



ISSN: 2230-9926

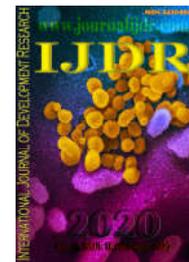
Available online at <http://www.journalijdr.com>

IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 10, Issue, 11, pp. 42298-42304, November, 2020

<https://doi.org/10.37118/ijdr.20436.11.2020>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

MÓDULO DE OTIMIZAÇÃO PARA A DETERMINAÇÃO DE COMPRA E VENDA DE ENERGIA ELÉTRICA EM LEILÕES

Paulo Cesar Mota Anselmo*, Thales Sousa and Patrícia Teixeira Leite Asano

Federal University of ABC, Santo Andre, SP, Brazil

ARTICLE INFO

Article History:

Received 06th August, 2020

Received in revised form

29th September, 2020

Accepted 17th October, 2020

Published online 30th November, 2020

Key Words:

Auctions, Genetic Algorithms, Energy, Optimization.

*Corresponding author:

Paulo Cesar Mota Anselmo,

ABSTRACT

The commercial model adopted in the Brazilian Electric Sector since 2004 introduced a new process of purchase and sale of electricity starting from auctions. With the inclusion of customers in the free market, there was a need for studies and development of tools for the use of electricity contracting by the industry since a correct choice of energy volume and price can guarantee the company's profit or the viability of its service. In this sense, the present work presents a module based on open source programming with Java language for computational optimization of the data obtained from the generation of hydroelectric plants and their thermal complementation. Based on artificial intelligence technique, more specifically in the field of genetic algorithms, the computational tool allows to simulate different scenarios and future possibilities so that through an initial population it is possible to obtain several generations with the best characteristics of each individual and the amount of energy to be distributed between auctions. In this sense, it is possible to mitigate excess purchases and improve distribution to avoid buying below the necessary demand negotiated by the distributing company. For this, the return of a vector with the best selection of energy distribution in future auctions is then delivered to the end user in order to collaborate with their decision making. The results obtained with the reduction of over contracting and subcontracting of the purchase of electric energy demonstrated the feasibility of the program, allowing the use of this tool to assist agents in decision making that leads to the minimization of business costs involving energy. Finally, it can be concluded that the risks of future investments can be minimized.

Copyright © 2020, Paulo Cesar Mota Anselmo et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Paulo Cesar Mota Anselmo, Thales Sousa and Patrícia Teixeira Leite Asano, 2020. "Módulo de otimização para a determinação de compra e venda de energia elétrica em leilões", *International Journal of Development Research*, 10, (11), 42298-42304.

INTRODUCTION

O modelo de mercado adotado no Setor Elétrico Brasileiro desde 2004 deu início a um processo de compra e venda de energia elétrica a partir de leilões. Neste sentido, com a inclusão dos consumidores ao mercado livre, houve a necessidade de estudos e desenvolvimento de ferramentas para utilização da contratação de energia elétrica destes consumidores, já que uma escolha correta do volume de energia e seu preço podem garantir o lucro da empresa ou a viabilidade do seu serviço. Neste sentido, o presente trabalho apresenta um módulo baseado em programação de código aberto com linguagem Java para otimização computacional dos dados obtidos da geração das usinas hidrelétricas e sua complementação térmica. Baseado em técnica de inteligência artificial, mais especificamente no campo dos algoritmos genéticos, a ferramenta computacional permite simular diferentes cenários e possibilidades futuras para que através de

uma população inicial seja possível obter diversas gerações com as melhores características de cada indivíduo e a quantidade de energia a ser distribuída entre os leilões. Assim, permite-se mitigar compras em excesso e melhorar a distribuição para evitar a compra abaixo da demanda necessária negociada pela empresa distribuidora. Para isso, o retorno de um vetor com a melhor distribuição de energia em leilões futuros é então entregue ao usuário final a fim de colaborar com sua tomada de decisão.

Os resultados obtidos com a diminuição de sobrecontratação e subcontratação da compra da energia elétrica demonstraram a viabilidade do programa, permitindo que a utilização desta ferramenta auxilie os agentes na tomada de decisão que leve a minimização dos custos do negócio envolvendo energia. Finalmente, pode se concluir que os riscos dos investimentos futuros podem ser minimizados.

