

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DE COMPRA DE
ENERGIA ELÉTRICA PARA DISTRIBUIDORAS
NO BRASIL**

ISRAEL VIEIRA DIAS

Curitiba, 2007

ISABEL VIEIRA DIAS

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DE COMPRA DE ENERGIA ELÉTRICA PARA DISTRIBUIDORAS NO BRASIL.

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Elizete Maria Lourenço, Dr.
Co-Orientador: Prof. Alexandre Rasi Aoki, Dr.

CURITIBA
2007

AGRADECIMENTOS

Presto meus sinceros agradecimentos:

A Deus, por ter me concedido força para alcançar mais esta vitória;

À minha esposa Gisele, por seu imenso carinho e compreensão nas horas mais difíceis durante esta jornada;

Aos meus pais, José Vieira Dias e Iracema Cunha Dias, por terem me apoiado nos estudos em todos os momentos da minha vida;

À Professora Doutora Elizete Maria Lourenço pela sua orientação e dedicação, pelos seus ensinamentos, conselhos e palavras de incentivo durante todo o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Professor Doutor Alexandre Rasi Aoki e às Professoras Doutoras Thelma Solange Piazza Fernandes e Patrícia Teixeira Leite, pela imensa ajuda que deram na elaboração desta dissertação, corrigindo, opinando e até mesmo apoiando quando precisei;

Ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) pelo apoio financeiro e pela infra-estrutura concedida para a realização deste trabalho;

Ao Departamento de Operação da CELESC Distribuição S.A., pelo apoio e incentivo na finalização da dissertação;

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu vencesse esta etapa de qualificação profissional.

SUMÁRIO

RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução	1
1.2 O Setor Elétrico Mundial	1
1.3 O Setor Elétrico Brasileiro	3
1.4 Objetivos e Contribuições	5
1.5 Revisão Bibliográfica	6
1.6 Estrutura da Dissertação	17
1.7 Considerações Finais	18
O MODELO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	19
2.1 Introdução	19
2.2 O Setor Elétrico Brasileiro	19
2.2.1 Histórico da Reestruturação do Setor Elétrico	20
2.2.2 Mudanças no Setor Elétrico	21
2.2.3 Instituições do Setor Elétrico Brasileiro	26
2.3 Fundamentos Legais	29
2.3.1 Legislação reguladora da comercialização da energia elétrica	31
2.4 Considerações Finais	38
CONCEITOS BÁSICOS DE OTIMIZAÇÃO	39
3.1 Introdução	39
3.2 Conceitos Básicos de Otimização	39
3.2.1 Técnicas de Otimização	40
3.3 Algoritmos Genéticos	44
3.3.1 Teoria da Evolução das Espécies	45
3.3.2 Seleção Natural e Seleção Artificial	46
3.3.3 Composição dos Algoritmos Genéticos	47
3.4 Considerações Finais	50
METODOLOGIA	51
4.1 Introdução	51
4.2 Metodologia	51

4.2.1. Levantamento de Dados	53
4.2.2. Otimização aplicada à compra de energia	57
4.2.3. Caracterização do Problema.....	57
4.3. Metodologia proposta	60
4.3.1 Algoritmos Genéticos.....	62
4.4 Considerações Finais	67
RESULTADOS	69
5.1 Introdução.....	69
5.2 Resultados.....	69
5.3 Considerações Finais	78
CONCLUSÕES.....	79
6.1 Introdução.....	79
6.2 Resumo de Contribuições.....	79
6.3 Recomendações para Trabalhos Futuros.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
APÊNDICE	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro	26
Figura 2.2 – Margens de contratação para uma distribuidora	31
Figura 3.1 – funcionamento da técnica de seleção por <i>roleta</i>	47
Figura 3.2 – Funcionamento do algoritmo genético utilizado	48
Figura 4.1 – Metodologia adotada para compra de energia	52
Figura 4.2 – Cenários e Estratégia de Menor Risco Financeiro	58
Figura 4.3 – Representação Gráfica do Risco Financeiro	59
Figura 4.4 – Composição da Energia Contratada em uma Distribuidora	61
Figura 4.5 – Leilões simulados x Tipo de energia	63
Figura 4.6 – Codificação do Problema	63
Figura 4.7 – Representação de indivíduo e população	64
Figura 5.1 – Resultado da simulação	73
Figura 5.2 – Indivíduo ótimo considerando leilões de A-5, A-3, A-1 e Ajuste	74
Figura 5.3 – Resultado da simulação para leilões de A-5, A-3, A-1 e Ajuste	74
Figura 5.4 – Indivíduo ótimo considerando leilões de A-5, A-3 e A-1	75
Figura 5.5 – Resultado da simulação para leilões de A-5, A-3 e A-1	75
Figura 5.6 – Indivíduo ótimo considerando leilões de A-5, A-3 e A-1	75
Figura 5.7 – Resultado da simulação para leilões de A-5 e A-3	76
Figura 5.8 – Variação do valor contratado no leilão de A-5	76
Figura 5.9 – Contratação otimizada de energia em leilões A-5 e A-3	77
Figura 5.10 – Contratação otimizada de energia em leilões A-5, A-3 e A-1	77
Figura 5.11 – Contratação otimizada de energia em leilões A-5, A-3, A-1 e Ajuste ..	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Principais Mudanças do Setor Elétrico	26
Tabela 2.2 – Mecanismos para gestão de compra de energia elétrica	30
Tabela 3.1 – Terminologia usada em algoritmos genéticos	49
Tabela 4.1 – Composição da faixa limite superior de contratação	61
Tabela 4.2 – Composição da faixa limite inferior de contratação	61
Tabela 5.1 – Estrutura da Matriz Demanda_contratos_existentes	71
Tabela 5.2 – Matriz Demanda_contratos_existentes	71
Tabela 5.3 – Matriz de Cenários – MW-médio	72
Tabela 5.4 – Preços de energia para A-5, A-3 e A-1 em R\$/MWh.....	73
Tabela 5.5 – Indivíduo ótimo	73

LISTA DE SIGLAS

ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ACL	Ambiente de Contratação Livre
AGs	Algoritmos Genéticos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCEAR	Contrato de Compra de Energia no Ambiente Regulado
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MCSD	Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficit
MME	Ministério das Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PLD	Preço de Liquidação de Diferenças
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
VR	Valor Anual de Referência

RESUMO

O Setor Elétrico Brasileiro implantou, em 2004, um Modelo Institucional, tendo como foco principal a criação de uma estrutura e de um marco regulatório que atraíssem o investimento privado, garantindo a expansão da oferta e do transporte de energia elétrica, aliados à busca pela modicidade tarifária através da instituição dos leilões de energia. Este modelo estabelece que as distribuidoras de energia devem contratar 100% das necessidades do seu mercado cativo nos leilões, impondo limites para o repasse de preço ao consumidor e penalidades em casos de sub ou sobre-contratação. Estas questões aliadas às diversas incertezas que envolvem a definição de estratégias de compra de energia pelas empresas de distribuição, tornam este um problema de difícil solução, indicando a necessidade de mecanismos que auxiliem na definição dessas estratégias.

Devido ao pouco tempo decorrido desde a implantação do novo modelo, há ainda uma escassez de metodologias que permitam e/ou auxiliem essa tomada de decisão que, aliada ainda à falta de uma base de dados confiável para projeção do preço da energia elétrica, têm levado as distribuidoras a adotarem procedimentos empíricos para a compra de energia elétrica.

Este trabalho vem nesse sentido e propõe o uso de Algoritmos Genéticos (AGs) para resolver o problema de gestão de compra de energia, levando em conta informações dos especialistas das concessionárias de energia. A metodologia proposta vem, portanto, no sentido de auxiliar os especialistas na tomada de decisão nos leilões de energia, definindo quanto e quando contratar a energia para atendimento de seu mercado. Testes e simulações foram realizados com dados de uma empresa brasileira de distribuição, apresentando resultados satisfatórios. A técnica adotada demonstrou ser uma ferramenta valiosa no auxílio à tomada de decisão do agente da distribuidora de energia elétrica na hora de informar ao MME sua necessidade futura de energia para o atendimento de seu mercado, obedecendo às regras dos leilões.

ABSTRACT

Since 2004, there is a new institutional model, regulating the Brazilian electrical energy market, which has the following purposes: to build a structure and a regulatory landmark to attract private investments, to warranty the expansion of the transmission and energy offer, and to ensure energy price control through energy auctions. According to this model, energy distribution (retail) companies must contract 100% of its internal market in auctions. The energy costs can be transferred to the consumer prices with regulated limits and the companies are subjected to penalties in case of over or subcontract of energy. These topics, in addition to the uncertainty which involves the energy market, make the strategies to be adopted by the distribution companies to preview the necessary amount of energy a very difficult task, pointing out the need of specific tools to support the definition of the companies' strategy definition.

There is a shortage of methodologies supporting distribution companies' decision, since the new model has been recently implanted. There is also an absence of a reliable data base to project future energy price. The distribution companies are being induced to adopt experimental procedures to define the energy amount to be contracted.

This work uses Genetic Algorithms to find the best amount of energy buy, taking into account the specialists experiences. The proposed methodology main goal is to build a tool able to give support to the companies to define *when* and *how much* energy has to be contracted to satisfy its market. Test simulations were conducted using real data of a Brazilian company showing satisfactory results. The technique adopted in this work showed to be efficient on optimizing the amount of energy to be bought in auctions, considering the auctions' rules.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Na última década, o Setor Elétrico Brasileiro sofreu diversas alterações até chegar ao modelo vigente. As mudanças no Setor Elétrico Brasileiro (SEB), introduzidas com a regulamentação do Novo Modelo em 2004, objetivaram, principalmente, atrair o investimento privado, a fim de garantir a expansão da oferta e do transporte de energia elétrica necessárias, aliada a busca pela modicidade tarifária para os consumidores regulados, através da instituição dos leilões de energia elétrica.

Nesse novo modelo, também destacou-se a necessidade das distribuidoras estabelecerem estratégias para auxílio na determinação de seus montantes de energia que precisam ser contratados, através dos leilões, para atendimento futuro de seus consumidores.

Este trabalho vem no sentido de apresentar as principais mudanças e regras do SEB e propor estratégias para a contratação de energia elétrica pelas distribuidoras nos Leilões de energia.

1.2 O Setor Elétrico Mundial

O setor elétrico mundial assistiu nas últimas décadas a grandes transformações regulatórias. Estas reformas aconteceram em diversos países em resposta aos sinais de desgastes dos modelos vigente surgidos, principalmente, na década de 70. O ponto comum dessas mudanças foi que todas visavam diminuir a intervenção estatal, aumentar a participação de agentes privados e introduzir as leis de mercado no setor elétrico.

Historicamente, o setor de energia elétrica sempre esteve sob controle do Estado, devido ao seu papel fundamental de infra-estrutura nas áreas sócio-econômicas de um país. O governo, como planejador central, fazia a previsão de demanda, estipulava o cronograma da expansão da oferta e fazia os investimentos de ampliação da capacidade instalada de geração e transmissão. O planejamento centralizado tinha então importância fundamental para assegurar um ritmo de expansão de oferta que garantisse o suprimento da demanda.

A partir dos anos oitenta surgiram as primeiras pressões pela reestruturação do setor elétrico. Esta mudança de paradigmas pode ser entendida como o produto da combinação de idéias políticas e de novas tecnologias que surgiram nessa época. No plano ideológico, iniciava-se a implantação das políticas liberais da era Reagan-Tatcher. A crise econômica e os novos parâmetros de produtividade e rentabilidade estabelecidos pela revolução tecnológica levaram os EUA e Inglaterra, no início dos anos 80, a liderarem o movimento de uma nova política econômica, com Estado mínimo, desregulamentação da economia e privatizações em diversos setores.

As teorias de livre mercado foram aplicadas também ao setor elétrico, as quais deveriam ser suficientes para levar à eficiência econômica e garantir novos investimentos para expansão do setor elétrico. O surgimento das centrais termoelétricas a ciclo combinado foi a principal novidade tecnológica que apoiava estas novas teorias de livre mercado aplicadas ao setor. O tempo de construção reduzido dessas termoelétricas (cerca de 2 a 3 anos) e o custo competitivo de sua energia mostraram que o planejador central já não era mais considerado imprescindível ao setor elétrico.

Após as reformas, problemas de suprimento ocorridos a partir dos anos 90 sinalizaram que o livre mercado poderia não ser suficiente para manter a eficiência da operação e expansão do setor elétrico. Estes problemas aconteceram principalmente nos países em desenvolvimento, porém o problema de maior repercussão ocorreu no estado da Califórnia, EUA. Desde então, o tema de expansão planejada e segurança de suprimento voltaram às discussões. O antigo modelo estatal foi considerado ultrapassado, não estimulando a eficiência para o sistema. Por outro lado, o setor regido pelas regras de mercado não trouxe a segurança de suprimento esperada.

Diante dos problemas surgidos após a descentralização do planejamento do setor elétrico em diversas partes do mundo, muitos países iniciaram um processo de ajustes em sua regulamentação, buscando, por um lado, manter os aspectos positivos da introdução de maior competição e abertura com as primeiras reformas, porém fazendo mudanças para corrigir as falhas ocorridas e que resultaram nas crises de suprimento.

1.3 O Setor Elétrico Brasileiro

A reforma do setor elétrico brasileiro iniciou-se em 1995, seguindo a fórmula desestatizante adotada por diversos países, concebida para estimular a entrada de investimentos privados e a competição entre os agentes. Foram feitas privatizações de grande parte das distribuidoras e da expansão da rede de transmissão. Devido a pressões políticas o processo de privatização das companhias de geração foi interrompido. No entanto, os agentes privados tiveram grande participação nas licitações de concessões para construção de novas usinas. Nesta reforma foram criados o Operador Nacional do Sistema (ONS) e o Mercado Atacadista de Energia (MAE), ambiente onde ocorriam as transações de compra e venda de energia elétrica nos sistemas interligados, regido por um acordo de mercado entre os participantes.

Em dezembro de 2003, o Governo Federal, através do Ministério de Minas e Energia (MME), publicou o documento “Modelo Institucional do Setor Elétrico” propondo uma nova estruturação do Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Esta proposta, aprovada em março de 2004 e regulamentada pelo Decreto 5.163 de julho do mesmo ano, tem o objetivo principal de atrair o investimento privado, a fim de garantir a expansão da oferta e do transporte de energia elétrica necessárias, aliada a busca pela modicidade tarifária para os consumidores regulados, através da instituição dos leilões de energia elétrica.

Dessa forma, a fim de criar condições favoráveis para atrair os investimentos, o Novo Modelo segmenta, do ponto de vista de comercialização de energia, o Setor Elétrico em dois ambientes, o primeiro, denominado Ambiente de Contratação Regulada (ACR), que abrange todo o consumo cativo e o segundo, chamado Ambiente de Contratação Livre (ACL), que representa a parcela do

consumo dos Consumidores Livres. As distribuidoras de energia, que trabalham no ACR, devem fazer a previsão de carga de seus consumidores e, em conjunto, indicar a necessidade de compra de energia para atender sua demanda futura. O MME, juntamente com os agentes privados, oferecem os projetos para as novas usinas que atenderão a demanda das distribuidoras nos leilões. Os agentes vencedores do leilão (cujo critério é o mínimo custo) recebem, simultaneamente, a concessão de construção das novas usinas e um contrato de venda com as distribuidoras.

A fim de atender a premissa da modicidade tarifária, a forma de contratação de energia no ACR é basicamente através de leilões regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e executados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), salvo a opção de contratação de geração distribuída.

O modelo institucional do setor elétrico desenvolvido pelo MME dispõe ainda, que as Distribuidoras, Consumidores Livres, Autoprodutores e Vendedores devem declarar ao Ministério de Minas e Energia, até 1º de agosto de cada ano, as previsões de seus mercados ou cargas para os cinco anos subseqüentes, a partir de 2005. Nesse modelo as distribuidoras devem contratar 100% de seu mercado nos leilões e não podem mais repassar integralmente o custo da energia adquirida no curto prazo, podendo ser penalizadas com multas elevadas por não terem energia contratada suficiente que atenda a todos os seus consumidores. Assim, caso estejam sobrecontratadas, a penalização é resultante do não repasse integral dos custos de aquisição da energia (montante). Por outro lado, se houver subcontratação, além do possível prejuízo devido ao não repasse integral dos custos da energia (preço) adquirida no mercado *spot*, há penalização por cada MWh não contratado.

À medida que o novo modelo do setor elétrico vem se consolidando e os leilões de energia vêm sendo realizados percebe-se a necessidade de mecanismos que auxiliem na definição das estratégias de compra de energia por parte das distribuidoras. Com o objetivo de atender esta necessidade este propõe um modelo que utiliza Inteligência Artificial e a experiência dos especialistas das concessionárias.

1.4 Objetivos e Contribuições

Esta dissertação pretende apresentar os estudos referentes às estratégias que as distribuidoras de energia elétrica podem adotar para definir os valores de demanda de energia a contratar nos leilões promovidos no ambiente de contratação regulado (ACR) e desenvolver uma metodologia que contemple as regras impostas pela legislação e auxilie os especialistas das distribuidoras na tomada de decisões.

Desta forma, é possível simular o processo de contratação das distribuidoras e, com os resultados, realizar análises do impacto das novas regras do atual modelo do SEB na alocação dos riscos para as distribuidoras.

A metodologia proposta permite inferir os valores de energia a ser contratada pelas distribuidoras em leilões públicos, indicando a melhor estratégia para a compra. Os mecanismos disponíveis para gestão da compra que são considerados no modelo e nessa dissertação são os leilões de “A-5”, “A-3”, “A-1” e “Ajuste”. Geração Distribuída, contratação do montante de reposição e devolução de energia foram considerados parâmetros fixos, não havendo nenhuma otimização na obtenção de seus respectivos valores.

Essa metodologia emprega a técnica de Inteligência Artificial baseada em Algoritmos Genéticos (AGs), para definir o montante de energia a ser comprado pela distribuidora em cada modalidade de leilão de energia.

As principais contribuições da dissertação são:

- Desenvolvimento de uma metodologia para gestão de compra de energia elétrica que auxilie a tomada de decisão sob incertezas na comercialização de energia elétrica no Brasil;
- Minimização dos riscos financeiros (prejuízos) de exposição envolvidos nas operações de compra de energia, através da modelagem das penalidades impostas pela legislação vigente referentes a sobrecontratação ou subcontratação por parte das agências distribuidoras, que não podem ser repassados às tarifas de seus consumidores;
- Utilização de conceitos de otimização multiobjetivo, através da técnica de Inteligência Artificial baseada em Algoritmos Genéticos, para a obtenção de uma possível solução ótima do problema;
-

1.5 Revisão Bibliográfica

Nesta seção serão apresentados os resumos dos artigos técnicos estudados que possuem características similares do problema abordado, envolvendo riscos sob incertezas e estratégias para leilões de energia com utilização de técnicas de otimização para solucionar o problema em questão.

Segundo AZEVEDO, VALE e ALMEIDA DO VALE (2003), o *pool*, em vários países, foi adotado pelos participantes do mercado de energia para comercializar energia elétrica baseado em cada meia hora ou uma hora do próximo dia. Entretanto, como nos mercados tradicionais, os agentes do mercado elétrico estão atualmente expostos a volatilidade do preço de mercado. Em alguns países, para encarar este problema e para tornar o mercado mais líquido, os mercados derivativos – futuros e opções – foram incentivados a negociar produtos como energia elétrica como um ativo básico. Neste contexto, existe uma necessidade de ferramentas de suporte à decisão para auxiliar estes agentes para o uso de mercados de derivativos com o objetivo de praticar a minimização de riscos. Neste artigo é apresentado um modelo de decisão que auxilia geradores a estabelecer contratos com o objetivo de maximizar os resultados.

A separação entre produto (energia) e serviços (transporte e distribuição) é a característica fundamental da recente desregulamentação do setor elétrico. A volatilidade do preço da energia elétrica nos mercados *spot* é, dentre os riscos no mercado liberalizado, uma das maiores preocupações dos agentes do mercado de energia e em particular para os produtores.

O artigo aponta também as causas da volatilidade do preço da energia, que são as características de carga (vinculadas a sazonalidade diária, semanal e mensal, mudanças climáticas e crescimento estocástico da carga) e as características do gerador (vinculadas a tecnologia utilizada na geração de energia, disponibilidade de geradores, preço do combustível, restrições técnicas e importação/exportação).

A fim de se evitar a volatilidade dos preços de energia, é necessária a construção de instrumentos de segurança, tais como contratos de longo prazo e os derivativos. A fim de se saber gerenciar esses instrumentos, propõe-se ferramenta

de suporte de decisão, que auxilia na escolha dos contratos que maximizem o benefício.

Inicialmente, fez-se um resumo dos derivativos mais conhecidos:

- **Contrato a termo (*Forwad*):** É um contrato de compra ou venda de um ativo numa data futura por um determinado preço. Uma das partes do contrato a termo assume em comprar um ativo em uma data específica por certo preço. A contraparte concorda em entregar o ativo na mesma data pelo preço acordado.
- **Contrato Futuro:** Diferentemente dos contratos a termo que especifica uma única data de entrega do contrato, nos contratos futuros há um período de entrega, que pode englobar vários dias.
- **Contratos de opções:** Este tipo de contrato se diferencia dos outros por reter um certo grau de flexibilidade sobre as entregas futuras. A opção é um instrumento financeiro que dá ao titular, ou comprador um direito futuro sobre algo, mas não uma obrigação. Neste caso, o vendedor possui uma obrigação futura, somente se for solicitado pelo comprador do contrato. O comprador paga em data presente o prêmio, que é a remuneração do vendedor por ter assumido o risco de tomar determinada posição no mercado em data futura.

Um processo de decisão que visa maximizar o resultado é apresentado considerando uma quantidade de cenários para o preço marginal do sistema para o período em questão e associando-os a uma probabilidade baseada em estudos estatísticos ou baseada na opinião de um especialista. O processo de decisão apresenta para um período de tempo programado, a determinação das quantidades ótimas de energia a serem negociadas nos mercados financeiros e a previsão de energia a ser negociada no mercado *spot*, em função de contratos previamente estabelecidos, com o objetivo de maximizar o lucro.

Um dos maiores problemas na escolha dos derivativos é a previsão do custo marginal para um certo período i . O modelo proposto pelo artigo formula um problema de otimização que determina as quantidades de energia a serem negociadas no mercado *spot* em função dos derivativos contratados. O objetivo da formulação é maximizar o lucro de um determinado gerador para s cenários diferentes. Ou seja, quer se maximizar o lucro que é igual ao valor total de venda menos o custo total de produção do gerador. As restrições do problema são que o

valor total transacionado por período não pode estar fora da capacidade máxima e mínima de geração. O problema é resolvido por algoritmo genético e fornece as quantidades por período de cada tipo de contrato considerado.

Assim, esse artigo apresenta um sistema de suporte à decisão que permite dar assistência aos agentes de mercado e em particular a produtores de energia na prática da minimização de riscos, utilizando contratos futuros e de opções. Este suporte a decisão permite considerar a existência de contratos previamente estabelecidos e fornece aos geradores importantes informações para auxiliá-los em suas decisões. O artigo demonstra que contratos futuros e de opções são ferramentas poderosas para minimizar o risco aos quais estes geradores de energia elétrica estão expostos através da volatilidade do preço de energia no mercado spot e que ferramentas de suporte a decisão adequadas os permite aumentar seus resultados.

Em LO e WU (2003), é apresentada uma análise de risco através da incerteza de previsão de demanda local. O objetivo é destacar períodos de alto risco sobre diferentes períodos de tempo e valor diário de risco através da previsão de erros de carga. Um número de previsões de cargas foi simulado e a previsão de carga é baseada em modelos ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average* – médias móveis integradas auto-regressivas) e estruturas ANN (*Artificial Neural Networks* – redes neurais artificiais). Com os resíduos da previsão de carga, indexações de risco são formadas para diferentes períodos de tempo e estações climáticas. Uma nova metodologia utilizando os desvios padrões de incremento de carga na avaliação do risco é proposta. Em contraste com o método padrão de previsão de carga que considera um procedimento de previsão sofisticado, esta nova abordagem fornece uma útil e rápida maneira de avaliar o risco através da incerteza de previsão de carga para uma variedade de características de demanda local.

