



MODELAGEM NA COMPRA DE ENERGIA ELÉTRICA DAS DISTRIBUIDORAS: UM ESTUDO DE CASO PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

Paulo Cesar Mota Anselmo

paulocesarma@petrobras.com.br

paulo.cesar@aluno.ufabc.edu.br

UFABC - Universidade Federal do ABC / Transpetro - Petrobras Transporte

São Paulo, Santo André, Brasil

Dra. Patrícia Teixeira Leite Asano

patricia.leite@ufabc.edu.br

UFABC - Universidade Federal do ABC

MSc. Isael Vieira Dias

isael@petrobras.com.br

Transpetro - Petrobras Transporte

Dr. Sergio Henrique Ferreira de Oliveira

sergio.oliveira@ufabc.edu.br

UFABC - Universidade Federal do ABC

Resumo. No Brasil após as mudanças que ocorreram em virtude do modelo de comercialização do Setor Elétrico Brasileiro adotado em 2004, ao se negociar um novo contrato de energia, o agente comprador (no caso representando a empresa Distribuidora) terá que enfrentar os riscos de preço devido às variações na produção hidrelétrica, riscos de mudanças de crédito da fonte do comprador, modificações de regulação do governo e demais riscos desta área.

Uma análise de risco para tomar as medidas para tentar evitar as perdas ou ao menos a diminuição do risco deve ser executada, pois além da obtenção de lucro que esses agentes

podem conseguir devido a esse mercado, os prejuízos também serão contabilizados por esses investidores. Para isso se faz necessário uma visão econômica, técnica e estratégica de longo prazo para que a tomada de decisão seja baseada em fatos concretos que envolva todas as ações ligadas a indústria de energia elétrica e que as afetaram diretamente no curto prazo.

O objetivo é utilizar uma ferramenta para modelar e otimizar os cenários e as possibilidades de compra de energia elétrica pelos agentes que representam as empresas distribuidoras nos leilões. Optou-se pela utilização da técnica de inteligência artificial baseada em Algoritmos Genéticos, bastante difundida na literatura vigente para a implementação de ferramentas computacionais para resolução de problemas de planejamento e estudos. Esta técnica utiliza-se do mesmo princípio da área biológica, a criação de gerações populacionais através de cruzamento de indivíduos com características distintas que geram um novo indivíduo, mutação em alguns indivíduos e aplicação do elitismo para garantir que melhores indivíduos permaneçam nas gerações futuras.

A utilização da técnica de Algoritmos Genéticos na compra de energia elétrica por uma empresa distribuidora fictícia no estado de São Paulo demonstrou a potencialidade da ferramenta para ser aplicada em qualquer parte do Brasil desde que informados os dados referentes ao subsistema que a concessionária ou comercializadora pertencem. Além disso a ferramenta colabora para o retorno de uma solução ótima, que minimize os prejuízos de subcontratação e sobrecontratação, garantindo os contratos e a confiabilidade de compra de energia elétrica pelas distribuidoras.

Palavras-chaves: *Compra. Energia. Elétrica. Distribuidora. Modelagem.*

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2004 ocorreram várias mudanças no mercado de energia do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) com a criação de uma nova regulamentação para gestão do setor, na tentativa de aumentar o investimento, principalmente da iniciativa privada, e sua expansão além de servir como correção ao modelo escolhido na década de 90.

Uma das modificações proposta foi que para garantir a qualidade, continuidade e padronização dos serviços, as empresas responsáveis pela distribuição de energia elétrica passaram a ter que diversificar a escolha do tipo de fonte de geração energia, bem como, da empresa geradora responsável, através dos leilões públicos de compra e ajuste de energia nova ou existente para garantir a modicidade tarifária para seus clientes, o consumidor final.

Para isso as distribuidoras de energia elétrica tiveram que se ajustar as novas resoluções e normas, afim de gerenciar o planejamento de compra de energia de forma mais eficiente e econômica para o melhor atendimento da sua demanda. Devido ao pouco tempo em que este modelo foi implementado (2004), e as variações de afluência no período de 2011 e 2014, a tomada de decisão na compra de energia ainda é feita de uma forma muitas vezes sem a uma análise envolvendo o planejamento integrado dos recurso para uma melhor tomada de decisão, o que pode causar prejuízos e incerteza no mercado energético do país.

O mercado de energia elétrica é bastante estratégico para o desenvolvimento de um país, pois as empresa podem e devem otimizar o uso dos seus recursos com uma entrega eficiente da energia elétrica pela distribuidora que efetuou a melhor estratégia de compra de energia. Com isso as empresas se colocam na frente de seus concorrentes, mas vale lembrar que para o adequado funcionamento do sistema interligado nacional que foi projetado, se faz necessário um controle centralizado de todas as operações e para isso existem agências ligada ao governo federal que gerencia os contratos de compra e venda de energia. Portanto, as distribuidoras precisam atender rigorosamente as normas e metas estabelecidas para o bom funcionamento do sistema.(Mauricio T.Tolmasquim, 2015).

Sendo assim, este artigo busca mostrar uma visão geral da distribuidora diante do cenário de compra e venda de energia diante das regras estabelecidas pelo novo modelo do setor elétrico brasileiro e vigentes no ano de 2016. Para isso, foi realizado um estudo de um caso teste de acordo com informações de valores do mercado de energia elétrica disponibilizadas pela ANEEL, CCEE, EPE onde 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 (Isael Vieira Dias, 2007). O caso teste foi simulado na plataforma MATLAB adotando como técnica de otimização os algoritmos genéticos, conforme proposto por (Isael Vieira Dias, 2007), o que possibilitou a análise dos riscos presentes, bem como, encontrar estratégia para que se consiga reduzir de forma eficiente os prejuízos, e traçar a melhor escolha para a distribuidora em um cenário simulado.

