EWERTON GUARNIER

SIMULADOR DE ESTRATÉGIAS DE PARTICIPAÇÃO EM LEILÕES
DE ENERGIA EXISTENTE PARA GERADORES

São Paulo

2014

EWERTON GUARNIER

SIMULADOR DE ESTRATÉGIAS DE PARTICIPAÇÃO EM LEILÕES
DE ENERGIA EXISTENTE PARA GERADORES

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia Elétrica

São Paulo

2014

EWERTON GUARNIER

SIMULADOR DE ESTRATÉGIAS DE PARTICIPAÇÃO EM LEILÕES
DE ENERGIA EXISTENTE PARA GERADORES

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia Elétrica

Área de Concentração: Sistemas de Potência

Orientador: Prof. Dr. Dorel Soares Ramos

São Paulo

2014

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 05 de fevereiro de 2014.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Guarnier, Ewerton

**Simulador de estratégias de participação em leilões de energia existente para geradores / E. Guarnier. -- versão corr. --
São Paulo, 2014.**

122 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Energia 2.Leilão I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

Ewerton Guarnier

Simulador de estratégias de participação em leilões de energia existente para geradores

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia Elétrica
Área de Concentração: Sistemas de Potência

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Dorel Soares Ramos - Orientador

Instituição: Escola Politécnica da USP

Assinatura:_____

Prof. Dr.

Instituição:

Assinatura:_____

Prof. Dr.

Instituição: Escola Politécnica da USP

Assinatura:_____

Aos meus pais,
Aos meus irmãos
À minha amada, Maíra
Aos meus filhos, Lucas e Thiago

AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Dorel Soares Ramos, pela orientação e atenção dispensada durante a execução deste trabalho.

Ao Doutor Donato da Silva Filho pelas diversas contribuições realizadas e pelas ideias sempre produtivas.

Aos meus pais, por toda educação dada e pelo incentivo ao estudo, e aos meus irmãos, pelo companheirismo.

À Duke Energy pelo compromisso com a pesquisa.

Aos colegas da Sinapsis Inovação em Energia pelas inúmeras formas de motivação. Em especial, ao Wagner Gomes Marcelino pela enorme contribuição ao trabalho aqui apresentado.

Ao Luiz Armando, pelas discussões e pela contribuição ao trabalho.

A minha esposa Máira, pelo apoio nos momentos mais difíceis e pela ajuda no final deste.

Aos meus filhos Lucas e Thiago, pela alegria em todos os momentos de minha vida e por, inconscientemente, me motivarem a sempre seguir em frente, não importando as dificuldades.

RESUMO

A comercialização da energia elétrica por parte de empresas geradoras que já possuem suas usinas construídas é um tema de grande relevância no setor. A dificuldade em definir a estratégia de venda desta energia, dentre as opções disponíveis no atual modelo regulatório, torna necessário o desenvolvimento de metodologias e ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, contabilizando as expectativas e riscos destas decisões.

A metodologia com ferramental associado apresentada neste trabalho foi desenvolvida com base em conceitos amplamente utilizados no mercado financeiro para a formação de portfólio de ativos, aliados ao conceito basilar de utilidade das geradoras de energia elétrica, permitindo quantificar a predisposição à tomada de risco e a estruturação de informações públicas dos agentes do setor para a definição de perfis de geradores em relação à estratégia de venda de energia.

A contribuição central deste trabalho reside na proposta de uma metodologia que define a melhor estratégia de participação em leilões de energia existente para geradores.

Palavras chave: Formação de Portfólio. Leilões de Energia. Aversão ao Risco.

ABSTRACT

The energy trading activity for Generation Companies (Gencos) owning operating existing power plants is a topic of great relevance in the industry. The difficulty to define the energy selling strategy, given all available options in the actual regulatory model, makes necessary the development of methodologies and tools for decision making support, accounting the expectations and risks embedded in these decisions.

The methodology and associated computational tool presented in this work was developed based on concepts widely used in the financial market for assets portfolio composition, the Gencos utility, making feasible to quantify the predisposition of risk-taking, and the structuring of public information from the players involved for the definition of generators profiles in relation to the strategy of selling energy.

The main contribution of this work lies on the validation of one methodology that defines the Gencos' best strategy participation in the auctions designed for trading the existing power plants energy production.

keywords: Portfolio Composition. Energy Auctions. Risk Aversion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Condições necessárias para se tornar consumidor livre.....	26
Figura 2 - Ambientes de comercialização.	26
Figura 3 - Ano de realização dos leilões de energia.....	27
Figura 4 - Gráfico de energia comercializada em leilões.....	30
Figura 5 – Rodadas Uniformes do leilão.	33
Figura 6 – Rodada Discriminatória do leilão.....	33
Figura 7 - Sazonalização e modulação da garantia física	39
Figura 8 - Risco x Retorno	43
Figura 9 – Correlação Positiva	45
Figura 10 – Correlação Negativa.....	45
Figura 11 – Correlação Nula	46
Figura 12 - Espaço de Possibilidades - Correlação Positiva Perfeita.....	47
Figura 13 - Espaço de Possibilidades - Correlação Nula	48
Figura 14 - Espaço de Possibilidades - Correlação Negativa Perfeita	49
Figura 15 - Risco x Retorno Resumo	49
Figura 16 - Risco x Retorno para o Leilão.....	52
Figura 17 - Possibilidades de carteira no Leilão.....	53
Figura 18 - Função Utilidade para Investidor Averso ao Risco.....	56
Figura 19 - Função Utilidade para Investidor Indiferente ao Risco.....	57
Figura 20 - Função Utilidade para Investidor Atraído pelo Risco	57
Figura 21 - Curvas de Indiferença no Espaço Risco x Retorno.....	59
Figura 22 - Carteira Ótima.....	60
Figura 23 - Retas de Possibilidades para sucessivas rodadas do Leilão.....	61
Figura 24 - Carteiras para Diferentes Coeficientes de Propensão ao Risco	61
Figura 25 - Carteiras para retas de possibilidades distintas.....	62
Figura 26 - Curva de Preço x Oferta do Jogador.....	63
Figura 27 - Equacionamento da escolha de melhor portfólio	63
Figura 28 - Equacionamento da escolha de melhor portfólio	64
Figura 29 - Preço de Lance na rodada discriminatória.....	65
Figura 30 - Curvas de indiferença	66

Figura 31 - Equivalente seguro	67
Figura 32 - Equivalente seguro do jogador	67
Figura 33 - Estratégia de uma geradora em leilões de energia existente	71
Figura 34 - Estrutura hierárquica do perfil de um gerador de energia elétrica	71
Figura 35 - Extremos de aversão ao risco.....	72
Figura 36- Peso das variáveis na aversão ao risco do agente de geração	77
Figura 37- Composição da aversão estrutural das empresas.....	81
Figura 38- Composição da aversão conjuntural das empresas.....	84
Figura 39 - Composição da aversão ao risco das empresas	85
Figura 40 - Transformação dos Coeficientes de Aversão ao Risco.....	86
Figura 41 - Perfil da CESP	91
Figura 42 - Perfil da LIGHT ENERGIA	92
Figura 43 - Menu principal.....	95
Figura 44 - Formulário Distribuidoras (Leilão)	96
Figura 45 - Formulário Geradoras (Leilão)	97
Figura 46 - Formulário Leilão	98
Figura 47 - Formulário Distribuidoras (Contratos)	99
Figura 48 - Formulário Geradoras (Contratos)	100
Figura 49 - Formulário Requerida Distribuidoras.....	101
Figura 50 - Formulário Requerida Geral.....	102
Figura 51 - Formulário Descontratação	103
Figura 52 - Menu Preço.....	104
Figura 53 - Formulário Resultados - Perfil.....	105
Figura 54 - Formulário Resultados - ACR	106
Figura 55 - Formulário Resultados - Geração	106
Figura 56 - Formulário Resultados - Contratos	107
Figura 57 - Formulário Resultados - Assegurada.....	107
Figura 58 - Formulário Resultados - Evolução	108
Figura 59 - Formulário Resultados - Tabela.....	109
Figura 60 - Tela inicial – Administrador	111
Figura 61 - Tela de dados do leilão – Administrador	112
Figura 62 - Inserção de jogador virtual – Administrador.....	112
Figura 63 - Tela inicial – Usuário.....	113

Figura 64 - Ambiente de negociação – Usuário	114
Figura 65 - Relatório - Resumo	115
Figura 66 - Relatório - Gráficos	115
Figura 67 - Relatório - Jogadas	116
Figura 68 - Relatório – Desempenho	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuidoras que compraram energia no produto 1LEN05-08	28
Tabela 2 - Geradoras que venderam energia no produto 1LEN05-08	29
Tabela 3 - Leilões de energia elétrica promovidos pela CCEE	29
Tabela 4 - Leilões de ajuste	31
Tabela 5- Participação e Retorno dos Ativos	41
Tabela 6- Escalas de Comparação	73
Tabela 7- Quantificação das variáveis	78
Tabela 8- Propriedade do capital dos agentes de geração	79
Tabela 9- Porte dos agentes de geração	80
Tabela 10- Custo da geração dos agentes	80
Tabela 11- Aversão do agente em nível estrutural.....	81
Tabela 12- Preço dos contratos vincendos dos agentes de geração.....	82
Tabela 13 - Perfil de contratação dos agentes de geração	82
Tabela 14- Volumes relativos descontratados.....	83
Tabela 15- Aversão do agente em nível conjuntural	83
Tabela 16- Aversão ao risco final dos agentes de geração.....	84
Tabela 17 - Contratos bilaterais, Itaipu e PROINFA da CPFL PAULISTA	89
Tabela 18 - Geradoras descontratadas em 2013.....	90
Tabela 19 - Perfil da CESP	91
Tabela 20 - Venda de energia da CESP	91
Tabela 21 - Perfil da LIGHT ENERGIA	92

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO	16
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
1.3	ESTADO DA ARTE	18
2	O Modelo institucional do setor elétrico	23
2.1	COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA	23
2.2	AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO	25
2.3	LEILÕES DE ENERGIA	26
2.3.1	Sistemática dos Leilões de Energia Existente	31
2.4	DISTRIBUIDORAS	35
2.5	GERADORAS	37
3	Formação de portfólio	40
3.1	TEORIA DE SELEÇÃO DE CARTEIRAS	40
3.1.1	Valor Médio do Retorno (Retorno Esperado)	41
3.1.2	Dispersão do Retorno do Ativo	42
3.1.3	Correlação entre os Ativos	43
3.1.3.1	Correlação Positiva Perfeita	46
3.1.3.2	Correlação Nula	47
3.1.3.3	Correlação Negativa Perfeita	48
3.2	APLICAÇÃO AOS LEILÕES DE ENERGIA	49
3.2.1	“Ativo” Mercado Livre	51
3.2.2	“Ativo” Mercado Cativo	51
3.2.3	Espaço Risco x Retorno para o Leilão	52
3.2.4	Retorno Esperado dos Contratos	52
3.2.5	Risco dos Contratos	53
4	METODOLOGIA PARA A DEFINIÇÃO DO PORTFÓLIO ÓTIMO	55
4.1	AVERSÃO AO RISCO	55
4.1.1	Utilidade	55
4.1.2	Curvas de Indiferença	58
4.2	CONSTRUÇÃO DA CURVA PREÇO X OFERTA	60
4.3	DESEMPENHO	66
5	MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA	69