Segundo LO e WU (2003) o mercado de eletricidade do Reino Unido está completamente aberto à competição desde que o mercado abaixo de 100 kW foi desregulamentado em setembro de 1998. Todos os consumidores comerciais, industriais e residenciais podem escolher seus fornecedores de eletricidade. Além disso, em 27 de março de 2001 foi criada a NETA (*New Electricity Trading Arrangements*), substituindo o *pool* na Inglaterra e País de Gales e estabelecendo

oportunidades para vendas por atacado de energia. A implementação da NETA impôs novos desafios para as atividades do negócio de fornecimento de energia de estabelecimento, negociação e gerenciamento de risco. Atualmente o mercado de fornecimento de energia é um negócio do tipo *commodity* extremamente resistente, de alto risco e baixas margens. Os riscos típicos que as indústrias de fornecimento de energia enfrentam são: riscos de erro de previsão de carga, riscos de equipamento, riscos de falhas na transmissão, riscos de retorno financeiro e os riscos inerentes aos contratos. Dentre todos os riscos, um fator chave é a incerteza de previsão de carga.

Dentro deste novo contexto cada fornecedor de energia deve oferecer sua carga prevista ao operador do sistema, pagar multas e taxas devido à desbalanceamentos de carga. Então, munidos das informações de análise de risco dos erros de previsão de carga, fornecedores privados podem entender melhor suas exposições ao risco em contratos de energia em diferentes períodos de tempo, identificando mecanismos para minimizar estes riscos e implementar estes mecanismos. Diferentes tipos de contratos podem ser utilizados durante diferentes períodos. Para avaliar o risco através da previsão de demanda, a STLF (*short-term electrical load forecast* – previsão de carga de curto prazo) tem ganhado importância ultimamente com o crescimento da competitividade do mercado de energia. Entretanto a previsão de carga é uma tarefa difícil porque a série de cargas não é estacionária e possui diversos tipos de sazonalidade. Nos últimos 40 anos diversos tipos de modelos de previsão foram tentados. Estes métodos podem ser classificados em duas categorias: abordagens clássicas como o ARIMA e modelos baseados em inteligência artificial. Nesse artigo são utilizados modelos ARIMA e técnicas ANN para prever demandas de eletricidade.

De acordo com a análise estatística feita por LO e WU (2003), aparentemente não existe uma correlação forte entre a demanda local e o clima para a amostra de dados analisada. Além disso, a previsão de demandas locais é mais difícil do que a demanda do sistema, especialmente em pequenas áreas. Propôs-se uma metodologia para análise de risco baseada no cálculo do desvio padrão dos incrementos de carga como um indexador de risco da incerteza de previsão de carga.

O trabalho de ZANFELICE e BARBOSA (2004) propõe uma metodologia baseada na determinação da alocação das quantidades contratadas e das metas de contratação de energia a menor custo possível explorando as flexibilidades dos contratos diante das oportunidades de ganho em função do preço de curto prazo.

A metodologia proposta nesse artigo tem como objetivo principal a alocação ótima das quantidades de energia de contratos existentes e a definição das opções de leilões e quantidades relacionadas que minimizam a despesa total de compra de energia de empresas distribuidoras ou grupo de empresas em um horizonte definido. Para tanto é baseada nos seguintes princípios:

- **Implementação das regras de mercado:** são representadas todas as Regras de Mercado pertinentes à contratação de energia, como por exemplo, sazonalização e modulação de Contratos Iniciais e Itaipu, bem como as penalidades por insuficiência de lastro de contratação;
- **Leilões de Compra de Energia:** são modeladas todas as opções de leilões, limites e prazos segundo a legislação vigente;
- **Discretização dos resultados mensais por patamar:** os resultados são discretizados mensalmente por patamar a fim de que possam ser exploradas todas as flexibilidades de sazonalização e modulação constante dos contratos.

Além disso, a metodologia proposta por ZANFELICE e BARBOSA (2004) prevê a simulação de mais de uma empresa, quer seja outra Distribuidora, Comercializadora ou Geradora, a fim de obter o ponto ótimo global de Grupos Empresariais que possuam mais de uma empresa operando no Setor Elétrico.

A formulação do modelo é descrita, sendo que a função objetivo pode ser formulada como uma simples minimização da despesa total de compra de energia de uma distribuidora como também o ponto ótimo de comercialização de um Grupo de empresas que possuem relacionamentos comerciais entre si. Dessa forma, a finalidade principal da metodologia proposta é reduzir ao máximo a despesa referente a contratos de partes não relacionadas e potencializar os ganhos internos do grupo explorando as flexibilidades dos contratos e os ganhos possíveis no MAE através da alocação de sobras de energia nos patamares de maior preço em detrimento de déficits em patamares de menor preço.

Por fim, é apresentado um estudo de caso considerando uma empresa Distribuidora com um requisito anual de aproximadamente 37.000 GWh e os resultados das simulações.

Como abordado em CORREIA, LANZOTTI e SILVA (2003), leilões são mecanismos dinâmicos e eficientes utilizados na comercialização de bens em mercados complexos, principalmente quando não existe uma referência estável de preço. Podem ser definidos como um método formal para alocar recurso baseado na competição, onde vendedor e comprador buscam o maior benefício possível.

Nesse artigo são apresentados os principais tipos de leilões, suas formulações, formas de aplicação no setor elétrico e algumas das estratégias gerais usadas em leilões. Segundo os autores, no setor elétrico pode-se identificar vários ambientes de aplicação de leilões. São eles: leilões de empreendimentos, mercado de contratos bilaterais, mercado *spot* e o antigo mercado de cotas.

O mecanismo de leilão é utilizado para que os agentes do setor elétrico possam ter uma idéia do preço da energia elétrica, no caso de sua aplicação em mercados, ou do preço de concessões, no caso dos leilões de empreendimentos, sendo um mecanismo justo e eficiente de fixação de preços. É um mecanismo econômico responsável por sinalizar ao mercado o preço de um bem cujo valor seja de difícil determinação.

A minimização do risco para um determinado nível de retorno pode ainda ser influenciada por meio de diversificação, seguro (*hedging*) ou obtenção de informações adicionais. O *hedging* é uma operação comum em bolsas, porém pode ser realizada em operações na empresa. Para isto, é preciso que o agente interessado contrate os serviços de um banco ou uma seguradora.

Já o tema da dissertação de mestrado de SILVA (2003) é a comparação de dois modelos de leilão de energia elétrica através de simulações matemático-computacionais a partir de dados dos leilões de Certificados de Direito de Uso de Redução de Meta de Racionamento realizados entre junho de 2001 e fevereiro de 2002. Um modelo pressupõe que o objetivo do leilão é maximizar os excedentes financeiros dos participantes. O outro modelo é a proposta de um leilão cujo objetivo principal é maximizar a quantidade de energia negociada. O objetivo desse trabalho é responder questões como: quais são as características que diferem um leilão do

outro? Quais aplicações o leilão proposto têm no setor elétrico? Para tanto, é feito um breve relato das motivações para aplicação de leilões ao setor elétrico brasileiro; são apresentados os modelos de leilões aplicados à comercialização de energia elétrica no Brasil, o mecanismo de funcionamento e as aplicações verificadas; são apresentadas as argumentações de alguns autores em teoria dos leilões a respeito das características do leilão; os modelos são apresentados; um modelo tem como objetivo gerar o máximo de excedentes financeiro para os agentes, maximizando o chamado benefício social do leilão. O outro modelo procura fazer com que a máxima quantidade de energia seja negociada entre os agentes, priorizando a realização de negócios.

O modelo computacional utilizado para realizar o sorteio e a simulação dos leilões possui características que ARAÚJO (1988) enumera como qualidades desejáveis de um bom modelo. O modelo é pouco agregado, ou seja, possui poucos limitantes para as simulações de diferentes situações. O modelo possui flexibilidade de simulações a partir de comandos simples e permite estudo com várias formas de preço de fechamento. O modelo computacional é transparente, ou seja, a sintaxe e a forma como está estruturado permite total inteligibilidade de um usuário desde que afeto aos comandos básicos do software.

No decorrer dos estudos que convergiram nesta dissertação, percebe-se que existem temas bastante explorados, porém ainda em aberto. Teoria dos leilões é uma linha de pesquisa recente, algumas discussões não apresentam resultados conclusivos, por exemplo, os efeitos do uso de preço de fechamento uniforme ou discriminatório (MOUNT, 1999 e WOLFRAM, 1999).

A dissertação de CASTRO, M. A. L (2004) analisa os riscos que uma distribuidora estaria exposta ao prever seu mercado com antecedência de cinco anos, face às variações no comportamento das diversas classes de consumo, e às incertezas dos preços da energia nos leilões.

Para mensurar tais riscos, o autor utiliza Simulação de Monte Carlo, que consiste na utilização de procedimentos estocásticos para gerar diversos cenários possíveis para a variável em estudo, e os riscos são determinados por meio de análise da sua distribuição de probabilidade. O autor apresenta os conceitos de risco e incerteza, assim com algumas ferramentas utilizadas para realizar a análise

dos riscos associados às operações financeiras de empresas, destacando-se o *Value at Risk* e a Simulação de Monte Carlo.

Para estimar os riscos que a distribuidora estará exposta nas operações de contratação de energia antecipadamente, considerando as incertezas quanto à realização de seu mercado, bem como no preço de energia referenciados aos anos de 2009, 2010 e 2011, o autor simulou sete possibilidades de compra de energia para atendimento do mercado da distribuidora, denominando-os de casos 1 a 7.

Algumas alternativas de contratação consideraram sobra de energia, já outras optaram pela falta. A lógica da construção dos casos foi efetuar o maior volume de compra de energia nos primeiros leilões, quando devem ocorrer os menores preços.

Para cada caso estudado, foram gerados 1000 cenários por meio da variação das incertezas no mercado previsto para 2009 a 2011 e no preço futuro de compra de energia. Em seguida foi realizada análise de sensibilidade nos resultados.

Com o objetivo de escolher a melhor opção de contratação de energia, dentre os sete casos simulados, utilizaram-se os critérios Maxmin, Maxmax e o método de Hurwicz para auxiliar a tomada de decisão.

Com base nos resultados obtidos, o autor infere que as novas regras de contratação de energia penalizarão fortemente as distribuidoras que optarem pela subcontratação, além de proporcionar situações de ganhos para as distribuidoras nos casos de sobrecontratação. Dessa forma, as empresas tenderão a contratar montantes de energia superiores às reais necessidades de seus mercados cativos.

Também o autor salienta que criou-se um ambiente de incertezas sobre a estabilidade regulatória a médio e longo prazos, em virtude do elevado grau de intervencionismo do Estado no mercado de energia elétrica, o que poderá afetar o nível de investimento dos agentes privados no SEB.

AZEVEDO (2004), em sua dissertação de mestrado, estuda a competição entre os agentes que atuam no setor elétrico brasileiro, mais especificamente nos leilões de contratos bilaterais.

Desde que iniciou-se o processo de inserção da competição de mercado no setor elétrico brasileiro, muitas mudanças foram propostas e algumas

implementadas, porém a premissa de que a competição entre os agentes é necessária está sempre presente.

Os agentes do SEB encontram-se em constante adaptação às regras que formalizam a competição, porém no que diz respeito à competição intrínseca ao processo de realização dos leilões nada muda.

Neste ponto uma das principais ferramentas disponíveis é a Teoria dos Jogos. O conceito chave da Teoria dos Jogos é o equilíbrio, que pode ser atingido de forma mais ou menos trivial, dependendo das circunstâncias do jogo.

O autor afirma que não existe uma ferramenta que determine um lance ótimo em leilões de energia elétrica com informação incompleta, dado que a princípio um agente não tem informação certa de qual será o lance do outro. Porém existe a possibilidade de que modelos computacionais auxiliem o agente no momento da definição do seu lance. Desta forma, um dos frutos desse trabalho foi o desenvolvimento de um modelo computacional baseado na Teoria dos Jogos não cooperativos de informação incompleta. Esse modelo analisa as informações e expectativas de um agente e informa qual a melhor estratégia correspondente àquilo que ele acredita e sabe. Sua finalidade é auxiliar os agentes do setor nos leilões de energia elétrica de contratos bilaterais que ocorrem no Brasil, agregando informação. O acréscimo de informação para todos os agentes do mercado concorre para a diminuição do excedente e o aumento da liquidez nos leilões.

MUNHOZ (2004) teve como foco a análise de dois leilões: o de venda e o de compra de energia elétrica, ambos organizados pelo MAE. No leilão de venda a energia elétrica leiloadada é referente à liberação dos contratos iniciais formatados antes da introdução do mercado concorrencial. O leilão de compra é caracterizado por negociar contratos de curto prazo.

Para ambos, a metodologia desenvolvida foi conduzida do ponto de vista de um vendedor de energia elétrica. Entretanto, como os dois leilões são simétricos, um agente comprador pode adotar a mesma metodologia.

Tanto o leilão de venda como o de compra é duplo e com participantes identificados. Para um vendedor o leilão de venda é fechado, ou seja, ele entrega suas ofertas em envelopes lacrados. O leilão de compra, por sua vez, é aberto e com preços descendentes. Utilizando a teoria dos jogos pode-se então definir que, para um vendedor, os dois leilões estão enquadrados no conceito de jogos não-

cooperativos de informação incompleta. Entretanto, o leilão de venda é um jogo estratégico e o leilão de compra, um jogo dinâmico.

Técnicas de otimização foram utilizadas para a modelagem dos dois leilões. O uso dessas técnicas promove um modelo mais flexível já que ele possui facilidade em inserir e retirar restrições. Para o vendedor fixar os lances no leilão de venda é utilizada a programação não-linear quadrática e para fixar os lances no leilão de compra, programação inteira.

A função objetivo do modelo de fixação de lances pelo vendedor no leilão de venda é a minimização do risco dado um retorno fixado pelo vendedor. A formulação é baseada na teoria do portfólio e emprega o modelo da Mínima Variância de Markowitz.

Os parâmetros que o vendedor deve inserir no modelo do leilão de venda são a probabilidade de acontecer cada cenário e o retorno esperado para cada tipo de produto caso ocorra o referido cenário. O tipo de produto é caracterizado, basicamente, por duas variáveis: prazo de duração e submercado de entrega da energia. Fixando esses parâmetros o modelo calcula a matriz de covariância e correlação, que mostra como os produtos interagem entre si, ou seja, como um produto influi no comportamento do outro em um dado período. O resultado final desse modelo é uma alocação ótima de lances nos diversos tipos de produtos de maneira que o risco do vendedor seja minimizado dado um retorno fixado por ele.

O modelo de fixação de lances no leilão de compra tem como função objetivo a maximização do lucro do vendedor. Os parâmetros que o vendedor deve inserir no modelo são a quantidade de energia que ele deseja negociar no leilão e o preço mínimo pelo qual ele está disposto a vender essa energia para cada produto.

Como esse leilão é aberto para o lado do vendedor, este pode migrar seus lances de um produto para o outro caso seja financeiramente melhor. O resultado do modelo é uma alocação ótima de lances nos produtos, de forma que o lucro do vendedor no leilão seja maximizado.

As duas metodologias desenvolvidas servem como subsídio à tomada de decisão do agente vendedor de energia elétrica nas negociações dos contratos bilaterais. Sua modelagem foi configurada de acordo com as regras de cada leilão e sua formulação desenvolvida de forma a tornar o modelo seguro e flexível.

CASTRO, R (2004) propõe um método de suporte a decisões de investimento em ativos de curto prazo de retorno, de contratação e de avaliação de portfólio de ativos de energia elétrica na comercialização em atacado no Brasil.

A metodologia apresentada utiliza processo estatístico para estimativa do preço da energia no mercado de curto prazo, através do qual se constrói cenários de preços futuros. As probabilidades associadas a cada cenário de preço definem a função densidade de probabilidade para os resultados financeiros esperados pelos agentes, os quais estão associados às suas decisões e conseqüentes tomadas de posição diante do mercado. A aversão que o agente apresenta diante do risco é caracterizada a partir da aplicação de conceitos de otimização multiobjetivo e a determinação aproximada de soluções eficientes do problema definem o processo de suporte a decisões para o agente.

Um estudo de caso ilustra a aplicação da metodologia na definição da melhor alternativa de contratação de energia para um agente de distribuição em horizonte de dois anos.

GUIMARÃES (2006) desenvolveu uma ferramenta para solução do problema de otimização da compra de energia das distribuidoras utilizando a representação em árvore dos cenários de demanda. A metodologia de solução empregada é otimização estocástica multi-estágio, levando em consideração, principalmente, os diversos horizontes de contratação e preços de energia, visando minimizar uma ponderação entre tarifa para consumidor e custos para distribuidora.

O autor compara as penalidades para três leilões de energia elétrica: 1º leilão de energia existente (EE1), 2º leilão de energia existente (EE2) e leilão de energia nova (EN) e conclui que o estabelecimento de uma contratação baseada em apenas um cenário de demanda deixa a distribuidora desprotegida em relação a diferentes realizações de demanda, em geral propensa à subcontratação caso tenha seguido cenários de baixo crescimento de consumo, e à sobrecontratação caso tenha seguido cenário de alto crescimento. Observou-se também que fazendo uma contratação baseando-se no cenário de crescimento médio de demanda (de maior probabilidade) não se atinge o menor valor esperado por penalidades de sub/sobrecontratação quando se simula a realização de diversos cenários de demanda.

O autor também destaca que há uma forte sinalização para se evitar a subcontratação que a sobrecontratação. A assimetria de penalidades entre sub e sobre contratação torna a decisão de contratação ainda mais complexa, reforçando a necessidade de se buscar modelos computacionais de otimização estocástica que auxiliem nessa tarefa.

SUSTERAS (2006) faz uma rápida incursão pela história recente do Setor Elétrico, iniciando pelas reformas propostas no âmbito do projeto Re-seb na tentativa de implementar um modelo de mercado chegando até o modelo em implantação. Também apresenta as relações contratuais, comerciais e demais características do modelo em implantação, detalhando os pontos mais importantes da regulamentação para o estudo sobre o comportamento das distribuidoras no sentido de balizar a estratégia das geradoras na comercialização de energia elétrica.

O autor comenta a teoria envolvida com o método de solução escolhido – algoritmos genéticos, e logo após, apresenta o modelo de otimização proposto com suas variáveis de entrada e saída, suas características de desempenho, bem como são feitos dois estudos de caso: um deles considerando uma distribuidora típica, comparando os resultados com aqueles informados ao MME, de modo a validar o modelo e, o outro, considerando uma distribuidora fictícia agregando todo o mercado brasileiro e que, de fato, guiará a tomada de decisões por parte da empresa geradora.

Finalmente, apresenta as conclusões e recomendações do trabalho, verificando a eficácia dos incentivos contidos na regulamentação, isto é, se as distribuidoras são levadas a tomarem decisões conforme a expectativa do MME.

Por ser o trabalho que mais se assemelha ao tema dessa dissertação, em outro momento será discutido e comparado.

1.6 Estrutura da Dissertação

O Capítulo 2 inicia com a apresentação mais detalhada do panorama do setor elétrico seguida do resumo dos principais documentos que regulamentam o setor elétrico e os ambientes de comercialização definidos pelo o mesmo. No

capítulo 3 são apresentados conceitos básicos de otimização e as características gerais da técnica de Algoritmos Genéticos e sua aplicabilidade no problema da gestão de compra de energia.

No capítulo 4 é descrita a metodologia proposta para a elaboração da estratégia de gestão de compra de energia para distribuidoras no Brasil e uma descrição dos principais trabalhos que abordam o assunto em questão. No mesmo é detalhada a formulação do problema de otimização da compra de energia das distribuidoras com a explicação de todas as restrições relativas aos mecanismos de incentivos e penalidades. Também é apresentada a função objetivo que visa minimizar os riscos financeiros da distribuidora.

A descrição dos parâmetros de entrada e saída da ferramenta computacional desenvolvida com a técnica de Algoritmos Genéticos é apresentada no capítulo 5, juntamente com o detalhamento dos principais parâmetros de controle utilizados em Algoritmos Genéticos. Também são discutidos no mesmo diversos casos de simulação e comparação com as demais referências.

Finalmente, o capítulo 6 apresenta as conclusões da dissertação e sugestões para trabalhos futuros sobre o tema abordado.

1.7 Considerações Finais

Este capítulo apresentou uma revisão dos trabalhos que propõem técnicas para resolução do problema da gestão de compra de energia elétrica pelas distribuidoras em leilões públicos de energia.

Pode-se observar que o tema é relativamente novo, sendo motivos de diversas pesquisas e de grande interesse para as distribuidoras, uma vez que um erro na compra de energia pode levá-la a um enorme prejuízo, sem garantia de repasse do mesmo aos consumidores.

CAPÍTULO II

O MODELO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

2.1 Introdução

Para uma melhor compreensão da metodologia proposta neste trabalho, este capítulo apresenta um panorama geral do setor elétrico brasileiro. Inicia-se por um histórico que relata as diversas mudanças que vêm ocorrendo no SEB. São apresentados os agentes institucionais e definidos termos usuais para a comercialização de energia elétrica. O ambiente de contratação regulado para comercialização de energia elétrica no Brasil é caracterizado e seus mecanismos apresentados. Também é apresentado o embasamento legal que regulamenta o setor elétrico em forma de leis, decretos e resoluções.

2.2 O Setor Elétrico Brasileiro

Durante os anos de 2003 e 2004 o Governo Federal lançou as bases de um novo modelo para o Setor Elétrico Brasileiro, sustentado pelas Leis nº 10.847 e 10.848, de 15 de março de 2004; e pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

Em termos institucionais, o novo modelo definiu a criação de uma entidade responsável pelo planejamento do setor elétrico a longo prazo, denominada Empresa de Pesquisa Energética – EPE, uma instituição com a função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE, e uma instituição para dar continuidade às atividades do Mercado Atacadista de Energia, MAE, relativas à comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado, denominada Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE.

Outras alterações importantes incluem a definição do exercício do Poder Concedente ao Ministério de Minas e Energia (MME) e a ampliação da autonomia do ONS. Em relação à comercialização de energia, foram instituídos dois ambientes para celebração de contratos de compra e venda de energia: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), do qual participam Agentes de Geração e de Distribuição de energia; e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), do qual participam Agentes de Geração, Comercializadores, Importadores e Exportadores de energia e Consumidores Livres.

O novo modelo do setor elétrico visa atingir três objetivos principais:

- Garantir a segurança do suprimento de energia elétrica;
- Promover a modicidade tarifária;
- Promover a inserção social no Setor Elétrico Brasileiro, em particular pelos programas de universalização de atendimento.

O modelo prevê um conjunto de medidas a serem observadas pelos Agentes, como a exigência de contratação de totalidade da demanda por parte das distribuidoras e dos consumidores livres, nova metodologia de cálculo do lastro para venda de geração, contratação de usinas hidrelétricas e termelétricas em proporções que assegurem melhor equilíbrio entre garantia e custo de suprimento, bem como o monitoramento permanente da continuidade e da segurança de suprimento, visando detectar desequilíbrios conjunturais entre oferta e demanda.

Em termos de modicidade tarifária, o modelo prevê a compra de energia elétrica pelas distribuidoras no ambiente regulado por meio de leilões – observado o critério de menor tarifa, objetivando a redução do custo de aquisição da energia elétrica a ser repassada para a tarifa dos consumidores cativos.

A inserção social busca promover a universalização do acesso e do uso do serviço de energia elétrica, criando condições para que os benefícios da eletricidade sejam disponibilizados aos cidadãos que ainda não contam com esse serviço, e garantir subsídio para os consumidores de baixa renda, de tal forma que estes possam arcar com os custos de seu consumo de energia elétrica.

2.2.1 Histórico da Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro

A reforma do Setor Elétrico Brasileiro começou em 1993 com a Lei nº 8.631, que extinguiu a equalização tarifária vigente e criou os contratos de suprimento

entre geradores e distribuidores, e foi marcada pela promulgação da Lei nº 9.074 de 1995, que criou o Produtor Independente de Energia e o conceito de Consumidor Livre.

Em 1996 foi implantado o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (Projeto RE-SEB), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia. As principais conclusões do projeto foram: *a)* a necessidade de implementar a desverticalização das empresas de energia elétrica, ou seja, dividi-las nos segmentos de geração, transmissão e distribuição; *b)* incentivar a competição nos segmentos de geração e comercialização; e *c)* manter sob regulação os setores de distribuição e transmissão de energia elétrica, considerados como monopólios naturais, sob regulação do Estado.