REVISÃO DA LITERATURA

No ano de 2007, (Dias, 2007) apresentou uma pesquisa estratégica detalhando um estudo para a escolha da melhor quantidade de leilões a ser realizada na compra de energia elétrica pelas empresas distribuidoras no Brasil. Esta aplicação utilizou algoritmos genéticos e foi desenvolvida a partir da ferramenta de código fechado *ga tool* junto ao *software* Matlab, o que impossibilitava o seu uso irrestrito e modificações que atendessem às pesquisas realizadas no LabBITS e no Programa de Pós-graduação em Energia (PPGENE) da Universidade Federal do ABC no âmbito do planejamento energético.

Com o estudo a partir da *Aplicação de Inteligência Artificial no Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Potência* (Asano, 2003) a utilização e o detalhamento das premissas do AGs levaram a uma linha de pesquisa para a criação de uma ferramenta em código aberto escrito em Java que utilizaria da entrada de informações do Sistema Hidrotérmico Brasileiro e executasse a modelagem de compra em leilões de energia de forma direta a fim de se obter alternativas de estratégia para seleção das usinas de interesse e garantindo benefícios tangíveis para a sociedade brasileira quanto ao uso da água -para consumo e geração de energia elétrica. Resultados semelhantes foram também apresentados no trabalho *Aplicação do planejamento integrado de recursos em usina hidroelétrica sob o regime de cotas de garantia física* (Franco, 2016).

A maioria dos mercados de energia elétrica do mundo tem sua energia comercializada por geradores, comercializadores e produtores independentes, por distribuidores, consumidores livres e cativos, e outros comercializadores. Nesse sentido, diversos métodos, desde técnicas financeiras, técnicas computacionais ou matemática, podem ser utilizados a fim de se obter uma melhor modelagem. Um exemplo é a análise de leilões como jogos de (Vickrey, 1962). Nesta técnica, os leilões poderiam ser tratados como informação para a Teoria dos Jogos, com dados matemáticos bem definidos. Já segundo (Krishna, 1962), os leilões seriam jogos a serem jogados por agentes. Esse conceito foi apresentado em *Leilões de comercialização de energia elétrica: Um modelo para o Mercado Regulado no Brasil* no ano de 2005 por (Fittipaldi, 2005), um dos primeiros estudos efetuados após a Nova Regulamentação do setor Elétrico Brasileiro em 2004. No ano de 1998 (CHANG, 1998) apresentaram um trabalho com uso AGs para determinar o despacho de geração hidrotérmica. Eles mostram que os resultados obtidos com as técnicas de IA são oportunos para serem utilizadas no Planejamento das Operações de Sistemas Hidrotérmicos. Os autores mostraram ainda que em determinadas situações de métodos híbridos devem ser adotados quando os AGs simples não demonstrarem bom desempenho (GEN, 1989).

Um exemplo de Sistema Híbrido comum seria o uso de AGs tradicional com a combinação de uma otimização local aplicada aos indivíduos de uma geração utilizando mecanismos naturais como a Evolução Lamarquiana (URDENETA, 1999). Por outro lado, o emprego dos Algoritmos Genéticos para resolução de problemas de alto nível, como problemas complexos de planejamento e alocação de memória, deve-se considerar o operador de mutação direcionada e o de elitismo parcial. Na mutação direcionada tende a se induzir uma solução próxima da ótima e no elitismo

parcial garantir que os melhores indivíduos passem para a próxima geração. (GREWAL, 2001). Neste caso, a função a ser executada nos AGs servirá para diminuir os riscos indevidos para a empresa distribuidora e otimizar o planejamento da sua contratação de energia, já que mitigar isso pode ocasionar um resultado financeiro negativo à empresa, uma vez que nem todos os custos de aquisição podem ser repassados ao cliente final, como pode ser visto em *Novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro: Análise dos mecanismos de mitigação de riscos de mercado das distribuidoras* (Cuberos, 2008) e *Metodologia para Otimização da Contratação de uma Distribuidora Através de Leilões de Energia* (Silva, 2008).

Os AGs foram propostos inicialmente no meio computacional por John Holland em 1975 com o livro *Adaption in Natural and Artificial Systems* (Holland, 1975). No ano de 1989 David Goldberg lança o livro *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning* (Goldberg, 1989) que juntamente com Holland se tornam referência para a busca da otimização computacional a partir dos AGs, o que possibilitou a aplicação dos mesmo na resolução de diversos problemas de engenharia.

