



ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE SUPRIMENTO ENERGÉTICO EM SISTEMAS INDUSTRIAIS UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO

Nélio Alves do Amaral Filho

Karina Lino Miranda de Oliveira

Débora Rosana Ribeiro Penido Araujo

Leandro Ramos de Araujo

nelio.amaral@engenharia.ufjf.br

karina.oliveira@engenharia.ufjf.br

debora.rosana@ufjf.edu.br

leandro.araujo@ufjf.edu.br

Universidade Federal de Juiz de Fora

Rua José Lourenço Kelmer, s/n - Campus Universitário - Bairro São Pedro, 36036-330, Minas Gerais, Brasil

Abstract. *This paper proposes an optimization method based on the use of Genetic Algorithm (GA), aiming to achieve the optimal allocation of generators in industrial plants. The cost of energy purchased through the utility and internal generation, added with the costs involved with the lost energy in the industrial system are the minimization subjects. Thus, this algorithm is a interesting tool that helps professionals in the decision related to the amount of energy that will be purchased externally or internally generated. Simulations on hypothetical industrial plants were performed and the results show a good applicability of this method.*

Keywords: *Optimization; Genetic Algorithm; Optimal Allocation of Generators; Industrial Plants.*

1 INTRODUÇÃO

O presente cenário de crise energética e a consequente elevação do preço da energia elétrica no Brasil têm motivado o setor industrial a realizar estudos sobre a melhor forma de contratação de energia para suprir a demanda interna.

O modelo do setor elétrico brasileiro possibilita às indústrias diferentes formas de contratação da energia elétrica como, por exemplo: através das concessionárias locais, de alguma geradora local ou regional, de outras fontes distantes da sede de sua unidade industrial ou através de comercializadores de energia (Filho, 2007). Além do mais, os consumidores atendidos a tensões acima ou igual à 69 kV possuem tarifas horo-sazonais diferenciadas, de acordo com o consumo de energia e a demanda de potência. No entanto, a geração interna, através de grupos geradores próprios surge como uma opção importante. Desta forma, o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem profissionais na decisão entre comprar energia da concessionária ou gerar internamente se torna um importante fator, podendo proporcionar grande economia à indústria.

Tendo em vista todos esses fatores, o presente trabalho propõe uma metodologia de otimização para a alocação ótima de geradores em uma planta industrial. O Algoritmo Genético é a técnica de busca utilizada neste trabalho. Busca-se com esse modelo computacional minimizar os custos de geração e de energia perdida. Tarifas distintas para os horários de ponta e fora de ponta foram utilizados neste trabalho.

2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O algoritmo proposto objetiva otimizar a alocação dos geradores na planta industrial. Para tal, busca-se a minimização da função multiobjetivo dada pela equação (1). O custo total é composto por três parcelas: dos custos da energia comprada da concessionária, dos custos da produção interna de energia e dos custos da energia perdida que ocorre na planta industrial.

$$Custo = F_{custo_{Concessionária}} + F_{custo_{Geradores\ Internos}} + F_{custo_{Energia\ Perdida}} \quad (1)$$

As funções de custo da concessionária e dos geradores internos são dadas pela equação (2):

$$F(P) = a^2 \cdot P \cdot Tempo + b \cdot P \cdot Tempo + c \quad (2)$$

Onde:

$P \rightarrow$ Potência demandada da concessionária ou produzida pelos geradores próprios (MW)

$Tempo \rightarrow$ Duração de um determinado patamar de carga (horas)

a, b e $c \rightarrow$ Parâmetros de custo

A função de custo da energia perdida foi calculada a partir das perdas elétricas de energia no sistema, considerando um custo igual ao da geração da concessionária. Assim, são dadas pela resolução do fluxo de potência multiplicadas pela duração de um determinado patamar de carga, em horas, e pelo custo de geração da concessionária em R\$/MWh.