Foi também identificada a necessidade de criação de um órgão regulador, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, de um operador para o sistema elétrico nacional, Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, e de um ambiente para a realização das transações de compra e venda de energia elétrica, o Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE.

Concluído em agosto de 1998, o Projeto RE-SEB definiu o arcabouço conceitual e institucional do modelo a ser implantado no Setor Elétrico Brasileiro.

Em 2001, o setor elétrico sofreu uma grave crise de abastecimento que culminou em um plano de racionamento de energia elétrica. Esse acontecimento gerou uma série de questionamentos sobre os rumos que o setor elétrico estava trilhando. Visando adequar o modelo em implantação, foi instituído em 2002 o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico, cujo trabalho resultou em um conjunto de propostas de alterações no setor elétrico brasileiro.

Durante os anos de 2003 e 2004 o Governo Federal lançou as bases de um novo modelo para o Setor Elétrico Brasileiro, sustentado pelas Leis nº 10.847 e 10.848, de 15 de março de 2004 e pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Em termos institucionais, o novo modelo definiu a criação da EPE, do CMSE e da CCEE, conforme discutido nos primeiros parágrafos da Seção 2.2.

2.2.2 Mudanças no Setor Elétrico

Tendo em vista a importância central da energia para o processo de desenvolvimento econômico, o Estado interferiu desde muito cedo na oferta para

que ela se expandisse de acordo com as necessidades de consumo (RODRIGUES, 2006). Nessa atividade, onde a economia de escala tende a impor grandes monopólios como forma de organização econômica mais eficiente, o Estado interferiu para que o preço cobrado pela energia não fosse prejudicial ao consumidor e para que os grandes grupos econômicos não se aproveitassem do fato que a energia é um bem essencial a qualquer atividade econômica e social para fixarem preços muito acima dos custos reais.

Esse papel preponderante do Estado tendeu a reduzir-se desde o final da década de 70, quando os países desenvolvidos tomaram uma série de iniciativas para abrir seus mercados de energia à concorrência de novos produtores. Tal mudança é relativamente compreensível para esses países dado o estágio de desenvolvimento de suas economias, nas quais o consumo de energia cresce abaixo do produto e porque o progresso técnico, visível, sobretudo no setor de geração elétrica, abre a possibilidade para entrada de novos produtores. Ainda assim, mais recentemente as reformas de abertura do mercado e de privatizações do setor elétrico mostraram suas limitações em vários desses países desenvolvidos devido à incapacidade do setor privado em realizar os investimentos necessários para a expansão da oferta. Com efeito, embora o consumo de energia primária cresça relativamente pouco nesses países, aproximadamente 1,4% ao ano, o mesmo não acontece com o de energia elétrica, que tem crescimento superior de 2,1% ao ano (MACHADO, 2002).

Houve, também, a adoção dessas reformas por países em desenvolvimento. De maneira geral, as privatizações foram guiadas por necessidades alheias ao setor energético, a principal sendo a de atrair investimentos estrangeiros diretos para fechar as contas do Balanço de Pagamentos. O capital estrangeiro que adquiriu a maior parte das empresas estatais buscava, sobretudo, a valorização de ativos financeiros. Os problemas de instabilidade de taxa de câmbio, enfrentados pelas moedas desses países, logo tornou demasiadamente arriscado esse tipo de aplicação. Em decorrência, os ganhos, para os países em desenvolvimento, em termos de ampliação da capacidade de investimento e da oferta foram muito limitados e insuficientes para fazer frente às necessidades de expansão da demanda. As necessidades de expansão da oferta são muito mais amplas nesses países, em termos relativos, do que nos países desenvolvidos. Ademais, os governos dos países em

desenvolvimento perderam, em função das privatizações realizadas na década passada, o controle sobre importantes instrumentos de política energética, industrial e social. A tentativa de substituir a coordenação direta do Estado, realizada através das empresas estatais, pela indireta, da regulação e dos contratos foi mal sucedida.

No Brasil, com as privatizações e a assinatura de novos contratos de concessão, o poder de barganha das empresas energéticas privadas aumentou, conduzindo à fixação de tarifas mais elevadas e tolhendo o Estado de um importante instrumento de indução de outras atividades econômicas. As estatais exerciam, também, um importante papel de induzir, através do seu poder de compra, o desenvolvimento da indústria local de equipamentos e de serviços de engenharia. A tentativa foi de substituir a política industrial direta das estatais, realizada através do seu poder de compra, por mecanismos regulatórios.

As transformações sofridas pelo setor elétrico brasileiro na década de 90 motivaram o surgimento de teorias e técnicas de planejamento que buscaram equacionar riscos e incertezas. Antes, com o setor dominado por empresas estatais, partia-se do pressuposto de que o risco não era grande problema porque os eventuais prejuízos eram socializados. Diante do novo cenário, os empresários, para simular a reação de seus competidores, investiram pesado em técnicas para equacionar riscos e incertezas (TOMALSQUIM, 2000).

Hoje, o Estado busca retomar o papel central das decisões no setor elétrico. Não se trata de uma volta ao passado, mas a busca da melhor forma de intervenção do Estado no setor por meio de políticas energéticas adequadas, regulação e planejamento. Os ganhos do novo modelo advêm sobretudo da maior flexibilidade que ele proporciona à gestão das estatais, inclusive para se associar com o setor privado. Essa parceria pode ocorrer desde o nível produtivo, passando pelo financeiro e chegando ao tecnológico. A associação entre empresas em diferentes tipos de arranjos é uma característica distintiva da atual fase do capitalismo porque permite aumentar o potencial de inovação das empresas e a sua capacidade de adaptação a contextos instáveis. No caso do setor público, essa maior flexibilidade permitiu aumentar a capacidade de investimento das empresas estatais quando estas enfrentavam grandes limitações orçamentárias internas impostas pelo governo federal.

O desafio consiste em encontrar para o setor energético um equilíbrio saudável entre a flexibilidade do mercado e a capacidade de coordenação do

Estado na consecução dos objetivos de consolidação do processo de desenvolvimento. O setor privado tanto nacional quanto estrangeiro não apresenta uma grande capacidade de mobilização de investimentos produtivos, sendo uma das razões principais a sua inerente expectativa de rápido retorno financeiro. O setor energético, principalmente na condição brasileira de petróleos difíceis e predomínio hidroelétrico, requer horizontes de investimento mais amplos e taxas de retorno inicialmente mais baixas. Além de que o repasse do custo ao consumidor não se configura em uma estratégia adequada para o país por dificultar o desenvolvimento de outros setores. Essas observações mostram que o novo arranjo entre Estado e mercado deve de qualquer forma, num país com a demanda energética em forte expansão, prever uma presença importante do primeiro.

O processo de reestruturação institucional do setor elétrico brasileiro iniciado em 2004 procurou assegurar os investimentos necessários para a expansão da oferta e assegurar que o setor fosse economicamente eficiente (SILVA, J.C.B., 2002). Para tanto, foram adotados dois princípios básicos:

- O estabelecimento da competição nos segmentos de geração e comercialização para consumidores livres;
- O estabelecimento de monopólios regulados nas atividades de transmissão, distribuição e comercialização para consumidores regulados.

Em suma, toda a legislação que hoje norteia o sistema brasileiro configura uma tendência à competição na medida em que o separou em quatro partes, quais sejam, geração, transmissão, distribuição e comercialização, definindo, claramente, que a geração e a comercialização estão abertas à concorrência. Já a transmissão e distribuição possuem preços regulados, ou seja, um “aluguel” da rede estabelecido para o “deslocamento” da energia de um gerador para um consumidor. A legislação, igualmente, obriga aos proprietários das redes de transmissão e de distribuição a permitirem que novos entrantes as utilizem, ao preço dos respectivos “aluguéis”. Assim, qualquer produtor de excedentes injetáveis na rede poderá introduzi-los na rede seja para atender um consumidor próximo ou para vendê-los à própria concessionária.

Um dos principais desafios enfrentados na implementação de reformas no setor elétrico tem sido a coexistência de setores regulados e competitivos, a qual requer a adoção de algumas medidas, dentre as quais se destacam: a regulação por incentivos dos segmentos de monopólio natural através de ações que

estimulem a eficiência e modicidades dos preços dos segmentos regulados; e a defesa da concorrência através de regulação de conduta e da estrutura. A primeira visa coibir o exercício de poder de mercado e a segunda promover o livre acesso às redes de transmissão e distribuição, de forma a permitir efetivamente a competição na geração e comercialização. O livre acesso é garantido pela separação entre as atividades de geração, transmissão e comercialização.

As discussões apresentadas nesse capítulo sobre as principais mudanças entre os modelos pré-existentes e o modelo atual, que acabaram por resultar em transformações nas atividades de alguns agentes do setor, estão resumidas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Principais Mudanças do Setor Elétrico

Modelo Antigo (até 1995)	Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)	Novo Modelo (2004)
Financiamento através de recursos públicos	Financiamento através de recursos públicos e privados	Financiamento através de recursos públicos e privados
Empresas verticalizadas	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação.
Empresas predominantemente Estatais	Abertura e ênfase na privatização das Empresas	Convivência entre Empresas Estatais e Privadas
Monopólios - Competição inexistente	Competição na geração e comercialização	Competição na geração e comercialização
Consumidores Cativos	Consumidores Livres e Cativos	Consumidores Livres e Cativos
Tarifas reguladas em todos os segmentos	Preços livremente negociados na geração e comercialização	No ambiente livre: Preços livremente negociados na geração e comercialização. No ambiente regulado: leilão e licitação pela menor tarifa

Tabela 2.1 – Principais Mudanças do Setor Elétrico - Continuação

Modelo Antigo (até 1995)	Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)	Novo Modelo (2004)
Mercado Regulado	Mercado Livre	Convivência entre Mercados Livre e Regulado
Planejamento Determinativo - Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS)	Planejamento Indicativo pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)	Planejamento pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE)
Contratação: 100% do Mercado	Contratação : 85% do mercado (até agosto/2003) e 95% mercado (até dez./2004)	Contratação: 100% do mercado + reserva
Sobras/déficits do balanço energético rateados entre compradores	Sobras/déficits do balanço energético liquidados no MAE	Sobras/déficits do balanço energético liquidados na CCEE. Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits (MCSD) para as Distribuidoras.

Fonte: CCEE

2.2.3 Instituições do Setor Elétrico Brasileiro

O novo modelo do Setor Elétrico Brasileiro criou novas instituições e alterou funções de algumas instituições já existentes. A estrutura atual do setor é ilustrada pela Figura 2.1, apresentada a seguir.

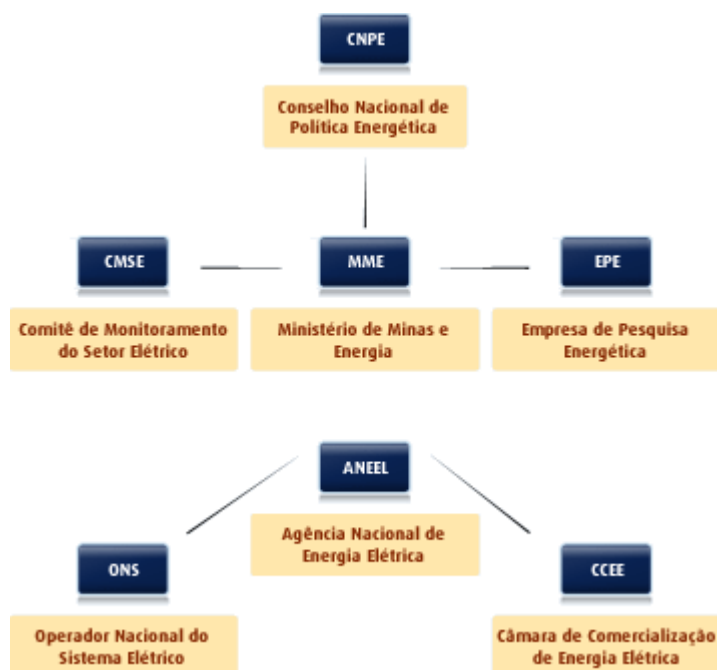


Figura 2.1 – Estrutura do Setor Elétrico Brasileiro

As funções de cada uma das entidades citadas na Figura 2.1 são descritas na seqüência.

O Conselho Nacional de Política Energética, CNPE, é um órgão interministerial de assessoramento à Presidência da República, tendo como principais atribuições formular políticas e diretrizes de energia e assegurar o suprimento de insumos energéticos às áreas mais remotas ou de difícil acesso país.

É também responsável por revisar periodicamente as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do país, estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso do gás natural, do álcool, de outras biomassas, do carvão e da energia termonuclear, além de estabelecer diretrizes para a importação e exportação de petróleo e gás natural.

O Ministério de Minas e Energia, MME, é o órgão do Governo Federal responsável pela condução das políticas energéticas do país. Suas principais obrigações incluem a formulação e implementação de políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes definidas pelo CNPE. O MME é responsável por estabelecer o planejamento do setor energético nacional, monitorar a segurança do suprimento do Setor Elétrico Brasileiro e definir ações preventivas para restauração da segurança de suprimento no caso de desequilíbrios conjunturais entre oferta e demanda de energia.

Instituída pela Lei nº 10.847/04 e criada pelo Decreto nº 5.184/04, a Empresa de Pesquisa Energética, EPE, é uma empresa vinculada ao MME, cuja finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Suas principais atribuições incluem a realização de estudos e projeções da matriz energética brasileira, execução de estudos que propiciem o planejamento integrado de recursos energéticos, desenvolvimento de estudos que propiciem o planejamento de expansão da geração e da transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazos, realização de análises de viabilidade técnico-econômica e sócio-ambiental de usinas, bem como a obtenção da licença ambiental prévia para aproveitamentos hidrelétricos e de transmissão de energia elétrica.

O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico, CMSE, é um órgão criado no âmbito do MME, sob sua coordenação direta, com a função de acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o território nacional. Suas principais atribuições incluem: acompanhar o desenvolvimento das

atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica; avaliar as condições de abastecimento e de atendimento; realizar periodicamente a análise integrada de segurança de abastecimento e de atendimento; identificar dificuldades e obstáculos que afetem a regularidade e a segurança de abastecimento e expansão do setor e elaborar propostas para ajustes e ações preventivas que possam restaurar a segurança no abastecimento e no atendimento elétrico.

A Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, foi instituída pela Lei nº 9.247/96 e constituída pelo Decreto nº 2.335/97, com as atribuições de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, zelando pela qualidade dos serviços prestados, pela universalização do atendimento e pelo estabelecimento das tarifas para os consumidores finais, sempre preservando a viabilidade econômica e financeira dos Agentes e da indústria. As alterações promovidas em 2004 pelo novo modelo do setor estabeleceram como responsabilidade da ANEEL, direta ou indiretamente, a promoção de licitações na modalidade de leilão, para a contratação de energia elétrica pelos Agentes de Distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN).

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, CCEE, instituída pela Lei nº 10.848/04 e criada pelo Decreto nº 5.177/04, absorveu as funções do MAE e suas estruturas organizacionais e operacionais. Entre suas principais obrigações estão: a apuração do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), utilizado para valorar as transações realizadas no mercado de curto prazo; a realização da contabilização dos montantes de energia elétrica comercializados; a liquidação financeira dos valores decorrentes das operações de compra e venda de energia elétrica realizadas no mercado de curto prazo e a realização de leilões de compra e venda de energia no ACR, por delegação da ANEEL.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico, ONS, foi criado pela Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e regulamentado pelo Decreto nº 2.655, de 2 de julho de 1998, com as alterações do Decreto nº 5.081, de 14 de maio de 2004, para operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no SIN, e administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil.

Tem como objetivo principal, atender os requisitos de carga, otimizar custos e garantir a confiabilidade do sistema, definindo ainda, as condições de acesso à malha de transmissão em alta-tensão do país.

2.3 Fundamentos Legais

Atualmente as empresas distribuidoras de energia elétrica estão sujeitas a riscos referentes ao repasse de preço e montante de energia adquirida para revenda aos consumidores. O Novo Modelo do setor elétrico determina a obrigatoriedade de contratação de 100% do mercado para atendimento do mercado cativo, bem como limites para o repasse de preço. As distribuidoras não podem mais repassar integralmente o custo da energia adquirida no curto prazo e podem ter de pagar multas elevadas por não ter a energia contratada suficiente para atendimento de todos os seus consumidores.

A exposição da distribuidora por sobrecontratação é definida com base nos valores de contratos firmados entre a distribuidora e geradores fornecedores, sendo que valores em até 3% acima do previsto para a carga num determinado ano podem ser repassados à tarifa dos consumidores sem maiores problemas, como ilustrada na Tabela 2.2.

Caso a distribuidora ainda esteja exposta por sobrecontratação, há duas possibilidades para minimizar esta exposição: a primeira delas é a obrigatoriedade do uso do Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits, MCSD, onde as sobras de energia contratadas pela distribuidora e declaradas como disponíveis ao MCSD, devem ser repassadas àquelas distribuidoras que não alcançaram os 100% de cobertura de seu mercado. Não há limites para o valor a ser declarado como sobra para o MCSD, desde que seja observada a legislação que regulamenta o mesmo. A segunda possibilidade de minimizar a exposição por sobrecontratação, precedida pelo MCSD, é a devolução de 4% do montante contratado pela distribuidora para adaptar-se aos desvios de mercado em virtude de erros nas previsões de carga da distribuidora. Essa devolução é feita somente com os contratos de energia existente, o que evita a exposição do investidor dos novos empreendimentos de geração.

A única possibilidade, muito remota, dessa devolução atingir os contratos de energia nova, ou seja, de alcançar os contratos de A-5, é que haja uma fortíssima retração na demanda de energia, de forma que mesmo com a devolução de todos os contratos de energia existente ainda não seja suficiente para cobrir esta retração de carga da distribuidora.

A exposição da distribuidora por subcontratação, ilustrada também na Tabela 2.2, pode ser coberta através dos seguintes mecanismos: leilão A-3, leilão A-1, leilão de Ajuste, MCSD e contratação do montante de reposição. É possível observar que o MCSD funciona como mecanismo de minimização de exposição tanto para sobrecontratação quanto para subcontratação, dada a condição de que quando sobre energia numa distribuidora falte em outra para ocorrer a troca. Os leilões A-3, A-1 e Ajuste serão discutidos posteriormente.

Tabela 2.2 – Mecanismos para gestão de compra de energia elétrica

RISCOS	VALOR	MECANISMOS
Exposição por Sobrecontratação	Até 103% do mercado	Repasse de custos de aquisição para o consumidor final
	Sem limites	MCSD – Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits (Ex-Ante e Ex-Post)
		Redução do CCEAR pela saída de consumidores potencialmente livres (precedido do MCSD)
Até 4% do CCEAR (energia existente)	Redução do CCEAR, a critério da distribuidora, de até 4% do montante contratado para adaptar-se aos desvios do mercado face às projeções de demanda (precedido do MCSD)	
Exposição por Subcontratação	Até 2% da carga verificada em A-5	Leilão A-3
	Até 1% da carga verificada em A-2	Leilão A-1
	Até 105% do Montante de reposição	Montante de Reposição
	Até 1% da carga da distribuidora	Leilão de Ajuste
	Sem limites	MCSD – Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits (Ex-Ante e Ex-Post)

Caso a distribuidora esteja sobrecontratada a penalização será resultante do não repasse integral dos custos de aquisição da energia (montante). Por outro lado, se houver subcontratação, além do possível prejuízo devido ao não repasse integral dos custos da energia (preço) adquirida no mercado spot, haverá penalização por cada MWh não contratado, de acordo com o documento da CCEE *Regras de Comercialização Penalidades – Insuficiência de Cobertura de Consumo*. A Figura 2.2 apresentada a seguir ilustra um resumo dos casos de sobre e subcontratação.

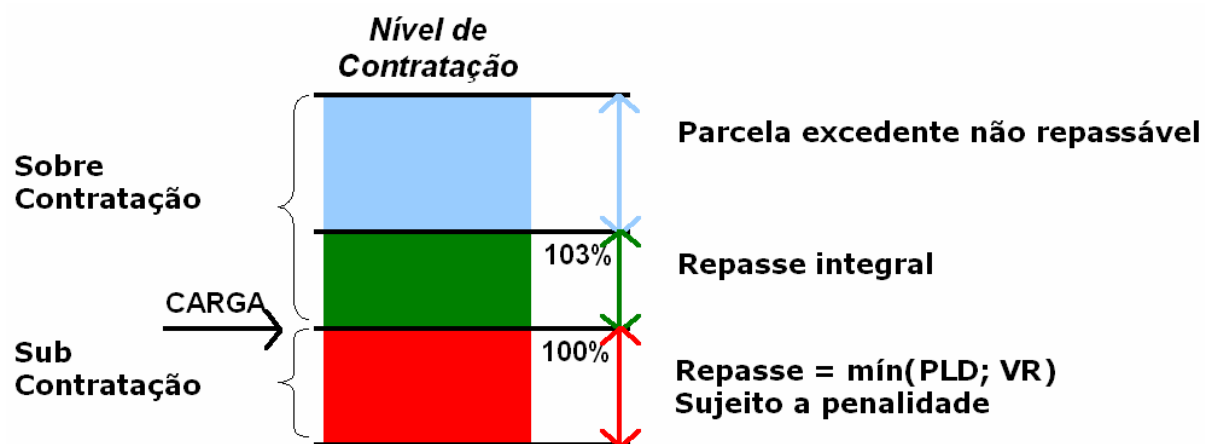


Figura 2.2 – Margens de contratação para uma distribuidora.

Dados os principais limites impostos pela legislação é necessário se estudar variáveis complexas, tais como, afluências, cenários de preços spot, riscos associados, entre outros, com base em teorias econômicas e técnicas de Inteligência Artificial, através de conceitos financeiros e estatísticos visando a obtenção do melhor custo-benefício de uma operação, auxiliando a tomada de decisões. A seguir serão detalhados os principais documentos que dão sustentação legal ao novo modelo do setor elétrico brasileiro e as regras de contratação de energia para as distribuidoras que participam do ambiente regulado de comercialização de energia elétrica.

2.3.1 Legislação reguladora da comercialização da energia elétrica

Dada a enorme complexidade e grande número de instituições atuantes, o Setor Elétrico é regido por uma série de instrumentos normativos. No anexo A são apresentados os principais documentos que fazem parte da regulamentação do setor.

Os documentos balizadores que definem as regras e limites para a comercialização de energia no novo modelo do setor elétrico para o ambiente de contratação regulada são a Lei 10.848/2004 e o Decreto 5163/2004.

Nesses documentos estão previstos alguns tipos de leilões, tais como Leilão A-5, Leilão A-3, Leilão A-1 e Leilão de Ajuste, a serem descritos ainda nessa seção. Antes disso faz-se necessário apresentar algumas definições utilizadas:

(i) Ano-base “A”: o ano de previsão para o início do suprimento da energia elétrica adquirida pelos agentes de distribuição por meio dos leilões.

(ii) Ano “A-1”: o ano anterior ao ano-base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica proveniente de empreendimentos existentes.

(iii) Ano “A-3”: o terceiro ano anterior ao ano-base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos.

(iv) Ano “A-5”: o quinto ano anterior ao ano-base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos.

De acordo com a legislação vigente, os agentes de distribuição devem garantir, a partir de 1º de janeiro de 2005, o atendimento de 100% de seus mercados de energia e potência por intermédio de contratos. Para tanto, eles tem as seguintes alternativas de contratação:

- Sem leilão:
 - Energia contratada até 16 de março de 2004;
 - Energia proveniente de:
 - Geração distribuída;
 - Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA; e
 - Itaipu Binacional.
- Com leilão (parcela que deve ser otimizada):
 - Compra de energia nova nos Leilões “A-5” e “A-3”;
 - Compra de energia existente no Leilão “A-1”; e
 - Compra de energia existente no leilão de ajuste no ano “A”.