5.1	MÉTODO APLICADO À MODELAGEM DE GERADORAS.....	71
5.2	DEFINIÇÃO DOS PESOS DAS VARIÁVEIS NA ESTRUTURA HIERÁRQUICA.....	76
5.3	DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE DE PROPENSÃO AO RISCO DOS AGENTES DE GERAÇÃO – CASO PRÁTICO.....	77
5.4	TRANSFORMAÇÃO DOS COEFICIENTES DE AVERSÃO AO RISCO	85
6	banco de dados de comercialização de energia	87
6.1	FONTES DE INFORMAÇÕES.....	87
6.1.1	Contratos	88
6.1.2	Contratos Bilaterais.....	88
6.1.3	Descontratação.....	89
6.1.4	Resultados da Contabilização.....	90
6.1.5	Perfil.....	90
6.1.6	Dados necessários para a valoração da aversão ao risco dos agentes de geração	93
6.2	BANCO DE DADOS.....	94
6.2.1	Menu Principal	94
6.2.2	Menu Leilões.....	95
6.2.2.1	Distribuidoras (Leilão)	95
6.2.2.2	Geradoras (Leilão)	96
6.2.2.3	Leilão.....	98
6.2.3	Menu Contratos	98
6.2.3.1	Distribuidoras (Contratos).....	99
6.2.3.2	Geradoras (Contratos)	100
6.2.4	Menu Demanda	100
6.2.4.1	Requerida Distribuidoras.....	101
6.2.4.2	Requerida Geral	102
6.2.5	Menu Descontratação.....	102
6.2.5.1	Descontratação	102
6.2.6	Menu Preços.....	103
6.2.7	Resultados.....	104
7	SIMULADOR DE LEILÕES	110
7.1	ADMINISTRADOR.....	111

7.2	USUÁRIO.....	113
7.3	RELATÓRIOS.....	114
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
	Referências.....	120

1 INTRODUÇÃO

O atual modelo do setor elétrico brasileiro entrou em vigor em 2004. Este modelo adotou como pilares a garantia do fornecimento de energia, a universalização do acesso e a modicidade tarifária. Tendo como referência este último pilar, o governo estimulou ainda mais a competição nos segmentos de geração e comercialização, herança do modelo RESEB, definindo um novo critério para contratação eficiente de energia para as distribuidoras de energia elétrica.

Os leilões de energia elétrica foram criados especificamente para o propósito da contratação eficiente de energia, com vistas em obter ganhos de escala na oferta e diminuir os riscos de contrato, pois estes são realizados com um “pool” de distribuidoras.

No primeiro leilão de energia elétrica para empreendimentos existentes realizado no novo modelo, denominado “mega leilão”, foram disponibilizados 3 produtos para contratação de energia com duração de 8 anos e com início de fornecimento em 2005, 2006 e 2007. A contratação de energia nestes produtos foi massiva, pois as distribuidoras precisavam compor o seu lastro para atendimento de 100% da carga e existia uma grande disponibilidade de energia por parte dos geradores

O fornecimento de energia destes produtos encerra-se em 2013, 2014 e 2015, descontratando-se 9.054 MWmédios, 6.782 MWmédios e 1.172 MWmédios, respectivamente. Esta descontração tem deixado as distribuidoras de energia em estado de alerta, pois aumenta de forma significativa o seu risco de exposição no mercado de curto prazo. Por outro lado, os geradores aumentaram a disponibilidade de energia para negociar, que estava “travada” no ACR desde o início do modelo, e precisam decidir aonde irão alocar esta energia, dentre as possibilidades do ACR, ACL e liquidação no mercado SPOT.

Assim, a contratação em leilões de energia existente voltou a ser tema central nas discussões do setor e os geradores.

1.1 OBJETIVO

O objetivo central deste trabalho foi o de desenvolver uma metodologia, com ferramenta computacional associada, para a definição e simulação das estratégias de vendedores participantes dos leilões de energia elétrica existente.

Para tanto, algumas questões deverão ser abordadas no desenvolvimento da metodologia, como:

- Como é definida a estratégia de um gerador em um leilão de energia existente?
 - Porque a estratégia dos diversos geradores são diferentes para um mesmo leilão?
- Como modelar esta diferenciação?
- Quais as variáveis que influenciam nesta estratégia?
 - Como definir o valor destas variáveis a partir de informações disponibilizadas publicamente?

O resultado da metodologia deve ser a construção de uma curva de oferta de energia em leilões de energia existente para geradores, que representa a sua estratégia de participação nestes leilões, considerando às suas características específicas e as características do setor.

Ainda, o gerador poderá construir a curva de oferta de seus concorrentes, com base na metodologia desenvolvida e em informações disponibilizadas publicamente que identificam o “comportamento” deste agente frente ao risco. Assim, a empresa também poderá avaliar criticamente a sua estratégia com base na curva de oferta de seus consocorrentes.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo 2 apresenta uma breve introdução ao ambiente institucional do setor elétrico.

A metodologia para definição da estratégia de atuação dos geradores no leilão, apresentada no capítulo 3, foi baseada em ferramentas que são amplamente utilizadas nos mercados financeiros, como a teoria de carteiras desenvolvida por Markowitz (Markowitz, 1952), que avalia o valor de um ativo a partir do par Risco x Retorno.

A composição do portfólio de contratos das geradoras é influenciada pelo apetite ao risco de seus acionistas, pois o patamar ideal de retorno médio e de risco do portfólio não é comum para todas as geradoras. Enquanto que para algumas geradoras é interessante ter uma carteira de contratos sem riscos e com retorno moderado, para outras o ideal é ter um portfólio de contratos com maior

rentabilidade e risco. No modelo desenvolvido e apresentado no capítulo 4, a utilidade de um portfólio, que avalia o valor de um portfólio para um determinado gerador e que diferencia a estratégia dos diversos geradores, foi traduzida em um coeficiente de aversão ao risco.

No capítulo 5 é apresentado o método de análise hierárquica (MAH) (Saaty, 1980), utilizado para a definição das variáveis que influenciam na tomada de risco pelos agentes de geração e o peso que cada variável tem no indicador final, traduzido pelo coeficiente de aversão ao risco.

Finalmente, a valoração de cada variável, para cada agente de geração, foi realizada a partir de dados de mercado disponibilizados publicamente nas diversas fontes oficiais. A formação de um banco de dados de comercialização de energia foi então necessária para o armazenamento e para a organização das informações adquiridas. Este banco de dados é apresentado no capítulo 6 desta dissertação.

Os estudos realizados e a metodologia desenvolvida culminaram na implementação de um sistema computacional de simulação de leilões com a participação de usuários, representando suas próprias empresas, e de geradores virtuais, que representam os demais geradores de energia elétrica existentes. No capítulo 7 é apresentado o simulador de leilões.

No capítulo 8 são apresentadas as considerações finais acerca deste trabalho.

1.3 ESTADO DA ARTE

Em (Munhoz, 2004) foi desenvolvida uma metodologia e um software, embasados em leilões de compra e venda de energia aplicados antes de 2004 e abordou a perspectiva de um vendedor de energia elétrica, utilizando conceitos de teoria dos jogos, portfólio, teoria dos leilões e técnicas de otimização.

O leilão de venda de energia abordado no trabalho é multi-produto e a determinação do retorno de cada produto é inferida pelo usuário para cada cenário, onde são atribuídas probabilidades para estes cenários. Com estes dados, são calculadas a expectativa de retorno (retorno médio), o desvio deste retorno (risco) e a correlação entre os produtos.

O modelo otimiza então a alocação da energia do vendedor entre os produtos candidatos, através de programação quadrática, minimizando o risco do portfólio. No modelo de compra de energia, onde os lances são descendentes e a oferta é realizada pelo vendedor (mais parecido com o modelo atual), a função objetivo do vendedor é formada integralmente pela sua maximização do lucro. A otimização é feita através do método de programação inteira.

A sistemática dos leilões utilizados no trabalho é diferente da sistemática abordada nesta dissertação, principalmente na estruturação das etapas e na característica de leilão duplo, onde tanto os vendedores quanto os compradores realizam ofertas. Neste trabalho, porém, não foi considerada a possibilidade do vendedor comercializar energia fora dos produtos definidos para o leilão e também não foi considerada a aversão ou propensão ao risco do agente na tomada de decisões para a formulação da função objetivo.

Em (Masili, 2004) foi desenvolvido um simulador de leilões “on-line”, via WebBrowser, para a avaliação de estratégias de participação em leilões.

Este software simula a realização de um leilão real, com a participação ativa dos vendedores e compradores e maximiza a disposição a pagar revelada pelos compradores sob o ponto de vista do leiloeiro.

O trabalho foca no desenvolvimento do simulador de sistemáticas de leilões, de acordo com o modelo de leilão, e utilizando técnicas de otimização para implementar os resultados de cada lance definidos na sistemática.

Em (Azevedo, 2004) foi desenvolvido um modelo computacional baseado na Teoria dos Jogos não cooperativos de informação incompleta.

O trabalho tem como resultado a otimização da curva de oferta de energia de um vendedor para o 1º estágio de um leilão de venda de energia, considerando as suas próprias expectativas em relação ao produto ofertado e às expectativas de seus concorrentes.

O trabalho modela 3 tipos abordagens diferentes para a otimização da curva de oferta. Na 1º o agente consegue modelar com precisão a curva de reação de seu oponente, na 2º ele tem curvas de reação probabilística para seu oponente e na 3º

ele não consegue modelar a reação do seu oponente e a simulação é realizada com oponentes reais para agregar informações.

O projeto não formula uma metodologia para a definição da curva de reação de seus oponentes, ficando a critério dos usuários esta determinação através de informações obtidas ou de sua experiência.

Em (Aguilar, 2004) foi desenvolvida uma metodologia de estratégia ótima de contratação em leilões de energia elétrica, através de uma curva de oferta no leilão com base no preço, tanto para leilões mono-produto como para leilões multi-produto.

A metodologia considera o perfil de risco de cada agente e os riscos de comercialização de energia, relacionados à quantidade e ao preço desta energia.