3 MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO

O método de otimização utilizado neste trabalho é o Algoritmo Genético (AG). Ele foi adotado em virtude da sua comprovada eficácia para resolução de problemas não-lineares, com grande espaço de solução, que apresentam múltiplas variáveis e restrições (Pacheco, 1999), características essas observadas no problema tratado neste artigo.

Um exemplo da codificação adotada pode ser observado na Figura 1. Cada cromossomo é representado por um vetor de tamanho igual a duas vezes o número máximo de barras em que é permitida a alocação de geradores simultaneamente. Como no caso base estudado, só podem ser alocadas unidades geradoras, no sistema industrial, em apenas 10 barras ao mesmo tempo, o cromossomo possui 20 genes. Os genes ímpares correspondem à numeração da barra onde será alocada alguma geração e os pares subsequentes representam a potência alocada em MW.

CROMOSSOMO =

29	3	10	0	21	3	2	2,1429	20	2,1429	23	2,1429	11	0,8571	4	1,2857	25	0,8571	15	2,5714
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Figura 1 - Exemplo de um cromossomo.

A população inicial dos cromossomos é gerada aleatoriamente. Cada cromossomo é avaliado através da função aptidão/avaliação da equação (3):

$$F_{\text{aptidão}} = \frac{1}{\text{Custo} + \text{Pen}} \quad (3)$$

Como existe a possibilidade da existência de cromossomos que representem soluções que não traduzem informações válidas, foi necessário o incremento de uma nova parcela na função de aptidão, cujo custo corresponde a 1% do custo total. Um exemplo é a não permissão da alocação de geradores no Centro de Distribuição de Cargas (CDC) principal, que recebe a alimentação da concessionária.

Tendo em vista a avaliação de cada cromossomo, procede-se para a seleção dos indivíduos que participarão do processo de *crossover*. Para tal, foi utilizado o método da roleta. O *crossover* é o processo a partir do qual ocorre a troca de material genético e a formação de uma nova população de indivíduos. O método utilizado neste processo foi o *crossover* de 2 pontos. O segundo operador genético utilizado no algoritmo é o da mutação, responsável por produzir uma perturbação que pode levar o processo evolutivo a um melhor domínio da busca (Alves; Branco, 2012).

4 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Um sistema industrial fictício constituído por 30 barras candidatas à alocação de geradores foi utilizado para testes. Além do mais, esse sistema possui uma carga de 120 MVA (fator de potência igual a 0,86) e é atendido a uma tensão de 138 kV. Nele existem 4 transformadores de 75 MVA, 8 de 25 MVA, 8 de 4 MVA e 8 de 2 MVA e grupos de motores atendidos nas tensões de 34,5 kV, 13,8 kV, 4,16 kV e 480 V.

Para realizar os testes foram considerados três patamares de carga, sendo que cada um deles ocorrem durante 4 horas do dia: carga leve, média e pesada, representando, respectivamente, 30, 60 e 100% da carga total do sistema industrial. Destaca-se ainda que as seguintes considerações foram feitas: ao contrário do que ocorre com o patamar de carga pesada, os patamares de carga leve e média ocorrem em horário fora da ponta. Para cada patamar de carga foi proposta a alocação de geradores internos em no máximo 10 barras simultaneamente, sendo que os geradores possuem uma limitação na sua capacidade de geração de no máximo 3 MW e podem ser alocados em quaisquer barras, com exceção da barra referente ao CDC principal.

Os parâmetros das funções de custo de geração da concessionária foram adotados de acordo com as tarifas cobradas pela Cemig para os clientes atendidos na tensão de 138 kV (Cemig, 2015) e os valores adotados para os parâmetros da função de custo de geração dos geradores internos não necessariamente representam valores reais. Nas análises feitas, apenas o parâmetro de custo "b" foi considerado. Para geração externa ele é igual à 458,20 R\$/MWh para horário fora de ponta e igual à 637,78 R\$/MWh para o horário de ponta. Já para a geração interna ele é igual à 460 R\$/MWh

Para a realização das simulações foram considerados os seguintes parâmetros para o algoritmo genético: probabilidade de *crossover* igual a 60%, probabilidade de mutação de 1%, população com 50 indivíduos e número máximo de gerações igual a 100.