1.1. Técnica de Otimização Adotada

Para resolução do problema apontado, optou-se por adotar como técnica de otimização os algoritmos genéticos (AG) são método de busca e otimização inspirado no princípio de seleção natural e sobrevivência dos indivíduos mais aptos, descoberto pelo fisiologista Charles Darwin e descrito em seu livro "A Origem das Espécies", de 1859. Algoritmos genéticos foram introduzidos por John Holland, em 1975, e popularizados por David Goldberg, em 1989. Segundo (David Edward Goldberg, 1989), as principais características de um algoritmo genético (AG) são:

- Trabalha com a codificação do conjunto de parâmetros em uma string;
- Realiza busca a partir de uma população de pontos (possíveis soluções) e não de um ponto único;
- Usa informação da função objetivo para efetuar busca por melhores soluções; e
- Usa regras de transição probabilísticas (escolha aleatória) para guiar a busca em regiões do espaço com maior chance de melhoria.

Muitos termos usados em algoritmos genéticos são originados da biologia (Ana Rita Tiradentes Terra Argoud et al., 2007)

A seguir a demonstração das diferenças de termos usadas na área Biológica x Computacional, na (**Tabela 4**) (E. G. M. LACERDA et al., 2002)

Tabela 1. Analogia de termos de algoritmos genéticos e a biologia

Termo	Biologia	Algoritmos Genéticos (AG)
Cromossomo ou Indivíduo	Conjunto de genes de um organismo.	<i>String</i> (Variável) que representa uma solução para o problema.
Gene	Unidade de hereditariedade transmitida pelo cromossomo que controla as características do organismo.	Parâmetro codificado no cromossomo, ou seja, um elemento da <i>string</i> .
Genótipo	Composição genética contida no cromossomo.	Informação contida no cromossomo.
Fenótipo	Manifestação física de um gene no organismo, por exemplo, pele lisa ou rugosa.	Estrutura construída a partir do genótipo.
Alelo	Uma das formas alternativas de um gene.	Valores que um gene pode assumir.

Adaptado de Lacerda et al. (2002)

Os cromossomos, ou indivíduos, são então submetidos a um processo evolutivo que envolve avaliação, seleção, recombinação (crossover) e mutação. Após vários ciclos de evolução a

população deverá conter indivíduos mais aptos. Os algoritmos genéticos utilizam uma analogia direta deste fenômeno de evolução na natureza, onde cada indivíduo representa uma possível solução para um problema dado. A cada indivíduo atribui-se um valor de avaliação: sua aptidão, que indica quanto à solução representada por este indivíduo é boa em relação às outras soluções da população. Desta maneira, o termo População refere-se ao conjunto de todas as soluções com as quais trabalha o sistema.

Aos indivíduos mais adaptados é dada uma probabilidade maior de se reproduzirem mediante cruzamentos com outros indivíduos da população, produzindo descendentes com características de ambas as partes. A mutação também tem um papel significativo, ao introduzir na população novos indivíduos gerados de maneira aleatória.

A aptidão do indivíduo determina o seu grau de sobrevivência e, assim, a possibilidade de que o cromossomo possa fazer parte das gerações seguintes. (SHELLY CRISTIANE DAVILA MEDEIROS, 2006)

1.2. Operadores Genéticos

Os operadores mais conhecidos nos algoritmos genéticos são os de Reprodução, Cruzamento (Crossover) e Mutação. (SHELLY CRISTIANE DAVILA MEDEIROS, 2006)

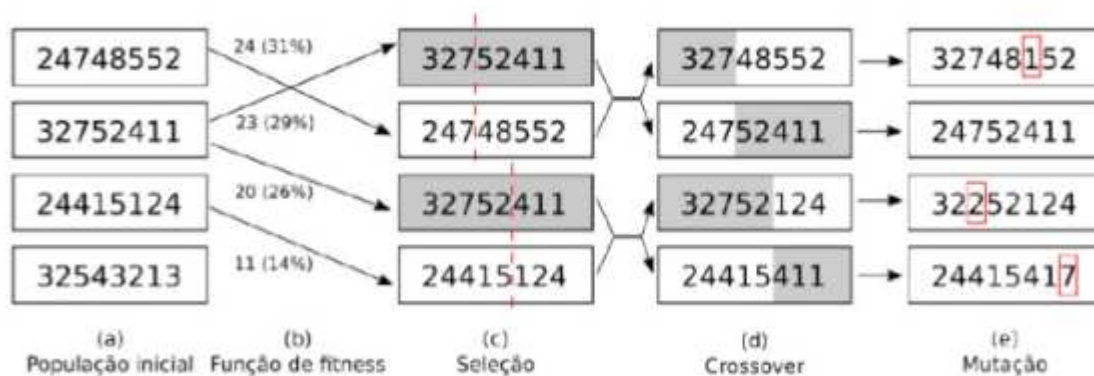
- **Reprodução:** refere-se ao processo de selecionar e copiar um determinado cromossomo para a população seguinte de acordo com sua aptidão. Os seguintes métodos: troca de toda população, troca de toda população com elitismo, onde todos os cromossomos são substituídos, sendo o cromossomo mais apto da população corrente copiado para população seguinte, e troca parcial da população, onde os melhores indivíduos da população corrente são copiados para população seguinte.
- **Cruzamento:** é um operador baseado na troca de partes dos cromossomos (pais), formando-se duas novas soluções (filhos).
- **Mutação:** é a troca aleatória do valor contido nos genes de um cromossomo por outro valor válido do alfabeto. A mutação garante a diversidade das características dos indivíduos da população e permite que sejam introduzidas informações que não estiveram presentes em nenhum dos indivíduos.