A seguir, passa-se à descrição dos tipos de leilão disponibilizados no ACR a fim de que as distribuidoras possam suprir suas cargas 100%.

a) Leilão A-5

Destina-se a venda de energia dos novos empreendimentos de geração que foram licitados pelo Governo e deverão ser construídos em 5 anos. Os contratos firmados possuem duração mínima de 15 anos e máxima de 30 anos. Neste leilão, a energia é prioritariamente advinda de geradores hidráulicos. Não há limites para quantidade de energia a ser contratada neste leilão, uma vez que o mesmo é a principal forma de contratação eficiente e econômica para as

distribuidoras. Neste leilão ocorrem os maiores volumes de contratações de energia. É realizado todo ano obrigatoriamente.

b) Leilão A-3

Destina-se a venda de energia de novos empreendimentos de geração, licitados pelo Governo e devem ser construídos em 3 anos. Os contratos firmados possuem duração mínima de quinze anos e máxima de trinta. Devido ao curto espaço de tempo entre a contratação e a entrega (3 anos) a energia comercializada nesse leilão é proveniente principalmente de geradores térmicos. Como o custo da geração térmica é em geral maior que o da hidráulica, as regras de comercialização de energia limitam o valor de contratação possível de ser repassado às tarifas dos consumidores em 2% da carga verificada 2 anos antes da realização do mesmo (de acordo com o decreto 5163/2004). Isso reforça a necessidade de que as distribuidoras devem contratar a energia para atendimento de seu mercado no leilão de A-5, deixando a contratação em A-3 como forma de ajuste fino da contratação.

c) Leilão A-1

Os contratos firmados possuem duração mínima de cinco anos e máxima de quinze anos. Até o ano de 2008, o MME fixará o preço máximo da energia nesse leilão e, a partir de 2009, o preço máximo será o valor médio dos leilões realizados nos anos "A-5" e "A-3".

A partir de 2009, cada distribuidora poderá contratar energia correspondente ao seu montante de reposição. Entende-se por montante de reposição a quantidade de energia dos contratos que se extinguirem no ano dos leilões. Havendo disponibilidade, pode-se contratar até cinco por cento acima do montante de reposição.

Excepcionalmente em 2004, foram promovidos leilões de compra de energia para os anos de 2005 a 2009, observado o seguinte:

- O prazo mínimo de vigência foi de oito anos para o início do suprimento a partir de 2005, 2006 e 2007; e
- O prazo mínimo de vigência foi de cinco anos para o início do suprimento a partir de 2008 e 2009.

Os montantes contratados de energia existente podem ser reduzidos, a critério exclusivo do agente de distribuição, em função de variações de mercado,

em cada ano, de até quatro por cento do montante inicial contratado, independente do prazo de vigência contratual, do início de suprimento e dos montantes efetivamente reduzidos nos anos anteriores. O exercício da opção de redução contratual tem caráter permanente (efeito memória).

As reduções dos montantes têm eficácia a partir do segundo ano subsequente ao da declaração que deu origem à compra do agente de distribuição.

d) Leilão de Ajuste

A energia vendida nessa modalidade de leilão é proveniente de empreendimentos existentes, com início de entrega em até 4 meses. Os contratos firmados possuem duração máxima de dois anos.

O montante total de energia contratado não pode exceder a um por cento da carga total contratada de cada distribuidora.

Um ponto importante nas novas regras é o que se refere ao repasse às tarifas dos consumidores finais, o que caracteriza os riscos a que as distribuidoras podem se expor caso fiquem sobre ou subcontratadas.

Para regular o repasse às tarifas dos consumidores finais dos custos de aquisição de energia elétrica deve-se calcular um Valor Anual de Referência - VR, mediante aplicação da seguinte equação:

$$VR = [VL5 \cdot Q5 + VL3 \cdot Q3] / [Q5 + Q3] \quad (2.1)$$

onde:

VL5: o valor médio de aquisição nos leilões de compra de energia nova realizados no ano "A - 5", ponderado pelas respectivas quantidades;

Q5: a quantidade total por ano de energia nova adquirida no Ano "A-5";

VL3: o valor médio de aquisição nos leilões de compra de energia nova realizados no ano "A - 3", ponderado pelas respectivas quantidades; e

Q3: a quantidade total por ano de energia nova adquirida no ano "A-3".

O VR, além de outras finalidades, é um mecanismo de estímulo para contratação eficiente em A-5, cujo custo de aquisição é normalmente inferior ao de A-3)

Até 2008, o VR é estabelecido conforme as seguintes diretrizes:

- Para os anos de 2005 e 2006, o VR foi o valor máximo de aquisição da energia existente, nos leilões realizados em 2004, para início de entrega naqueles anos;
- Para os anos de 2007 e 2008, deve ser aplicada a Equação 2.1, prevista para o cálculo da VR, considerando:
 - Para VL5 e Q5, os valores médios ponderados de aquisição e as quantidades adquiridas nos leilões de energia nova realizados até o final de 2005, para entrega em 2009 e 2010; e
 - Para VL3 e Q3, os valores médios ponderados de aquisição e as quantidades adquiridas nos leilões de energia nova realizados até o final de 2005 para entrega em 2007 e 2008.

A ANEEL autoriza o repasse a partir do ano-base “A” dos custos de aquisição de energia elétrica previstos nos contratos, pelas distribuidoras às tarifas de seus consumidores finais, conforme os seguintes critérios:

- No leilão de compra de energia nova realizado no ano “A-5”, observado o seguinte:
 - Repasse do VR durante os três primeiros anos de suprimento da energia elétrica adquirida (Incentivo para a distribuidora comprar mais no A-5, pois se você compra mais no A-5 e o preço de energia no A-3 for mais alto, repasse para a tarifa será maior que o custo de aquisição);
 - Repasse integral do valor de aquisição da energia elétrica, a partir do quarto ano de sua entrega;
- Nos leilões de compra de energia nova no ano “A-3”, observado o seguinte:
 - Repasse do VR durante os três primeiros anos de entrega da energia elétrica adquirida, limitado ao montante correspondente a dois por cento da carga do agente de distribuição comprador verificada no ano “A-5”;
 - Repasse integral do valor de aquisição da energia elétrica a partir do quarto ano de sua entrega, limitado ao montante correspondente a dois por cento da carga do agente de distribuição comprador verificada no ano “A-5”;

- Repasse ao menor valor entre o VL5 e o VL3 da parcela adquirida que exceder os montantes acima especificados;
- Nos leilões de energia existente, repasse integral dos respectivos valores de sua aquisição;
- Nos leilões de ajustes, repasse integral até o limite do VR; e
- Na contratação de energia elétrica proveniente de geração distribuída, repasse integral até o limite do VR.

No repasse dos custos de aquisição de energia elétrica às tarifas dos consumidores finais, deve-se considerar até cento e três por cento do montante total de energia elétrica contratada em relação à carga anual de fornecimento da distribuidora.

Nos anos de 2007 e 2008, é integral o repasse dos custos de aquisição de energia nova.

O repasse às tarifas dos consumidores finais dos custos de aquisição de energia nova é limitado ao Valor de Referência da Energia Existente (VRE) caso a contratação resultante de leilões de compra de energia existente seja menor que o limite inferior de recontração.

Entende-se por limite inferior de recontração o valor positivo resultante da seguinte equação:

$$LI = MR - 4\% MI \quad (2.2)$$

onde:

LI é o limite inferior de contratação;

MR é o montante de reposição; e

MI é o montante inicial de energia elétrica considerado para a apuração do MR.

O VRE é calculado mediante a aplicação da seguinte equação:

$$VRE = VR \times VLE / VL5 \quad (2.3)$$

onde:

VLE é o valor médio ponderado, em Reais por MWh, de aquisição de energia existentes nos leilões realizados no ano "A-1". Pode ser interpretado como sendo um mecanismo para dar liquidez à energia existente, caso contrário as distribuidoras podem contratar a energia nova dada a garantia de repasse.

Nos três primeiros anos de suprimento, o mecanismo de repasse deve ser aplicado à parcela de energia nova adquirida nos leilões realizados no ano “A-3”, equivalente à diferença entre o limite inferior de recontratação e a quantidade efetivamente contratada. Nos casos em que a quantidade de energia adquirida nos leilões realizados no ano “A-3” for insuficiente para aplicação do mecanismo de repasse, é também considerada a quantidade de energia elétrica adquirida no ano “A-5”.

O mecanismo de repasse citado anteriormente não se aplica nos casos em que o limite inferior de recontratação não tenha sido atingido por insuficiência de oferta nos leilões de energia existente, realizados no ano “A-1”, ao preço máximo fixado pelo MME.

Para fins de repasse às tarifas dos consumidores finais dos custos de aquisição nos leilões de energia existentes, realizados nos anos de 2005 a 2008, para entrega no ano subsequente ao do leilão, deve-se observar o seguinte:

- Repasse integral dos valores de aquisição de até um por cento da carga verificada no ano anterior ao da declaração de necessidade do agente de distribuição comprador, observado o preço máximo fixado pelo MME;
- Repasse limitado a setenta por cento do valor médio do custo de aquisição de energia elétrica proveniente de empreendimentos existentes para entrega a partir de 2005 e até 2008, referente à parcela que exceder o um por cento.

Outro fator importante que afeta a receita das distribuidoras caso elas não atendam a obrigação de contratar a totalidade de sua carga, é que a energia elétrica adquirida no mercado de curto prazo da CCEE é repassada às tarifas dos consumidores finais ao menor valor entre o Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) e o VR.

No caso dos montantes contratados nos leilões de energia existente serem inferiores às quantidades declaradas para a contratação no ano “A-1”, o repasse dos custos de aquisição no mercado de curto prazo da CCEE obedece ao seguinte:

- Integral, quando observar o limite correspondente ao montante de reposição; e
- Corresponde ao menor valor entre o PLD e o VR, na parcela que exceder ao montante de reposição.

2.4 Considerações Finais

Segundo as regras de comercialização de energia elétrica percebe-se o quanto as distribuidoras correm riscos em seus faturamentos, quer pelas penalidades quer pelo repasse não integral dos custos de energia elétrica aos consumidores quando não atendem a totalidade de suas cargas.

Esses riscos são minimizados a partir de uma adequada previsão de carga e de uma adequada estratégia de compra nos leilões de energia disponíveis (Leilão A-5, Leilão A-3, Leilão A-1 e Leilão de Ajuste) a fim de se diminuir as exposições quando de sobre ou subcontratação.

A minimização desses riscos, por ser de difícil solução. Uma possibilidade de solução é a utilização de técnicas de Inteligência Artificial (IA). Este trabalho propõe o uso de uma técnica baseada em Algoritmos Genéticos (AGs) para solução desse problema.

Assim, o próximo capítulo aborda os conceitos básicos envolvendo as principais técnicas de otimização, dando ênfase a solução via AGs.

CAPÍTULO III

CONCEITOS BÁSICOS DE OTIMIZAÇÃO

3.1 Introdução

A seguir apresentam-se os conceitos básicos de otimização e as características e definições que envolvem a aplicação de Algoritmos Genéticos na solução de problemas de otimização, tais como o problema de gestão de compra de energia elétrica pelas distribuidoras abordado neste trabalho.

Inicialmente, uma breve apresentação de algumas técnicas de otimização tradicionais é realizada. Em seguida são apresentados os elementos que compõem as etapas do processo de otimização via Algoritmos Genéticos.

3.2 Conceitos Básicos de Otimização

O desenvolvimento de áreas tradicionais da engenharia tem sido caracterizado nas últimas décadas pelo crescente emprego de modelos de otimização como paradigmas para formulação de problemas que envolvem tomada de decisões. Inicialmente restritos a problemas que envolviam um único objetivo, os modelos de otimização e as técnicas associadas evoluíram, principalmente a partir do começo da década de 70, no sentido de contemplarem a situação mais realista em que vários objetivos, em geral conflitantes, concorrem para a solução de um determinado problema.

As formas clássicas de abordagem de problemas de tomada de decisão quase sempre exigem a identificação prévia de uma função utilidade que agregue todos os objetivos do problema. Por sua vez, os métodos inspirados em modelos de otimização baseiam-se em procedimentos interativos que prescindem de uma

função utilidade explícita e podem ser implementados através de algoritmos de otimização existentes.

3.2.1 Técnicas de Otimização

Otimização Combinatória é uma técnica de tomada de decisões no caso de problemas discretos que pode ser encontrada em diversas áreas, tais como, problemas de planejamento e programação (*scheduling*) da produção, problemas de corte e empacotamento, roteamento de veículos, redes de telecomunicação, sistemas de distribuição de energia elétrica, problemas de localização, planejamento de sistemas hidroelétricos, dentre outras (LEITE, P.T, 1999). Em muitos destes problemas surgem freqüentemente vários critérios de desempenho (funções objetivos), em geral, conflitantes entre si. Por exemplo, o controle de chão de fábrica envolve a execução do plano de produção e para tal é necessário programar a produção em cada centro de trabalho de forma a satisfazer objetivos globais da empresa.

Existem três objetivos básicos na programação de tarefas (*jobs*) na produção (VOLMANN ET AL., 1988). O primeiro objetivo está relacionado com datas de entrega das tarefas: basicamente, não se deseja atraso em relação a essas datas, e quando o custo de estoque é relevante, tenta-se evitar que as tarefas sejam finalizadas muito antes dessas datas. O segundo objetivo está relacionado com o tempo de fluxo de tarefas no chão de fábrica: deseja-se que esse tempo seja curto, ou equivalentemente, que o estoque em processamento seja baixo. O terceiro objetivo envolve a utilização dos centros de trabalho: deseja-se maximizar a utilização de equipamentos e de mão de obra. No entanto, estes objetivos são, em geral, conflitantes e o analista de produção (responsável pela decisão) deve optar por uma solução que pondere os objetivos globais da empresa. Objetivos conflitantes são mais a regra do que a exceção em diversos problemas reais e a otimização multiobjetivo é utilizada para tratar com essas situações.

Em otimização multiobjetivo, ao contrário de otimização mono-objetivo, em geral, não existem soluções ótimas no sentido de minimizarem (ou maximizarem) individualmente todos os objetivos. A característica principal de otimização multiobjetivo (quando todos os objetivos são de igual importância) é a existência de

um conjunto grande de soluções aceitáveis que são superiores às demais. Estas soluções aceitáveis são denominadas soluções Pareto-ótimas ou eficientes. A escolha de uma solução eficiente particular depende das características próprias do problema e é atribuída ao responsável pela decisão (*decision maker*).

Até a década de 80, a maioria dos métodos de otimização foram propostas para a resolução de problemas de programação linear e não-linear. Métodos exatos propostos para resolver problemas de programação linear multiobjetivo, geralmente, usam métodos exatos de otimização mono-objetivo. As soluções Pareto-ótimas são obtidas resolvendo alguns problemas particulares, derivados do original, cujos ótimos globais correspondem às soluções Pareto-ótimas. Um exemplo típico é o método de escalonamento das funções objetivos (ou das somas ponderadas) definido sobre o espaço das soluções factíveis do problema multiobjetivo original (WIERZBICK, 1986). Métodos deste tipo não são facilmente adaptados para resolver problemas de otimização combinatória multiobjetivo, pois estes problemas possuem um elevado grau de complexidade. Sabe-se que o problema de decisão associado a muitos problemas de otimização combinatória mono-objetivo são NP-completos, ou seja, eles não podem ser resolvidos através de algoritmos de tempo polinomial. A questão da complexidade computacional em problemas de otimização combinatória multiobjetivos envolve uma outra componente relacionada com a contagem do número de soluções do problema de decisão associado (EHRGOTT, 2000). Este fator, obviamente, eleva o grau de intratabilidade de diversos problemas combinatórios.

Em otimização, a escolha do método de resolução a ser utilizado depende principalmente da razão entre a qualidade da solução gerada pelo método e o tempo gasto para encontrar essa solução. Nesse nível, a maioria dos problemas é intratável, ou seja, são problemas para os quais é improvável que se consiga desenvolver um algoritmo exato que possa ser executado em tempo razoável. Para viabilizar a obtenção de soluções é preciso lançar mão de métodos heurísticos. Esses métodos, quando bem desenvolvidos e adaptados aos problemas que se deseja resolver, são capazes de apresentar soluções de boa qualidade em tempo compatível com a necessidade de rapidez presente nos problemas. O desenvolvimento e sucesso dos métodos heurísticos, em especial as metaheurísticas, fomentaram o interesse dos pesquisadores na década de 90 na

aplicação desses métodos em problemas de otimização combinatória multiobjetivo, considerados difíceis computacionalmente (EHRGOTT e GANDIBLEUX, 2000).

Os métodos heurísticos podem ser divididos em três classes que diferem basicamente na forma como exploram o espaço de soluções dos problemas. A primeira classe de heurísticas são as chamadas de construtivas. Estas heurísticas são especializadas para um dado problema e constroem uma solução pela adição de componentes da mesma através de regras específicas associadas com a estrutura do problema.

A segunda classe de heurísticas são as chamadas de Busca Local ou Busca em Vizinhança. Estas heurísticas iniciam com uma solução completa do problema, e constroem uma vizinhança desta solução que contém todas as soluções alcançáveis através de uma regra de movimento que modifica a solução inicial. Dessa vizinhança, escolhe-se uma solução que possua uma avaliação melhor que a solução inicial. A solução escolhida torna-se a nova solução inicial e o processo continua até encontrar um ótimo local. Claramente, a eficiência das heurísticas de busca local depende da escolha da solução inicial e da definição de uma vizinhança que estabelece uma relação entre as soluções no espaço de decisões. Uma vez tendo chegado ao ótimo local, essas heurísticas param e não são capazes de escapar da otimalidade local e explorar novas regiões do espaço de busca.

A terceira classe de heurísticas é chamada de metaheurísticas, que são métodos inteligentes flexíveis, pois possuem uma estrutura com componentes genéricos que são adaptados ao problema que se quer resolver. Estes métodos possuem certa facilidade em incorporar novas situações e exploram o espaço de soluções permitindo a escolha estratégica de soluções piores que as já encontradas, na tentativa de superar a otimalidade local. Mesmo não garantindo otimalidade global, as metaheurísticas podem encontrar uma grande quantidade de ótimos locais. Existem várias metaheurísticas que apresentam princípios e estratégias distintas, dentre elas destacam-se as seguintes:

- As metaheurísticas Busca Tabu e *Simulated Annealing* (recozimento simulado) exploram uma vizinhança a cada iteração de acordo com suas estratégias e escolhem apenas um elemento dessa vizinhança a cada passo. Esse tipo de varredura do espaço de busca gera uma trajetória

de soluções obtida pela transição de uma solução para outra de acordo com os movimentos permitidos pelo método. A metaheurística GRASP é um método de múltiplos reinícios. A cada reinício gera-se uma solução inicial através de uma heurística construtiva com aleatoriedade controlada na escolha dos componentes da solução. A solução inicial é usada como ponto de partida para uma busca local convencional.

- As metaheurísticas baseadas em Algoritmos Genéticos e *Scatter Search* exploram uma população de soluções a cada iteração. As estratégias de busca destes métodos permitem explorar várias regiões do espaço de soluções de cada vez. Dessa forma, ao longo das iterações não se constrói uma trajetória única de busca, pois novas soluções sempre são obtidas através de combinações de soluções anteriores. Ultimamente, alguns conjuntos de estratégias básicas de metaheurísticas diferentes vêm sendo combinados gerando métodos híbridos, por exemplo, métodos que mesclam características de busca dos Algoritmos Genéticos com técnicas de busca local.

Metaheurísticas têm sido aplicadas com muito sucesso para resolver problemas de otimização mono-objetivo (OSMAN e LAPORTE, 1996). Em otimização multiobjetivo, para gerar o conjunto das soluções Pareto-ótimas, vários problemas requerem algoritmos de tempos exponenciais, mesmo que a otimização isolada de alguns objetivos seja fácil. Assim, os métodos heurísticos resultam ser os mais convenientes para tratar com esses problemas. Recentemente, muitos pesquisadores têm proposto extensões de metaheurísticas para resolver problemas multiobjetivos (EHRGOTT e GANDIBLEUX, 2000), (COELLO, 2000), (VAN VELDHUIZEN e LAMONT, 2000), (JONES ET AL., 2002). Os métodos metaheurísticos podem ser implementados com muita flexibilidade para resolver problemas multiobjetivos de otimização combinatória e problemas de otimização não linear. Atualmente, estes métodos constituem uma das ferramentas mais ativas na pesquisa em otimização multiobjetivo.

3.3 Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos, a Programação Genética e a Programação Evolucionária são modelos trabalhados na área de Computação Evolucionária. As Redes Neurais Artificiais, os Sistemas Fuzzy e a Computação Evolucionária, por sua vez, fazem parte da denominada Inteligência Computacional. A Inteligência Computacional é caracterizada por manipulação numérica (e não simbólica) do conhecimento, adaptabilidade e tolerância a informações imprecisas (LOPES, 1999).

A partir da década de 30, estudiosos da área biológica e informática começaram a se interessar pelos Algoritmos Genéticos, todavia só na década de 70 é que houve maiores avanços nessa linha de pesquisa. JOHN HOLLAND, citado por GOLDBERG (1989) como o pioneiro no assunto buscou elaborar algoritmos que descrevessem o comportamento da natureza no que tange à evolução das espécies e aos processos genéticos dos organismos biológicos (LEITE, P.T, 2003). O princípio de funcionamento desses algoritmos baseia-se na teoria Darwiniana de seleção natural e da genética de Mendel. A idéia principal enfocada por JOHN HOLLAND (1975), e outros estudiosos, era resolver problemas reais, em especial, problemas complexos de otimização, através de sistemas inspirados na natureza, simulando os processos naturais.

No presente trabalho foram empregados os Algoritmos Genéticos, que são um dos representantes dos algoritmos evolutivos, cuja inspiração baseia-se na evolução natural dos seres vivos. Os Algoritmos Genéticos baseiam-se no seguinte princípio: “Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar seus descendentes”. Esta meta-heurística se adapta muito bem a problemas com um grande número de variáveis, como é o caso da gestão de compra de energia para as distribuidoras. Os Algoritmos Genéticos possuem várias características importantes que são:

- Funcionam tanto com parâmetros contínuos quanto discretos, ou uma combinação destes;
- Realizam buscas simultâneas em várias regiões do espaço de busca, pois trabalham com um conjunto de pontos e não com um único ponto;

- Utilizam informações de custo ou recompensa e não derivadas ou outro conhecimento auxiliar;
- Usam regras de transição probabilísticas e não determinísticas;
- Otimizam uma função objetivo com número grande de variáveis;
- Otimizam parâmetros de funções objetivos com superfícies complexa e complicadas, reduzindo a incidência de mínimos locais;
- Fornecem uma lista de soluções ótimas e quase-ótimas e não uma simples solução;
- Trabalham com dados gerados experimentalmente e são tolerantes a ruídos e dados incompletos;
- São fáceis de serem implementados numericamente;
- São flexíveis para trabalhar com restrições arbitrárias e otimizar múltiplas funções com objetivos conflitantes;

GOLDBERG (1989), um dos precursores dos Algoritmos Genéticos, descreveu-os como sendo uma pesquisa baseada no mecanismo de seleção e genética natural objetivando a otimização. Segundo esse autor, os Algoritmos Genéticos superam os outros métodos tradicionais de otimização encontrados na literatura.

LUTTON e MARTINEZ (1994) caracterizaram os Algoritmos Genéticos como uma técnica estocástica, relativamente lenta, mas de grande eficiência no processo de busca em espaço dimensional elevado.

3.3.1 Teoria da Evolução das Espécies

Foram muitas as teorias que tentaram explicar a origem da vida e a evolução das espécies. Aristóteles (filósofo grego) propôs a teoria da abiogênese que perdurou até o século XIX. Essa idéia julgava que os seres inanimados, sob uma força capaz de comandar diversas reações, passavam a ter vida. Nesse século o cientista francês Luis Pasteur derrubou tal teoria, provando que a vida surgia de materiais nutritivos expostos a microorganismos vivos.

O biólogo francês Lamarck, no início do século XIX, defendeu a teoria do transformismo, onde julgava que na luta pelo alimento, os seres vivos desenvolviam fisicamente atendendo as suas necessidades alimentares, e transmitiam essas

características para seus descendentes. Lamarck julgou que o crescimento das populações seria em progressão geométrica (PAULINO, 1995).

Em 1859 o naturalista inglês Charles R. Darwin, influenciado pela teoria de Lamarck, propôs a teoria da evolução das espécies. A teoria Darwiniana afirma que a evolução ocorre devido à seleção natural: "Não há exceção à regra de que cada ser orgânico aumenta naturalmente a uma média tão alta que, se não destruído, a terra logo estará povoada com a progênie de um único par" (BOLTON, 1944).

Após a realização do trabalho de Mendel (descoberta da genética), a teoria Darwiniana ganhou um significado maior, donde foi possível explicar as mudanças genéticas dos indivíduos e conseqüentemente a evolução das espécies.