Os resultados da alocação ótima dos geradores podem ser vistos nas Tabelas 1, 2 e 3 para os três diferentes patamares de carga adotados.

Tabela 1 - Resultado para o patamar de carga leve em horário fora de ponta.

Barras alocadas	16	29
Potência [MW]	0,4286	0,4286

Para o patamar de carga leve, a geração interna foi de 0,8572 MW e a externa de 30,14 MW, resultando em custos de R\$ 1577,25 e de R\$ 55240,60, respectivamente. Já os custos referentes à energia perdida foram de R\$ 68,18, totalizando um custo total de R\$ 56886,03.

Tabela 2 - Resultado para o patamar de carga média em horário fora de ponta.

Barras alocadas	11	16	17	19	21	23	24	29
Potência [MW]	2,5714	0,8571	1,2857	1,2857	2,5714	0,8571	0,4286	2,5714

Para o patamar de carga média, a geração interna foi de 12,428 MW e a externa de 49,63 MW, resultando em custos de R\$ 22867,52 e de R\$ 90961,86, respectivamente. Já os custos referentes à energia perdida foram de R\$ 252,93, totalizando um custo total de R\$ 114082,31.

Tabela 3 - Resultado para o patamar de carga pesada em horário de ponta.

Barras alocadas	9	13	15	16	20	21	22	25	28	31
Potência [MW]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

Para o patamar de carga pesada, a geração interna foi de 30 MW e a externa de 73,56 MW, resultando em custos de R\$ 55200,00 e de R\$ 187660,40, respectivamente. Já os custos referentes à energia perdida foram de R\$ 918,40, totalizando um custo total de R\$ 243778,80.

Ao analisar os resultados, percebe-se que enquanto há uma total priorização pela geração interna no momento de carga pesada (foram alocados geradores no número máximo de barras permitidas simultaneamente, sendo todos em suas potências máximas), nos outros dois casos observa-se uma priorização pela compra da energia da concessionária, sendo essa preferência mais evidenciada no período de carga leve. Isso ocorreu conforme o esperado, devido ao fato do preço da geração externa do caso apresentado apenas competir com o preço da geração interna nos períodos fora de ponta de energia.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia, baseada na utilização de algoritmo genético, objetivando realizar a alocação ótima de geradores em sistemas industriais de forma a mostrar um balanço ótimo entre energia a ser comprada da concessionária e energia a ser gerada internamente. Para tal, a função objetivo englobava a minimização dos custos de geração interna e externa e da energia perdida. Testes foram realizados em sistemas industriais fictícios considerando três patamares de carga (leve, média e pesada) e os resultados se mostraram satisfatórios, comprovando a aplicabilidade do método desenvolvido em sistemas industriais reais.

Existem diversas melhorias que estão sendo implementadas no modelo de otimização e que serão tema de trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Juiz de Fora, ao CNPq, a FAPEMIG, a CAPES e ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Petrobras PRH-PB214 pelo incentivo.

REFERÊNCIAS

Alves, H. N.; Branco, C. A. S. C., 2012. Um Algoritmo Genético para a Alocação Ótima de Unidades de Geração Distribuída em Redes de Distribuição. *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática (CBA)*, p.4989-4994, Campina Grande.

Cemig (Minas Gerais). Tarifas e Tributos. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/tarifas.aspx>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

Filho, J. M., 2007. Instalações Elétrica Industriais. Rio de Janeiro: LTC.

Pacheco, M. A. C., 1999. "Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações". Apostila. Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada (ICA). Disponível em:<<http://www.ica.ele.puc-rio.br/Downloads/38/CE-Apostila-Comp-Evol.pdf>>