1.3. Parâmetros de Evolução

- **Tamanho da População:** Uma população muito pequena oferece uma pequena cobertura do espaço de busca, causando uma queda no desempenho. Uma grande população tornam-se necessários recursos computacionais maiores o que demanda tempo e estrutura computacional.
- **Probabilidade de Cruzamento:** probabilidade de um indivíduo ser re combinado com outro.
- **Probabilidade de Mutação:** probabilidade do conteúdo de um gene do cromossomo ser alterado.
- **Intervalo de Geração:** controla a porcentagem da população que será substituída durante a próxima geração.
- **Número de gerações:** representa o número total de ciclos de evolução de um Algoritmo Genético, sendo este um dos critérios de parada do algoritmo genético.

A seguir como o processo é efetuado para seleção dos indivíduos na (**Figura 1**):

Figura 1. Exemplo de um processo de seleção do indivíduos com uso de Algoritmos Genéticos



E. G. M. LACERDA

1.4. Metodologia

Utilizando a técnica de Algoritmo Genético para modelagem de cenários de compra de Energia Elétrica proposta por (Isael Vieira Dias, 2007) foi adotada a mesma ferramenta computacional para a simulação e otimização dos cenários, onde a implementação foi realizada no software MatLAB R2014B utilizando-se o toolbox de *Optimization Tool* e o seu *Solver ga (Genetic Algorithm)* em uma máquina com sistema operacional OSX 10.11 e processador 2,53 GHz Intel Core 2 Duo com memória RAM de 4 GB.

A metodologia foi desenvolvida para auxiliar os tomadores de decisão no momento da compra da energia. Sendo assim, estes poderão fazer simulações com a ferramenta, em diversos cenários de compra de energia, de forma que o tomador de decisão ganhe experiência com o problema apontado, e possa utilizar esse conhecimento para melhor compra do montante de energia em cada momento.

As séries temporais pode ser uma boa alternativa para auxiliar a encontrar/simular o valor do PLD. Mas em relação à obtenção da resposta para este problema, que foca na determinação de montantes, os Algoritmos Genéticos se aplicam com bastante eficiência.

2. Aplicação e Resultados

Para realização do caso teste adotou-se uma população de 24 indivíduos, pois a mesma apresentou o melhor resultado depois de vários testes com tamanho de população distintos, onde a variação no número de indivíduos maior que este número não mostrava uma variação significativa nos resultados. A população composta pelos indivíduos levam em seu código genético, ou seja, os valores de energia a serem comprados nos leilões projetados para um determinado período de planejamento da operação.

A forma de seleção para escolha dos indivíduos da população que deverão gerar novos indivíduos para as próximas gerações é o modo Roleta, onde há um sorteio, que privilegia os indivíduos mais adaptados na sua população, uma vez que se baseia na teoria biológica de que indivíduos mais aptos tende a gerar mais indivíduos passando suas características genéticas o que leva a criação de melhores e mais aptos indivíduos. Já o modo torneio sempre retorna os mesmos indivíduos, impossibilitando uma escolha em toda a população e assim explorando de forma mais simples o espaço de busca.

No caso do Elitismo optou-se por permitir que apenas os dois melhores indivíduos de uma geração passe para a outra geração. Para a Mutação definiu-se que a mesma ocorrerá em apenas 1% da população, ou seja, só permitirá a alteração nessa porcentagem dentro de cada geração.

Os cruzamentos de indivíduos foram fixados em 2, para a partir destes serem gerados um novo indivíduo. O sistema de parada definido é o máximo de 10000 (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 Avaliação) se reproduzem mais e também possuem mais chances de passar os seus genes para a próxima geração, porem devido aos operadores genéticos (mutação e recombinação), os cromossomos dos filhos não são exatamente iguais aos dos seus pais, mas sim levam uma combinação das características dos pais e portanto, espera-se que com a evolução se encontre melhores indivíduos ou seja, melhores soluções para o problema..

Foram criados 3 (três) cenários para a simulação:

1. Cenário Otimista;
2. Cenário Pessimista;
3. Cenário de Referência.

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:

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

A empresa de Distribuição, adotada neste trabalho para estudar e analisar a metodologia, está ficticiamente localizada no Estado de São Paulo. Essa escolha foi adotada devido as fortes variações de afluência do período de 2014-2015, onde os valores de energia elétrica sofreram diferenças consideráveis, e para não dificultar o estudo optou-se por definir uma localização, porém a metodologia e aplicação podem ser executada para qualquer região do país.

A otimização de contratação dos leilões existentes tem como base as regras e penalidades no Decreto 5.163/2004. O período escolhido são referentes aos anos 2016-2021.