A curva de oferta no leilão, intitulada pelo autor de “curva de disposição a contratar (CDC)”, determina a quantidade de energia que o gerador está disposto a vender para cada preço de lance. A construção desta curva para cada gerador é realizada através de 3 componentes: (i) renda líquida da empresa com energia, (ii) aversão ao risco e (iii) otimização da rentabilidade da empresa.

A visualização do risco pelos agentes geradores é definida através de uma função de utilidade, neutra em relação ao risco. A otimização busca a maximização da utilidade esperada da renda da empresa para cada preço, variando-se a quantidade ofertada.

O autor aborda diferentes formas de cálculo da função de utilidade, como a (i) Função de Utilidade Quadrática, (ii) Função Utilidade Exponencial, (iii) Função Utilidade Logarítmica e (iv) Função Utilidade Linear por Partes, adotando esta última para o seu trabalho, por ser mais intuitiva.

O trabalho não aborda a teoria de formação de portfólio na sua metodologia, disponibilizando para o gerador apenas a opção de venda de energia no leilão de acordo com a utilidade deste. O montante que não é comercializado no leilão é liquidado no mercado SPOT a PLD. Ainda, o trabalho não apresenta uma metodologia específica para a construção da curva de utilidade do gerador, que determina a predisposição ao risco deste.

Queiroz (Queiroz, 2010) apresentou um modelo de suporte às estratégias de comercialização de energia elétrica sob o ponto de vista de um agente gerador, tendo o objetivo maximizar a receita do vendedor pela adequada relação risco-benefício.

A modelagem foi desenvolvida com utilização de técnicas de otimização via programação linear em conjunto com simulações de risco, via VaR e CVaR. A fonte de incerteza utilizada no modelo são os cenários de PLD. No modelo são considerados a possibilidade de inclusão de compra de contratos bilaterais, além dos contratos de venda do tipo bilateral e opções de venda. No estudo de caso foi considerada uma geração constante e fixa ao longo do horizonte de planejamento. A ideia para aplicação do modelo segue a lógica da geração de um painel com contratos candidatos de diferentes preços, prazos e início de entrega que são combinados em diferentes carteiras que cubram o período de análise. Primeiro simulou-se considerando todas as carteiras compostas por contratos bilaterais e numa outra simulação, inseriu-se um contrato de opção de venda como candidato a compor uma determinada carteira.

Dessa forma, diversas simulações são realizadas para encontrar o binômio risco x retorno das carteiras candidatas e obtendo aquelas que atendem o critério de risco mínimo. Por exemplo, foram realizadas análises para diferentes níveis de confiança do VaR e CVaR. Outras restrições também são inseridas no modelo, como a de contratação mínima de uma parcela da Garantia Física.

Resultados das simulações atestam para a potencialidade do modelo desenvolvido quando se há uma grande gama de contratos candidatos pré-definidos para todo o horizonte de planejamento.

Este modelo, porém, não infere de forma sistemática o valor do risco mínimo do agente.

Aguiar (Aguiar, 2008) apresenta uma modelagem do comportamento de agentes frente ao risco através do uso de funções utilidades em problemas de comercialização de energia elétrica multi-período, baseado no valor presente dos equivalentes certos de cada período.

Equivalente certo de um resultado financeiro pode ser considerado como o menor montante (determinístico) pelo qual o agente trocaria um fluxo estocástico. Pela definição de preferência definido na teoria de utilidade, dois resultados, certo e incerto, devem ser comparados em termos de utilidade esperada e o equivalente certo encontrado de forma a igualar as utilidades de ambos os casos.

Essa abordagem foi modelada matematicamente e formulada através de um problema de programação linear inteira mista (PLIM), considerando uma função utilidade linear por partes. O conceito de equivalente certo foi aplicado para o caso de contratação de longo-prazo.

No estudo também foi mostrado a conexão entre a teoria de utilidade e problemas de maximização da renda esperada sujeito a restrições de risco do tipo α -CVaR, através de um estudo comparativo da relação entre utilidade, equivalente certo e medidas de risco, no caso, o CVaR.

Os estudos de casos foram realizados para o caso de uma comercializadora que busca otimizar o seu portfólio de compra e venda, tendo como opções de compra um mix de duas fontes alternativas complementares de geração de energia elétrica (uma termelétrica a biomassa e uma pequena central hidroelétrica) e como opção de venda, grandes consumidores inseridos no ambiente de livre contratação (ACL). Em síntese, o estudo compara metodologias (equivalente certo e CVaR) que podem ser aplicadas para casos de agentes comercializadores com diferentes perfis de risco, onde a decisão contempla um controle do risco ao qual esses agentes estariam dispostos a se exporem na tomada de suas decisões.

O modelo apresentado nesta dissertação diferencia-se dos trabalhos apresentados acima, na medida em que estrutura uma metodologia de participação em leilões de acordo com as condições de risco dos ativos (ACL e ACR) e da propensão ao risco dos agentes, quantificando de forma sistemática a propensão destes agentes através do método de análise hierárquica, que avalia as características conjunturais e estruturais que influenciam nesta tomada de decisão, e na formação de um banco de dados especializado com informações do setor elétrico.

2 O MODELO INSTITUCIONAL DO SETOR ELÉTRICO

Em 2003 o MME publicou o documento “Modelo Institucional do Setor elétrico” (MME, 2003) onde apresenta os fundamentos do atual modelo de setor elétrico. O novo modelo herdou grande parte das características do modelo anterior, dando ênfase às seguintes questões:

- Garantir a segurança de suprimento de energia elétrica;
- Promover a modicidade tarifária, por meio da contratação eficiente de energia para os consumidores regulados; e
- Promover a inserção social no Setor Elétrico, em particular pelos programas de universalização de atendimento.

As alterações realizadas para garantir a segurança de suprimento de energia ocorreram principalmente no modelo de planejamento utilizado anteriormente, na obrigatoriedade de contratação de 100% da demanda de energia e no cálculo da energia assegurada das usinas.

O modelo anterior exigia que apenas 95% da demanda de energia fosse contratada, permitindo com que a oferta de energia fosse menor do que a demanda efetiva, deteriorando a garantia de suprimento sistêmica.

O cálculo da energia assegurada também foi alterado. O modelo anterior não considerava o efeito de várias restrições operativas e o novo modelo tenta fazer uma análise mais realista da questão.

A modicidade tarifária é objetivada com uma contratação mais eficiente de energia. Com a realização de leilões onde todas as distribuidoras participassem, para contratar a sua demanda em um “pool”, obter-se-ia economia pela escala de contratação e os riscos seriam compartilhados entre todos os participantes, reduzindo o nível de exposição individual. Os leilões de energia nova teriam como base a menor tarifa oferecida e não a maior oferta para o Uso do Bem Público.

2.1 COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

A CCEE foi instituída pela Lei nº 10.848/04 e criada pelo Decreto nº 5.177/04, absorvendo as funções e estrutura do MAE e é o “operador” do mercado de energia elétrica. O Decreto de criação delega à CCEE as seguintes funções:

I - promover leilões de compra e venda de energia elétrica, desde que delegado pela ANEEL;

II - manter o registro de todos os Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado - CCEAR e os contratos resultantes dos leilões de ajuste, da aquisição de energia proveniente de geração distribuída e respectivas alterações;

III - manter o registro dos montantes de potência e energia objeto de contratos celebrados no Ambiente de Contratação Livre - ACL;

IV - promover a medição e o registro de dados relativos às operações de compra e venda e outros dados inerentes aos serviços de energia elétrica;

V - apurar o Preço de Liquidação de Diferenças - PLD do mercado de curto prazo por submercado;

VI - efetuar a contabilização dos montantes de energia elétrica comercializados e a liquidação financeira dos valores decorrentes das operações de compra e venda de energia elétrica realizadas no mercado de curto prazo;

VII - apurar o descumprimento de limites de contratação de energia elétrica e outras infrações e, quando for o caso, por delegação da ANEEL, nos termos da convenção de comercialização, aplicar as respectivas penalidades; e

VIII - apurar os montantes e promover as ações necessárias para a realização do depósito, da custódia e da execução de garantias financeiras relativas às liquidações financeiras do mercado de curto prazo, nos termos da convenção de comercialização.

A CCEE é integrada por agentes do mercado de energia. Alguns destes têm participação obrigatória na CCEE e alguns têm participação facultativa.

São Agentes com participação obrigatória na CCEE:

- Os concessionários, permissionários ou autorizados de geração que possuam central geradora com capacidade instalada igual ou superior a 50 MW;
- Os autorizados para importação ou exportação de energia elétrica com intercâmbio igual ou superior a 50 MW;
- Os concessionários, permissionários ou autorizados de serviços e instalações de distribuição de energia elétrica cujo volume comercializado seja igual ou superior a 500 GWh/ano, referido ao ano anterior;

- Os concessionários, permissionários ou autorizados de serviços e instalações de distribuição de energia elétrica cujo volume comercializado seja inferior a 500 GWh/ano, referido ao ano anterior, quando não adquirirem a totalidade da energia de supridor com tarifa regulada;
- Os autorizados de comercialização de energia elétrica, cujo volume comercializado seja igual ou superior a 500 GWh/ano, referido ao ano anterior;
- Os Consumidores Livres e os consumidores que adquirirem energia na forma do § 5º do art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996.

São Agentes com participação facultativa na CCEE:

- Os titulares de autorização para autoprodução e co-geração com central geradora de capacidade instalada igual ou superior a 50 MW, desde que suas instalações de geração estejam diretamente conectadas às instalações de consumo e não sejam despachadas de modo centralizado pelo ONS, por não terem influência significativa no processo de otimização energética dos sistemas interligados.
- Demais titulares de concessão ou autorização para exploração de serviços de geração, para realização de atividades de comercialização de energia elétrica, bem como para importação e exportação de energia.

2.2 AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO

Dois ambientes de contratação foram criados no atual modelo:

- **Ambiente de contratação regulada (ACR):** Neste ambiente participam os consumidores cativos, a tarifa é regulada e as contratações são realizadas por meio de leilões de energia. As distribuidoras de energia e os pequenos consumidores fazem parte deste ambiente. Os geradores de energia podem participar deste ambiente, por intermédio dos leilões.
- **Ambiente de contratação livre (ACL):** Neste ambiente participam os consumidores livres. Os contratos são livremente negociados entre os consumidores, os comercializadores e os geradores. Existem regras específicas de demanda e de tensão para se tornar consumidor livre, conforme apresentado na figura abaixo:

Demanda mínima	Tensão mínima de fornecimento	Data da ligação do consumidor
3 MW	Qualquer tensão	Após 07/07/1995
3 MW	69 kV	Até 07/07/1995

Figura 1 - Condições necessárias para se tornar consumidor livre. (CCEE, 2010)

Os consumidores com demanda mínima de 500 kW atendidos em qualquer tensão de fornecimento também têm o direito de adquirir energia de qualquer fornecedor, desde que esta seja uma energia incentivada (PCH, eólica, biomassa ou solar). Estes consumidores são designados “Consumidores Especiais”.

