de iterações.

III. ALGORITMOS GENÉTICOS

Os AG's fazem parte de uma família de métodos computacionais da área da computação evolutiva que é baseado na teoria da evolução das espécies. O AG parte de uma população inicial, ou seja, de um número pré-definido de soluções iniciais aleatórias, em que cada solução dessa população inicial é denominada de indivíduo. Cada indivíduo é representado por uma *string* ou código genético, formado por uma sequência de bits (gene) de comprimento fixo que guardam relação explícita com a formulação do problema [11]. Portanto, para o nosso problema, o número de barras do sistema (k) é representado pelo comprimento do código genético e a quantidade de geradores instalados em cada barra (n) pode ser representada por um gene desse código genético.

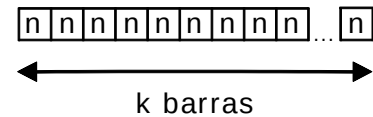


Fig. 2. Cromossomo de um indivíduo.

A função avaliação de um indivíduo conhecida como *fitness*, é a maneira usada pelo AG para definir a qualidade deste indivíduo. Os indivíduos que possuem melhores valores para a função objetivo tem a maior possibilidade de sobrevivência no ambiente.

A otimização da função objetivo é realizada através da evolução da população e da sua função de avaliação a cada geração. Desta maneira é necessário realizar a cada geração as operações básicas de reprodução, cruzamento e mutação.

O processo de reprodução tem o objetivo de copiar indivíduos de uma geração para a outra, de forma que aqueles indivíduos mais aptos, ou seja, que possuam maior função de avaliação tendem a estarem presentes em gerações futuras.

O operador de cruzamento atua sobre pares de indivíduos escolhidos aleatoriamente entre os indivíduos mais aptos. Em seguida é realizada uma recombinação dos códigos genéticos desses indivíduos. Esta recombinação leva aqueles mais fortes a sobreviver, e assim gerar descendentes ainda mais aptos.

A mutação (alteração em um gene) é utilizada para explorar todo o espaço de soluções e evitar que o algoritmo convirja para uma configuração não ideal. Ela sempre opera sobre um cromossomo de um único indivíduo com uma baixa taxa de ocorrência.

IV. METODOLOGIA UTILIZADA

Com base no que foi apresentado pode-se notar que a utilização de GD nas universidades não pode ser desprezada, logo neste trabalho faz-se um estudo sobre alocação ótima de GD no SDEE da Universidade Federal do Ceará (UFC) através de um algoritmo genético que tem como referência a diminuição das perdas de potência do sistema, a fim de se obter uma melhoria da rede elétrica e verificar possível cenário de operação e as diminuições nas quedas de tensões em cada barra de acordo com a tensão de referência.

O problema de alocação ótima de GD pode ser formulado como um problema de otimização não linear, cuja função objetivo (FO) é a minimização das perdas totais de potência ativa do sistema. A partir do fluxo de potência pode-se expressar a FO como:

$$\text{Minimizar } \Delta P_{TOTAL} = \sum_{i=1}^{Trechos} \Delta P_i \quad (8)$$

O fluxograma apresentado na Fig. 3 apresenta as etapas da metodologia utilizada para a obtenção da solução do problema de alocação da GD.

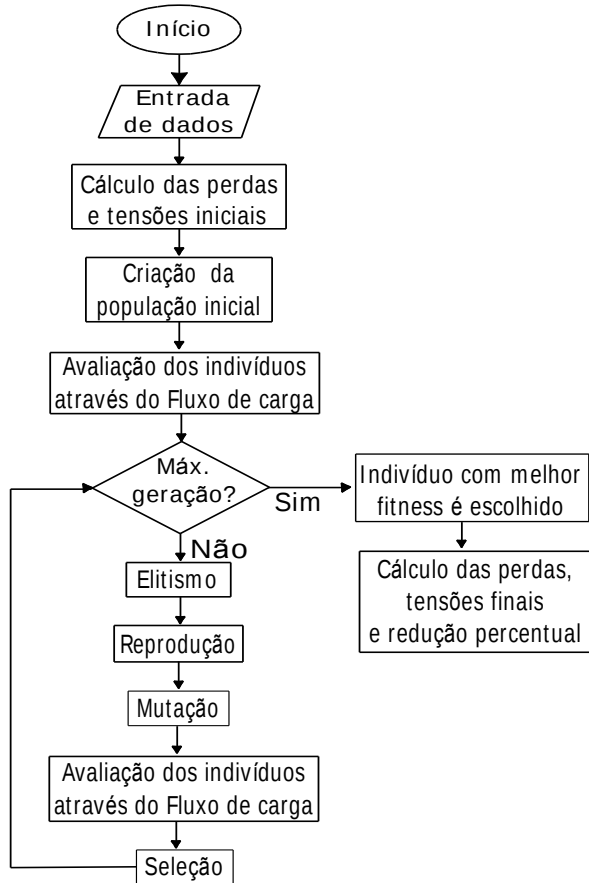


Fig. 3. Fluxograma da metodologia utilizada.