Foram simuladas as contratações de energia para os leilões conforme **Tabela 2** :

Tabela 2. Leilão / Ano de Entrega da Energia

Leilão	Qtde	Ano da Compra da Energia	Ano da Entrega da Energia
A - 5	1	2016	2021
A - 3	3	2016 / 2017 / 2018	2019 / 2020 / 2021
A - 1	5	2016 / 2017 / 2018 / 2019 / 2020	2017 / 2018 / 2019 / 2020 / 2021
Ajuste	5	2016 / 2017 / 2018 / 2019 / 2020	2017 / 2018 / 2019 / 2020 / 2021

O Leilão A-5 2016 foi transferido para o dia 29 de abril de 2016 conforme Portaria MME (Ministério de Minas e Energia) 042/2016, conforme dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) o preço Inicial do Produto Disponibilidade será de R\$ 251/MWh para fonte termelétrica a biomassa e carvão; R\$ 290/MWh para fonte termelétrica a gás natural; e de R\$ 223/MWh para eólicas, enquanto o Preço Inicial do Produto Quantidade, para empreendimentos hidrelétricos será de R\$ 227/MWh.

Segue **Tabela 3** atualizada com os valores referentes:

Tabela 3. Projetos cadastrados para o leilão A-5 de 2016

FONTES	POTÊNCIA (MW)	%	QTDE	%
UHE	529	1,11%	6	0,57%
PCH	1.019	2,14%	78	7,39%
Eólica	21.232	44,59%	864	81,90%
UTE	24.838	52,16%	107	10,14%
Biomassa	3.019	6,34%	63	5,97%
Gás Natural	18.741	39,36%	36	3,41%
Carvão	3.056	6,42%	7	0,66%
Biogás	21	0,04%	1	0,09%
TOTAL	47.617	100%	1.055	100%

Para efeito de simulação o valor inicial do Leilão será o mesmo da Energia Eólica que no caso deste leilão representa 81,90% do total da energia ofertada com valor de R\$ 223/MWh.

Vale lembrar que, o VR (Valor Anual de Referência) é importante na estratégia das Distribuidoras, pois nos 3 (três) primeiros anos, esta energia fornecida do contrato podem ter

as suas tarifas repassadas aos consumidores finais. Após o terceiro ano o valor integral do VL (Valor do Leilão) será repassado.

Como citado na Tabela 4 o VR para 2016 tem um valor de R\$ 104,03, mas vale lembrar que o valor de VR para este leilão A - 5 será utilizado o do ano de 2021, data a ser entregue a energia, conforme Tabela 5. O leilão A - 5 é o principal leilão a ser comprada a energia, sendo este onde a compra de energia eficiente é executada, porém como informado, pequenas variações nesta compra podem trazer lucros ou prejuízos para as Distribuidoras.

Porém inicialmente O VR não será incluído nas simulações, onde o principal estudo ainda é a atualização dos dados de compra de energia elétrica para análise da efetividade do uso de ferramentas de modelagem por empresas de Distribuição.

Os valores médios da energia elétrica dos leilões para os anos seguintes até o ano de 2021 serão simulados com ajuste de inflação de 7,44% conforme previsão para 2016 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão em 22/03/2016. (Ministério do Planejamento, 2016)

De posse das informações, elaborou-se a Matriz de Cenário conforme **Tabela 4**:

Tabela 4. Matriz de Cenários – MW-médio

Cenário	Ano					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Otimista	2172	2281	2395	2514	2640	2772
Referência	2119	2225	2336	2453	864	2704
Pessimista	2066	2169	2278	2392	2576	2637

As usinas eólicas geraram 2.119 MW médios no início de Janeiro de 2016 CCEE, utilizando como base este valor, projetando um aumento médio futuro de 5%. O cenário otimista e pessimista adotou-se uma margem estipulada de 2,5%.

No leilão A - 3 o valor futuro é referente a 10 % superior ao contratado no A - 5 e no leilão A - 1 o valor é 25% inferior ao contratado no A - 5 do mesmo ano (Valores apenas de referencia na simulação, conforme **Tabela 5**.

Os valores de MCSD e Energia Existentes foram fixados em 0 (zero), pois como citado a base dos estudos é referente somente aos leilões, porém estas variáveis podem ser estudadas em um estudo futuro. Da mesma forma os Contratos Bilaterais e Energia Existente também foram previamente escolhidos conforme **Tabela 6**.

Tabela 5. Preços de Energia Leilão A - 5 / A - 3 / A - 1 em R\$/MWh

Leilão	Ano					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
A - 5	223	240	257	277	297	319
A - 3	245	263	283	304	326	351
A - 1	167	179	193	207	223	239
Ajuste	142	152	164	176	167	203

Tabela 6. 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, que são utilizados para verificação da sobrecontratação foram criados respeitando a seguinte **Tabela 7** e os limites Inferiores, que são utilizados para verificação da subcontratação foram criados respeitando a seguinte **Tabela 8**.

Tabela 7. Faixa de 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)

Tabela 8. Faixa de 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)

Sabendo-se destes limites os riscos são:

$$RiscoSobre = \Sigma(Limite Inferior - Cenário Pessimista) \quad (1)$$

$$RiscoSub = \Sigma(Cenário Otimista - Limite superior) \quad (2)$$

$$Risco = \Sigma(LucroTarifas + RiscoSobre + RiscoSub) \quad (3)$$

Foram executadas 3 simulações distintas :

- Modelagem 04 (Será detalhado no item 1.4.2);
- Modelagem 09 (Será detalhado no item 1.4.3);
- Modelagem 14 (Será detalhado no item 1.4.4).