Os consumidores livres e os consumidores especiais também são obrigados a contratar 100% de sua demanda de energia e registrar estes contratos na CCEE.

A Figura 2 apresenta as possibilidades de contratação nos 2 ambientes.

Figura 2 - Ambientes de comercialização. (CCEE, 2010)

2.3 LEILÕES DE ENERGIA

Os leilões de energia elétrica são promovidos para atender a modicidade tarifária e suprir a contratação da demanda das distribuidoras de energia elétrica. Cabe à ANEEL determinar quais os leilões que serão realizados e a CCEE coordenar e realizar os mesmos.

Estes leilões são realizados nas modalidades de “empreendimentos de energia existente”, “empreendimentos de energia nova” e “empreendimentos de fontes

alternativas”. Os leilões de energia existente (LEE) são realizados no ano “A-1”, ou seja, 1 ano antes do início do suprimento, os leilões de energia nova (LEN) são realizados nos anos “A-3” e “A-5” e os leilões de fontes alternativas (LFA) são realizados entre os anos “A-1” e “A-5”. Os contratos dos LEE podem ter duração de 5 a 15 anos, os contratos de LEN, de 15 a 30 anos e os contratos de LFA de 10 a 30 anos. A contratação de ajuste é realizada entre os anos “A” e “A-2” e podem participar deste leilão todos os geradores e comercializadoras de energia elétrica. A Figura 3 apresenta um esquema com as possíveis datas de realização dos leilões.

Figura 3 - Ano de realização dos leilões de energia. (CCEE, 2010)

No ano de 2004 foi realizado o 1º leilão de energia elétrica para empreendimentos existentes, intitulado de “mega leilão” de energia. Este leilão foi dividido em 3 produtos, para início de suprimento em 2005, 2006 e 2007, tendo a participação de 35 distribuidoras e 12 geradoras de energia elétrica e comercializando um total de 17.008 MW médios. Todos os produtos deste leilão tiveram duração de suprimento de 8 anos e o primeiro se encerrou em 31 de Dezembro de 2012, descontratando-se 9.054 MW médios.

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam, respectivamente, os compradores e os vendedores de energia no produto 2005-08 do 1º leilão de energia existente.

Tabela 1 - Distribuidoras que compraram energia no produto 1LEN05-08. (CCEE, 2010)

Distribuidora	Energia [MWh]	Energia [MWmédio]
AES SUL	8.393.255,81	119,68
AMPLA	23.614.598,65	336,74
BANDEIRANTE	18.458.226,22	263,21
CAIUÁ	2.219.704,02	31,65
CEAL	11.891.578,71	169,57
CEB	8.927.372,09	127,30
CEEE	15.178.197,34	216,44
EBO	1.803.509,51	25,72
CELG	25.665.327,70	365,98
CELPA	30.590.295,99	436,21
CELPE	17.410.803,38	248,27
CELTINS	2.427.801,27	34,62
CEMAR	23.397.067,66	333,63
CEMAT	624.291,75	8,90
CEMIG	37.180.042,29	530,17
CEPISA	13.179.492,60	187,93
EMG	1.040.486,26	14,84
CLFSC	2.358.435,52	33,63
CNEE	971.120,50	13,85
COELBA	55.770.063,43	795,26
COELCE	24.416.744,19	348,17
COPEL	69.573.847,80	992,10
COSERN	18.520.655,39	264,10
CPFL PAULISTA	7.907.695,56	112,76
CPFL PIRATININGA	4.161.945,03	59,35
EDEVP	1.664.778,01	23,74
EEB	277.463,00	3,96
ELEKTRO	36.347.653,28	518,30
ELETROPAULO	87.400.845,69	1.246,30
ESSE	8.115.792,81	115,73
ENERSUL	8.561.120,93	122,08
ESCELSA	14.122.173,15	201,38
LIGHT	39.517.668,08	563,51
EPB	13.248.858,35	188,92

Tabela 2 - Geradoras que venderam energia no produto 1LEN05-08.(CCEE, 2010)

Empresa	Energia [MWh]	Energia [MWmédio]
CEEE-GT	18.233.280	260
CESP	56.102.400	800
CHESF	175.320.000	2.500
COPEL GET	68.725.440	980
DUKE	15.007.392	214
ELETRONORTE	47.126.016	672
EMAE	5.960.880	85
ESCELSA	6.101.136	87
FURNAS	215.713.730	3.076
LIGHT ENERGIA	26.648.640	380

O montante de energia total comercializado neste leilão foi de 634.938.912,00 MWh para os 8 anos de contrato, correspondente a 9.054,00 MWmédios.

A Tabela 3 apresenta uma lista com todos os leilões de energia realizados no novo modelo de mercado de energia elétrica. Os preços apresentados na tabela não estão atualizados, representando os resultados dos leilões.

Tabela 3 - Leilões de energia elétrica promovidos pela CCEE

Data (Realização)	Ano (Entrega)	Tipo	Duração	Contrato	Preço [R\$/MWh]	Energia [MWm]
07/12/2004	2005	A-1	8	1° LEE 2005-08	57,51	9.054
07/12/2004	2006	A-2	8	1° LEE 2006-08	67,33	6.782
07/12/2004	2007	A-3	8	1° LEE 2007-08	75,46	1.172
16/12/2005	2008	A-3	30	1° LEN 2008-H30	106,95	71
16/12/2005	2008	A-3	15	1° LEN 2008-T15	132,26	561
16/12/2005	2009	A-4	30	1° LEN 2009-H30	114,28	46
16/12/2005	2009	A-4	15	1° LEN 2009-T15	129,26	587
16/12/2005	2010	A-5	30	1° LEN 2010-H30	115,04	889
16/12/2005	2010	A-5	15	1° LEN 2010-T15	121,81	862
02/04/2005	2008	A-3	8	2° LEE 2008-08	83,13	1.325
11/10/2005	2006	A-1	3	3° LEE 2006-03	62,95	102
11/10/2005	2009	A-4	8	4° LEE 2009-08	94,91	1.166
29/06/2006	2009	A-3	30	2° LEN 2009-H30	126,77	1.028
29/06/2006	2009	A-3	15	2° LEN 2009-T15	132,39	528
10/12/2006	2011	A-5	30	3° LEN 2011-H30	120,86	569
10/12/2006	2011	A-5	15	3° LEN 2011-T15	137,44	535
14/12/2006	2007	A-1	8	5° LEE 2007-08	104,74	204
18/06/2007	2010	A-3	30	1° LFA 2010-H30	134,99	46

Data (Realização)	Ano (Entrega)	Tipo	Duração	Contrato	Preço [R\$/MWh]	Energia [MWm]
18/06/2007	2010	A-3	15	1° LFA 2010-OF15	138,85	140
26/07/2007	2010	A-3	15	4° LEN 2010-T15	134,67	1.304
16/10/2007	2012	A-5	30	5° LEN 2012-H30	129,14	715
16/10/2007	2012	A-5	15	5° LEN 2012-T15	128,37	1.597
10/12/2007	2012	A-5	30	UHE Santo Antônio	78,87	4.453
17/09/2008	2011	A-3	15	6° LEN 2011-OF15	128,42	1.076
30/09/2008	2013	A-5	30	7° LEN 2013-H30	98,98	3.381
30/09/2008	2013	A-5	15	7° LEN 2013-OF15	145,23	3.004
19/05/2008	2013	A-5	30	UHE Jirau	71,37	3.823
30/11/2009	2010	A-1	5	8° LEE 2010-05	99,50	83
20/04/2010	2015	A-5	30	UHE Belo Monte	77,97	3.199,7
30/07/2010	2015	A-5	30	10° LEN 2015-H30	99,48	327
26/08/2010	2013	A-3	20	2° LFA 2013-OF20	134,23	666,2
26/08/2010	2013	A-3	30	2° LFA 2013-H30	146,99	48,1
17/12/2010	2015	A-5	30	11° LEN 2015-H30	67,31	968
17/08/2011	2014	A-3	30	12° LEN 2014-H30	102,00	209,3
17/08/2011	2014	A-3	20	12° LEN 2014-OF20	102,09	1.334,5
30/11/2011	2012	A-1	3	10° LEE 2012-Q03	79,99	195
20/12/2011	2016	A-5	30	13° LEN 2016-H30	91,20	81,8
20/12/2011	2016	A-5	20	13° LEN 2016-OF20	105,02	473,4
14/12/2012	2017	A-5	30	15° LEN 2017-H30	93,46	150,6
14/12/2012	2017	A-5	20	15° LEN 2017-OF20	87,94	151,6

Na Figura 4 é mostrada a energia comercializada nos leilões de energia para cada ano de 2008 à 2035.

Figura 4 - Gráfico de energia comercializada em leilões.

Os leilões de ajuste são a última alternativa de contratação das distribuidoras para atender o seu mercado. Eles ocorrem geralmente com prazos de entrega e duração de apenas alguns meses. A tabela a seguir apresenta os leilões de ajuste realizados pela CCEE até 2009.

Tabela 4 - Leilões de ajuste

Leilão	Data (Realização)	Entrega (Meses)	Duração (Meses)	Preço (médio)	Lotes (0,5 MWm)
2° LA	01/06/2006	M-1	3	29,12	5
2° LA	01/06/2006	M-1	6	44,51	30
3° LA	29/09/2006	M-1	3	73,96	20
4° LA	29/03/2007	M-1	4	46,75	216
4° LA	29/03/2007	M-1	9	63,53	162
5° LA	29/06/2007	M-1	6		
6° LA	27/09/2007	M-1	3	127,05	12
6° LA	27/09/2007	M-4	12	137,37	327
7° LA	19/06/2008	M-1	3	138,46	121
7° LA	19/06/2008	M-1	6	139,69	96
7° LA	19/06/2008	M-4	3	139,00	1
8° LA	23/09/2008	M-1	3	164,86	464
8° LA	23/09/2008	M-4	12	146,34	2
9° LA	20/02/2009	M-1	4	145,28	1067
9° LA	20/02/2009	M-1	10	145,77	1774
9° LA	20/02/2009	M-4	7	145,43	231

No leilão de ajuste não podem ser contratados montantes maiores que 1% da carga da distribuidora e o repasse para os consumidores não pode exceder o Valor de Referência – VR, que representa a média dos preços dos leilões de energia nova com início de entrega no mesmo ano do Leilão de Ajuste.

2.3.1 Sistemática dos Leilões de Energia Existente

A sistemática de um leilão contém as regras e mecanismos que serão utilizados por todos os participantes no momento de realização do leilão. A definição destas sistemáticas é realizada através de portarias publicadas pelo MME previamente à realização do leilão.