A. Validação do modelo

Com o objetivo de realizar a verificação da metodologia escolhida foi realizada uma simulação para a rede elétrica do IEEE 33 barras apresentada na Fig. 4, e assim comparados os valores obtidos para as perdas de potência do sistema sem GD e com a alocação de uma unidade geradora. Os dados da rede podem ser encontrados em [14].

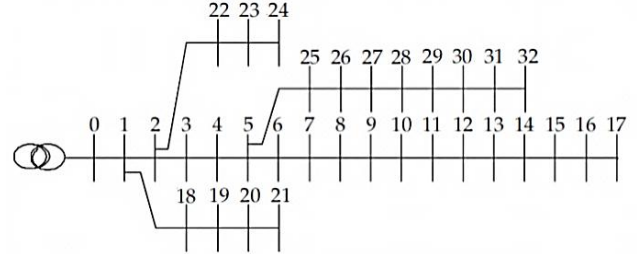


Fig. 4. Rede de distribuição IEEE 33 barras.

TABELA I. COMPARAÇÃO DAS PERDAS OBTIDAS NA SIMULAÇÃO COM AS PERDAS OBTIDAS POR COELHO (2013).

	Perdas Totais (KW)		Barra da GD	Potência da GD (KW)	Redução Percentual
	Sem GD	Com GD			
COELHO (2013)	210,84	111,03	5	2590	47,34 %
Metodologia Escolhida	211	111,03	5	2590	47,37 %

Comparando na Tabela I os resultados obtidos na simulação com os resultados obtidos em [9], onde o fluxo de potência, o cálculo das perdas de potência ativa, e o dimensionamento da potência da GD foram realizados através do Fluxo de Potência Ótimo (FPO), fazendo uso da potência do gerador obtida pôde-se validar a eficiência do algoritmo implementado e assim partir para a simulação da rede de distribuição da UFC.

B. Rede Utilizada

A rede elétrica de distribuição selecionada para o estudo foi a rede do campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC), que apresenta topologia radial com um comprimento superior a 6 km. Esta rede é suprida pela ENEL (antiga COELCE) em média tensão, tendo uma tensão nominal de 13,8 kV, potência instalada de aproximadamente 16,775 MVA e uma demanda de energia elétrica em torno de 4,64 MW quando operando em seu valor de pico, sendo este valor a demanda aproximada no horário de funcionamento da Universidade em dias letivos [15]. Esta rede está representada na Fig. 5, tendo uma topologia com 68 barras e que foi estudada para a situação normal de operação.

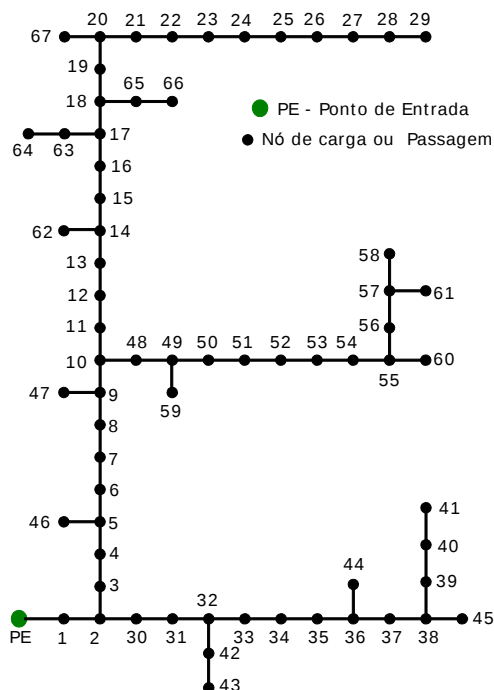


Fig. 5. Representação da rede do Campus do Pici.

Cada barra é representada por suas potências ativas e reativas, e no sistema também existem nós de passagem. As barras 2, 9, 10, 17, 20, 24, 32, 38 e 55 são pontos de passagem do sistema onde não existem cargas instaladas nestes locais, logo não há consumo de energia nesses pontos.