ESTUDO DE CASO

De acordo com informações disponibilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) foram elaboradas simulações de cenários de contratação de energia por uma empresa distribuidora fictícia situada no Estado de São Paulo, adotando a metodologia apresentada em (Dias, 2007). Simulações anteriores a este trabalho foram efetuadas e possibilitaram a realização de análises dos riscos presentes, bem como, avaliação de uma estratégia para que se conseguisse reduzir de forma eficiente esses prejuízos, e traçar a melhor escolha para a distribuidora em um cenário simulado. Nesse sentido, o presente trabalho considerou o projeto do LabBITS e do PPGENE para criação de uma ferramenta de código aberto em Java a partir dos seguintes objetos:

- Algoritmos Genéticos;
- Função de escolha ou Função Objetivo;
- Gráfico;
- Interface.

Esses objetos foram criados para serem independentes de maneira que fossem disponibilizados em uma biblioteca e que os dados coletados, tanto em versão de *interface* ou via terminal, e com possibilidade para serem exportados em formato *.csv* para exploração dos resultados em planilhas eletrônicas. Para o modelo proposto, foram consideradas diferentes funções de escolha compostas por diferentes possibilidades de leilões. Vale lembrar que todas essas funções de modelagem convergiram para a utilização de um padrão de 14 posições de leilões (Dias, 2007). Neste ponto deve-se destacar que a função de escolha se baseia nas entradas de Leilão, Ano de Entrega da Energia, Matriz de Demanda e os limites superior e inferior de contratação que serão detalhados a seguir. Estas informações serviram como limites para a Função Objetivo que será executada nos Algoritmos Genético tendo como base os cenários criados com uma variação de 10% entre eles, a partir do cenário de referência. Esses limites

e as matrizes de cenário são a base do algoritmo proposto, sendo que o usuário do modelo, por exemplo, representante de compra da distribuidora, tem a oportunidade de efetuar 14 compras em leilões de energia elétrica. Para o modelo proposto, foram simulados todas as possibilidades de leilões que possam ser realizados e entregues até o ano de 2024. Assim, o representante poderá comprar em 1(um) leilão de energia A- 5 em 2019, para ser entregue em 2024; 3(três) leilões A - 3 nos anos de 2019, 2020 e 2021 sendo que essa energia será entregue em 2022, 2023 e 2024 respectivamente; efetuar a compra em 5 (cinco) leilões de energia A - 1 nos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, sendo que essa energia será entregue em 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024 respectivamente; e efetuar a compra em 5 (cinco) leilões de ajuste nos anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e 2023, sendo que essa energia será entregue em 2020, 2021, 2022, 203 e 2024 respectivamente. Para a criação dos algoritmos genético foi definido um objeto com *função objetivo* para executar a melhor escolha do indivíduo de uma população, assim como os métodos de mutação e de *cruzamento* dos genes.

No caso teste foi adotada uma população entre 24 e 500 indivíduos, pois esta faixa apresentou o melhor resultado depois de várias simulações com tamanho de população distintos. A população composta pelos indivíduos carrega em seu código genético os valores de energia a serem comprados nos leilões projetados para um determinado período de operação. A forma de seleção para escolha dos indivíduos da população que deverão gerar novos indivíduos para as próximas gerações é o modo de torneio que permitiu uma exploração mais simples do espaço de busca, se mostrando eficaz e mais rápido para solução do problema.

No caso do Elitismo optou-se por permitir que apenas os dois melhores indivíduos de uma geração passem para a próxima geração. Para a Mutação definiu-se que a mesma ocorrerá em apenas 1 % da população, ou seja, só permitirá a alteração nesta porcentagem dentro de cada geração. Os cruzamentos de indivíduos foram fixados em 2, para a partir destes gerarem um novo indivíduo. O sistema de parada definido é o máximo de 10.000 (dez mil) gerações. O modo escolhido pelo processador foi em série, ou seja, não foi escolhida a opção de dividir os processos da CPU para escolha do indivíduo ótimo.

Na teoria da evolução, os indivíduos com melhor adequação ao ambiente (Função de Objetivo) se reproduzem mais e também possuem mais chances de passar os seus genes para a próxima geração, porém, em função dos operadores genéticos (mutação e recombinação), os cromossomos dos filhos não são exatamente iguais aos dos seus pais. Assim, na classe que está a Função de Escolha dos melhores indivíduos, foram criados 3 (três) cenários na simulação:

- Cenário Otimista;
- Cenário Pessimista;
- Cenário de Referência.