3.3.2 Seleção Natural e Seleção Artificial

A principal diferença conceitual entre a seleção natural (processo que ocorre naturalmente, sem a ação do homem), e a seleção artificial (implementada nos programas), é que a seleção natural não é propriamente uma seleção, ou seja, não existem regras para que ela aconteça, enquanto a seleção artificial é dotada de regras impostas com objetivos específicos.

A técnica de seleção utilizada pelos Algoritmos Genéticos é a seleção artificial, porém esses algoritmos baseiam-se nos princípios de seleção natural e sobrevivência dos indivíduos mais aptos, e também nos processos genéticos dos organismos vivos, descritos respectivamente por Charles Darwin (1809 - 1882) em Origem das Espécies e por Gregor J. Mendel (1822 - 1884).

No decorrer deste texto, quando se fizer menção ao termo seleção, referir-se-á à seleção artificial. Entre as técnicas de seleção mais utilizadas podem ser citadas: roleta, torneio e elitismo (GOLDBERG, 1989).

A seleção por roleta é uma técnica que consiste da escolha aleatória de um elemento. Cada elemento tem a probabilidade de ser selecionado, proporcional ao seu valor de aptidão. Para uma população com 3 indivíduos, como ilustrado na Figura 3.1, a probabilidade, por exemplo, do indivíduo 2 ser selecionado é de 0,20.

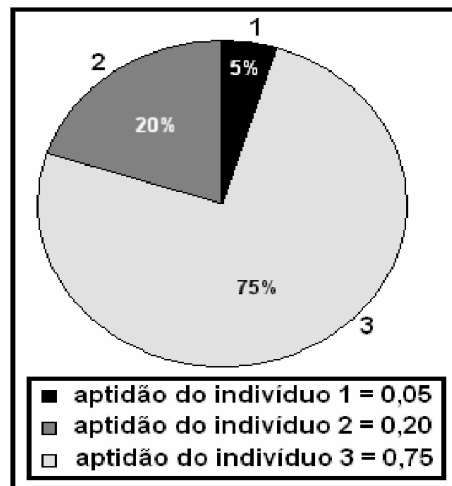


Figura 3.1 – Funcionamento da técnica de seleção por *roleta*

Existem várias formas de aplicar a técnica de seleção por torneio, um exemplo seria a seleção aleatória, a priori, de uma dupla de indivíduos, e posteriormente, selecionar um desses dois indivíduos, de acordo com um critério. Esse critério pode ser, por exemplo, o maior valor de aptidão. Assim, o indivíduo que possuir maior aptidão será selecionado.

Finalmente, a seleção elitismo é a preservação de um grupo dos indivíduos mais aptos, pertence à população atual, para a nova população. Os demais indivíduos que completarão a nova população serão selecionados por outra técnica como a roleta ou torneio.

3.3.3 Composição dos Algoritmos Genéticos

Uma visão global do algoritmo utilizado é apresentada na Figura 3.2, através de um fluxograma, com os passos seguidos para o desenvolvimento da ferramenta inteligente na gestão de compra de energia elétrica, utilizando a técnica de Algoritmos Genéticos.

O fluxograma mostra desde a entrada do algoritmo, com a aplicação dos operadores genéticos, cálculo das aptidões e formação de novas populações.

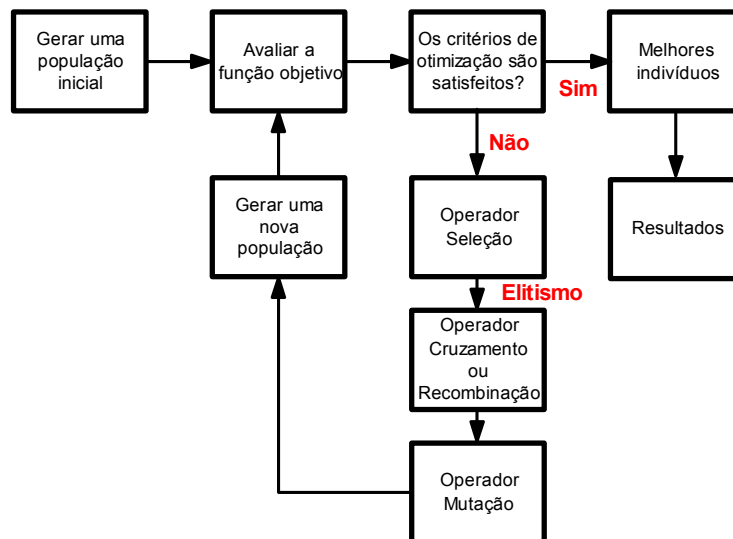


Figura 3.2. Funcionamento do algoritmo genético utilizado

O esquema básico do escopo dos Algoritmos Genéticos é composto pelas seguintes componentes:

- a) codificação das variáveis de interesse no problema (cromossomo);
- b) configurações da população inicial;
- c) proposta da função de aptidão;
- d) definição dos Operadores Genéticos que serão utilizados no processo de reprodução (cruzamento e mutação);
- e) definição dos valores dos parâmetros que serão usados (tamanho da população e probabilidades associadas aos operadores genéticos).

Os elementos comuns nos Algoritmos Genéticos simples, segundo MITCHELL (1997), são: a população de cromossomos, a seleção de acordo com a aptidão, o cruzamento para produzir nova prole, e a mutação aleatória da nova geração. Existe ainda um quarto elemento que é a inversão, mas por ser raramente usado, não será discutido nem aplicado nesse trabalho.

Os parâmetros (ou constantes) que definem o funcionamento dos Algoritmos Genéticos simples, propostos por GOLDBERG (1989), são:

- Tamanho máximo que a população poderá assumir;
- Tamanho máximo do indivíduo (ou cromossomo);
- Vetores que representam os indivíduos da população;
- O valor de aptidão;
- Vetores que representam os indivíduos da nova população.

Quando se trabalha com Algoritmos Genéticos para resolução de problemas, o grande desafio está exatamente na codificação, ou qual a melhor maneira de representar o problema, que deve ter uma estrutura de dados, geralmente vetores ou cadeias de valores binários (estruturas mais tradicionais, porém nem sempre as mais indicadas), reais ou inteiros. Esta estrutura é chamada de indivíduo ou cromossomo, e cada bit chamado de gene.

O indivíduo representa o conjunto de parâmetros de variáveis da função objetivo cuja resposta será maximizada ou minimizada. O conjunto de todas as configurações que o indivíduo pode assumir forma o espaço de busca. Por exemplo, se o indivíduo representa n parâmetros de uma função, então o espaço de busca é um espaço com n dimensões. A maioria das representações genotípicas, utiliza vetores de tamanho finito com um alfabeto também finito.

A aptidão do indivíduo depende do seu desempenho e é calculada através da função de avaliação. Em problemas de otimização, a função objetivo é, ela mesma, a candidata natural ao cargo de função de avaliação ou função de aptidão. Assim, pode-se dizer que a função de avaliação é dependente do problema em particular. Esta função recebe como entrada o indivíduo e faz o cálculo da aptidão, ou grau de adaptação, retornando esta informação. Uma comparação entre terminologia biológica, terminologia computacional e terminologia de otimização de compra de energia para distribuidoras a ser utilizada nos Algoritmos Genéticos é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. - Terminologia usada em algoritmos genéticos

Biologia	Computação	Otimização de Compra de Energia para Distribuidoras
Cromossomo	candidato à solução, ou seja, um ponto no espaço de busca.	conjunto de informações úteis para otimizar a compra de energia de uma distribuidora nos leilões.
Gene	parâmetro codificado no cromossomo (um único bit, ou um bloco de bits).	informação da quantidade de energia (em MW-médio) a ser comprada e a localização da mesma nos diversos tipos de leilões (A-5, A-3, A-1 e Ajuste).

Tabela 3.1. - Terminologia usada em algoritmos genéticos - Continuação

Recombinação	Troca de material genético entre cromossomos.	Troca de informações entre os cromossomos.
Mutação	Troca aleatória de um determinado gene do cromossomo.	Mudança abrupta e aleatória de valores de energia a ser comprada em cada leilão após período de acomodação.
Genótipo	Configuração de genes no cromossomo de um indivíduo.	Codificação das informações dos tipos de leilões que compõem o indivíduo para a distribuidora.
Fenótipo	Decodificação de um ou mais cromossomos.	Decodificação dos indivíduos em um determinado período de estudo.

3.4 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas, de forma resumida, as técnicas de otimização via Inteligência Artificial, dando ênfase aos Algoritmos Genéticos utilizados neste trabalho. A abordagem adotada possibilita uma visão de como serão tratados os dados e as variáveis do problema em questão.

O próximo capítulo apresenta a metodologia utilizada para o problema de gestão de compra de energia elétrica utilizando Algoritmos Genéticos.

CAPÍTULO IV

METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO VIA ALGORITMOS GENÉTICOS

4.1 Introdução

Após feita uma revisão bibliográfica do estado da arte referente às técnicas de Inteligência Artificial e suas diversas aplicações na engenharia elétrica, e do estudo do modelo do setor elétrico em vigor, em seguida, será apresentada a metodologia utilizada para solucionar as questões relativas à compra e venda de energia de uma distribuidora de energia elétrica. Ou seja, a partir dos dados disponíveis e dos resultados das pesquisas sobre o estado da arte, buscou-se modelar o problema adequadamente e desenvolver uma metodologia inteligente para otimização da compra de energia, que se resume basicamente em determinar quando e quanto comprar nos diversos leilões. Para isso o problema a ser resolvido foi considerado como um problema de otimização, onde a função objetivo é a minimização dos riscos financeiros de uma distribuidora face às incertezas na demanda. Os principais mecanismos para gestão de compra de energia são modelados assim como suas restrições. A técnica de Algoritmos Genéticos foi adotada para a resolução do problema em questão.

A implementação da metodologia permite determinar de forma automática o melhor momento para se efetuar as compras de energia, baseado em uma previsão do preço futuro da energia e no processo de otimização.

4.2 Metodologia

A metodologia utilizada para auxiliar a distribuidora no gerenciamento dos riscos financeiros advindos de sua tomada de decisão perante os leilões de energia tem as seguintes macro-etapas:

- Levantamento de Dados;
- Otimização via Algoritmos Genéticos;
- Análise de Resultados;

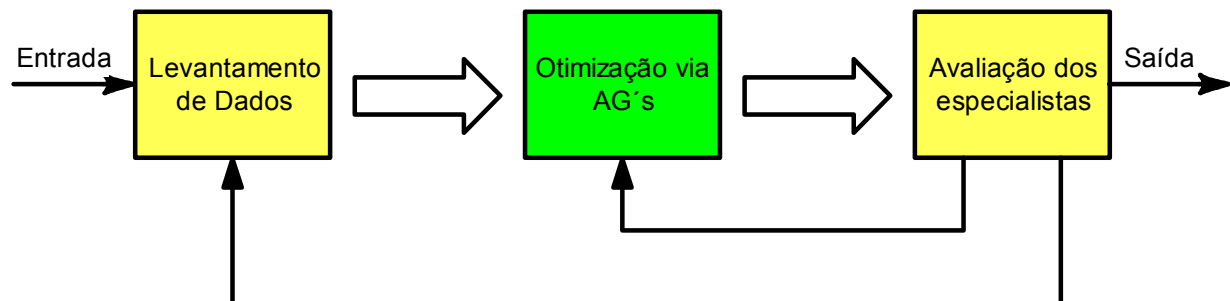


Figura 4.1 – Metodologia adotada para compra de energia

Os primeiro e terceiro blocos apresentados dependem de atuação humana enquanto que o segundo bloco depende única e exclusivamente de atuação de software/hardware.

Observa-se que o diagrama apresentado na Figura 4.1 possui duas realimentações, as quais funcionam como “loop” de reforço num sistema de controle, que auxiliam no refinamento da solução e impactam diretamente na qualidade da estratégia de compra adotada pelos especialistas. Uma vez que os dados de entrada estejam corretamente representados inicia-se a otimização propriamente dita utilizando a técnica de sistemas inteligentes denominada Algoritmos Genéticos e o resultado da otimização é então avaliado por especialistas da distribuidora que terão a palavra final referente a utilização ou não da estratégia apresentada no bloco anterior. Caso a estratégia não agrade pode-se voltar novamente ao processo de otimização sem alterar os dados de entrada. Outra opção é rever alguns parâmetros de entrada e realizar todo o processo de otimização apresentado na Figura 4.1. A seguir serão abordados cada um dos blocos que compõem esta metodologia que forma o núcleo da metodologia que se pretende desenvolver para definir as estratégias das distribuidoras na compra de energia elétrica para atendimento ao seu mercado.

4.2.1. Levantamento de Dados

Os principais requisitos ou dados de entrada para a metodologia desenvolvida são: previsão de mercado, desagregação dos consumidores potencialmente livres, contratos existentes de compra de energia, mercado realizado, ajustes permitidos (MCSD, Devolução, Leilão de A-1 e Leilão de Ajuste), custos da energia previstos para A-5, A-3, A-1, Ajuste e MCSD, valores de PLD (Preço de Liquidação de Diferenças) e valores de VR (Valor Anual de Referência). Cada um desses requisitos será descrito a seguir.

a) Previsão de mercado (pessimista, otimista e referência)

Tradicionalmente, os comitês para estudos de mercado das empresas ou dos órgãos governamentais do setor elétrico constroem três cenários para projeção de demanda (do país ou das empresas). Em geral, os três cenários são obtidos a partir de três trajetórias possíveis para o crescimento da economia (PIB), em nível nacional, regional e estadual.

Os dados de previsão de mercado, ou projeção de demanda, utilizados na ferramenta computacional, são fornecidos por uma equipe própria da distribuidora, responsável pela atualização periódica dos valores de carga referente ao mercado futuro dos consumidores dentro da área geográfica de atuação da empresa. Cumpre salientar a vital importância de esta previsão estar o mais próximo possível do valor a ser realizado, ou seja, caso o mercado futuro apresente uma demanda de energia considerada otimista os valores devem estar o mais próximo possível do valor previsto. Com isso o algoritmo proposto para otimização da compra de energia sinaliza de forma correta os valores de riscos financeiros baseados na previsão de mercado adotada.

b) Desagregação dos consumidores potencialmente livres

Até o momento não foi visualizada uma forma de desagregar os consumidores potencialmente livres devido a grande oscilação que essa desagregação causa no processo de otimização. Como a compra de energia está intimamente ligada ao momento da ocorrência da mesma (se

no leilão de A-5, ou A-3, ou A-1, etc) o espaço de busca para contemplar a saída de consumidores potencialmente livres para o ACL e o atendimento dos consumidores na condição especial (entre 500 kW e 3000 kW) que podem ser atendidos por Geração Distribuída se torna muito extenso, o que poderá provocar lentidão e até mesmo dificultar o processo de otimização.

c) Contratos existentes de compra de energia

Os contratos de energia que a distribuidora possui com diversas empresas de geração devem ser especificados individualmente com seus valores de energia e duração dos mesmos. Nesta parcela de dados entram todos os Contratos Bilaterais firmados pela distribuidora, cotas parte de Itaipu e CIEN, Proinfa e outros que venham a existir.

Esses dados servem para que o algoritmo possa considerar os limites impostos pelas regras de contratação e descontração. Caso um contrato esteja atingindo sua vigência, o mesmo pode ser recontratado pela distribuidora em até 105%, descontratado em até 4% sem ônus para a distribuidora e consumidores e, ser descontratado com valores acima de 4% com ônus alocado somente para a distribuidora.

Os contratos advindos de leilões de energia nova em A-5 somente terão seus valores decrescidos caso haja um déficit de consumo sistêmico, ou seja, que todas as distribuidoras estejam sobrecontratadas devido a uma realização de mercado considerada pior que o valor previsto pessimista para a carga das mesmas. Nessa situação, caso um contrato esteja vencendo, o mesmo é recontratado como energia existente e pode sofrer uma redução maior que os 4% previstos nos mecanismos de contratação e descontração, e caso ainda assim não seja suficiente a diferença pode ser decrescida dos contratos de energia nova adquiridos em A-5. Para os contratos de A-3 esta flexibilidade não existe em virtude de o horizonte da previsão estar mais próximo do período da compra.

d) Mercado realizado

Os dados de energia do mercado realizado são importantes para que os limites de contratação dos leilões de energia em A-3 e A-1 possam ser

corretamente estipulados. Num primeiro momento utiliza-se os valores previstos para cada ano e a medida que o mercado vai sendo realizado atualizam-se estes valores de modo a melhorar o processo de otimização. Esses dados são a base para o ajuste fino dos valores de energia a contratar nos leilões de A-3, A-1, Ajuste ou até mesmo no MCSD. Por exemplo, para a contratação a ser realizada no Leilão de A-3 toma-se como referência para aplicar o percentual de 2% o mercado realizado no ano A-5, neste caso, o ano A-5 já conhecido. Porém, quando estamos estimando o valor a ser contratado no leilão A-3 cuja referência A-5 ainda não tenha acontecido, e isso é normal acontecer, utiliza-se um valor previsto de mercado realizado para aplicar os 2% e, à medida que o ano em que foi previsto o mercado realizado vai ocorrendo atualizam-se os valores para obter-se uma melhor precisão nos valores contratados em leilões de ajuste em virtude de discrepâncias entre valor previsto de mercado realizado e o próprio valor do mercado realizado no ano.

e) Ajustes permitidos (MCSD, Devolução, Leilão de A-1 e Leilão de Ajuste)

Nesta parcela de dados é necessário especificar os valores positivos (contratação) ou negativos (descontratação) de energia provenientes do MCSD. Na metodologia em desenvolvimento esses valores somam-se aos dos contratos existentes que a distribuidora possui formando assim o valor final de energia contratada pela mesma.

Nos casos em que o MCSD não atender a necessidade de descontratação da distribuidora, advinda de desvios negativos de mercado previsto e/ou saída de consumidores potencialmente livres, a devolução dos Contratos de Compra de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) provenientes de leilões de energia existente pode ser utilizada. Os leilões de A-1 e Ajuste acontecem sempre que houver energia existente, ou velha, descontratada. Pode-se contar com a utilização desses mecanismos no momento de se realizar o processo de otimização, bastando para isso ativá-los.

f) Valores de Energia previstos para A-5, A-3, A-1, Ajuste e MCSD

Os valores de energia previstos devem ser fornecidos previamente pelos especialistas da distribuidora de forma a orientarem a estratégia de contratação fornecida pela metodologia proposta. À medida que os contratos advindos dos leilões ou do MCSD vão sendo firmados atualizam-se os valores de energia para o realizado, permitindo assim um ajuste fino ao processo de otimização. Correspondem ao VL5, VL3, VL1 e VLAjuste.

g) Valores de PLD (Preço de Liquidação de Diferenças)

Os valores de PLD para o horizonte de otimização devem ser fornecidos e também atualizados para que as penalizações ou ganhos à distribuidora correspondam a melhor estratégia de contratação encontrada pela metodologia proposta. Para cada ano do horizonte de otimização é necessário informar os valores de PLD previstos para o caso de a distribuidora estar sobrecontratada e também para o caso de estar subcontratada.

h) Valores de VR (Valor Anual de Referência)

Os valores de VR são importantes para a estratégia, pois é baseado neles que a distribuidora pode obter ou não lucro no repasse permitido às tarifas dos consumidores finais de energia elétrica. Caso o VR seja maior que o VL (valor pago nos leilões) a distribuidora pode obter lucro. O contrário também é verdadeiro, ou seja, caso VR seja menor que VL a distribuidora certamente tem prejuízo. Observa-se que esse lucro ou prejuízo ocorre somente nos 3 (três) primeiros anos do fornecimento de energia de cada contrato, sendo que após este prazo o repasse pode ser integral do VL.

Após o devido tratamento, os dados levantados alimentam o programa que realiza a otimização via Algoritmos Genéticos. Observa-se que a alteração desses dados é uma tarefa simples, uma vez que estes estão concentrados em um único arquivo, em formato texto, que pode ser facilmente editado através de ferramentas conhecidas de edição de texto.

4.2.2. Otimização Aplicada à Compra de Energia

A formulação de um problema de otimização qualquer envolve a composição de uma função objetivo, que relacione as diferentes variáveis consideradas, bem como as restrições impostas a cada uma. Otimizar a solução de um determinado problema consiste em identificar a alternativa viável, ou os respectivos valores para as variáveis consideradas, que maximize ou minimize o valor da função objetivo, conforme a natureza do problema, de forma que nenhuma outra solução atribua um valor maior ou menor à função, respectivamente, respeitada as restrições do problema.

Nesta seção pretende-se relatar as premissas adotadas para o desenvolvimento do modelo de apoio à formulação de estratégias de compra de energia no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Com esta etapa cumprida é possível prever (dentro de um intervalo relativamente confiável) o comportamento da distribuidora através da otimização de contratação nos diversos leilões existentes (A-5, A-3, A-1, Ajuste), seguindo os incentivos e penalidades previstas na legislação vigente, mais especificamente no Decreto 5.163/2004.

A função objetivo a ser minimizada no processo de otimização de contratação é o somatório do valor presente dos riscos financeiros mais prejuízos para a distribuidora advindos dos incentivos e penalidades dispostos na legislação. As variáveis de decisão são os volumes a serem contratados em cada modalidade de leilão disponível, bem como o percentual de redução dos contratos de energia existente a que a distribuidora tem direito.

Dada a natureza complexa e com ingredientes estratégicos do problema, o modelo da ferramenta computacional foi desenvolvido utilizando a técnica de Algoritmo Genéticos, com horizonte de estudo de até 5 anos.

4.2.3. Caracterização do Problema

Devido ao volume de energia a ser contratada em cada modalidade de leilão e do tempo de validade dos contratos, o valor envolvido nestas transações é muito elevado e pode trazer sérios riscos à saúde financeira de uma distribuidora de

energia elétrica. Os valores de energia a serem contratados são definidos com base na previsão de mercado feita pela distribuidora e dependem muito da experiência dos especialistas envolvidos nesta operação.

A Figura 4.2 é utilizada para exemplificar o processo de caracterização do problema da gestão de compra de energia. Analisando o gráfico apresentado nessa figura pode-se perceber uma larga faixa entre os valores de energia que compõem o cenário otimista e pessimista. Há uma grande chance de o mercado realizar próximo dos valores do cenário de referência.

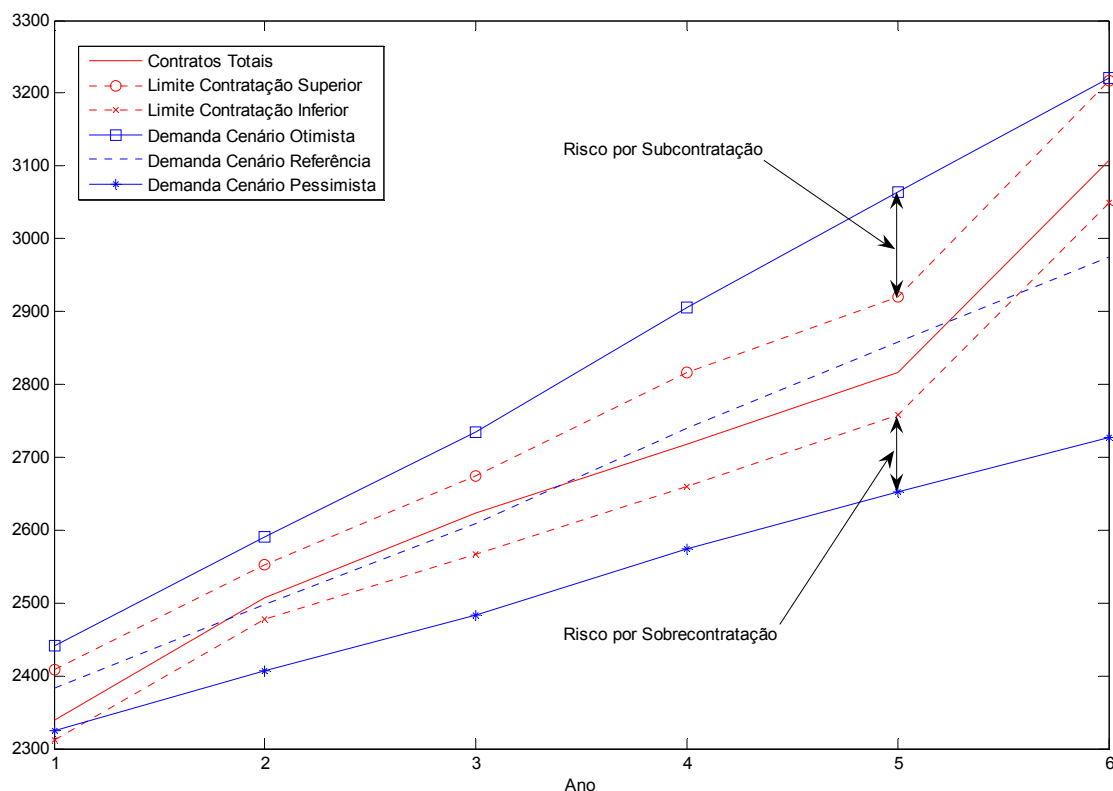


Figura 4.2 – Cenários e Estratégia de Menor Risco Financeiro

Suponha-se que a distribuidora tenha adotado uma estratégia de compra (valores que compõem a linha vermelha sólida) e que há uma margem de manobra permitida pela regulamentação (linhas vermelhas tracejadas). A diferença entre o cenário otimista e o limite superior (linha vermelha tracejada superior) da estratégia de menor risco representa a exposição da distribuidora por subcontratação e isto traz associado a si um custo financeiro que é visto como risco pela distribuidora. A diferença entre o limite inferior da estratégia de menor risco e o cenário pessimista representa a exposição da distribuidora por sobrecontratação, acarretando também

um risco financeiro para a mesma. Dentro da faixa compreendida entre os cenários otimista e pessimista há inúmeras possibilidades de traçar uma trajetória que componha a estratégia adotada pela empresa quando da declaração de necessidades enviada ao Ministério das Minas e Energia (MME), sendo que, a busca dessa trajetória é o objetivo principal deste trabalho.