Nas 3 rotinas que foram criadas (Modelagem 04, Modelagem 09 e Modelagem 14), apenas foram executadas algumas modificações para diminuir o tempo de retorno da seleção ótima

em cada modelagem estudada, como definições iniciais de variáveis e diminuição no número de laços de repetição dentro de cada função.

As subrotinas do programa servem com entrada dos valores da Matriz de cenários, Matriz de Preços de Energia do Leilão e entrada dos valores de contratos bilaterais e MCSO.

Outra informação importante é que em todas as modelagens, a soma da energia existente e contratos bilaterais são superiores a demanda de referência, causando uma sobrecontratação. Isso é intencional para verificar se o programa consegue retornar aos limites aceitáveis após um erro e possível implementação do software para obter melhores resultados.

Considerando que a demanda total do cenário de referência é 14.413 MW médios os valores a serem contratados caso ocorram cenários de sobre ou subcontratação são respectivamente 14.774 MW médios (102,50%) e 14.053 MW médios (97,50%).

2.1. Caso teste1 - Oportunidade para a Distribuidora Comprar em 4 leilões (Modelagem 04)

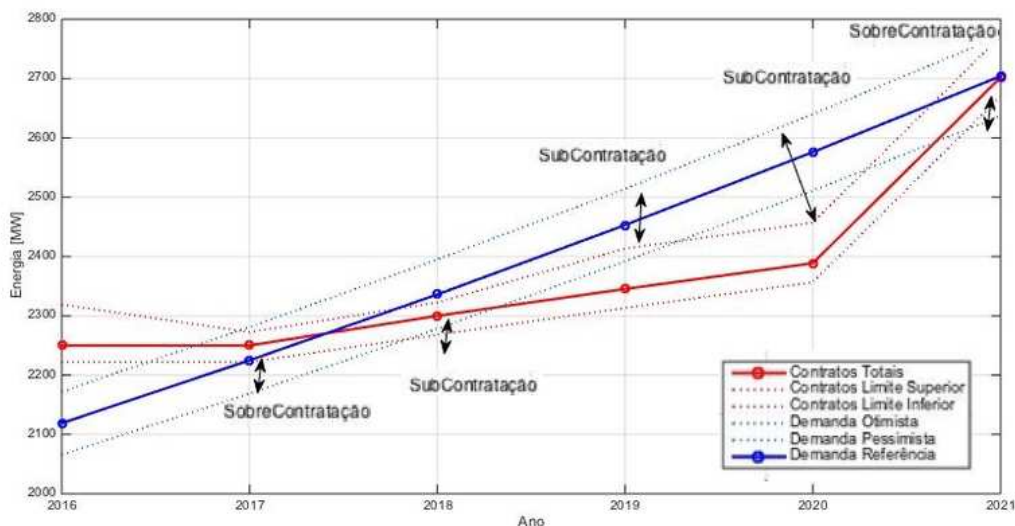
Este nome se dá ao fato do representante de compra da distribuidora ter a oportunidade de 4 (quatro) compras em leilões de energia elétrica. Nesta etapa foram simulados apenas compras nos Leilões A - 5 e A - 3.

O representante poderá comprar em um leilão de energia A- 5 em 2016 para ser entregue em 2021 e mais três leilões A - 3 nos anos de 2016, 2017 e 2018 sendo que essa energia será entregue em 2019, 2020 e 2021 respectivamente.

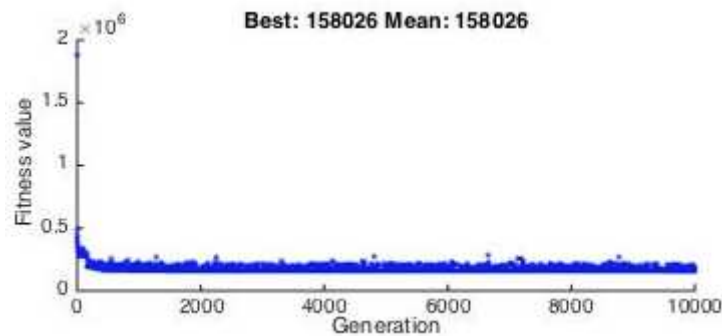
Nesta simulação foram retornados os seguintes valores:

$$x = [286.40, 45.29, 43.38, 26.82]; \quad (4)$$

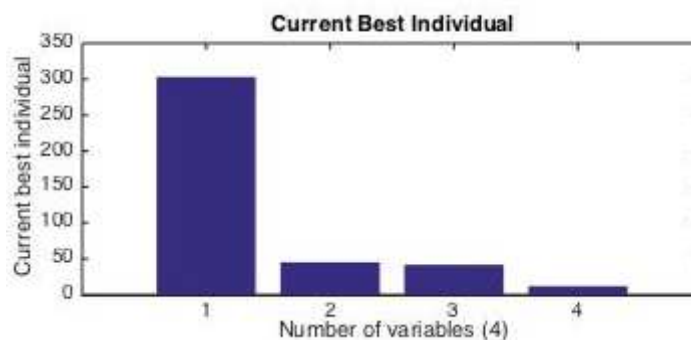
Figura 2. Modelagem 04



Nesta simulação (Figura 2) pode se observar que ocorre uma enorme subcontratação entre os anos de 2019 e 2020. Isso deve-se ao pouco número de leilões em que esta simulação foi condicionada. A seguir (Figura 3) com a distribuição ao longo de toda a geração.