Estes cenários foram criados levando em consideração um aumento de 10% no caso do cenário otimista e uma redução de 10% no cenário pessimista, levando em consideração o cenário de referência. Estes valores podem ser ajustados via configuração do *software* sendo que os dados utilizados para esses cenários são:

- Previsão de mercado;
- Contratos existentes de compra de energia e mercado realizado;
- Custos da energia previstos para A-5, A-3, A-1, Ajustes.

Os seguintes dados não foram contemplados na simulação:

- MCS (Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficit);
- PLD (Preço de Liquidação de Diferenças);
- Desagregação dos consumidores potencialmente livres;
- VR (Valor Anual de Referência).

A otimização de contratação dos leilões existentes tem como base as regras e penalidades estabelecidas no Decreto 5.163/2004 (Brasil, 2004). O período escolhido foi referente aos anos de 2019-2024. Foram simuladas as contratações de energia para os leilões conforme Tabela 1.

Tabela 1. Leilão / Ano de Entrega da Energia

Leilão	Ctdé	Ano da Compra da Energia	Ano da Entrega da Energia
A - 5	1	2019	2024
A - 3	3	2019 / 2020 / 2021	2022 / 2023 / 2024
A - 1	5	2019 / 2020 / 2021 / 2022 / 2023	2020 / 2021 / 2022 / 2023 / 2024
Ajuste	5	2019 / 2020 / 2021 / 2022 / 2023	2020 / 2021 / 2022 / 2023 / 2024

Os valores de entrada para executar os AGs se restringem a energia despachada pelas usinas hidrelétricas e sua complementação térmica nos últimos 5 anos e replicadas para simulação futura. Dessa forma, a tabela de Matriz de Demanda pode ser criada e possíveis cenários podem ser simulados, sendo que o cenário real é o de referência. O valor anual dos últimos anos é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Matriz de Cenários-- MW-médio

Cenário	Ano					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Otimista	6500	6600	6400	6000	5500	5300
Referência	6400	6400	6200	5800	5300	4800
Pessimista	6300	6200	6000	5500	5000	5400

Os valores de MCS e Energia Existentes foram fixados em 0 (zero), pois como citado, a base dos estudos é referente somente aos leilões. Da mesma forma os Contratos Bilaterais e Energia Existente também foram previamente escolhidos conforme Tabela 3.

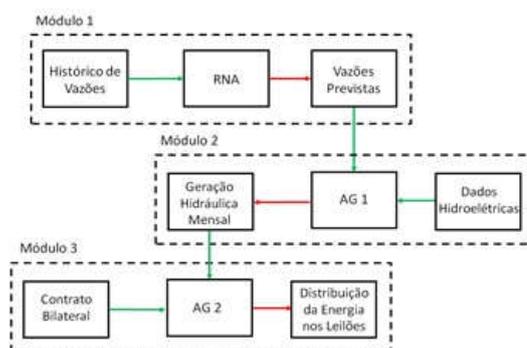


Figura 1. Modelo Computacional proposto, as setas verdes indicam dados de entrada do módulo e as setas vermelhas indicam a saída do módulo

O módulo de otimização também tem a finalidade de se comunicar com outras aplicações do LabBITS da Universidade Federal do ABC. O módulo aqui apresentado representa o Módulo 3 (Figura 1) de três módulos integrados ao sistema de Inteligência Artificial para Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Potência e ao Mercado de Comercialização de Energia Elétrica. A Figura 1 ilustra os três módulos, onde os dados de entrada (são indicados pelas setas verdes) e os dados de saída (indicados pelas setas vermelhas), bem como a comunicação entre eles

Tabela 3. Matriz de Demanda de Contratos Existentes

	Ano					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
A - 5	0	0	0	0	0	*
A - 3	0	0	0	*	*	*
A - 1	0	*	*	*	*	*
Ajuste	*	*	*	*	*	*
MCSD	0	0	0	0	0	0
E. Existente	1450	1450	1500	1500	1500	1500
C. Bilaterais	800	800	800	800	800	800

Os limites Superiores utilizados para verificação da sobrecontratação foram criados respeitando a seguinte Tabela 4.

Tabela 4. Faixa limite superior de contratação

Ano / Leilão	% Limite da energia contratada
Ano (A)	1% para o ano (A)
Ano (A+1)	1% para o ano (A+1)
Ano (A+2)	1% para o ano (A+2) + 2% para o ano (A)
Ano (A+3)	1% para o ano (A+3) + 2% para o ano (A+1)
Ano (A+4)	1% para o ano (A+4) + 2% para o ano (A+2)
Ano (A+5)	1% para o ano (A+4) + 2% para o ano (A+3)

Os limites inferiores, que são utilizados para verificação da subcontratação foram criados respeitando a seguinte Tabela 5.