Este conjunto de regras abrange o papel dos vendedores no leilão (geradores), do organizador (CCEE) e o fluxo das rodadas que resultarão na contratação da energia demandada para o leilão.

Algumas informações referentes ao leilão são definidas previamente como: o formato do leilão (produtos, prazo de entrega, duração do contrato, etc) que é definido pelo Ministério de Minas e Energia (MME), assim como a energia demandada para os produtos, que é definida através da declaração de necessidade de compra das distribuidoras de energia elétrica.

Os leilões de energia existente são realizados em duas etapas, rodadas uniformes e rodada discriminatória.

Na etapa de rodadas uniformes, o preço de lance das rodadas decresce através da aplicação de um decremento, cujos parâmetros são definidos previamente e que não são de conhecimento dos vendedores. Durante essa etapa, os geradores ofertam a quantidade de energia que desejam vender pelo preço de lance e em cada rodada compara-se a quantidade de energia ofertada por todos os geradores (QOH) com a demanda de referência do produto (ORH), sendo esta maior que a demanda declarada pelas distribuidoras (QDH). Se a energia total ofertada (QOH) for maior que a demanda de referência (ORH), procede-se para a próxima rodada, com um preço de lance menor. Caso contrário, a rodada é declarada como inválida e os vendedores que ofertaram energia na rodada anterior passam para a rodada discriminatória. A Figura 5 ilustra a sistemática da etapa de Rodadas Uniformes.

Na rodada discriminatória, cada vendedor declara o preço que deseja vender a energia ofertada na última rodada válida da etapa de rodadas uniformes. Os lotes (cada lote representa uma quantidade fixa de energia em MW médios) são classificados em ordem crescente de preço e todos aqueles que se encontrarem abaixo da demanda declarada (QDH) pelas distribuidoras são contratados. A Figura 6 ilustra a sistemática da etapa de Rodada Discriminatória.

Figura 5 – Rodadas Uniformes do leilão.

Figura 6 – Rodada Discriminatória do leilão.

Os leilões de energia existente realizados até 2008 (1° à 7° LEE) foram realizados com a disponibilização de contratos apenas na modalidade “Quantidade”, onde o gerador se compromete a entregar a energia comercializada para as distribuidoras e assumem os ônus e bônus da liquidação das sobras ou déficits de energia no mercado de curto prazo. Neste sentido, as usinas termelétricas, que são despachadas pelo ONS de acordo com as condições sistêmicas e que não dispõem de um mecanismo de hedge como é o caso do Mecanismo de Realocação de Energia para as hidrelétricas, eram prejudicadas, pois competiam em condições de

igualdade com as usinas hidrelétricas, mesmo apresentando características de risco diferentes¹.

O 8º leilão de energia existente apresentou uma sistemática diferente neste sentido (MME, 2009). Este leilão foi dividido em duas modalidades, diferenciadas pelo tipo de contratação: quantidade e disponibilidade. Ambos os produtos com duração de contrato de 5 anos e início de fornecimento em 2010. Esta diferenciação inseriu as térmicas novamente nos leilões de energia existente, pois o risco de geração passou para o lado dos consumidores no produto disponibilidade², viabilizando a negociação de energia neste tipo de certame.

No produto da modalidade quantidade, 2010-Q05, todos os tipos de empreendimento puderam participar e a sistemática foi igual a dos leilões anteriores, exceto pela 2ª fase, em que não existiu a alternativa de divisão de blocos para a precificação, ou seja, a totalidade da quantidade de energia do vendedor que passou para a segunda fase deveria ser ofertada com um único preço.

No produto da modalidade disponibilidade, 2010-D05, só puderam participar usinas térmicas. Os vendedores tinham a possibilidade de participar com mais de uma usina térmica no leilão, e os lances deveriam ser feitos individualmente para cada usina. A sistemática foi a mesma utilizada em leilões de energia nova, na modalidade disponibilidade. Cada empreendimento tinha os parâmetros COP (Custo de Operação), CEC (Custo Econômico do Curto Prazo), GF (Garantia Física) e delta K calculados previamente e informados para os vendedores. O preço de lance de cada rodada é relacionado ao ICB (Índice de Custo Benefício) do empreendimento e a cada lance o vendedor informava a quantidade de lotes que queria ofertar àquele preço. Os preços dos lances diminuía conforme o decremento até o lance em que a quantidade ofertada era menor que a oferta de referência. Os empreendimentos que participaram da última rodada uniforme válida passaram para a próxima fase. Na segunda fase (rodada discriminatória) o vendedor declarava a receita fixa que desejava receber para a totalidade de lotes que passou da primeira fase. O sistema calculava o ICB, pela equação 2.1, de todos

¹ As Usinas Termelétricas para se protegerem tendiam a precificar a operação na base de carga. Todo o ganho de complementação térmica ficava com o agente.

² Assim como os ganhos de complementação térmica

os empreendimentos e os que tiveram menor ICB foram contratados, até a quantidade demandada.

$$ICB = \left[\frac{RF}{(QL * 8760)} \right] + \left[\frac{(COP + CEC)}{(GF * 8760)} \right] + \Delta k \quad 2.1$$

O fator Delta k é o valor incremental esperado relacionado ao despacho antecipado de empreendimentos térmicos movidos a Gás Natural Liquefeito - GNL, expresso em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh), sendo igual a zero para todas as demais fontes.

2.4 DISTRIBUIDORAS

No novo modelo de mercado de energia as distribuidoras de energia elétrica são obrigadas a contratar 100% de seu mercado anual, no ambiente de contratação regulada, por intermédio dos leilões de energia. Este modelo de contratação faz com que as distribuidoras contratem energia a um preço mais barato devido à grande quantidade de energia que é comercializada neste mecanismo e também porque implica na divisão dos riscos com as outras distribuidoras que participaram do leilão.

As distribuidoras são responsáveis pelo atendimento dos consumidores cativos, representando um monopólio natural, pois os consumidores só têm direito de adquirir energia da distribuidora que tem concessão sobre a rede de distribuição a qual ele está conectado.

A competição não se apresenta neste segmento restando, portanto, a regulação para manter a modicidade tarifária. Como forma de manter esta modicidade com a eficiente contratação de energia, alguns mecanismos foram criados.

Antes das mudanças ocasionadas pelo Decreto 7.521, de 8 de Julho 2011, as distribuidoras que participassem dos leilões de energia nova poderiam repassar estes custos a seus consumidores, nos 3 primeiros anos de suprimento, pelo Valor de Referência, calculado pela expressão (2.2).

$$VR = \frac{[VL5 * Q5 + VL3 * Q3]}{[Q5 + Q3]} \quad 2.2$$

Onde:

VL5: Valor médio da energia em “A-5” em R\$/MWh

Q5: Montante de energia comercializada em “A-5” em MWh

VL3: Valor médio da energia em “A-3” em R\$/MWh

Q3: Montante de energia comercializada em “A-3” em MWh

Os preços comercializados nos leilões de energia “A-5” em geral são menores que os preços dos leilões “A-3”, devido ao maior prazo para a entrega, que viabiliza a participação de fontes que dispõem de economia de escala, tais como hidrelétricas de médio e grande porte. Desta forma, as distribuidoras que tivessem uma proporção entre seus contratos em “A-5” e “A-3” melhor que a proporção global utilizada no cálculo do valor de referência, repassariam aos consumidores um valor maior que o efetivamente contratado e esta diferença seria revertida como ganho para a empresa durante os 3 primeiros anos de contrato. No outro lado, as distribuidoras que tivessem a sua proporção de “A-5” e “A-3” pior que a proporção utilizada no valor de referência, repassariam aos consumidores um valor menor que o efetivamente contratado, assumindo a diferença como perda, não podendo repassar estes custos ao consumidor durante os 3 primeiros anos de contrato. Após o 3º ano de contrato todos os custos seriam repassados integralmente aos consumidores, desde que as outras regras de contratação também fossem respeitadas.

A partir da publicação do Decreto 7.521, de 8 de Julho de 2011, o repasse dos valores contratados a partir de leilões de energia nova passou a ser integral, pelo que as distribuidoras “perderam” a sinalização de contratação de energia em leilões “A-5”, deixando, em geral, para contratar energia nos leilões “A-3”, quando têm uma melhor previsão de sua demanda de energia para o ano de entrega “A”, mas desde que atendendo a uma restrição de volume contratado. Nessa perspectiva, o repasse dos custos de aquisição nos leilões em “A-3” ficam limitados a 2% da carga da distribuidora em “A-5”. O custo da energia contratada que excede este limite é repassado ao consumidor com o menor valor entre “VL5” e “VL3”.

A demanda máxima de energia para contratação em leilões de energia existente é limitada pelas regras apresentadas abaixo, presentes no Decreto 5.163, de 30 de

Julho de 2004, e alteradas pelos Decretos 7.317 de 28 de Setembro de 2010 e 7.521, de 8 de Julho de 2011.

§ 3º O agente de distribuição poderá, havendo oferta nos leilões, contratar:

*I - até meio por cento da carga do agente de distribuição comprador, verificada no ano “A-1”, acima do montante de reposição mencionado no **caput**, a exclusivo critério do agente de distribuição;*

*II - a compra frustrada em leilões de que trata o **caput** e a exposição contratual involuntária de que trata o art. 3º, § 7º, inciso IV, desde que reconhecida pela ANEEL;*

III - o montante necessário para atendimento à opção de retorno de consumidores, enquadrados no art. 48, ao mercado regulado do agente de distribuição; e

IV - o montante necessário para atendimento à necessidade de suprimento dos agentes de distribuição na forma do disposto no art. 16, inciso III e § 1º.

No leilão de ajuste não podem ser contratados montantes maiores que 1% da carga da distribuidora e o repasse para os consumidores não poderá exceder o “VR”, valor esse regulado por Decreto, sendo que a Lei estabelece um volume máximo de até 5% da carga da distribuidora.

Respeitando-se as regras acima citadas, as distribuidoras poderão repassar aos consumidores o valor total dos contratos de aquisição, limitado a 105% da carga da distribuidora. Caso a quantidade contratada exceda os 105% da carga, a distribuidora fica responsável pelas perdas ou ganhos relativos a este excedente, não podendo repassar o valor à tarifa. Caso a quantidade seja menor que 100% da carga, a distribuidora deve contratar o montante faltante por meio de energia contratada no curto prazo, limitando o repasse às tarifas ao menor valor entre o PLD e o VR, e pagando penalidades por não atender a 100% de sua carga.