A área sombreada em vermelho na Figura 4.3 representa o valor total do risco da distribuidora por exposição devido a subcontratação caso o cenário se realize otimista. Esta exposição é a mais temida, em virtude de a distribuidora sofrer uma penalização muito maior do que nos casos de sobrecontratação. Se alguma distribuidora tiver declarado sobra de energia para o MCS D, há a possibilidade de diminuir essa exposição transferindo parte dos contratos de energia existente para a distribuidora que declarou déficit. A área sombreada em azul representa o valor total do risco da distribuidora por exposição devido a sobrecontratação, caso o cenário se realize pessimista. Neste caso a penalização é menor que no anterior e a distribuidora ainda tem a opção de repassar a energia excedente no MCS D, ou seja, a penalização é menos severa.

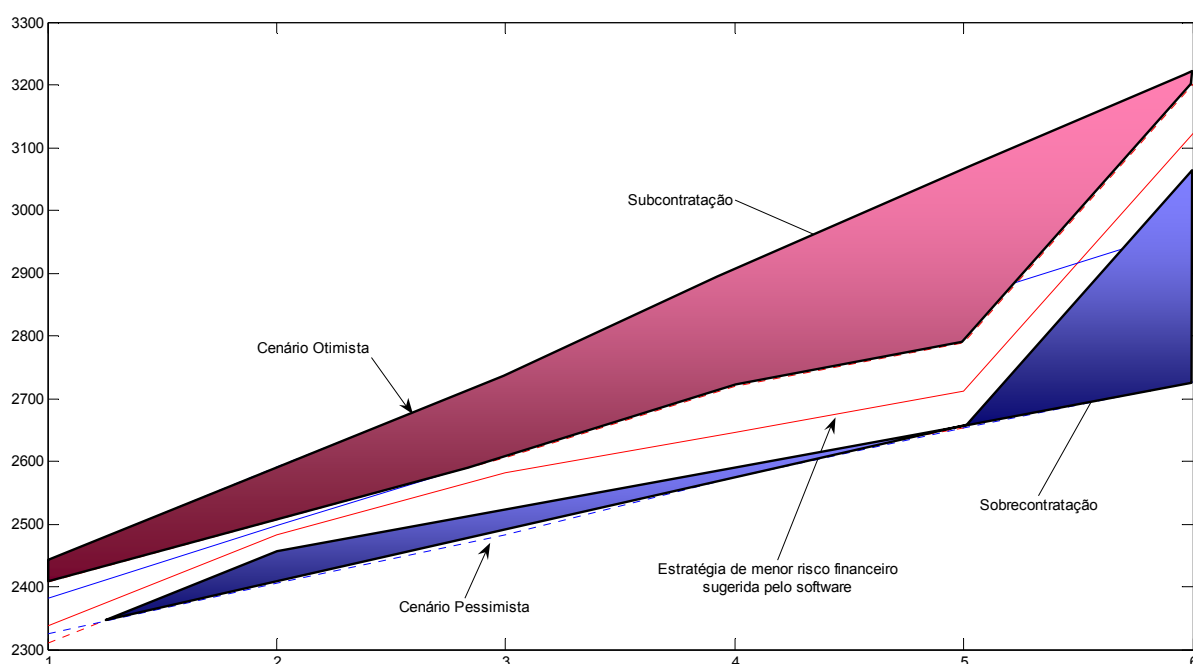


Figura 4.3 – Representação Gráfica do Risco Financeiro

A soma destas duas áreas representa o risco total assumido pela distribuidora no caso de optar em realizar a estratégia adotada de contratar energia

conforme linha vermelho sólida na área em branco entre as áreas sombreadas azul e vermelha.

O principal ponto da otimização será escolher uma trajetória de contratação que minimize ponderadamente a soma destas duas áreas sombreadas ao máximo possível permitido.

4.3. Metodologia proposta

A estratégia de menor risco é tratada sob o enfoque de que dificilmente todas as previsões de mercado fornecidas pela área de estudos de mercados da distribuidora são contempladas na estratégia de contratação. Isto ocorre devido a diferença entre valores pessimista e otimista apresentar ordem de grandeza que impacta num custo elevadíssimo para a empresa e também ao consumidor no valor das tarifas.

Para tanto, ao longo do período de otimização sempre haverá áreas não nulas formando os riscos por subcontratação e sobrecontratação. Como os mecanismos para gestão da compra de energia ocorrem discretamente no tempo e não de forma contínua, pois os leilões ocorrem uma vez ao ano e não a todo o momento ao longo do ano, ao tomarmos os segmentos de reta denominados subcontratação e sobrecontratação na Figura 4.2 e somarmos todos eles para o período de estudo, e sobre esses segmentos efetuarmos a otimização, estaremos representando de outra forma a área ótima que representa a estratégia de menor risco financeiro para a distribuidora.

Em resumo: toma-se para cada ano os valores de segmentos sobrecontratação e subcontratação e soma-se todos. Quando a soma for a menor possível representada por custos financeiros associados, garante-se que a otimização encontrou uma possível solução ótima global.

Observe que a linha vermelho sólida que representa o valor de energia contratada da distribuidora é composto pelos diversos tipos de contratos de leilões e também pelos contratos bilaterais já firmados pela empresa, pelas cotas partes, Proinfa, etc., conforme mostrado na Figura 4.4. Gráficamente pode-se interpretar o valor contratado de energia de uma distribuidora como sendo um empilhamento de contratos diversos, sejam eles quais forem.

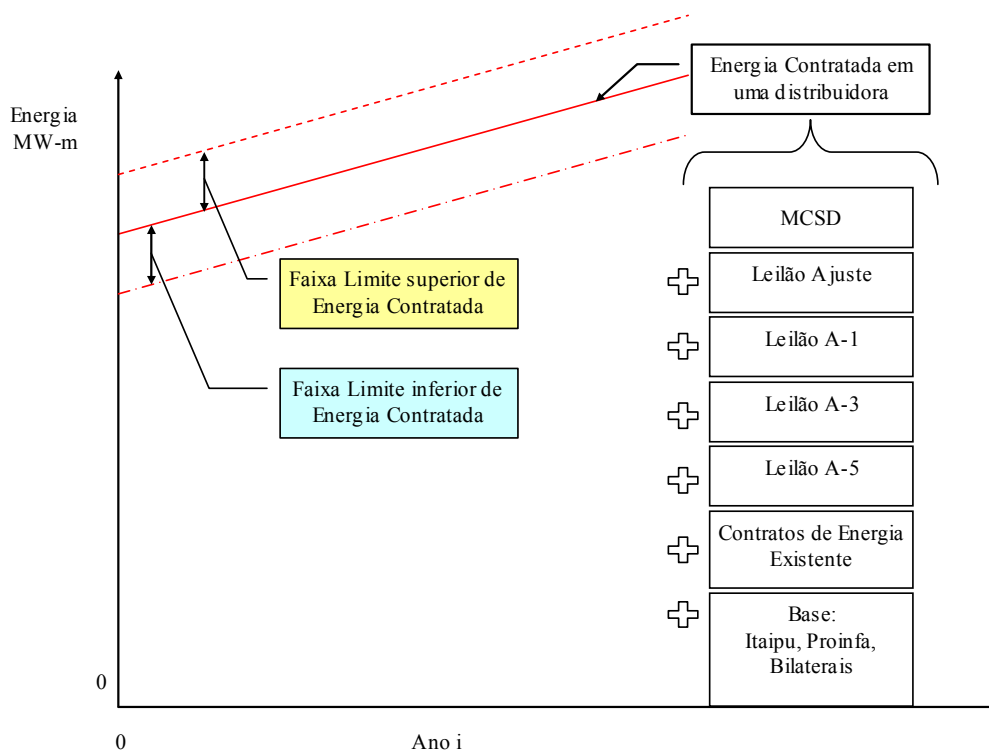


Figura 4.4. – Composição da Energia Contratada em uma Distribuidora

As faixas limites de energia contratada que permitem a distribuidora ter uma certa folga devido a erros naturais inerentes a previsão otimista e pessimista de seu mercado (representadas pelos segmentos de retas que ligam as linhas tracejadas a linha sólida central da figura 4.4) são compostas por percentuais de carga da distribuidora em anos diferentes conforme explicitado nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 – Composição da faixa limite superior de contratação

Faixa Limite superior para cada ano	Ano A de realização do Leilão	1% da energia contratada para o ano A
	Ano (A+1) de realização do Leilão	1% da energia contratada para o ano (A+1)
	Ano (A+2) de realização do Leilão	1% da energia contratada para o ano (A+2) + 2% da energia contratada para o ano A
	Ano (A+3) de realização do Leilão	1% da energia contratada para o ano (A+3) + 2% da energia contratada para o ano (A+1)
	Ano (A+4) de realização do Leilão	1% da energia contratada para o ano (A+4) + 2% da energia contratada para o ano (A+2)
	Ano (A+5) de realização do Leilão	1% da energia contratada para o ano (A+4) + 2% da energia contratada para o ano (A+3)

Tabela 4.2 – Composição da faixa limite inferior de contratação

Faixa Limite inferior para cada ano	Ano A de realização do Leilão	4% da energia contratada para o ano A-2
	Ano (A+1) de realização do Leilão	4% da energia contratada para o ano (A-1)
	Ano (A+2) de realização do Leilão	4% da energia contratada para o ano (A)

Tabela 4.2 – Composição da faixa limite inferior de contratação - continuação

Faixa Limite inferior para cada ano	Ano (A+3) de realização do Leilão	4% da energia contratada para o ano (A+1)
	Ano (A+4) de realização do Leilão	4% da energia contratada para o ano (A+2)
	Ano (A+5) de realização do Leilão	4% da energia contratada para o ano (A+3)

A metodologia de otimização proposta neste trabalho foi desenvolvida utilizando AGs. A codificação do problema via AGs será descrita em detalhes na próxima seção.

4.3.1 Codificação do problema via Algoritmos Genéticos

A representação escolhida foi a do tipo representação por números reais, por esta oferecer melhor desempenho em problemas de otimização de parâmetros com variáveis sobre domínio contínuo. Isto se torna ainda mais relevante em grandes domínios onde a representação binária requer um longo cromossomo.

A representação por números reais é mais rápida na execução, porque evita a decodificação. Ela oferece maior precisão (dependendo do computador) e tem a propriedade que dois pontos próximos um ao outro no espaço de representação, estão também próximos no espaço do problema.

A codificação do problema de gestão de compras de energia precisa ser cuidadosa, pois a decisão tomada em um determinado período afeta diretamente todos os outros. Essa etapa é considerada a mais importante, pois a viabilidade do algoritmo depende da sua codificação. O indivíduo representa os valores de energia a serem contratados para os leilões de energia nova e velha, respectivamente. A Figura 4.5 apresenta uma visão geral dos Leilões que foram simulados em relação ao tipo de energia comercializada (nova ou existente) e com quanto tempo de antecedência devem acontecer. As Figuras 4.6 e 4.7 representam graficamente a codificação do problema.

Foi simulada a contratação de energia para os leilões de A-5 (energia com início de entrega, por exemplo, para o ano de 2011), A-3 (energia com início de entrega para os anos de 2009, 2010 e 2011), A-1 (energia com início de entrega para os anos de 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011) e Ajuste (energia com início de entrega para os anos de 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011).

De posse dos valores de todos os contratos firmados pela distribuidora faz-se a simulação de quais valores poderiam compor o conjunto provável ótimo que minimizará o valor do risco financeiro por exposição a sobrecontratação e/ou subcontratação.

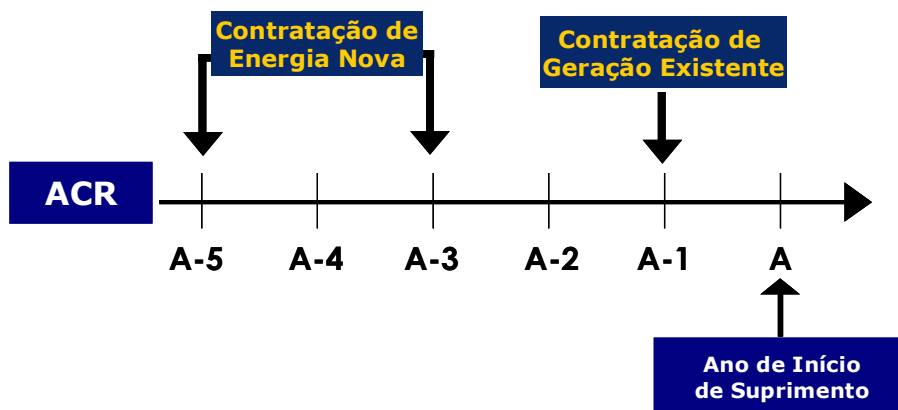


Figura 4.5. Leilões simulados x Tipo de energia

A seqüência de apresentação de dados (14 posições, como mostrado na Figura 4.6) para cada indivíduo são os montantes de energia elétrica que devem ser contratados para os leilões A-5, A-3, A-1 e Ajuste.

Assim, como o horizonte de estudo vai até 2011, só há a possibilidade de se contratar um leilão de A-5 dentro deste período. Esse tipo de contrato é feito no final de 2005 e é operacionalizado em 2011. Dessa maneira, só existe a possibilidade de se obter um valor a ser contratado em A-5. Já para o leilão de A-3, há três possibilidades de se contratar até o início de 2011, por isso está reservado três posições nos indivíduos e assim sucessivamente.

2005	2005	2006	2007	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
2011	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
A-5	A-3	A-3	A-3	A-1	A-1	A-1	A-1	A-1	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste
400	40	30	2	25	24	26	27	28	20	22	23	25	26

- 2005 <=> Ano em que o leilão está sendo realizado
- 2011 <=> Ano em que a energia deverá ser entregue
- A-5 <=> Tipo do Leilão (A-5, A-3, A-1 ou Ajuste)
- 400 <=> Valor de energia em MW-médio a ser contratado no leilão

posição 1	posição 2	posição 3	posição 4	posição 5	posição 6	posição 7	posição 8	posição 9	posição 10	posição 11	posição 12	posição 13	posição 14
A-5	A-3	A-3	A-3	A-1	A-1	A-1	A-1	A-1	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste

Figura 4.6. Codificação do Problema

Na Figura 4.6 pode-se interpretar a coluna destacada como sendo: A distribuidora deverá contratar 400 MW-médios no Leilão de A-5 realizado no fim do

ano de 2005 cuja entrega de energia se dará no início de 2011 por um período contratual de no mínimo 15 anos e no máximo 30 anos.

Os valores que serão analisados pelos especialistas e que sofrerão alterações continuamente até que se tenha um possível valor ótimo são os compostos pelas células na cor branca da Figura 4.6. De uma forma resumida apresenta-se na Figura 4.7 uma população composta por “5” indivíduos que serão avaliados.

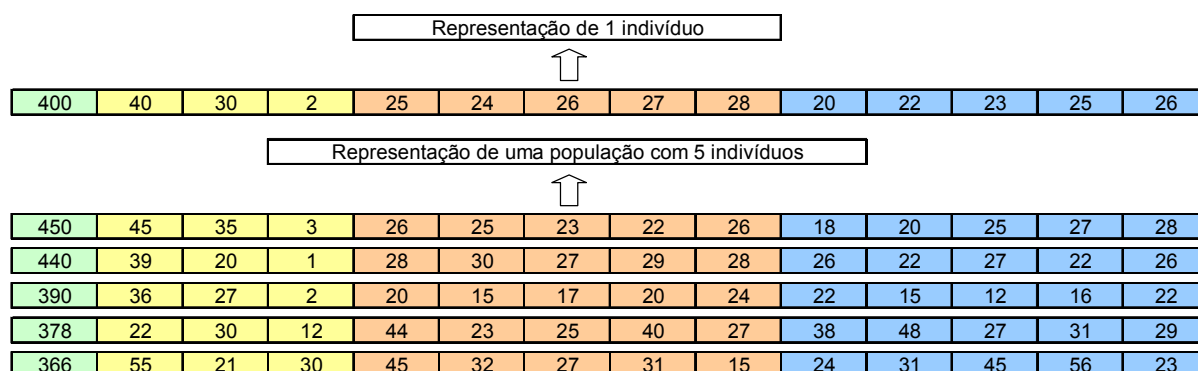


Figura 4.7. Representação de indivíduo e população

Optou-se primeiramente verificar a aplicabilidade de Algoritmos Genéticos na determinação dos valores de energia a contratar para os leilões de A-5, A-3 e A-1 e Ajuste. Futuramente serão verificadas as influências da participação do agente de Distribuição na execução do MCSD.

Tamanho da população:

O tamanho da população está diretamente relacionado com o desempenho global e a eficiência dos AGs. No problema apontado, após aproximadamente 40 (quarenta) testes com populações de tamanhos diferentes (10, 20, 30 e 40 indivíduos), verificou-se que quanto maior a população, maior o tempo necessário para a convergência do algoritmo. No entanto, nos testes com populações de 20 e 30 indivíduos, os resultados foram próximos (em termos de valores ótimos). Portanto, para conseguir executar o programa em um tempo menor, optou-se por utilizar uma população composta por 20 indivíduos.

População inicial:

A população inicial é obtida de forma aleatória. Com isso podem ser obtidos valores aceitáveis como ótimo para a solução do problema através de várias simulações com mesmo número de indivíduos e mesma característica.

Função de avaliação:

Também chamada de função de custo, ou de avaliação, ou “*fitness*”, está relacionada à minimização do valor da função objetivo do problema. É geralmente uma expressão matemática que mede o quanto uma solução está próxima ou distante da solução desejada (satisfaz o objetivo do problema). Muitas vezes ela inclui restrições que devem ser satisfeitas pela solução.

Ressalta-se aqui a necessidade de otimizar a contratação das distribuidoras nos leilões de A-5, A-3, A-1 e Ajuste, minimizando o valor dos prejuízos em cada ano por conta da limitação do repasse ao consumidor do valor da aquisição de energia e das penalizações aplicadas por subcontratação ou sobrecontratação. A função objetivo adotada neste trabalho foi:

$$\text{Risco} = \sum (\text{Lucro Tarifas} + \text{Risco Sobre} + \text{Risco Sub}) \quad 4.1$$

$$\text{Risco_Sobre} = \sum (\text{limite inferior} - \text{Cenário Pessimista}) \quad 4.2$$

$$\text{Risco_Sub} = \sum (\text{Cenário Otimista} - \text{limite superior}) \quad 4.3$$

Observa-se que na função objetivo acima o valor dos riscos de sobrecontratação e subcontratação não são trazidos a valor presente líquido, ou seja, considera-se o valor real no ano de ocorrência dos riscos. A aplicação de uma análise mais detalhada relativa ao valor presente dos riscos será sugerida como trabalhos futuros.

A parcela Risco_Sobre abrange todos os riscos da distribuidora em estar contratada acima do limite permitido para repasse à tarifa ao consumidor. Ressalta-se aqui que até o limite de 3% de sobrecontratação não há riscos para a distribuidora em virtude da sobrecontratação, pois esses 3% podem ser repassados

à tarifa. Na parcela Risco_Sub estão considerados os valores de riscos caso a distribuidora esteja subcontratada para um determinado ano e o prejuízo advindo dessa subcontratação na forma de penalizações dispostas em Lei e aplicadas pela CCEE.

A parcela Lucro_Tarifas contempla o fato de a distribuidora poder contar com a possibilidade de obter um lucro ou prejuízo (lucro negativo) devido ao repasse no valor de VR durante os três primeiros anos de entrega de energia contratada nos leilões. No presente trabalho não foi contemplado o fato de a distribuidora vir a ter lucros quando o VR for maior que o valor de energia adquirida em leilão, lucro este que pode ser obtido nos dois. Somente interessou para a estratégia a minimização das penalidades quando a mesma está sobre ou subcontratada.

Seleção:

Na seleção, membros da população foram escolhidos para a aplicação dos operadores. Para cada operador, foi selecionado um subconjunto dos indivíduos, que sofrem aplicação dos operadores genéticos. O processo de seleção utilizado neste trabalho é o denominado **roleta**.

Elitismo:

Para que os melhores indivíduos não sejam perdidos de uma geração para a outra, aplicou-se o operador de elitismo. Isso garante que os melhores passem automaticamente para a próxima geração, preservando suas características genéticas. Optou-se nessa dissertação trabalhar com um valor de elitismo igual a 2 (dois), ou seja, numa população composta por 20 indivíduos os dois melhores garantem a permanência na próxima geração.

Cruzamento:

O operador de cruzamento ou recombinação possibilita a criação de novos indivíduos através da combinação de dois ou mais indivíduos. Este operador

sustenta a idéia intuitiva de troca de informação entre diferentes soluções candidatas. O cruzamento adotado neste trabalho foi o de 2 (dois) pontos.

Mutação:

Com objetivo de manter a diversidade da população o operador genético de mutação é aplicado em alguns descendentes. O operador de mutação modifica de forma aleatória um ou mais genes de um cromossomo, de acordo com uma probabilidade denominada taxa de mutação. O tipo de mutação adotado neste trabalho foi uniforme, com uma taxa de mutação de 1%.

O tradicional ponto de vista é que o cruzamento é mais importante pela rapidez em explorar um espaço de busca, enquanto a mutação fornece uma pequena busca aleatória, ajudando a garantir que nenhum ponto do espaço de busca tenha probabilidade zero de ser examinado.

Critério de parada:

Geralmente, os critérios de parada adotados são: o número máximo de gerações (atingido esse limite, o AG pára e retorna as melhores soluções daquela população); estabilização no valor da função objetivo (se começar a repetir o valor, significa que a solução do problema convergiu).

4.4 Considerações Finais

O principal motivo do desenvolvimento da metodologia proposta neste trabalho é dar suporte à decisão dos especialistas na determinação dos valores de energia que uma distribuidora deve informar em sua Declaração de Necessidade de Energia que deve ser enviada ao MME todo ano antes da realização dos Leilões de Energia. Uma vez que essa declaração contenha valores os mais realistas possíveis com a previsão da distribuidora haverá uma expansão otimizada do sistema elétrico interligado nacional.

Para cada variável de saída, ou seja, cada valor de energia a ser supostamente contratada em cada modalidade de leilão, os especialistas da

distribuidora avaliam o montante dos riscos financeiros advindos da estratégia que gerou esses valores e ponderam a viabilidade de o corpo gerencial da mesma assumir a respectiva estratégia. Nota-se que neste ponto da avaliação pode haver ingerências que não se pode quantificar no processo de otimização.

Um dos critérios adotados pelos especialistas para avaliar a possibilidade de adotar ou não os valores fornecidos por uma determinada estratégia pode vir a ser a especificação de um valor máximo esperado de risco que a empresa e seus acionistas estão dispostos a correr devido a tomada de decisão. Outra forma de se analisar é a comparação do valor do risco de uma estratégia com o valor do lucro líquido da empresa. Outras formas mais existirão em virtude de razões estratégicas da empresa em assumir riscos.