Tabela 5. Faixa limite inferior de contratação

Ano / Leilão	% Limite da energia contratada
Ano (A)	4% para o ano (A-2)
Ano (A+1)	4% para o ano (A-1)
Ano (A+2)	4% para o ano (A)
Ano (A+3)	4% para o ano (A+1)
Ano (A+4)	4% para o ano (A+2)
Ano (A+5)	4% para o ano (A+3)

- Módulo 1 - Rede Neural Artificial (RNA): Este módulo determina as vazões de saída a partir de uma metodologia da RNA (Ferreira, 2016);
- Módulo 2 - Algoritmos Genéticos 1 (AG1): Este módulo determina a geração hidráulica mensal a partir das vazões obtidas pelo Módulo 1 e dos dados das Usinas Hidroelétricas, obtém (Aragão, 2019);
- Módulo 3 - Algoritmos Genéticos 2 (AG2): Módulo de estudo deste trabalho para comercialização de energia elétrica. Como saída o módulo disponibiliza um vetor com os resultados de distribuição nos leilões.

Na primeira etapa para a resolução do Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Potência (POSHP), o módulo que utiliza uma RNA realiza a previsão de vazões afluentes naturais das usinas hidroelétricas, levando em consideração os dados reais de vazões afluentes naturais disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Com o cenário de vazão afluente das usinas hidroelétricas do sistema, o segundo módulo que utiliza de técnica de inteligência computacional, baseado em Algoritmos Genéticos (AGs) aplicado ao POSHP determina uma política de operação otimizada dos reservatórios das usinas hidroelétricas de qualquer sistema teste em um período de planejamento de médio prazo (Aragão, 2019).

Assim, os dados de entrada são a vazão afluente natural prevista no Módulo 1, e os dados reais das usinas hidroelétricas disponibilizados pela CCEE. O último módulo (objeto do presente trabalho) a partir dos dados de produção de energia elétrica disponível no sistema hidroelétrico, em cada mês, garante a otimização para determinar a compra e venda de energia elétrica nos leilões. Com a metodologia proposta, procura-se demonstrar a viabilidade e aplicação do modelo computacional em desenvolvimento pelo grupo, de pesquisadores da Universidade Federal do ABC (UFABC) através do LabBITS. A Figura 2 ilustra o fluxograma da modelagem proposta.

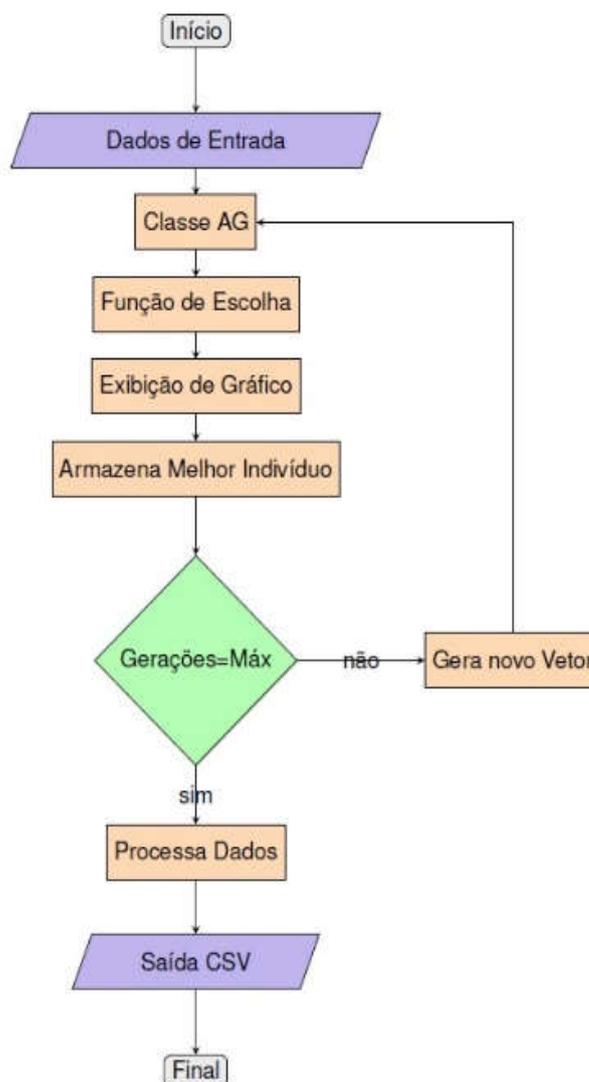


Figura 2. Fluxograma da Modelagem Proposta

RESULTADOS OBTIDOS

A aplicação proposta tem uma única interface gráfica com as entradas das informações coletadas e inseridas pelo próprio usuário. Esta interface gráfica foi desenvolvida diretamente em Java para facilitar o retorno e a velocidade de execução dos AGs e posterior análise dos resultados. A Figura 3 ilustra a tela principal do aplicativo desenvolvido.