2.5 GERADORAS

Nesta categoria estão inclusos os geradores de energia elétrica, os produtores independentes de energia e os autoprodutores autorizados a comercializar o excesso de sua energia. Os agentes de geração têm a permissão de vender energia elétrica no ACL e no ACR e têm livre acesso aos sistemas de transmissão.

Os agentes vendedores, de acordo com o Decreto 5.163/04, devem apresentar 100% de lastro para vender energia e potência, constituído pela garantia física de empreendimentos próprios ou de terceiros, neste caso por meio de contratos de compra de energia e potência.

A garantia física, ou energia assegurada, de um empreendimento de geração hidrelétrica é a parcela alocada a esta usina da garantia física do sistema, considerando o Custo Marginal de Operação (CMO) igual ao Custo Marginal de Expansão (CME) e um risco de déficit máximo de 5%. Historicamente o setor elétrico trabalhava com o conceito de energia firme do sistema que era a máxima energia que o sistema podia suprir continuamente, com o perfil do mercado real, sem risco de déficits, considerando a pior média histórica de vazões, que ocorreu entre Junho de 1949 e Novembro de 1956. A partir de meados dos anos 80 a política de planejamento mudou do critério determinístico para o probabilístico, usado atualmente.

Para a comercialização de energia elétrica, a garantia física significa o máximo de energia que o vendedor pode comprometer com contratos.

A garantia física de cada empreendimento é calculada em montantes anuais. Este montante é sazonalizado em montantes mensais e depois modulado em montantes por período de apuração, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Sazonalização e modulação da garantia física. (CCEE, 2010)

3 Formação de portfólio

A metodologia elaborada para definição das estratégias de atuação nos leilões de energia existente foi baseada na teoria de seleção de carteiras desenvolvida por Harry Markowitz (Markowitz, 1952). Esta teoria é amplamente utilizada no mercado financeiro e foi adaptada de maneira a permitir a construção da curva de atuação dos geradores (aqui intitulados “jogadores”), que contém os volumes a serem ofertados para cada preço de lance do leilão.

Uma breve apresentação teórica será exposta na próxima seção, neste momento sem considerar a aplicação aos leilões de energia elétrica.

3.1 TEORIA DE SELEÇÃO DE CARTEIRAS

A teoria de seleção de carteiras é utilizada para cenários com escolhas envolvendo incertezas relativas aos retornos de ativos financeiros. Os resultados esperados (obtidos através das médias, variâncias e covariâncias dos ativos) de acordo com a composição de cada carteira, ou seja, a proporção dos recursos distribuídos entre os diversos ativos, formam o núcleo da teoria de carteiras.

A teoria pode ser aplicada para um número infinito de ativos, no entanto, a adaptação feita para utilização nos leilões de energia prevê apenas 2 ativos, os quais serão detalhados na próxima seção. Portanto, o conteúdo teórico será apresentado considerando apenas 2 ativos, com retornos e variâncias genéricas, tornando a exposição teórica mais objetiva e acessível³.

Os parâmetros necessários para a análise são: 1) Valor Médio (ou Esperado) do retorno de cada ativo da carteira, a partir dos quais o retorno esperado da carteira será calculado; 2) Dispersão do retorno esperado de cada ativo; e 3) relação (Correlação) entre as dispersões dos ativos pertencentes à carteira.

³ Um tratamento para diversos ativos pode ser encontrado a partir da referência (Securato, 1996).

3.1.1 Valor Médio do Retorno (Retorno Esperado)

O Valor Médio do retorno de uma carteira é obtido através da ponderação dos retornos individuais, que podem ser obtidos através de dados históricos, pela participação deles na carteira, de acordo com a equação abaixo.

$$\overline{R_c} = \sum_{i=1}^M P_i R_i \quad 3.1$$

Onde:

$\overline{R_c}$: Retorno Médio da carteira;

P_i : Percentual de participação do ativo i na carteira;

R_i : Retorno do ativo i;

M: Número de ativos na carteira.

Portanto, uma carteira com apenas 2 ativos tem seu retorno esperado calculado por:

$$\overline{R_c} = X R_A + (1 - X) R_B \quad 3.2$$

Onde:

X : Percentual de participação do ativo A na carteira;

(1 – X): Percentual de participação do ativo B na carteira;

R_A : Retorno do ativo A;

R_B : Retorno do ativo B.

Por exemplo, para uma carteira formada por 2 ativos, com retornos de 5% para o ativo A e 10% para o ativo B e participação na carteira de 20% e 80% respectivamente, como apresentado pela tabela 1, o retorno será calculado como segue:

Tabela 5- Participação e Retorno dos Ativos

Ativo	Retorno	Participação
A	5%	20%
B	10%	80%

$$\bar{R}_c = (20\%)(5\%) + (80\%)(10\%) = 9\%$$

Desta forma, o retorno esperado para uma carteira com as características citadas acima é de 9%, muito próximo do retorno do ativo B, o que era de se esperar visto que a participação deste ativo é significativamente maior que a participação do ativo A, influenciando mais fortemente o resultado da carteira.

3.1.2 Dispersão do Retorno do Ativo

A medida de retorno utilizada para os ativos individualmente na seção anterior poderia ter sido obtida por meio de uma média histórica de seus retornos, assim, este retorno é apenas uma expectativa em relação ao que deve ocorrer no período de interesse, podendo o valor real variar em torno dessa expectativa com uma magnitude definida por diversos parâmetros, mas principalmente pelas características deste ativo.

A dispersão do retorno real em torno do valor esperado pode ser mensurada através da Variância (σ^2), ou do Desvio-Padrão (σ), dos valores que deram origem aos retornos de cada ativo. Estas medidas representam o risco do ativo.

O cálculo da Variância pode ser feito pela seguinte fórmula:

$$\sigma^2 = \sum_{j=0}^N \frac{(R_{x,j} - \bar{R}_x)^2}{N} \quad 3.3$$

Onde:

σ^2 : Variância do ativo x;

$R_{x,j}$: Retorno do ativo x para a observação j;

$\bar{R}_x$: Retorno médio do ativo x;

N: Número de observações.

Para o Desvio-Padrão o cálculo seria:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{j=0}^N \frac{(R_{x,j} - \overline{R_x})^2}{N}} \quad 3.4$$

A partir dos retornos e das variâncias dos ativos, o Espaço Risco x Retorno pode ser construído para representação dos ativos e seus respectivos valores de retorno médio e variância (ou desvio-padrão). A Figura 8 ilustra o Espaço Risco x Retorno para os ativos A e B utilizados como exemplo anteriormente.

Figura 8 - Risco x Retorno

3.1.3 Correlação entre os Ativos

Quando os ativos são combinados, formando uma carteira de investimentos, o retorno médio da carteira é obtido a partir dos retornos individuais ponderados pela participação de cada ativo na carteira, como visto na seção relativa ao retorno esperado. No entanto, para a variância este raciocínio não é sempre válido, pois os resultados provenientes dos movimentos de um ativo podem amenizar os resultados provenientes do outro ativo, resultando em uma “proteção” entre eles. A variância de uma carteira composta por 2 (dois) ativos é calculada da seguinte maneira:

$$\sigma_c^2 = X_A^2 \sigma_A^2 + X_B^2 \sigma_B^2 + 2X_A X_B \sigma_{AB} \quad 3.5$$

Onde:

X_A : Percentual de participação do ativo A na carteira;

X_B : Percentual de participação do ativo B na carteira;

σ_A^2 : Variância do ativo A;

σ_B^2 : Variância do ativo B.

σ_{AB} : Covariância entre os Ativos A e B

Na equação 3.5 identificam-se os valores individuais das variâncias dos ativos, ponderados pelo quadrado de suas participações na carteira. Além disso, o último termo à direita apresenta a multiplicação de duas vezes o produto das participações de cada ativo, que é ainda multiplicado pela covariância entre os retornos dos ativos.

Esta formulação fica bem extensa e complicada quando generalizada para mais de 2 ativos, impossibilitando exemplos práticos e a definição de um modelo com equacionamento mais simples. Por este motivo, esta pesquisa se restringiu à utilização de 2 ativos na carteira das geradoras, mesmo sabendo da imprecisão que isto acarreta.

A covariância mensura a relação entre os retornos dos ativos, em outras palavras, identifica se as variações seguem a mesma tendência, se seguem tendências contrárias ou se não têm relação entre elas. Corresponde à média dos produtos dos desvios dos retornos, para cada observação j , em relação às respectivas médias de retorno de cada ativo.

$$\sigma_{AB} = \sum_{j=0}^N \frac{(R_{A,j} - \bar{R}_A)(R_{B,j} - \bar{R}_B)}{N} \quad 3.6$$

De modo a padronizar os valores da covariância, se utiliza um parâmetro relativizado, dividindo-se a covariância original pelo produto dos desvios-padrão dos ativos, resultando no denominado Coeficiente de Correlação, que apresenta valores entre -1 e +1.

$$\rho_{AB} = \frac{\sigma_{AB}}{\sigma_A \sigma_B} \quad 3.7$$

A relação entre os retornos dos ativos pode ter 3 (Três) comportamentos definidos:

1) Correlação Positiva, na qual os retornos seguem a mesma tendência, ou seja, quando um sobe o outro sobe;

Figura 9 – Correlação Positiva

2) Correlação Negativa, na qual os retornos seguem tendências distintas; e

Figura 10 – Correlação Negativa

3) Correlação nula, na qual não há relação entre os retornos dos ativos.

Figura 11 – Correlação Nula

Estes comportamentos podem ser exemplificados pelos casos extremos $\rho_{AB} = -1$; $\rho_{AB} = 0$ e $\rho_{AB} = +1$.

3.1.3.1 Correlação Positiva Perfeita

A correlação positiva perfeita é caracterizada por $\rho_{AB} = +1$. Neste caso, os ativos variam sempre na mesma direção, ou seja, quando um tem variação positiva o outro tem variação positiva também. Quando isso acontece, o risco (desvio-padrão) será calculado pela média ponderada dos riscos individuais.

$$\sigma_c = X_A \sigma_A + X_B \sigma_B \quad 3.8$$

Desta forma, qualquer carteira possível composta pelos dois ativos estará situada em uma linha reta no espaço Risco x Retorno, como ilustra a Figura 12.

Figura 12 - Espaço de Possibilidades - Correlação Positiva Perfeita

3.1.3.2 Correlação Nula

A correlação nula é caracterizada por $\rho_{AB} = 0$. Neste caso, os retornos obtidos por um ativo não tem relação com os retornos obtidos pelo outro ativo, ou seja, quando há uma variação no retorno de um ativo, nada se pode dizer sobre a variação do outro ativo.

Com a correlação nula, a expressão para cálculo do desvio-padrão resulta:

$$\sigma_c = \sqrt{X_A^2 \sigma_A^2 + X_B^2 \sigma_B^2} \quad 3.9$$

Nesta situação, as possibilidades de configuração de carteira é uma curva entre os ativos, como ilustra a Figura 13.