Após o envio da Declaração de Necessidade de Energia que a distribuidora envia para o MME, o processo de otimização pode retornar à etapa inicial e ser novamente simulado tantas vezes quanto se quiser e quantas vezes novos dados relativos a contratos e valores de energia venham a ser incorporados no conjunto de dados de entrada do programa computacional.

Com esta ferramenta computacional desenvolvida, o especialista também pode testar todas as possíveis alterações que imaginar, as quais venham melhorar ou piorar o processo de otimização. Assim, a ferramenta serve também como um instrumento de treinamento para que o especialista desenvolva suas habilidades na condução de melhores estratégias de compra de energia para a distribuidora.

Toda vez que o valor fornecido pela ferramenta computacional não satisfizer às expectativas dos especialistas, pode-se retornar ao processo de otimização até que o mesmo forneça valores esperados dos riscos financeiros pela distribuidora.

Finalizando o processo de desenvolvimento da ferramenta computacional serão realizados diversos testes utilizando dados reais de uma concessionária e confrontando com o conhecimento do pessoal técnico de uma concessionária.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo apresentar resultados pertinentes à implementação da metodologia para definição da estratégia para as Distribuidoras adotarem na etapa anterior à participação nos leilões de energia.

5.2 Resultados

A metodologia foi aplicada em um estudo de caso utilizando dados reais de uma distribuidora de energia elétrica para que os especialistas pudessem aferir os resultados obtidos com sua experiência. Neste caso foi simulado os efeitos das novas regras nas operações de compra e venda de energia para uma distribuidora.

Para isso, considerou-se o fato de que a distribuidora deve prever seu mercado com cinco anos de antecedência e contratar toda a energia necessária para atender seus consumidores cativos nos leilões do ACR, sendo que os eventuais desvios de contratação são liquidados no mercado de curto prazo.

O modelo computacional simula a ação de um agente de distribuição dentro do novo modelo do setor elétrico brasileiro.

A seguir, são apresentados os dados de entrada utilizados no estudo de caso e como foram implementadas na ferramenta computacional as principais regras do decreto 5163/2004 que influenciam na contratação das distribuidoras.

O horizonte de estudo considerado para a realização das simulações foi de 10 anos, sendo cinco anos já conhecidos (passado) e cinco anos a prever (futuro, onde se pretende otimizar a contratação de energia). Uma ação tomada na estratégia adotada há cinco anos afeta os valores de energia que serão entregues

neste ano e uma ação tomada em uma estratégia hoje afeta os valores de energia a serem entregues daqui a cinco anos, observando portanto uma faixa limite de cinco anos para a atuação das ações tomadas nas estratégias adotadas.

Descrição dos dados de entrada

A matriz base de contratos, denominada “*Demanda contratos existentes*”, utilizada nessa versão preliminar é composta por 7 linhas e 6 colunas, sendo que as colunas representam os anos de 2006 a 2011. Cada linha da matriz apresenta valores dos contratos firmados pela distribuidora segundo cada possibilidade de contratação de energia para o respectivo ano. Futuramente serão incluídas linhas referente ao PROINFA.

A Tabela 5.1 apresenta a estrutura dessa matriz “*Demanda contratos existentes*” onde em cada célula da mesma são somados todos os valores de contratos relacionados com a respectiva modalidade de contratação. Por exemplo, todos os contratos de energia efetuados no leilão de A-5 no ano de 2005 compõem o valor da célula A-5 do ano 2010.

Para os leilões de A-5, A-3 e A-1 o ano de entrega é determinado como sendo 5 anos, 3 anos e 1 ano após a compra, ou seja, para os leilões de A-5, A-3 e A-1 a serem realizados em 2006 o ano de entrega é 2011, 2009 e 2007, respectivamente. Embora não tenhamos valores de energia proveniente de leilões A-5 que deveriam ser entregues nos anos 2006 a 2009 optou-se por deixar representado o valor de A-5 nas células prevendo assim o caso mais genérico (a partir de 2010), onde para todos os anos haverá entrega de energia de contratos A-5. As células que apresentam um asterisco são as que serão otimizadas.

As simulações para a determinação dos valores ótimos de contratação para os leilões de A-5, A-3, A-1 e Ajuste em estudo foram realizadas utilizando o Software Matlab, versão 7.1, num microcomputador com processador 2.6 GHz e 512MB de memória RAM. Outra ferramenta importante utilizada foi a Toolbox de Algoritmos Genéticos que o Matlab disponibiliza, a qual efetivamente realiza o processo de otimização.

Tabela 5.1 – Estrutura da Matriz Demanda_contratos_existentes

2006	2007	2008	2009	2010	2011
A-5	A-5	A-5	A-5	A-5	A-5 *
A-3	A-3	A-3	A-3 *	A-3 *	A-3 *
A-1	A-1 *	A-1 *	A-1 *	A-1 *	A-1 *
Ajuste	Ajuste *	Ajuste *	Ajuste *	Ajuste *	Ajuste *
MCSD	MCSD	MCSD	MCSD	MCSD	MCSD
E. Exist.	E. Exist.	E. Exist.	E. Exist.	E. Exist.	E. Exist.
C. Bilat.	C. Bilat.	C. Bilat.	C. Bilat.	C. Bilat.	C. Bilat.

Após levantamento dos dados para preenchimento da matriz “Demanda_contratos_existentes” a mesma é apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Matriz Demanda_contratos_existentes

2006	2007	2008	2009	2010	2011
0	0	0	0	0	A-5 *
0	0	0	A-3 *	A-3 *	A-3 *
0	A-1 *	A-1 *	A-1 *	A-1 *	A-1 *
0	Ajuste *	Ajuste *	Ajuste *	Ajuste *	Ajuste *
-90+15	-90+15+6	-90+15+6	-90+15+6	-90+15+6	-90+15+6
1394	1394	1448	1448	1448	1448
519+390+70+ +31+9	519+390+70 +66+14+79	515+390+70+ +66+42+79	515+390+70+ +66+42+79	515+390+70+ +66+42+79	515+390+70+ +66+42+79

Para os dados de energia de contratos MCSD (Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits) em cada ano observa-se o seguinte: valores negativos referem-se a venda no MCSD e valores positivos referem-se a compra no MCSD.

Para os dados de energia de contratos de leilões de energia existente em cada ano, também retirados da planilha “Balanço energético”, fornecida pela distribuidora, observa-se o seguinte: sobre esses valores é que incidirá o decréscimo de 4% previsto na legislação do setor elétrico caso se apresente um cenário pessimista e a distribuidora esteja sobrecontratada.

Para os dados de energia de contratos Bilaterais em cada ano, informados pela distribuidora observa-se o seguinte: considerou-se como Bilaterais os contratos com Itaipu, CIEN e Proinfa.

Os cenários adotados para comparação e determinação dos riscos financeiros devido a exposições por subcontratação ou sobrecontratação foram os informados pela área de mercados de uma concessionária do Brasil.

A matriz base de cenários apresentada na Tabela 5.3, denominada Matriz_Cenários, é composta por 3 linhas e 6 colunas, sendo que as colunas

representam os anos de 2006 a 2011. Cada linha da matriz apresenta valores previstos para consumo de energia de acordo com cada cenário (otimista para a linha 1, referência para a linha 2 e pessimista para a linha 3).

Tabela 5.3 - Matriz de Cenários – MW-médio

Cenário	Ano					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Otimista	2442	2590	2735	2905	3064	3220
Referência	2382	2498	2609	2739	2858	2974
Pessimista	2324	2406	2483	2574	2653	2727

Os valores apresentados para os cenários otimista, referência e pessimistas são considerados na unidade de MW-médio, o que corresponde à razão entre o valor total de MWh consumido em 1 ano e a quantidade de horas do ano.

Nessa etapa inicial de simulação o valor de VR foi desconsiderado para efeito do cálculo do repasse às tarifas sendo que o valor considerado do repasse é igual ao valor pago pela energia contratada no respectivo leilão. Isso se deve ao fato do interesse em validar a aplicação da técnica de otimização via Algoritmos Genéticos sem preocupar-se com possíveis lucros que a distribuidora venha a obter com a diferença entre o valor pago no leilão e o valor repassado às tarifas nos três primeiros anos. Futuramente, ao incluir-se o valor de VR previsto para cada ano, haverá a possibilidade de a distribuidora interessar-se numa estratégia ótima que garanta o menor risco financeiro na compra regulada e também tenha perspectiva de lucro com essa possível diferença entre VR e VL. Observe que, conforme citado anteriormente, ao inserir-se os valores previstos de VR também há chances de a distribuidora ao invés de ter lucro, obter prejuízo financeiro, uma vez que VR pode ser menor que o valor de contrato no leilão.

Os preços previstos da energia para os leilões de A-5 e A-3 foram retirados de CASTRO, R. (2004) para os anos 2009, 2010 e 2011 e extrapolados para os anos 2006, 2007 e 2008 aplicando o índice de reajuste anual dos contratos de 12% utilizado pelo autor. A Tabela 5.4 apresenta os valores de VL5, VL3 e VL1 utilizados. Também é possível distinguir na Tabela 5.4 os patamares de preço vinculados ao tipo de empreendimento que está fornecendo a energia a ser leiloadada, ou seja, os menores valores são dos empreendimentos existentes, com investimento amortizado, enquanto o VL5 representa os novos empreendimentos de geração hidráulica e VL3 os novos empreendimentos de geração térmica.

Tabela 5.4 – Preços de Energia para A-5, A-3 e A-1 em R\$/MWh

Leilão	Ano					
	2006	2007	2008	2009	2010	2011
A-5	114	129	147	167	187	210
A-3	132	150	170	193	217	243
A-1	80	90	100	120	140	160
Ajuste	60	75	90	100	120	140

Como as previsões dos cenários otimista e pessimista se distanciam muito à medida que se quer estimar valores para 1, 3 e 5 anos a frente, é de se esperar que a faixa de cobertura dos mecanismos de contratação dificilmente consiga abranger todas as condições extremas. Porém, observa-se que de um ano para outro as mudanças no fornecimento e consumo de energia não sofrem abruptos desvios e o cenário de referência é atendido pelos valores de contratação obtidos com a técnica de Algoritmos Genéticos proposta neste trabalho.

A Figura 5.1 apresenta o resultado final de uma simulação onde o indivíduo obtido é o apresentado na Tabela 5.5 e cuja função de avaliação obteve o risco total de R\$ 208.609,00.

Tabela 5.5. Indivíduo ótimo

A-5	A-3	A-3	A-3	A-1	A-1	A-1	A-1	A-1	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste
2011	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
282	48	49	5	22	17	24	26	24	19	22	25	26	4

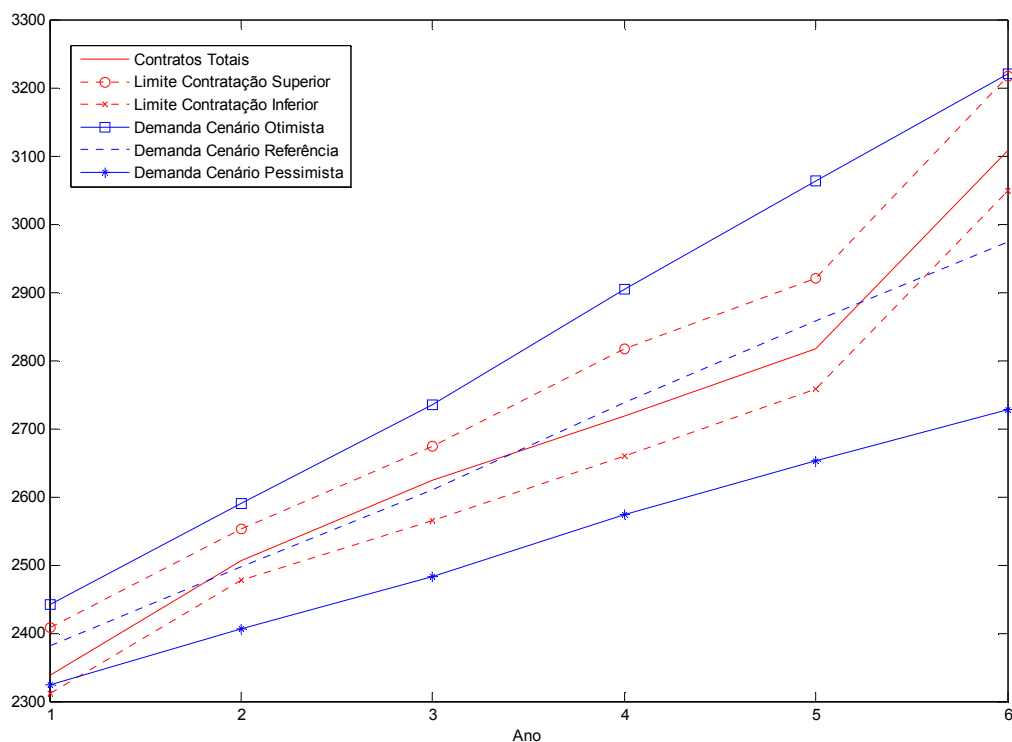


Figura 5.1 – Resultado da simulação

O valor relativo a sobrecontratação foi de R\$ 80.299,00 e o relativo a subcontratação foi R\$ 128.310,00. O valor lucro tarifa ficou nulo, uma vez que os valores considerados de VR e VL foram iguais. Observe que para esse indivíduo obtido como sendo o possível ótimo a aquisição de energia em 2011 no leilão de A-3 possui um valor pequeno, o que condiz com as regras de leilão. Como o valor de energia no leilão de A-5 é menor que o de A-3 para o ano de 2011, espera-se, portanto, que a maior parcela de energia seja contratada através do leilão de A-5 e A-1 (energia a ser entregue em 2011) e que o valor de A-3 seja pouco expressivo. Nesta condição a compra de energia foi realizada com os menores riscos possíveis.

A tendência de sobrecontratação foi confirmada pela otimização, uma vez que as penalidades por sobrecontratação são muito menores que as por subcontratação, devido as regras do leilão.

A simulação com 20 indivíduos, considerando que todos os leilões (A-5, A-3, A-1 e Ajuste) são realizados e a distribuidora pode comprar energia nos mesmos, forneceu o menor valor de risco financeiro, sendo o mesmo R\$ 197.794,00. A Figura 5.2 apresenta o indivíduo ótimo fornecido nessa simulação, e a Figura 5.3 mostra o resultado gráfico dessa simulação.

300,5	46,7	50,1	0,1	23,3	25,1	26,3	27,2	0,0	23,0	25,0	26,2	27,2	0,2
-------	------	------	-----	------	------	------	------	-----	------	------	------	------	-----

Figura 5.2 – Indivíduo ótimo considerando leilões de A-5, A-3, A-1 e Ajuste

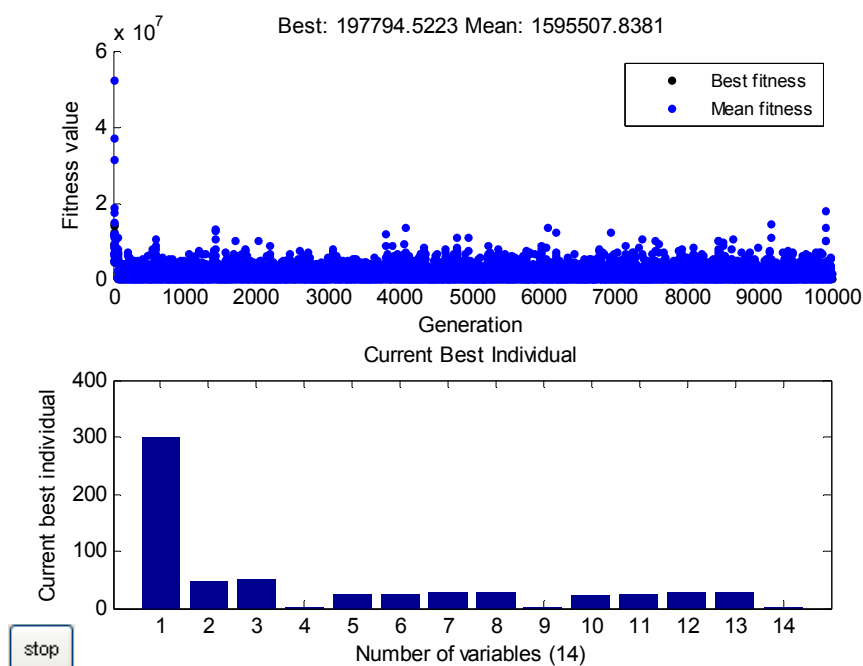


Figura 5.3 - Resultado da simulação para leilões de A-5, A-3, A-1 e Ajuste

A simulação com 20 indivíduos, considerando que os leilões A-5, A-3 e A-1 são realizados e a distribuidora pode comprar energia nos mesmos, forneceu um valor de risco financeiro maior que o anterior, sendo o mesmo R\$ 254.289,00. A Figura 5.4 apresenta o indivíduo ótimo fornecido nessa simulação, e a Figura 5.5 mostra o resultado gráfico dessa simulação.

386,3	46,8	49,7	0,0	23,4	24,8	25,9	26,6	0,4
-------	------	------	-----	------	------	------	------	-----

Figura 5.4 – Indivíduo ótimo considerando leilões de A-5, A-3 e A-1

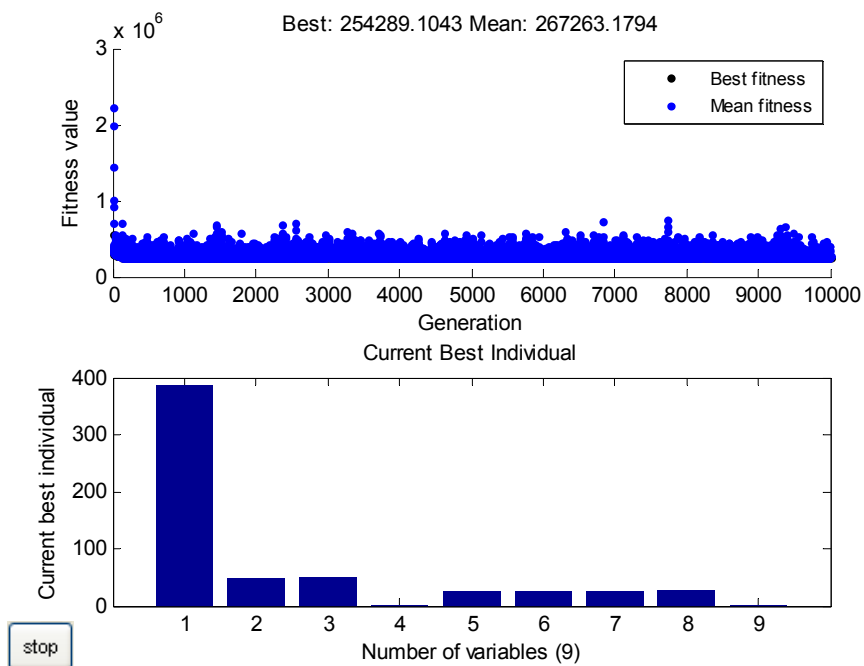


Figura 5.5 - Resultado da simulação para leilões de A-5, A-3 e A-1

A simulação com 20 indivíduos, considerando que somente os leilões A-5 e A-3 são realizados e a distribuidora pode comprar energia nos mesmos, forneceu um valor de risco financeiro muito maior que os anteriores, sendo o mesmo R\$ 327.921,00. A Figura 5.6 apresenta o indivíduo ótimo fornecido nessa simulação, e a Figura 5.7 mostra o resultado gráfico dessa simulação.

490,7	46,8	49,3	0,0
-------	------	------	-----

Figura 5.6 – Indivíduo ótimo considerando leilões de A-5, A-3 e A-1

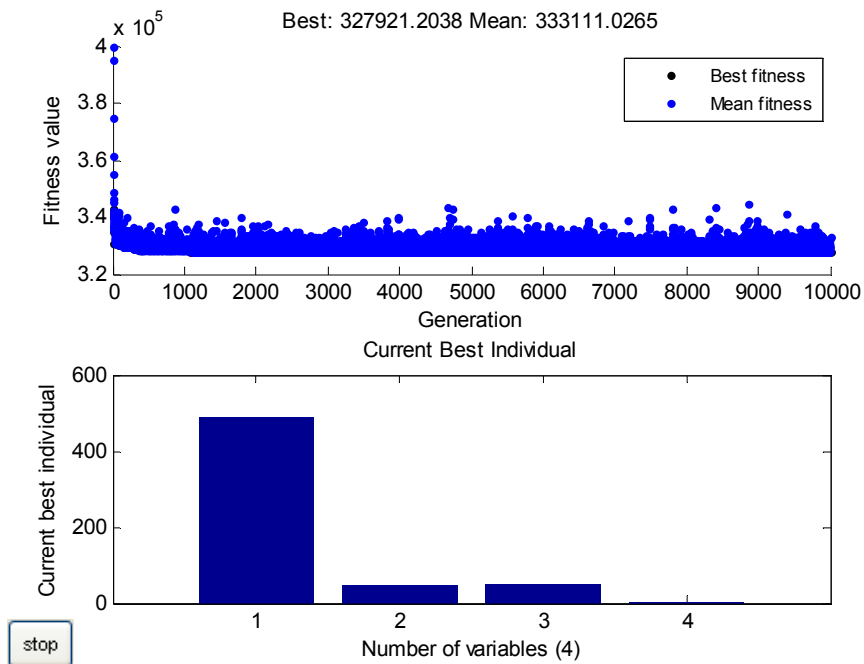


Figura 5.7 - Resultado da simulação para leilões de A-5 e A-3

Observa-se através dessas simulações que a medida que se restringe as opções de compra da distribuidora, isto é, diminui-se os tipos de leilões, o valor da função objetivo aumenta significativamente. Isto se deve ao fato de se ter a opção de compra em leilão de A-5 atendendo quase a totalidade da demanda. Os valores de compra para os demais leilões são restritos, daí seu baixo valor em comparação com o de A-5. Quando se aumentam os tipos de leilões, automaticamente o processo de otimização tende a distribuir o valor de demanda da distribuidora por todos os leilões, de acordo com a atratividade do VL e atendendo as restrições de limites máximo que se pode comprar em cada tipo de leilão. Na Figura 5.8 pode-se perceber essa variação no valor contratado no leilão de A-5 em relação as demais simulações, a medida que se restringe as opções de compra para a distribuidora.

A-5	A-3	A-3	A-3	A-1	A-1	A-1	A-1	A-1	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste	Ajuste
300,5	46,7	50,1	0,1	23,3	25,1	26,3	27,2	0,0	23,0	25,0	26,2	27,2	0,2
386,3	46,8	49,7	0,0	23,4	24,8	25,9	26,6	0,4					
490,7	46,8	49,3	0,0										

Figura 5.8 – Variação do valor contratado no leilão de A-5

A contratação otimizada de energia considerando as possibilidades da existência dos leilões acima mencionados são ilustradas através das Figuras 5.9 a 5.11.

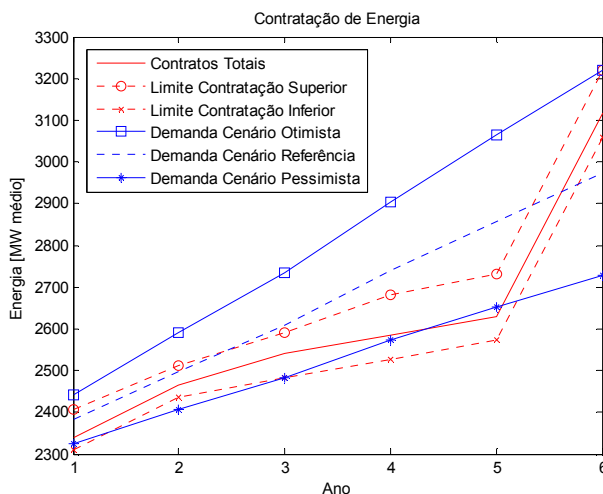


Figura 5.9 – Contratação otimizada de energia em leilões A-5 e A-3

Considerando que a demanda total do cenário de referência é 16.060 MWmédios os valores a serem contratados caso ocorram cenários de sobre ou subcontratação são respectivamente 16.144 MWmédios e 15.389 MWmédios para a Figura 5.9. Isso corresponde a 100,5% e 95,8 % da demanda do cenário referência, respectivamente. O Risco_Sub vale R\$ 284.375,55 e o Risco_Sobre vale R\$ 43.538,18.