V. RESULTADOS OBTIDOS

Foram realizadas simulações utilizando o *toolbox* de otimização disponibilizado no MATLAB em conjunto com o algoritmo de fluxo de carga implementado já citado, para os casos de alocação de uma e duas unidades geradoras com capacidades de 500 kW de potência, e uma unidade geradora com capacidade de 1MW.

A Tabela II mostra os valores comparativos.

TABELA II. PERDAS DO SDEE DO CAMPUS.

Perdas Totais sem GD		24,927 kW
1 GD (500 kW)	Perdas Totais	19,112 kW
	Barra da GD	27
	Redução Percentual	23,32 %
2 GD (500 kW/ Und)	Perdas Totais	15,18 kW
	Barra da GD	27 e 56
	Redução Percentual	39,11 %
1 GD (1 MW)	Perdas Totais	15,763 kW
	Barra da GD	21
	Redução Percentual	36,76

A partir dos resultados expostos na Tabela II é possível verificar que com o aumento da potência da geração distribuída instalada ocorre uma redução nas perdas do sistema de distribuição. Além disso, pode-se analisar que quanto maior for a descentralização dessa geração melhor é o resultado obtido, duas unidades com capacidade individual de 500 kW obteve uma maior redução das perdas quando comparado a uma unidade com capacidade de 1 MW. Os pontos de alocação das unidades geradoras para os casos simulados apresentados na Tabela II podem ser visualizados na Fig. 6.

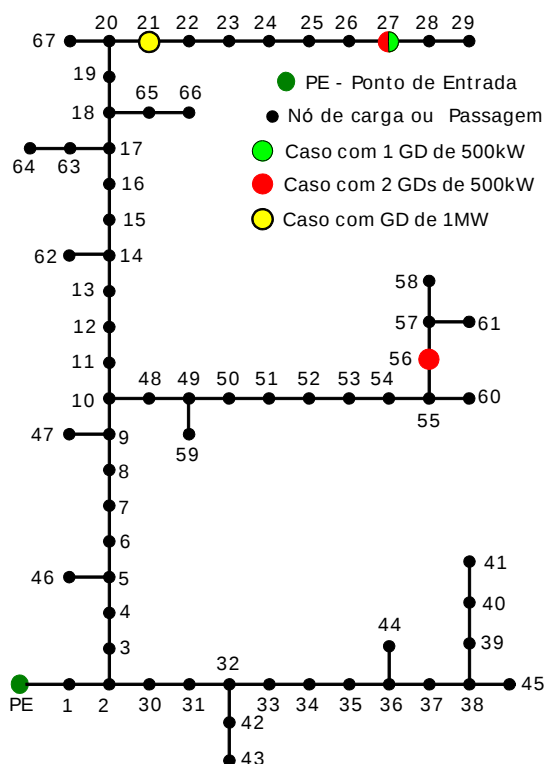


Fig. 6. Localização dos geradores.

Foi verificado conjuntamente que com a diminuição das perdas houve a melhora no perfil de tensão das barras (Fig. 7), verifica-se que a menor tensão é encontrada na barra 29 (barra mais distante do ponto de entrega), além de uma redução no consumo de energia elétrica do campus.

VI. ANÁLISE FINANCEIRA

Fazendo-se uma análise financeira e de tempo de retorno do investimento para o caso de melhor desempenho nas simulações, ou seja, duas unidades de geração diesel com capacidades de 550 kVA e fator de potência de 0,89, sendo este um bom pré-requisito quantitativo e qualitativo para viabilização do presente estudo.

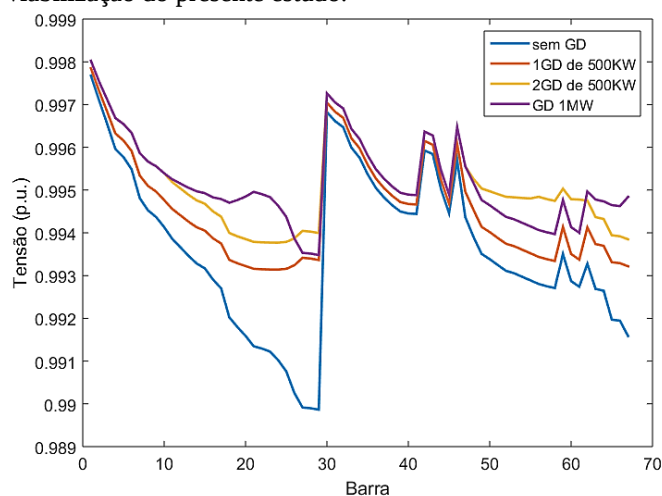


Fig. 7. Tensões nas barras do sistema Campus do Pici.