Figura 13 - Espaço de Possibilidades - Correlação Nula

3.1.3.3 Correlação Negativa Perfeita

A correlação negativa perfeita é caracterizada por $\rho_{AB} = -1$. Neste caso, os ativos variam sempre na direção oposta, ou seja, quando há uma variação positiva em um ativo, a variação será negativa para o outro ativo. Quando isso acontece, o risco (desvio-padrão) será calculado pela seguinte expressão:

$$\sigma_c = X_A \sigma_A - X_B \sigma_B \quad 3.10$$

Neste caso, a curva de possibilidades fica conforme ilustra a Figura 14.

Pela curva de possibilidades, é possível verificar que existe uma carteira com retorno superior ao ativo A e risco nulo.

A Figura 15 resume as curvas de possibilidades de carteira de acordo com o coeficiente de correlação.

Figura 14 - Espaço de Possibilidades - Correlação Negativa Perfeita

Figura 15 - Risco x Retorno Resumo

3.2 APLICAÇÃO AOS LEILÕES DE ENERGIA

A hipótese para a utilização da teoria de carteiras para definição de atuação dos vendedores de energia elétrica em leilões é de que a empresa tenta criar um portfólio de contratos de venda, composto por contratos no Ambiente de Contratação Regulada e contratos no Ambiente de Contratação Livre. O percentual de cada um dos dois tipos de contrato no portfólio da companhia é influenciado por diversos parâmetros, como por exemplo o preço esperado da energia para os mercados, a dispersão nesta previsão, as características da empresa em relação ao risco, entre outros.

A tomada de decisão em relação à composição do portfólio de contratos de venda pelas empresas geradoras pode ser comparada à escolha dos ativos financeiros para composição de uma carteira de um investidor, reservadas as especificidades dos ativos e dos respectivos mercados, ambos pretendem escolher o conjunto de ativos que ofereçam a melhor opção considerando seu perfil de atuação e suas expectativas. Desta forma, a metodologia apresentada a seguir considera o tomador de decisões no momento do leilão como um investidor compondo sua carteira de investimentos, que de acordo com os preços dos lances e expectativas de preços para o mercado livre determina quanto de energia ofertar.

A utilização da teoria de carteiras para definição do perfil de atuação dos jogadores vendedores nos leilões de energia elétrica será feita considerando o modelo para composição de 2 (dois) ativos, um representando um ativo (ou carteira de ativos) do mercado livre – ACL e outro representando um ativo do mercado cativo – ACR, os quais serão devidamente detalhados nas próximas seções.

Este trabalho restringiu-se a formação do portfólio com apenas duas opções de ativos: contrato no ACR e contrato no ACL. Esta premissa se fez necessária para a simplificação do equacionamento dos riscos das carteiras. Uma possível evolução desta metodologia seria a consideração do Mercado de Curto Prazo como um terceiro ativo a formar a carteira do gerador, ou mesmo a possibilidade de diversos tipos de contratos no ACL e no ACR, representando outros ativos, com durações e prazos de entrega variados. No entanto, esta evolução deverá utilizar um equacionamento muito mais complexo do que o que está sendo utilizado neste trabalho.

O ativo do mercado livre deverá ter o mesmo prazo de entrega e período de duração do contrato do ativo mercado cativo, para que ambos possam ser comparados dentro de uma mesma referência de tempo.

Para todos os efeitos, neste trabalho o risco dos ativos se refere ao risco de preço, ou seja, a probabilidade de as expectativas de preços não se concretizarem no momento da negociação. Esta, portanto se trata de uma segunda premissa da metodologia, pois poderiam ser considerados outros parâmetros de risco para os ativos, como o risco de quantidade (probabilidade da quantidade comercializada não se concretizar durante o contrato), risco de exposição ao mercado de curto prazo, risco regulatório, dentre outros.

3.2.1 “Ativo” Mercado Livre

O ativo mercado livre será definido por um valor esperado de preço e uma dispersão (Desvio-Padrão) para este valor. Os valores das expectativas (Preço Médio e desvio) serão considerados os mesmos para todas as empresas.

A definição destes parâmetros pode ser realizada através de modelos de projeção de preços no mercado livre que incorporam as características de risco⁴. O contrato no ACL deve ter o mesmo prazo de entrega e duração do contrato que está sendo negociado no produto do leilão.

3.2.2 “Ativo” Mercado Cativo

O ativo mercado cativo (leilão) tem características marcantes relacionadas ao seu preço e ao risco deste preço. O preço deste ativo será variável, pois será determinado pelo preço de lance do leilão. Assim, o certame é iniciado pelo preço de abertura do leilão e vai decrescendo até o fechamento da primeira etapa.

O risco deste preço, ou seja, o risco deste preço não ser exatamente este quando a energia for vendida, é nulo, visto que a efetivação da venda no momento do leilão vincula os vendedores e compradores a cumprirem o contrato.

Portanto, o ativo mercado cativo tem a expectativa de preço variável e o risco de preço zero e, desta forma, a cada lance o vendedor se encontra em uma nova situação estratégica, com um preço para o mercado cativo, que é livre de risco, e um uma expectativa de preço para o mercado livre, que pode ou não se concretizar no futuro, já que a escolha do vendedor no momento do leilão de não vender a energia para deixar para o mercado livre só reserva a energia para venda posterior, no entanto, ainda existe o risco da venda não se concretizar, ou de ser realizada com preço abaixo das expectativas da empresa.

⁴ Um modelo de projeção de preços no mercado livre foi desenvolvido em 2 projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL, conforme referências (GUARNIER, E.; RAMOS, D. S.; PELEGRINI, M. A., 2010) e (GUARNIER, E.; RAMOS, D. S.; CAMARGO, L. A. S., 2013)

3.2.3 Espaço Risco x Retorno para o Leilão

A partir da caracterização dos ativos feita nas seções anteriores, é possível produzir um gráfico de Desvio- Padrão e Preço para os dois ativos possíveis na composição do portfólio de contrato do vendedor.

Figura 16 - Risco x Retorno para o Leilão

3.2.4 Retorno Esperado dos Contratos

O retorno esperado para o portfólio de contratos entre mercado cativo e mercado livre será obtido pela média dos preços nos mercados ponderados pelo volume comercializado em cada um, de acordo com o apresentado anteriormente. Assim, resulta:

$$\bar{R}_c = X_{ACR} R_{ACR} + X_{ACL} R_{ACL} \quad 3.11$$

Onde:

X_{ACR} : Percentual de participação do Mercado Cativo na carteira de contratos;

X_{ACL} : Percentual de participação do Mercado Livre na carteira de contratos;

R_{ACR} : Retorno do Mercado Cativo;

R_{ACL} : Retorno do Mercado Livre.

O percentual de participação em cada mercado será calculado considerando o montante total de energia que a empresa tem disponível no momento da participação no leilão.

3.2.5 Risco dos Contratos

O risco dos contratos corresponde à dispersão dos preços para o conjunto de ativos que compõe o portfólio de contratos. Assim, pela fórmula a seguir, já apresentada, pode ser obtida a dispersão, ou risco, da carteira.

$$\sigma_c^2 = X_{ACL}^2 \sigma_{ACL}^2 + X_{ACR}^2 \sigma_{ACR}^2 + 2X_{ACL}X_{ACR}\sigma_{ACL/ACR} \quad 3.12$$

Como o portfólio dos contratos conta com um ativo livre de risco (Ativo Mercado Cativo), ou seja, $\sigma_{ACR} = 0$ e, conseqüentemente, $\sigma_{ACL/ACR} = 0$, a equação pode ser simplificada.

$$\sigma_c^2 = X_{ACL}^2 \sigma_{ACL}^2 \quad 3.13$$

Pelo resultado, é possível verificar que a dispersão no valor médio dos preços dos contratos é exclusivamente devido à dispersão do ativo mercado livre, como era esperado, já que o ativo mercado cativo é livre de risco.

Desta forma, as possibilidades de composição de portfólio, com seus respectivos retornos médios e desvios, são representadas por uma reta saindo do Ativo Mercado Cativo até o Ativo Mercado Livre no Espaço Risco x Retorno, como ilustra a Figura 17.

Figura 17 - Possibilidades de carteira no Leilão

A figura mostra, além dos ativos representantes do mercado livre e do mercado cativo, duas carteiras denominadas A e B. A carteira A é composta por 80% de energia vendida no mercado cativo e 20% de energia vendida no mercado livre e a

Carteira B é composta por 20% de energia vendida no mercado cativo e 80% no mercado livre.

O gráfico evidencia a opção entre retorno e risco a ser feita pelo vendedor de energia no momento do leilão. Assim, a opção por um retorno esperado maior acarreta o inconveniente de incorrer em um risco maior, ou seja, a possibilidade do cenário projetado de preços para o ACL não se concretizar e o retorno efetivo ser menor que o previsto. Por outro lado, a opção por um retorno menor diminui o risco a ser incorrido, mas acarreta a possibilidade de menores ganhos caso o preço no mercado livre se concretize igual, ou superior, ao previsto.

4 METODOLOGIA PARA A DEFINIÇÃO DO PORTFÓLIO ÓTIMO

O capítulo 3 apresentou como montar as possibilidades de portfólio de contratos de venda de energia elétrica. Os próximos subitens se ocuparão da escolha da melhor carteira de acordo com as características de cada empresa vendedora.

O parâmetro utilizado para a caracterização dos vendedores será a Aversão ao Risco que será obtida através do Método de Análise Hierárquica - AHP, originado a partir do trabalho de Thomas L. Saaty (Saaty, 1980), na década de 70, como solução de análise de um conflito militar no Oriente Médio, que será apresentado no capítulo 5.

A partir do coeficiente de aversão ao risco e das possibilidades de portfólio obtidas pelos métodos apresentados anteriormente, as quantidades de cada ativo serão determinadas e, assim, definida a melhor proporção entre energia vendida no mercado livre e no mercado cativo.

A seguir serão apresentadas as teorias referentes à utilidade, que caracteriza a aversão/propensão ao risco dos geradores e a aplicação ao modelo de leilões.

4.1 AVERSÃO AO RISCO

A dispersão do valor do retorno esperado de uma carteira representa o risco dessa carteira para o investidor, ou seja, há o risco do valor final da carteira ser distinto ao valor previsto, o que pode ser uma notícia ruim caso o preço seja menor que o previsto, ou pode ser uma notícia boa, caso o preço seja maior que o previsto.

Os investidores na tomada de decisão têm reações distintas frente ao risco, o que é resultado de suas características próprias e de outros parâmetros externos, e isso significa que um ativo com retorno e risco definidos tem valor distinto para cada um dos investidores. Para explicar essa diferença, torna-se necessária uma breve apresentação sobre o conceito de Utilidade e as Curvas de Indiferença.