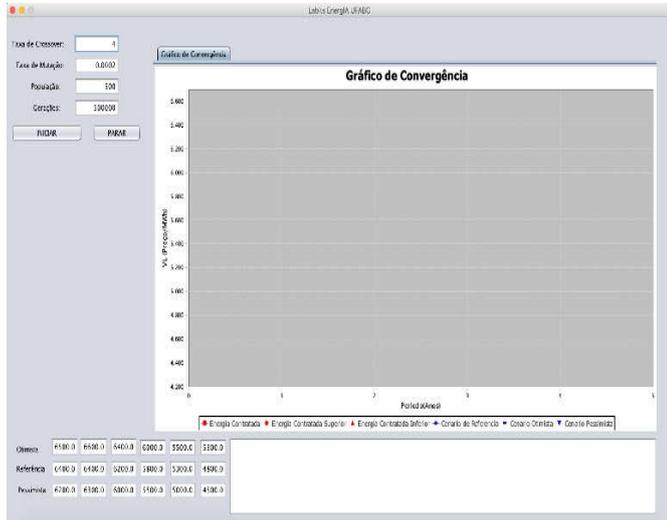


Figura 3. Tela Principal do Aplicativo

O usuário tem a opção de inserir as seguintes informações para configuração da classe dos AGs que executará a função de escolha:

- Taxa de *crusamento*;
- Taxa de mutação;
- Tamanho da população;
- Quantidade de gerações.

Os valores referentes aos valores de leilão dos cenários de referência, pessimista e otimista e demais informações devem ser alterados via linha de comando. Após a inclusão das informações basta utilizar o botão iniciar para executar os AGs.



Figura 4. Dados de Entrada do AG

A Figura 4 ilustra o painel de dados de entrada do AG. Conforme Figura 5, após algumas gerações o AG conseguem acompanhar a linha de referência. Isso é considerado normal já que o programa pode estar convergindo em um mínimo local e dependendo da configuração da taxa de mutação os AGs podem buscar outro ponto mais próximo do mínimo global. Todavia, pode-se verificar que mesmo assim os AGs inicia a modelagem com uma tendência de sobrecontratação já que as penalidades de subcontratação são maiores.