A modalidade tarifária para o Campus do Pici é Horosazonal Verde, modalidade esta que considera valores diferentes para a tarifa de consumo de energia elétrica para os

diferentes horários do dia (horário de ponta e horário fora de ponta). A média do consumo de energia nos meses de Agosto, Setembro e Outubro de 2016 representada na Tabela III, juntamente com os valores da modalidade tarifária para seu determinado período de cobrança.

TABELA III. VALORES DO CONSUMO MÉDIO DO CAMPUS.

Horários	Horário de Ponta 17:30 h às 20:30 h	Horário Fora de Ponta 00:00 h às 17:30 h e 20:30 h às 00:00 h
Consumo médio (kWh)	105404	1152869
Valor da tarifa (R\$/kWh)	1,69901	0,41659
Valor total (R\$)	179082,45	480273,70

Fonte: UFC INFRA [16].

Com a instalação de duas unidades geradoras de 550 kVA serão reduzidas as perdas no sistema do Campus em 9,747 kW (39,11%) e considerando-se o funcionamento das GD's entre 8:00 hs às 12:00 hs e 14:00 hs às 20:30 hs (horário aproximado que são realizadas atividades no campus da universidade) durante 22 dias no mês, logo se tem que a energia mensal total produzida pelas GD's é de 163,143 MWh no horário fora de ponta e 65,257 MWh no horário de ponta, calculada segundo (9):

$$Et = (Pg + Pp)t \quad (9)$$

Em que Et é a energia total que o sistema irá receber devido ao sistema das GD's, Pg é a potência instalada da GD, Pp é a potência poupada nas linhas de distribuição do Campus, t é o tempo em que o sistema é utilizado.

TABELA IV. VALORES ECONOMIZADOS MENSALMENTE DEVIDO A INSTALAÇÃO DOS GERADORES.

Horários	Horário de Ponta 17:30 h às 20:30 h	Horário Fora de Ponta 00:00 h às 17:30 h e 20:30 h às 00:00 h
Geração (kWh)	65.257,30	163.143,25
Valor da tarifa (R\$/kWh)	1,69901	0,41659
Valor total (R\$)	178.836,66	

Com a instalação a média mensal em reais do que seria poupado com o uso dos geradores diesel, tendo os valores dados na Tabela III como referência para a tarifa horazonal verde, é de R\$ 178.836,66, conforme pode ser visto na Tabela IV.

Considerando-se o valor do diesel de 2,75 R\$/L [17] e que cada gerador diesel consome 105,4 L/h, se tem que a despesa mensal com combustível por mês seria de R\$ 133.910,70, sendo o investimento inicial com cada gerador a diesel em torno de R\$ 150.000,00.

Considerando os valores já citados para investimento inicial e receita mensal, e adicionando uma previsão de custo de instalação dos geradores diesel, construção civil, alvenaria, mão de obra, tanque de óleo em aço carbono em torno de 5.000 L, bomba de óleo diesel, transformador a óleo, painéis de proteção em baixa e média tensão e todos os materiais necessários seria em torno de R\$ 421.607,48 [18]. Dessa forma o investimento inicial é estimado em R\$ 721.607,48 e a taxa de juros foi considerada 13% a.a., baseada no histórico recente da taxa de juros Selic [19]. Para

o cálculo do tempo de retorno de investimento foi utilizado a ferramenta de análise nomeada *Payback* descontado. Ferramenta que calcula o tempo entre o investimento inicial e o momento em que o lucro líquido acumulado se iguala ao valor deste investimento (10), passando a se obter lucro no projeto.

$$T_{PB} = -I + \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (10)$$

Em que I é o investimento inicial; FC é o fluxo de caixa anual, e K é o custo do capital (taxa de juros).

TABELA V. FLUXO DE CAIXA DO PAYBACK DESCONTADO.

Período	Fluxo de caixa	Fluxo atualizado	Fluxo de caixa final
0	- 721607,48		
1	539111,52	477089,84	- 244517,16
2	539111,52	422203,40	177686,24

Conforme pode ser visto na Tabela V, o lucro líquido se iguala ao investimento inicial entre o período anual 1 e 2 onde o fluxo de caixa final passa de um valor negativo para positivo. Realizando uma simples interpolação obtém-se 1 ano e 7 meses para o tempo de retorno do investimento.