Figura 3. Fitness Value da Modelagem 04

Neste próximo gráfico (**Figura 4**) é possível as informações do melhor indivíduo na simulação para 4 (quatro) leilões selecionados.

Figura 4. Melhor Indivíduo da Modelagem 04

Os valores a serem contratados caso ocorram cenários de sobre ou subcontratação são respectivamente 14.658 MW médios e 14.347 MW médios, correspondendo a 101,70% e 99,54% da Demanda do Cenário de Referência.

O risco total, descontando os lucros e prejuízos das Tarifas (Cálculos sem VR), é de 592 MW médio ou 4,11%.

2.2. **Caso Teste 2 - Oportunidade para a Distribuidora Comprar em 9 leilões (Modelagem 09)**

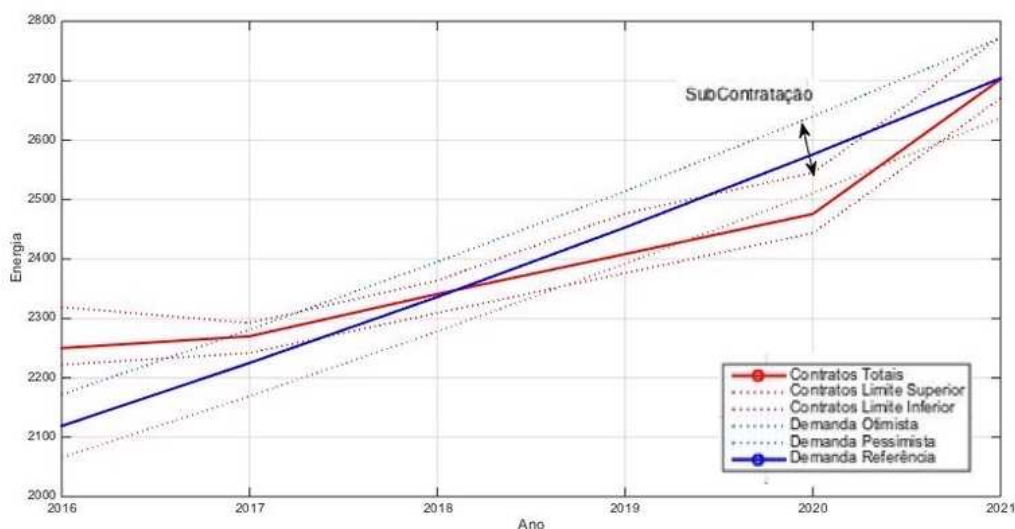
Assim como na modelagem anterior, este nome é devido o representante de compra da distribuidora ter a oportunidade efetuar 9 compras em leilões de energia elétrica. Nesta etapa foram simulados apenas compras nos Leilões A - 5, A - 3 e A - 1.

O representante poderá comprar em 1(um) leilão de energia A- 5 em 2016 para ser entregue em 2021, 3(três) leilões A - 3 nos anos de 2016, 2017 e 2018 sendo que essa energia será entregue em 2019, 2020 e 2021 respectivamente e efetuar a compra em 5 (cinco) leilões de energia A - 1 nos anos de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 sendo que essa energia será entregue em 2021 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021 respectivamente.

Nesta simulação foram retornados os seguintes valores:

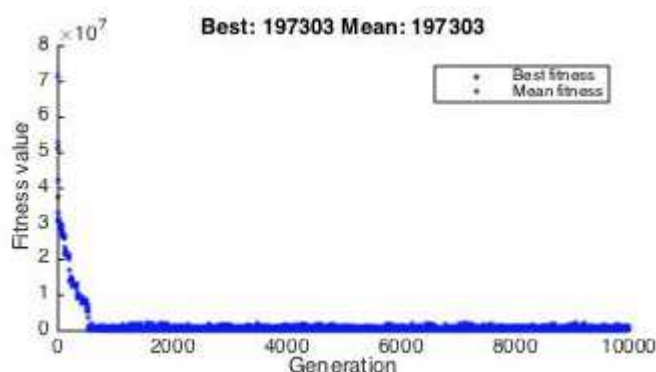
$$x = [225.14, 44.05, 44.43, 1.32, 19.87, 21.17, 23.17, 22.97, 0.36]; \quad (5)$$

Figura 5. Modelagem 09

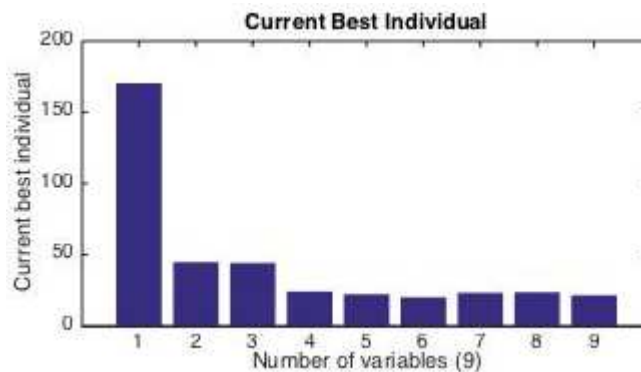


Abaixo a **Figura 6** mostra a distribuição ao longo de toda a geração.

Figura 6. Fitness Value da Modelagem 09



Neste próximo gráfico (**Figura 7**) é possível as informações do melhor indivíduo na simulação para 9 (nove) leilões selecionados.