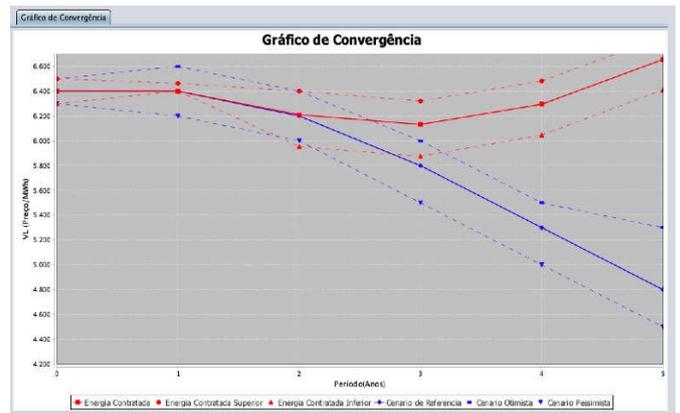


Figura 5. AG em andamento

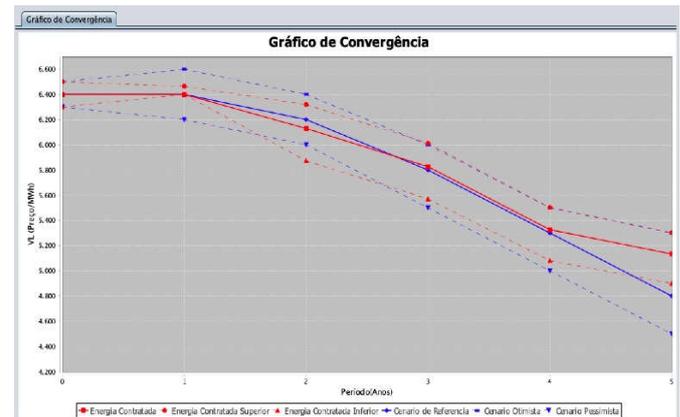


Figura 6. Gráfico de Saída da Versão em Java

O tempo necessário para a convergência pode ser de alguns segundos a minutos (isso depende do processador utilizado e das configurações pré-estabelecidas), pois o tamanho da população e a taxa mutação influenciam na saída dos resultados, sendo que na modelagem escolhida a população foi definida em 500 indivíduos. A Figura 6 ilustra os resultados obtidos para a simulação proposta. Quando o usuário conclui que os AGs chegaram em um resultado aceitável o mesmo tem a opção de "Parar" as gerações ou esperar o término da simulação e colher os dados através de um arquivo .csv que será exportado em para utilização em planilhas eletrônicas. A Figura 7 ilustra a descrição de criação do arquivo de resultados (.csv).

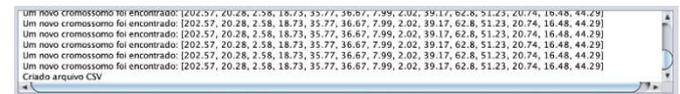


Figura 7. Criação do arquivo CSV.

A Figura 8 ilustra os resultados obtidos a partir da aplicação dos AGs. A Figura 9 ilustra os resultados obtidos a partir da versão Matlab inicialmente desenvolvida. Os resultados da aplicação em Java foram satisfatórios quando comparado aos resultados inicialmente obtidos a partir do Matlab, com uma resposta mais rápida por ser dedicado e com a classe de AGs preparada para receber apenas as informações necessárias para a distribuição da população entre as gerações. A saída do vetor dos AGs, considerando as 14 posições da classe, desenvolvido em Java obteve um resultado próximo ao do simulado em Matlab, com a diferença que no aplicativo desenvolvido em Java escolheu-se uma maior concentração dos leilões A-5.

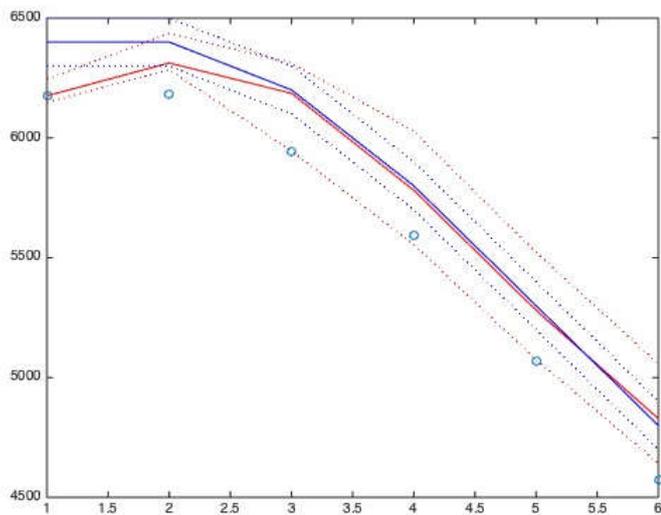


Figura 9. Gráfico de Saída da Versão em Matlab

A Figura 10 ilustra o tipo de leilão obtido pelo AGs considerando as 14 posições da classe.

A5	A3	A3	A3	A1	A1	A1	A1	A1	Aj	Aj	Aj	Aj	Aj
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Figura 10. Vetor do AG

A somatória de energia do período de seis anos na versão Matlab foi de 529.162MW enquanto na nova versão em Java foi de 561.320MW o que garantiu uma recuperação de subcontratação já na metade do gráfico analisado. A Figura 11 ilustra os valores de contratação propostos, considerando a aplicação em Java.

Final point:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1A	37,247	35,708	31,866	60,2	64,248	31,948	47,209	26,657	18,723	58,64	58,825	7,879	49,387	0,623

Figura 11. Saída do Vetor Matlab

Os resultados encontrados representam a melhor solução analisada com relação Preço/Energia entre os leilões, com o menor risco de subcontratação ou sobrecontratação na média dos anos selecionados.