É importante observar que valores de manutenções preventivas e corretivas não foram colocados no cálculo do tempo de retorno do investimento pelo simples fato deste retorno ser menor que dois anos, portanto não justificando neste período gastos expressivos em manutenções em equipamentos novos e que ainda estão no prazo de garantia.

VII. CONCLUSÕES

As perdas de potência é um problema inerente aos sistemas elétricos devido as suas características físicas. Diante do cenário atual de escassez dos recursos hídricos, matéria prima da principal fonte de geração de energia elétrica da matriz energética nacional, e com todas as exigências impostas às concessionárias pelas agências regulamentadoras, a descentralização da geração de energia elétrica é a tendência para reduzir o valor dessas perdas de potência e melhorar os níveis de tensão do sistema.

Neste trabalho foi possível realizar a alocação ótima de unidades geradoras distribuídas, nos sistemas de distribuição com topologias radiais, fazendo uso do Algoritmo Genético, método computacional para problemas de otimização não linear.

A validação do modelo, baseado através de um AG, ocorreu com um sistema de 33 barras do IEEE e feita a comparação das simulações com [9], que foi baseado em FPO, em que a diferença percentual das perdas entre as duas simulações foi apenas de 0,03 %, mostrando a confiabilidade do modelo proposto.

Foi feito um estudo para comparar os valores de redução das perdas entre as possibilidades estudadas e verificou-se que a redução percentual das perdas aumenta com a potência instalada da GD, sendo verificado que a redução das perdas para uma GD de 500 kW, duas GD's de 500 kW e uma GD de 1 MW, foram de 23,32 %, 39,11 %, 36,76 %, respectivamente. Também foi possível verificar que quanto maior for a descentralização da geração melhor é o valor da

redução das perdas, por isto as perdas com duas GD's de 500 kW são menores que as perdas com uma GD de 1 MW, apesar de terem a mesma potência instalada.

Posteriormente foi verificado que a alocação da geração distribuída resulta também na melhora do perfil de tensão das barras do sistema de distribuição.

Por fim foi realizada uma análise financeira do projeto proposto com duas unidades geradoras diesel de 550 kW, que possuem fator de potência 0,89, mostrando-se que mensalmente seria possível poupar na conta de energia R\$ 178.836,66, de acordo com a tarifa horo-sazonal verde. Os gastos mensais com diesel seriam de R\$ 133.910,70, além do investimento inicial necessário ser em torno de R\$ 721.607,48, que seriam para aquisição dos geradores, equipamentos e mão de obra necessária a sua instalação. O tempo de retorno do investimento, foi de aproximadamente 1 ano e 7 meses, tornando o projeto economicamente viável.