Figura 7. Melhor Indivíduo da Modelagem 09

Os valores a serem contratados caso ocorram cenários de sobre ou subcontratação são respectivamente 14.642 MW médios e 14.280 MW médios, correspondendo a 101,59% e 99,08% da Demanda do Cenário de Referência. Nesta simulação (**Figura 5**) o risco de sobrecontratação diminuiu, porém elevou o risco de subcontratação, o que pode não ser uma escolha ideal já que futuramente anexando as punições de repasse o prejuízo pode aumentar.

O risco total, descontando os lucros e prejuízos das Tarifas (Cálculos sem VR), é de 362 MW médio ou 2,51%.

2.3. **Caso Teste 3 - Oportunidade para a Distribuidora Comprar em 14 leilões (Modelagem 14)**

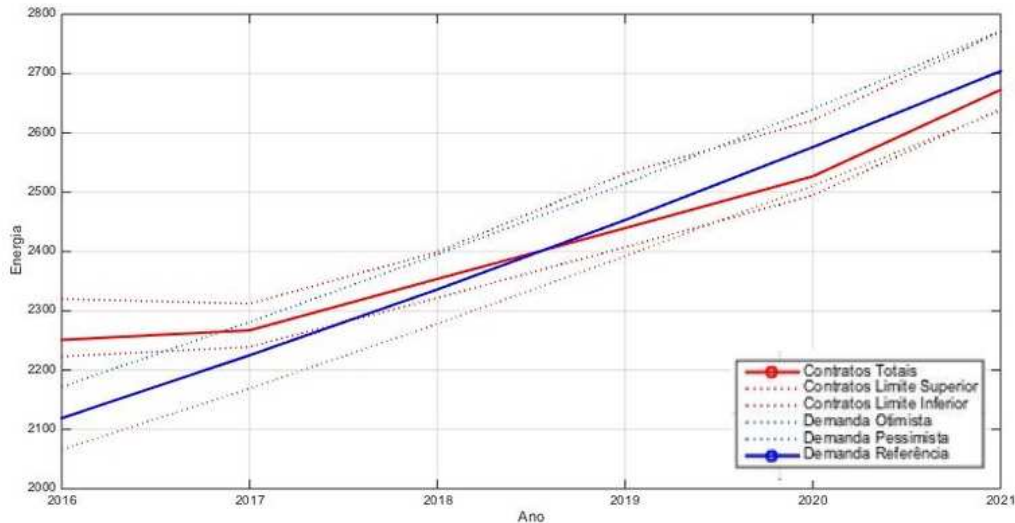
O representante de compra da distribuidora tem a oportunidade efetuar 14 compras em leilões de energia elétrica. Nesta etapa foram simulados todos os leilões possíveis para serem entregues até o ano de 2021.

O representante poderá comprar em 1(um) leilão de energia A- 5 em 2016 para ser entregue em 2021, 3(três) leilões A - 3 nos anos de 2016, 2017 e 2018 sendo que essa energia será entregue em 2019, 2020 e 2021 respectivamente, efetuar a compra em 5 (cinco) leilões de energia A - 1 nos anos de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 sendo que essa energia será entregue em 2021 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021 respectivamente e efetuar a compra em 5 (cinco) leilões de ajuste nos anos de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 sendo que essa energia será entregue em 2021 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021 respectivamente.

Nesta simulação foram retornados os seguintes valores:

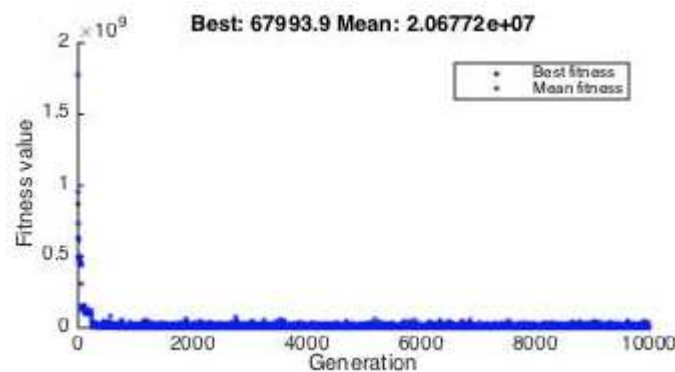
$x=[134.35, 44.84, 43.43, 6.05, 3.79, 18.0, 23.02, 19.74, 2.29, 12.31, 18.65, 17.81, 24.09, 3.20];$ (6)

Figura 8. Modelagem
14

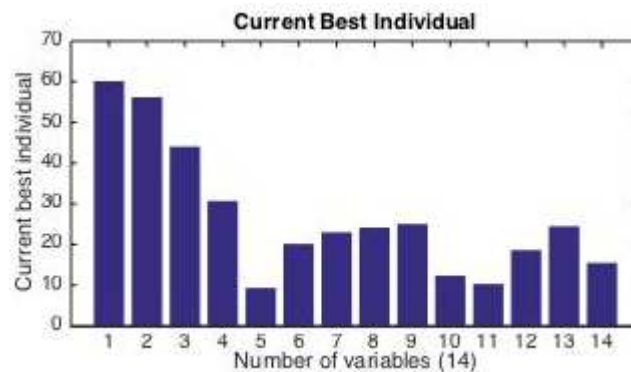


A seguir a **Figura 9** com a distribuição ao longo de toda a geração.

Figura 9. Fitness Value da Modelagem 14



Neste próximo gráfico (**Figura 10**) é possível as informações do melhor indivíduo na simulação para 14 (quatorze) leilões selecionados.