CONCLUSÕES

O presente trabalho mostra a eficácia de emprego da técnica de inteligência artificial, baseada em Algoritmos Genéticos na compra de energia elétrica a partir de leilões. O desenvolvimento de uma ferramenta computacional além de demonstrar a robustez da metodologia proposta, possibilitou o entendimento das questões técnicas e econômica que envolve a comercialização de energia elétrica por uma distribuidora. A partir das simulações realizadas foi possível constatar que com um número maior de leilões é possível ter resultados superiores inteligência artificial o que permite diminuir os erros de contratação ao longo do tempo através de uma maior exploração do espaço de busca no qual se insere o problema. O programa tem potencial para utilização em um mercado livre, tendo como foco principal grandes consumidores, onde existe a possibilidade do controle de produção e estimativa de crescimento ou de utilização da energia futura. Outro ponto de vista seria a utilização de mercados futuros que gerenciem a

carteira de compra de energia de clientes finais a fim de garantir o menor preço para as empresas. Como desafios de uma continuação seriam alternativas para o cenário atual, onde a condição inesperada de pandemia modificou o consumo e a utilização de energia elétrica de maneira geral e o potencial cancelamento de leilões. Outro fato observado é que o simulador sempre dará preferência a compra de energia nos leilões A - 5 quando comparado ao leilão A - 3 já que seu preço é inferior, o que é vantajoso para a empresa e para o país uma vez que a viabilização do leilão A-5 sinaliza o desenvolvimento do país e a necessidade de aumentar a geração. Ademais, o trabalho realizado permitiu compreender e concretizar os conceitos envolvidos na comercialização de energia e o entendimento da metodologia e atualização da mesma mostrando a necessidade de dar continuidade a essa linha de investigação para representar de forma mais real as situações empregadas no setor elétrico. Por fim, eventos inesperados podem servir como base para novas interpretações, servindo de inspiração na busca de alternativas ao método atual de venda de energia elétrica e utilizando outras formas de comercialização já adotadas em outros países adaptando-as necessidades brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), e do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) - Código de Financiamento 432423/2016-8.

REFERÊNCIAS

- Aragão, A. P., 2019. Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional Bioinspirada Aplicada à Coordenação Hidrotérmica. Santo André: Universidade Federal do ABC.
- Asano, P. T. L., 2003. Aplicação de Inteligência Artificial no Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Potência. São Carlos(São Paulo): Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Brasil, 2004. Decreto 5.163 de julho de 2004 - Das Regras Gerais de Comercialização de Energia Elétrica. s.l.:Brasil.
- CHANG, H. & C. P., 1998. Hydrothermal Generation Scheduling Package: A Genetic Based Approach.. Taiwan ed. Taipei: The Department of Electrical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology.
- Cuberos, F. L., 2008. Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro: Análise dos Mecanismos de Mitigação de Riscos de Mercado das Distribuidoras. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Dias, I. V., 2007. Estratégia de Gestão de Compra de Energia Elétrica para Distribuidoras no Brasil. Curitiba(Paraná): Universidade Federal do Paraná.
- Ferreira, F. G., 2016. Desenvolvimento de um Algoritmo de Redes Neurais para Aplicação ao Problema de Previsão de Vazões das Hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional. Santo André: Universidade Federal do ABC.
- Fittipaldi, E. H. D., 2005. Leilões de comercialização de energia elétrica : Um modelo para o Mercado Regulado no Brasil. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.
- Franco, C. M., 2016. Aplicação do Planejamento Integrado de Recursos em Usina Hidrelétrica sob o Regime de Cotas de Garantia Física. Santo André(São Paulo): Universidade Federal do ABC.

- GEN, M. & C. R., 1989. Genetic Algorithms and Engineering Design. Reading, MA: School of Law, University of Glasgow.
- Goldberg, D., 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. s.l.:Addison-Wesley Professionals.
- GREWAL, G. & W. T., 2001. An Enhanced Genetic Algorithm for Solving the High-Level Synthesis Problems of Scheduling, Allocation, and Binding.. s.l.:World Scientific Publishing Co.
- Holland, J. H., 1975. Adaption in Natural and Artificial Systems. Cambridge: MIT Press.
- Krishna, V., 1962. Auction Theory. Pennsylvania State University, University Park, U.S.A(Pennsylvania): Academic Press.
- Silva, L. B. d., 2008. Metodologia para Otimização da Contratação de uma Distribuidora Através de Leilões de Energia. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- URDENETA, A. J. & G. J. F. & S. E. & F. L. & D. R., 1999. A Hybrid Genetic algorithm for Optimal Reactive Power Planning Based Upon Successive Linear Programming. s.l.:IEEE Transactions on Power Systems.
- Vickrey, W. S., 1962. Auction and Bidding Games. Recent Advances in Game Theory. New Jersey: Princeton University Conference.