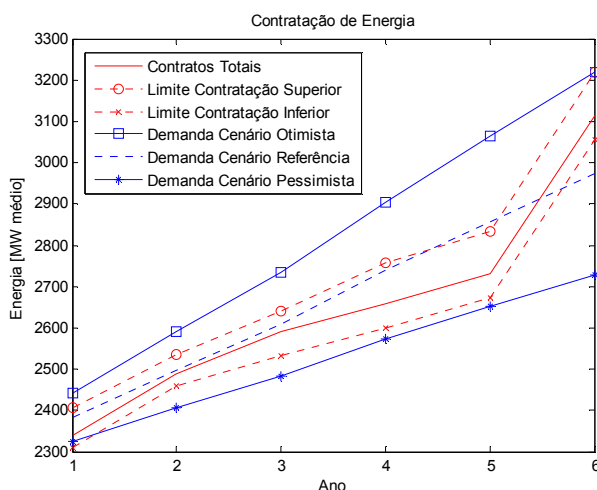


Figura 5.10 – Contratação otimizada de energia em leilões A-5, A-3 e A-1

Para a Figura 5.10 os valores a serem contratados caso ocorram cenários de sobre ou subcontratação são respectivamente 16.394 MWmédios e

15.632 MWmédios. Isso corresponde a 102,1% e 97,3 % da demanda do cenário referência,. O Risco_Sub vale R\$ 196.877,30 e o Risco_Sobre vale R\$ 57.411,80.

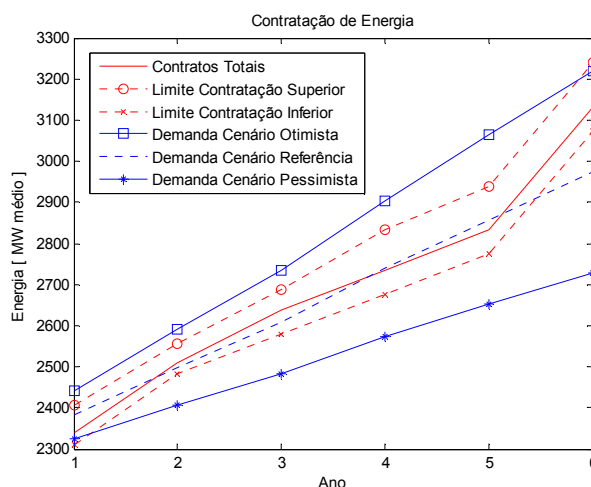


Figura 5.11 – Contratação otimizada de energia em leilões A-5, A-3, A-1 e Ajuste

Para a Figura 5.11 os valores a serem contratados caso ocorram cenários de sobre ou subcontratação são respectivamente 16.667 MWmédios e 15.899 MWmédios. Isso corresponde a 103,7% e 99,0 % da demanda do cenário referência. O Risco_Sub vale R\$ 108.372,50 e o Risco_Sobre vale R\$ 89.421,76.

5.3 Considerações Finais

Para diversas simulações efetuadas nesse trabalho foram obtidos resultados satisfatórios que validaram a aplicação das técnicas de Algoritmos Genéticos no problema da gestão de compra de energia para agentes distribuidores.

A técnica de algoritmos genéticos demonstra ser uma ferramenta valiosa no auxílio à tomada de decisão pela distribuidora na hora de informar ao MME sua necessidade futura de energia para o atendimento de seu mercado, obedecendo às regras de leilão.

Considerando que numa simulação com muitas variáveis não há como testar exaustivamente o espaço de busca, a técnica de IA utilizadas neste trabalho demonstrou ser muito eficiente, pois trabalham com um conjunto de possíveis soluções e não com uma única solução, como nas técnicas tradicionais.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

6.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentadas as principais contribuições advindas do estudo sobre as estratégias das distribuidoras para compra de energia elétrica no ambiente regulado de comercialização de energia.

6.2 Resumo de Contribuições

Esta dissertação teve as seguintes contribuições:

- (i) Apresentou uma descrição do modelo de comercialização de energia no Brasil, possibilitando uma maior compreensão das regras do leilão;

- (ii) Implementação de uma ferramenta computacional utilizando Inteligência Artificial baseada em Algoritmos Genéticos para se estabelecer uma estratégia ótima de compra de energia elétrica através dos leilões A-5, A-3, A-1 e Ajuste para um horizonte de 5 anos;

As conclusões advindas do trabalho são:

- (i) A ferramenta desenvolvida apresentou resultados satisfatórios no que se refere a estabelecer estratégia ótima de compra, obedecendo às regras de leilão. Por exemplo, o fato de se ter obtido valores maiores para leilões A-5 e A-1 e menores para A-3;

- (ii) A técnica de Algoritmos Genéticos se mostrou eficiente pela sua utilidade em problemas com grande espaço de busca.
- (iii) Aplicação da ferramenta computacional em treinamento nas regras de mercado;
- (iv) O desenvolvimento de uma ferramenta computacional que minimiza os riscos financeiros (prejuízos) de exposição envolvidos nas operações de compra de energia através da modelagem das penalidades impostas pela legislação vigente referente a sobrecontratação ou subcontratação por parte das agências distribuidoras, que não podem ser repassadas à tarifas de seus consumidores

6.3 Recomendações para Trabalhos Futuros

A utilização de cenários mais complexos (onde serão consideradas as influências do MCSD e possibilidade da saída de consumidores potencialmente livres, ainda não abordadas) poderá ser testada para análise da sensibilidade da estratégia de compra e verificação da variação dos riscos financeiros devido à inserção desses novos componentes como variáveis do problema.

Também poderá ser averiguada a utilização de outras técnicas de solução tais como *Particle Swarm*, Método Primal Dual dos Pontos Interiores e outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, J. L. R. H., (1988) "Modelos de energia para planejamento". Área Interdisciplinar de Energia. COPPE/UFRJ, 1988. Tese para concurso de professor titular.

AZEVEDO, E. M. DE, (2004) "Modelo Computacional de Teoria dos Jogos aplicado aos Leilões Brasileiros de Energia Elétrica", Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, universidade Estadual de Campinas, 2004, 153p. Tese de doutorado.

AZEVEDO, F.; VALE, Z.A.; ALMEIDA DO VALE, A. (2003) Decision-Support Tool for the Establishment of Contracts in the Electricity Market. Proceedings of 2003 IEEE Bologna PowerTech Conference, June 23-26, Bologna, Italy.

BOLTON, S. K. Famous Men of Science (traduzido por J. C. Ribeiro Penna). 19ª edição, Editora: Universitária. São Paulo/SP, 222 pg, 1944.

CASTRO, M.A.L (2004). "Análise dos Riscos de uma Distribuidora Associados à Compra e Venda de Energia no Novo Modelo do Setor Elétrico". Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação ENE.DM -198/04, Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136p.

CASTRO, R. (2004) "Análise de Decisões sob Incerteza para Investimento e Comercialização de Energia Elétrica no Brasil". Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

CASTRO, R.; Ramos, D. S. e Lyra Filho, C. (1999) - "Comercialização de energia no ambiente competitivo do setor elétrico brasileiro". XV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, 1999.

CASTRO, R. e Lyra Filho, C. (2004) [A] "Assessing decision on the wholesale energy market: the environmental" - IEEE T&D, São Paulo/SP, 2004;

CASTRO R. e Lyra Filho, C. (2004) [B] - "Um método para suporte a decisão para investimento e comercialização no atacado de energia elétrica brasileiro" - IEEE T&D, São Paulo/SP, 2004;

COELLO, C.A.C. (2000) An Updated Survey of GA-Based Multiobjective Optimization Techniques. *ACM Computing Surveys*, vol. 32, nº 2, pp. 109-143.

CORREIA, P.B.; LANZOTTI, C.R.; SILVA, A.J. (2003) Teoria dos Leilões: Formulações e Aplicações no Setor Elétrico. Anais do II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, pp. 711-715.

DECRETO Nº 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004 - Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.

EHRGOTT, M. (2000) Approximation Algorithms for Combinatorial Multicriteria Optimization Problems, *International Transactions in Operational Research*. Vol. 7, pp. 5-31.

EHRGOTT, M.; GANDIBLEUX, X. (2000) A Survey and Annotated Bibliography of Multicriteria Combinatorial Optimization, *OR Spektrum*.

GUIMARÃES, A. R. (2006) “Estratégias de Contratação das Distribuidoras sob Incerteza de Demanda em Leilões de Energia”. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.

GOLDBERG, D.E. (1989) - Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Editora: Addison-Wesley. New York 1989.

JONES, D.F.; MIRRAZAVI, S.K.; TAMIZ, M. (2002) Multi-objective Meta-heuristics: An Overview of the Current State-of-Art. *European Journal of Operational Research*, vol.137, pp. 1-19.

LEI Nº 10.848, DE 15 DE MARÇO DE 2004 - Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, e dá outras providências.

LEITE, P. T. (1999). Um algoritmo genético para o planejamento de sistemas hidroelétricos, Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos.

LEITE, P. T. (2003). Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial no Planejamento da Operação de Sistemas Hidrotérmicos de Potência, PhD thesis, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LO, K.L.; WU, Y.K. (2003) Risk Assessment Due to Local Demand Forecast Uncertainty in the Competitive Supply Industry. *IEEE Proc.-Gener. Transmission Distribution*, v. 150, n. 5 (September), pp. 573-582.

LUTTON, E.; MARTINEZ, P. (1994) - A Genetic Algorithm for the Detection of 2D Geometric Primitives in Images; 1051-4651/94 IEEE. INRIA - Rocquencourt, B.P. 105, 78153 LE CHESNAY Cedex, France 1994.

MACHADO G. V. (2002) “O papel de indicadores no planejamento energético - conceitos e aplicações”. ed. SBPE/Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, 2002.

MITCHELL, M (1997). "An Introduction to Genetic Algorithms". Cambridge: Mit Press. p.1997. 207

MME - Ministério das Minas e Energia [A] - "Modelo institucional do setor elétrico", Brasília, dezembro de 2003

MME - Ministério das Minas e Energia [B] - "O novo modelo do setor elétrico", cartilha para os agentes, Brasília, dezembro de 2003

MOUNT, T. (1999) "Market Power and Price Volatility in Restructured Markets for Electricity." IEEE Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, January 5–8, 1999. Maui, Hawaii.

MUNHOZ, F. C. (2004) "Metodologia e software para fixação de Lanes em Leilões de Energia Elétrica" Dissertação de Mestrado, Unicamp, Campinas - Brasil"

OSMAN, I.; LAPORTE, G. (1996) Metaheuristics: A bibliography. *Annals of Operations Research*, v. 65, pp 513-623.

PAULINO, W. R. (1995) "Biologia Atual (Genética-Evolução-Ecologia)". 7ª edição, Editora: Ática S.A. São Paulo/SP 1995. p. (12-30, 88-118)

RUSSEL,S. & NORVIG, P. (1995) - "Artificial Intelligence - A modern approach"- Printicel Hall, 1995

SILVA, A. J. DA, (2003) "Leilões de certificados de energia elétrica: máximo excedente versus máxima quantidade negociada", Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003, 112p, Dissertação (Mestrado).

SILVA J. C. B. (2002) "Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica usando Geração Distribuída", Tese de D. Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil, 2002.

SUSTERAS, G. L. (2006) Aplicação de Algoritmos Genéticos para previsão do comportamento das Distribuidoras como apoio à estratégia de comercialização de energia de Agentes Geradores. 2006. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

TOLMASQUIM M.T. (2000) (organizador), A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio, ed. ENERGE, Rio de Janeiro, 2000.

VAN VELDHUIZEN, D.A.; LAMONT, G.B. (2000) Multiobjective Evolutionary Algorithms: Analysing the State-of-Art. *Evolutionary Computation*, vol. 8(2), pp. 125-147.

VOLMANN, T.E.; BERRY, W.L.; WHYBARK, D.C. (1988) - *Manufacturing Planning and Control Systems*. Dow Jones-Irwin, 2ª edição.

WIERZBICK, A.P. (1986) On The Completeness and Constructiveness of Parametric Characterization to Vector Optimization Problems. *OR Spektrum*, 8, pp 73-87.

WOLAK, F. A. (1997) - "Market design and price behavior in restructured electricity markets: an international comparison", Program on Workable Energy Regulation - POWER. PWP - 051, University of California Energy Institute, Berkeley, 1997.

WOLFRAM, C. (1999) "Electricity markets: Should the rest of the world adopt the UK reforms?" Working paper of University of California. Berkeley, 1999.

ZANFELICE, F.R.; BARBOSA, P.S.F. (2004) Modelagem para a Otimização do Planejamento Energético de Empresas Distribuidoras de Energia sob o enfoque do Novo Modelo do Setor Elétrico. Anais do XVI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica – SENDI 2004.

ANEXO 1 – LEIS, DECRETOS E RESOLUÇÕES DO SEB**2.3.2.1 Leis**

8.987/95 - Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei19958987.pdf>

9.074/95 - Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei19959074.pdf>

9.427/96 - Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei19969427.pdf>

9.648/98 - Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/LEI19989648.PDF>

10.433/02 - Dispõe sobre a autorização para a criação do Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE, pessoa jurídica de direito privado, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210433.pdf>

10.438/02 - Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210438.pdf>

10.604/02 - Dispõe sobre recursos para subvenção a consumidores de energia elétrica da Subclasse Baixa Renda, dá nova redação aos arts. 27 e 28 da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210604.pdf>

10.637/02 - Dispõe sobre a não-cumulatividade na cobrança da contribuição para os Programas de Integração Social (PIS) e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP), nos casos que especifica; sobre o pagamento e o parcelamento de débitos tributários federais, a compensação de créditos fiscais, a declaração de inaptidão de inscrição de pessoas jurídicas, a legislação aduaneira, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210637.pdf>

10.762/03 - Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, altera as Leis nos 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200310762.pdf>

10.847/04 - Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200410847.pdf>

10.848/04 - Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200410848.pdf>

2.3.2.2 Decretos

2.335/97 - Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec19972335.pdf>

2.655/98 - Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras

de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec19982655.pdf>

4.541/02 - Regulamenta os arts. 3º, 13, 17 e 23 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA e a Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20024541.pdf>

4.550/02 - Regulamenta a comercialização de energia elétrica gerada pela Eletrobrás Termonuclear S.A. - ELETRONUCLEAR, por ITAIPU Binacional e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20024550.pdf>

4.562/02 - Estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica; para tarifação e preço de energia elétrica; dispõe sobre compra de energia elétrica das concessionárias de serviço público de distribuição; valores normativos; estabelece a redução do número de submercados; diretrizes para revisão da metodologia de cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão - TUST e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20024562.pdf>

4.667/03 - Altera o Decreto no 4.562, de 31 de dezembro de 2002, que estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica; para tarifação e preço de energia elétrica; dispõe sobre compra de energia elétrica das concessionárias de serviço público de distribuição; valores normativos; estabelece a redução do número de submercados; diretrizes para revisão da metodologia de cálculo das Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão - TUST; o Decreto no 62.724, de 17 de maio de 1968, que estabelece normas gerais de tarifação para as empresas concessionárias de serviços públicos de energia elétrica, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20034667.pdf>

4.767/03 - Regulamenta o § 7º do art. 27 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, altera o inciso VI do art. 6º do Decreto nº 4.562, de 31 de dezembro de 2002, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20034767.pdf>

5.081/04 - Regulamenta os arts. 13 e 14 da Lei no 9.648, de 27 de maio de 1998, e o art. 23 da Lei no 10.848, de 15 de março de 2004, que tratam do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045081.pdf>

5.163/04 - Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045163.pdf>

5.175/04 - Constitui o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE de que trata o art. 14 da Lei no 10.848, de 15 de março de 2004.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045175.pdf>

5.177/04 - Regulamenta os arts. 4o e 5o da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, e dispõe sobre a organização, as atribuições e o funcionamento da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045177.pdf>

5.184/04 - Cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045184.pdf>

5.249/04 - Dá nova redação ao inciso XI do § 2o do art. 1o 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.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045249.pdf>

5.271/04 - Altera dispositivos 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.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045271.pdf>

2.3.2.3 Resoluções

290/00 - Homologa as Regras do Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE e fixa as diretrizes para a sua implantação gradual.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/RES2000290.PDF>

456/00 - Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000456.pdf>

102/02 - Institui a Convenção do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE).

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002102.pdf>

103/02 - Autoriza o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) - Pessoa Jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, a atuar segundo regras e procedimentos de mercado estabelecidos pela ANEEL.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002103.pdf>

395/02 - Aprova as Regras de Mercado, componentes da versão 2.2b, para fins de contabilização e liquidação das transações no período de 1o de setembro de 2000 a 30 de junho de 2001, no âmbito do Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002395.pdf>

445/02 - Aprova as Regras do Mercado, componentes da versão 3.0, para fins de contabilização e liquidação das transações de compra e venda de energia elétrica no período de 1o de julho de 2001 até 31 de dezembro de 2003 no âmbito do Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002445.pdf>

447/02 - Estabelece as condições gerais para implementação do que dispõe o art. 2o da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002447.pdf>

552/02 - Estabelece os procedimentos relativos à liquidação das operações de compra e venda de energia elétrica, no mercado de curto prazo, no âmbito do Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE e trata das garantias financeiras e penalidades.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002552.pdf>

023/03 - Estabelece critérios para a definição, de forma transitória, das garantias financeiras a que se refere o art. 2o da Convenção do Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE e dá outras providências.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003023.pdf>

040/03 - Aprova as Regras de Mercado, componentes da versão 3.1, que estabelecem a modulação “ex-ante” de Contratos Iniciais, para fins de

contabilização e liquidação das transações no período de 1o de janeiro até 30 de junho de 2003.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003040.pdf>

091/03 - Estabelece as condições para implementação do limite de contratação de energia elétrica para agentes participantes do Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE, conforme definido no Decreto no 4.562, de 31 de dezembro de 2002.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003091.pdf>

237/03 - Determina ajustes no cronograma para implantação das Regras do Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE, estabelecido por meio da Resolução.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003237.pdf>

258/03 - Estabelece critérios e procedimentos a serem adotados por concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica que optar por instalação de equipamentos de medição em local externo à unidade consumidora.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003258.pdf>

265/03 - Estabelece os procedimentos para prestação de serviços ancilares de geração e transmissão.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003265.pdf>

352/03 - Estabelece as condições para implementação da sistemática de verificação do lastro de contratos de venda de energia elétrica, registrados no Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE, conforme diretriz estabelecida no art. 5o da Resolução no 249, de 11 de agosto de 1998.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003352.pdf>

433/03 - Estabelece os procedimentos e as condições para início da operação em teste e da operação comercial de empreendimentos de geração de energia elétrica.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003433.pdf>

462/03 - Aprova as Regras do Mercado, componentes da versão 3.1.b, que considera a alteração da sistemática de estabelecimento do Preço Mínimo do Mercado de Curto Prazo (PMAE_min), de que trata a Resolução no 377, de 30 de julho de 2003.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003462.pdf>

577/03 - Aprova as Regras do Mercado, componentes da versão 3.1.c, que

incorpora a utilização dos recursos decorrentes da aplicação de penalidades por insuficiência de contratação e/ou de lastro de venda.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003577.pdf>

652/03 - Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH).

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>

686/03 - Estabelece procedimentos e critérios para a implementação do mecanismo de representação da aversão ao risco de racionamento no Programa Mensal de Operação - PMO e no cálculo do preço do mercado de curto prazo do MAE - PMAE, conforme disposto na Resolução CNPE no 10, de 16 de dezembro de 2003, aprovada pelo Presidente da República em 18 de dezembro de 2003.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003686.pdf>

688/03 - Aprova as Regras do Mercado, componentes da versão 3.5, que incorpora incentivo à eficiência de usinas participantes do Mecanismo de Realocação de Energia - MRE.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003688.pdf>

040/04 - Estabelece critérios para determinação dos limites de disponibilidade de geração e de lastro das usinas térmicas da Região Nordeste participantes do Programa Prioritário de Termelétricidade - PPT, aplicados ao período 2004/2005.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004040.pdf>

055/04 - Estabelece a metodologia de cálculo do Fator X na revisão tarifária periódica da concessionária do serviço público de distribuição de energia elétrica.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004055.pdf>

061/04 - Estabelece as disposições relativas ao ressarcimento de danos elétricos em equipamentos elétricos instalados em unidades consumidoras, causados por perturbação ocorrida no sistema elétrico.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004061.pdf>

063/04 - Aprova procedimentos para regular a imposição de penalidades aos concessionários, permissionários, autorizados e demais agentes de instalações e serviços de energia elétrica, bem como às entidades responsáveis pela operação do sistema, pela comercialização de energia elétrica e pela gestão de recursos provenientes de encargos setoriais.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004063.pdf>

074/04 - Estabelece os critérios e procedimentos para que as concessionárias de

transmissão que atendam consumidor livre e/ou autoprodutor, com unidade de consumo conectada às respectivas instalações de transmissão integrantes da Rede Básica do Sistema Interligado Nacional, passem a ser quotistas da Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis - CCC e da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, em atendimento ao art. 13 da Lei no 5.899, de 5 de julho de 1973, e ao art. 13 da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002, com redação dada pela Lei no 10.848, de 15 de março de 2004.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004074.pdf>

075/04 - Dá nova redação ao § 7º do art. 3º da Resolução nº 688, de 24 de dezembro de 2003, no que diz respeito ao tratamento a ser dado às indisponibilidades programadas de longa duração, devido modernizações e reformas em usinas participantes do Mecanismo de Realocação de Energia – MRE.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004075.pdf>

082/04 - Estabelece as condições para atendimento com redes de energia elétrica nos lotes situados em loteamentos urbanos, nos parcelamentos situados em zonas habitacionais de interesse social e nos parcelamentos populares, bem como para incorporação dos bens e instalações ao ativo de concessionária ou permissionária de serviço público de distribuição.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004082.pdf>

087/04 - Aprova a Norma de Organização que trata dos procedimentos gerais referentes às Reuniões Deliberativas Públicas da Diretoria da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004087.pdf>

088/04 - Aprova sobre o Código de Ética da Agência Nacional de Energia Elétrica.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004088.pdf>

089/04 - Estabelece, com a finalidade de contribuir para a modicidade da tarifa de fornecimento de energia elétrica, metodologia para o cálculo de subvenção econômica a ser concedida a concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica ou de montante a ser utilizado para a redução do nível das suas tarifas, de forma a contrabalançar os efeitos de política tarifária aplicável a unidades consumidoras integrantes da Subclasse Residencial Baixa Renda.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004089.pdf>

109/04 - Institui a Convenção de Comercialização de Energia Elétrica.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004109.pdf>

127/04 - Estabelece os procedimentos para o rateio do custo do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, bem como para a definição das respectivas quotas de energia elétrica, nos termos do Decreto no 5.025, de 30 de março de 2004.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004127.pdf>

145/05 - Aprova as Regras de Comercialização de Energia Elétrica, versão janeiro/2005, de que trata a Convenção de Comercialização de Energia Elétrica instituída pela Resolução Normativa no 109, de 26 de outubro de 2004.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005145.pdf>

149/05 - Estabelece os procedimentos para solicitação de anuência, pelos agentes prestadores de serviço de energia elétrica, para alteração de atos constitutivos, e indica os casos previamente autorizados.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005149.pdf>

150/05 - Altera a forma de cálculo de garantias financeiras das Regras de Comercialização de Energia Elétrica, versão janeiro/2005, aprovadas pela Resolução Normativa no 145, de 1o de fevereiro de 2005.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005150.pdf>

152/05 - Autoriza alterações em um subconjunto de expressões algébricas das Regras de Comercialização de Energia Elétrica, versão janeiro/2005, aprovadas pela Resolução Normativa no 145, de 1o de fevereiro de 2005.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005152.pdf>

160/05 - Altera os §§ 5o a 7o do art. 3o da Resolução no 688, de 24 de dezembro de 2003, que dispõem sobre a apuração da indisponibilidade de usinas participantes do Mecanismo de Realocação de Energia - MRE, e revoga a Resolução Normativa no 75, de 29 de julho de 2004.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005160.pdf>

161/05 - Aprova as Regras de Comercialização de Energia Elétrica, referentes ao Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits, de que trata o art. 45 da Convenção de Comercialização de Energia Elétrica.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005161.pdf>

162/05 - Aprova o edital dos leilões de ajuste para compra de energia elétrica e delega a execução à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005162.pdf>

168/05 - Aprova as Regras de Comercialização de Energia Elétrica, referentes aos módulos de Penalidades e ao de Cálculo das Garantias Financeiras e Rateio de Inadimplência.

<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005168.pdf>