Figura 10. Melhor Indivíduo da Modelagem 14

Os valores a serem contratados caso ocorram cenários de sobre ou subcontratação são respectivamente 14.753 MW médios e 14.412 MW médios, correspondendo a 102,36% e 99,99% da Demanda do Cenário de Referência.

O risco total, descontando os lucros e prejuízos das Tarifas (Cálculos sem VR), é de 341 MW médio ou 2,37%

Nesta simulação (**Figura 8**) o risco de sobrecontratação e subcontratação são menores que as simulações anteriores, o risco de subcontratação praticamente é eliminado ao longo de todo o período (amortizado), isso em boa parte tem participação o número de leilões superior as outras 2 simulações executadas previamente.

3. Conclusão

A atualização dos dados na ferramenta desenvolvida em 2007 (Isael Vieira Dias, 2007) , possibilitou o entendimento das questões técnicas e econômica que envolvem a comercialização de energia elétrica por uma distribuidora já que a ferramenta é utilizada para determinar o montante de energia a ser adquirida em cada ano do leilão baseada na regulamentação estabelecida pelo setor elétrico brasileiro que são fundamentada em questões técnica e econômica. A utilização da técnica de AGs na compra de energia elétrica por uma empresa distribuidora fictícia no estado de São Paulo, demonstrou a potencialidade da ferramenta para ser aplicada em qualquer parte do Brasil desde que devidamente informados os dados referentes ao subsistema que a concessionária pertence.

Infelizmente, ainda não foi possível incluir a implementação do uso do MCSD e VR, para a modelagem ser mais próxima ao cenário real de compra de energia elétrica.

Mas pode ser observado através das simulações que com maior número de leilões se obteve um melhor retorno devido a técnica de inteligência artificial adotada que permite diminuir os erros ao longo do tempo através de uma maior exploração do espaço de busca no qual se insere o problema. Outro fato observado é que o simulador sempre dará preferência a compra de energia nos leilões A - 5 sobre o 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.

Também, pode-se dizer que o estudo realizado proporcionou compreender e concretizar os conceitos envolvido 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 a situações empregadas no setor elétrico.

Finalizando, como trabalho futuro, destaca-se que o estudo desenvolvido explorando a implementação computacional da ferramenta em MATLAB, abre para o grupo de pesquisa do Laboratório de Tecnologias e Soluções Bioinspiradas - LabBITS da UFABC e a possibilidade de desenvolver a implementação da metodologia em Java dentro da plataforma ENER.GIA.

REFERÊNCIAS

ANEEL. *Agência Nacional de Energia Elétrica*. 2015. Acesso em 18 Dez. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>.

CCEE. *Câmara de Comercialização de Energia Elétrica*. 2016. Acesso em 15 Fev. 2016. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/>>.

EPE. *Empresa de Pesquisa Energética*. 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/>>.

ONS. *Operador Nacional do Sistema*. 2015. Acesso em 15 Fev. 2016. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>.

ANEEL. *Resolução Normativa n 109, de 26 de Outubro de 2004 - Institui a Convenção de Comercialização de Energia Elétrica*. 2004. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2004109.pdf>>.

ARGOUD, A. R. T. T.; Filho, E. V. G.; Tiberi, A. J. *Algoritmo genético de agrupamento para formação de módulos de arranjo físico*. Scielo, São Carlos, v. 15, n. 2, p. 1 – 1, Maio 2007. Acesso em 15 Fev. 2016. ASANO, P. T. L. *Aplicação de Inteligencia Artificial no Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Potência*. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2003.

Brasil. *Constituição de 1934*. 1934.

Brasil. Decreto 5.163 de julho de 2004 - *Das regras gerais de comercialização de energia elétrica*. 2004.

Brasil. Decreto 7.521 de 8 julho de 2011 - *Dá nova redação aos arts. 24, 36 e 40 do*

Decreto no 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica e dá outras providências. 2011.

CEPEL. *Centro de Pesquisas de Energia Elétrica*. 2015. Acesso em 19 Dez. 2015. Disponível em: <<http://www.cepel.br/>>.

CUBEROS, F. L. *Novo Modelo Institucional do Setor Elétrico Brasileiro: Análise dos Mecanismos de Mitigação de Riscos de Mercado das Distribuidoras*. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, 2008.

DIAS, I. V. *Estratégia de Gestão de Compra de Energia Elétrica para Distribuidoras no Brasil*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GOLDBERG, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. [S.l.]: Addison-Wesley, 1989.

LACERDA, E. G. M.; CARVALHO, A. C. P. L.; LUDERMIR, T. B. *Um tutorial sobre Algoritmos Genéticos*. *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, v. 9, p. 7 – 39, 2002. Acesso em 18 Dez. 2015.

LEITE, A. D. *A energia do Brasil*. Segunda. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

MEDEIROS, S. C. D. *Inversão de Parâmetros em Dados Sísmicos por Algoritmos Genéticos*. Tese (Doutorado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, Rio de Janeiro, Julho 2006. Acesso em 20 Dez. 2015.

Ministério do Planejamento. *Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão*. 2016. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/>>.

SILVA, L. B. da. *Metodologia para Otimização da Contratação de uma Distribuidora Através de Leilões de Energia*. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Abril 2008.

T.TOLMASQUIM, M. *O Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro*. Segunda. [S.l.]: Synergia, 2015.