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] J.U.N. Nunes, A.S. Bretas, "Alocação Ótima de Reguladores de Tensão em Sistemas de Distribuição Baseada na Busca Tabu." SBSE, Natal, 2016.
 - [2] F.B. Prioste, C.B.S. Bastos, "Alocação Ótima de geração fotovoltaica e seus impactos na rede elétrica através de análise de QSTS." CBA, Belo Horizonte, 2014.
 - [3] E.N. Alves, C.A.S.C. Branco, "Um algoritmo genético para a alocação ótima de unidades de geração distribuída em redes de distribuição." CBA, Campina Grande, 2012.
 - [4] Brasil. Ministério de Minas e Energia (MME). "Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar." 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030>. Acesso em: 01 dez. 2016.
 - [5] D. B. Fogel. "An introduction to simulated evolutionary optimization." *IEEE Transactions on Neural Networks*, v. 5, n. 1, p.3-14, jan. 1994..
 - [6] B. Sookananta, W. Kuanprab, S. Hanak, "Determination of the Optimal Location and Sizing of Distributed Generation using Particle Swarm Optimization," *International conference on Electrical Engineering/ Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, pp.818-822, 19-21 May 2010.
 - [7] R.A.N. Gomes, M.C. Pimentel Filho, M.F. Medeiros Junior. "Determinação ótima de pontos de conexão de geradores em redes de distribuição através de um algoritmo genético com suporte de gradiente em árvore." SBSE, Natal, 2016.
 - [8] M. Sedighizadeh, M. Fallahnejad, M.R. Alemi, M. Omidvaran, D.Arzaghi-haris, "Optimal Placement of Distributed Generation Using Combination of PSO and Clonal Algorithm," *IEEE Int. Conf. Power Energy* , 2010, pp. 1-6.
 - [9] F.C.R. Coelho, I.C. Silva Junior, B.H. Dias, A.L.M. Marcato, L.W. Oliveira, L. Jatobá, "Alocação e dimensionamento ótimos de geração distribuída via metaheurística inspirada na ecolocalização de morcegos." SBPO, Natal, 2013.
 - [10] I.F. Prado, "Alocação De Geração Distribuída Utilizando O Algoritmo Genético De Chu-Beasley E Índices De Sensibilidade." Dissertação de Mestrado em engenharia elétrica, Universidade Federal do ABC, 2013.
 - [11] E. P. Bento, N. Kagan. "Algoritmos genéticos e variantes na solução de problemas de configuração de redes de distribuição." *Sba Controle & Automação*, Natal , v. 19, n. 3, p. 302-315, Set. 2008.
 - [12] R. Cespedes, "New method for the analysis of distribution networks," *IEEE Trans. on power delivery*. Vol.05, No 1, January, 1990.
 - [13] C.S. Cheng, D.A. Shlrmohammadi, "Tree-Phase Power Flow Method for real-time distribution system analysis." *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, No. 2, May 1995.
 - [14] M. A. Kashem, V. Ganapathy, G. B. Jasmon, , M. I. Buhari, "A Novel Method for Loss Minimization in Distribution Networks," *IEEE International Power Technologies*, Conference on Electric Utility deregulation, London, April 2000.
 - [15] F.S. Oliveira Neto, "Representação de nó profundidade aplicado aos estudos elétricos para recomposição de rede de distribuição do Campus do Pici da universidade Federal do Ceará." Trabalho de Conclusão de Curso, Fortaleza, 2015.
 - [16] UFC INFRA. Superintendência de Infraestrutura - UFC, "Acompanhamento mensal de consumo de energia" Disponível em: <<http://www.ufcinfra.ufc.br/atividades-em-andamento/8-atividades-em-andamento/89-cronograma-mensal-de-consumo-de-energia>>. Fortaleza, Ceará, Acesso em: 15 jan. 2017.
 - [17] ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, "Sistema de Levantamento de Preços: Resumo Semanal" Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Rio de Janeiro: ANP, Acesso em: 30 jan. 2017.
 - [18] F.M. Gonçalves Filho, L.M. Garbelini, L.G. Izycki. "Estudo de caso para implantação de grupo motor gerador na Universidade Tecnológica Federal do Paraná." Trabalho de conclusão de curso, UTFPR, Curitiba, 2014.
 - [19] BCB. Banco Central do Brasil, "Histórico das taxas de juros, Período de vigência 12/01/2017 - 22/02/2017" Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- Felipe Souto Soares** possui graduação em Engenharia Elétrica pela UFCG (2016). Atualmente, é aluno de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFC. Suas pesquisas se concentram na área de métodos computacionais aplicados a sistemas de potência.
- Douglas Aurélio Carvalho Costa** possui graduação em Engenharia Elétrica pela UFC (2011). Atualmente, é aluno de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFC. Suas pesquisas se concentram na área energias renováveis em sistemas de potência.
- Giovanni Cordeiro Barroso** possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (1982), mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1986) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1996). É professor Titular da UFC. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica e ensino à distância, com ênfase em Controle Supervisório, redes de Petri coloridas, smart grids, algoritmos evolucionários, análise e modelagem de sistemas produtivos e avaliação na educação à distância.
- José Roberto Bezerra** possui graduação (2002), mestrado (2004) e doutorado (2015) em Engenharia Elétrica pela UFC. Atualmente é professor associado do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Suas áreas de interesse são sistemas de potência, redes de petri, Redes Inteligentes (Smart Grids) e Restauração Automática de redes de distribuição de energia..
- Ruth Pastôra Saraiva Leão** possui graduação em Engenharia Elétrica em Sistemas de Potência pela UFC, doutorado em Engenharia Elétrica por Loughborough University of Technology, Inglaterra, e pós-doutorado por Kassel Universität e Institut für Solare Energieversorgunstechnik e.V. - ISET, Kassel, Alemanha. É professora Titular no Departamento de Engenharia Elétrica da UFC. Suas áreas de interesse são qualidade de energia elétrica, geração distribuída e renovável, automação de redes de distribuição, microrredes e redes elétricas inteligentes.
- Paulo César Marques de Carvalho** possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará (1989), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1992) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Paderborn, Alemanha (1997). Atualmente é professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. Tem atividades de ensino, pesquisa e extensão nos seguintes temas: geração fotovoltaica, geração eólica e biodigestores.