4.1.1 Utilidade

A Utilidade traduz em números o quanto um determinado objeto, que neste caso é um par risco/retorno, vale para o investidor. Assim, de acordo com as suas

preferências, um ativo terá mais ou menos valor comparado a um investidor com preferências distintas.

Existem três tipos de funções de utilidade que podem ser utilizadas para descrever o perfil dos investidores avessos ao risco, dos propensos ao risco e dos indiferentes ao risco.

Um investidor avesso ao risco prefere uma renda certa a uma possibilidade de renda (ainda que maior) no futuro. Assim, sua curva característica é ilustrada pela Figura 18.

Figura 18 - Função Utilidade para Investidor Averso ao Risco

A figura mostra que a perda de utilidade (d_1) do investidor avesso ao risco é maior que o um ganho de utilidade (d_2), ou seja, caso o investidor tivesse R\$ X , não o apostaria para ganhar $X+k$ com probabilidade de 50% correndo o risco de ficar com $X-k$ com probabilidade de 50%.

Um investidor indiferente ao risco tem a mesma satisfação com a renda garantida e com uma renda esperada de mesmo valor. Assim, sua curva característica é ilustrada pela Figura 19.

Figura 19 - Função Utilidade para Investidor Indiferente ao Risco

O gráfico mostra que o investidor indiferente ao risco não faz distinção entre ter X e apostar para obter $X+k$ ou $X-k$ com probabilidade de 50% para cada.

Um investidor propenso ao risco prefere a possibilidade de um valor maior à certeza de um valor certo menor. Assim, sua curva característica é ilustrada pela Figura 20.

Figura 20 - Função Utilidade para Investidor Atraído pelo Risco

A figura mostra que a perda de utilidade (d_1) do investidor propenso ao risco é menor que o um ganho de utilidade (d_2), ou seja, caso o investidor tivesse R\$ X , apostaria para ganhar $X+k$ com probabilidade de 50% correndo o risco de ficar com $X-k$ com probabilidade de 50%.

4.1.2 Curvas de Indiferença

As curvas de indiferença representam, em um espaço em que a escolha de um bem interfere na escolha do outro, todas as possibilidades de cestas desses dois bens que conferem ao investidor a mesma utilidade, ou seja, a mesma satisfação. Existem algumas possibilidades de funções para descrever as curvas de indiferença. Para o caso dos vendedores de energia elétrica serão utilizadas funções de utilidade quadráticas do tipo:

$$U(X) = aX - bX^2 \quad 4.1$$

Onde a e b são constantes positivas.

Aplicando-se operadores de esperança matemática⁵ obtemos o valor esperado da utilidade de X, conforme equacionamento abaixo:

$$E[U(X)] = aE(X) - bE(X)^2 - b\sigma_x^2 \quad 4.2$$

Os parâmetros a e b definem a utilidade de um ativo ou de uma carteira para um dado investidor e, portanto, estão relacionados com a aversão/propensão ao risco deste. O parâmetro E(X) representa a média e o parâmetro σ_x^2 a variância do retorno do ativo ou da carteira X.

Dividindo ambos os lados da equação 4.2 por -b e somando $[a^2/(4b^2)]$, resulta:

$$\frac{E[U(X)]}{-b} + \frac{a^2}{4b^2} = \sigma_x^2 + \frac{a}{-b}E(X) + E(X)^2 + \frac{a^2}{4b^2} \quad 4.3$$

Manipulando mais uma vez chega-se a uma equação do tipo:

$$\frac{E[U(X)]}{-b} + \frac{a^2}{4b^2} = \sigma_x^2 + \left(E(X) - \frac{a}{2b}\right)^2 \quad 4.4$$

Os pontos associados correspondem a uma circunferência com centro e raio conforme segue:

$$(\sigma_c, E_c) = \left(0, \frac{a}{2b}\right) \quad 4.5$$

⁵ Para maiores referências, ver (DANTAS, A. B.; SAMOHYL, R. W., 2003)

$$r = \sqrt{\frac{a}{4b^2} - \frac{E[U(X)]}{b}} \quad 4.6$$

A Figura 21 ilustra algumas curvas de indiferença no espaço Risco x Retorno de acordo com o valor da utilidade U .

Figura 21 - Curvas de Indiferença no Espaço Risco x Retorno

O investidor sempre tende a maximizar a sua utilidade (satisfação), ou seja, sempre deseja o maior valor de U ou de $E[U]$, que é representado na figura pela semicircunferência de menor raio.

Assim, considerando as possibilidades de composição da cesta como sendo uma reta entre dois ativos, a cesta ótima, ou seja, a que dará maior utilidade ao investidor, corresponde ao ponto na qual a curva de indiferença tangencia a reta de possibilidades, como ilustra a Figura 22.

A definição da aversão ao risco de um investidor é feita através dos parâmetros a e b da função de utilidade. Assim, a satisfação de um investidor para uma determinada carteira dependerá do valor destes parâmetros.

O coeficiente α , que representa a aversão ao risco do investidor, é formado pela combinação destes fatores no espaço Risco x Retorno, ou seja, $\alpha = a/2b$. Este coeficiente é fixo para um dado investidor durante o leilão.

Figura 22 - Carteira Ótima

A cesta W (R_W, σ_W) é a cesta que confere o maior benefício ao investidor, considerando as possibilidades de formação de carteira entre os ativos A e B. Portanto, não há nenhuma outra cesta composta por esses dois ativos que resultem em uma utilidade maior que a utilidade auferida pela cesta W.

4.2 CONSTRUÇÃO DA CURVA PREÇO X OFERTA

Com os conceitos de Utilidade e Curva de indiferença esclarecidos, é possível apresentar o método para a construção da curva de atuação dos vendedores nos leilões de energia elétrica.

Como explicado em itens anteriores, as possibilidades de composição de portfólio com contratos de venda de energia no ambiente regulado e no ambiente livre será descrito por uma reta partindo do ativo sem risco (mercado cativo) para o ativo com risco (mercado livre). Esta reta será renovada a cada novo preço de lance do leilão, conforme ilustra a Figura 23.

Figura 23 - Retas de Possibilidades para sucessivas rodadas do Leilão

Assim, com as sucessivas rodadas do leilão, o preço da energia no mercado cativo vai diminuindo, apresentando ao vendedor uma nova possibilidade de composição de seu portfólio. A partir do coeficiente de propensão ao risco do vendedor e suas respectivas curvas de indiferença, é possível identificar qual é a melhor configuração entre mercado cativo e livre para um dado conjunto de possibilidades. A figura a seguir apresenta dois vendedores, com seus coeficientes de propensão ao risco e uma única reta de possibilidades. Fica evidente que a melhor composição para cada um deles é distinta, mesmo estando diante das mesmas possibilidades de portfólio.

Figura 24 - Carteiras para Diferentes Coeficientes de Propensão ao Risco

As melhores carteiras, denominadas C_1 e C_2 , têm composições distintas, como era esperado. O vendedor com menor coeficiente de propensão ao risco (α_1) prefere

um portfólio com maior volume vendido no mercado cativo, já o vendedor com maior coeficiente de propensão ao risco (α_2) prefere um portfólio com uma participação maior dos volumes vendidos para o mercado livre.

Considerando agora apenas um vendedor, com as diversas possibilidades apresentadas com a sucessão de rodadas do leilão, a figura a seguir ilustrará como a composição do portfólio é modificada com a mudança do preço de lance.

Figura 25 - Carteiras para retas de possibilidades distintas

A figura mostra que quanto maior o preço da energia no leilão, mais energia o vendedor vai ofertar no leilão. Com o decréscimo no preço, o vendedor prefere alocar mais volume no mercado livre, que pode dar um retorno maior, mesmo acarretando maior risco.

Desta forma, é possível construir uma curva de Preço x Oferta para cada vendedor, na qual visualiza-se a quantidade a ser ofertada pelo vendedor de acordo com o preço de lance do leilão. A curva deve ter o formato apresentado na figura abaixo.

Figura 26 - Curva de Preço x Oferta do Jogador

Analisando-se a Figura 27 pode-se fazer o equacionamento da escolha de melhor portfólio para o proponente com coeficiente α . O resultado está apresentado na equação 4.7.

Figura 27 - Equacionamento da escolha de melhor portfólio

$$Q_{ACR} = Q_{TOTAL} * \left(1 - \frac{(P_{ACL} - P_{ACR}) * (\alpha - P_{ACR})}{(P_{ACL} - P_{ACR})^2 + \sigma_{ACL}^2}\right) \quad 4.7$$

Onde:

QACR: Quantidade ofertada pelo proponente ao preço de lance PACR

QTOTAL: Quantidade total de lotes disponível para o proponente no leilão

PACL: Expectativa do preço médio de contratação no ambiente de comercialização livre (ACL) durante o período de contrato do leilão.

PACR: Preço de lance no leilão.

α : Coeficiente de propensão ao risco do proponente.

σ_{ACL} : Risco do preço no ambiente de contratação livre.

A Figura 28 ilustra a estratégia de venda de 5 proponentes, na escolha de seu portfólio, com diferentes coeficientes de propensão ao risco (70; 85; 100; 115 e 130), com $PACL=130$ R\$/MWh; $\sigma_{ACL} = 13$ R\$/MWh; $QTOTAL = 600$ MWm.

Figura 28 - Equacionamento da escolha de melhor portfólio

Em alguns casos os valores obtidos apresentam significado teórico, mas que não se refletem na prática do setor elétrico. Alguns limites foram impostos ao equacionamento para contornar isto, são eles:

- $QACR \leq QTOTAL$: O proponente não pode ofertar no leilão mais do que a sua quantidade disponível para o mesmo;
- Se $PACR > PACL \rightarrow QACR = QTOTAL$: Se o preço de lance do leilão for maior que a expectativa média de preço no ACL o proponente deve ofertar todos os seus lotes. Esta restrição chega a ser intuitiva, pois se o proponente tem 2 possibilidades de investimento e uma delas tem retorno maior e risco menor, ele formará 100% de seu portfólio com esta opção.
- $QACR \geq 0$: O proponente não pode ofertar valores negativos no leilão.

- Se $PACR < CUSTO \rightarrow QACR = 0$: O proponente não deve ofertar lotes no leilão se o preço de lance estiver menor que os seus custos, ou menor que um preço mínimo de comercialização determinado pela geradora.

- $QTOTAL = QACR + QACL$: A geradora comercializa toda a sua energia no contrato, sendo nulo o montante comercializado no Mercado de Curto Prazo (premissa do trabalho).

Onde,

QACL: Lotes comercializados no mercado livre.

CUSTO: Representa os custos com Manutenção e Operação das usinas do proponente e os custos de financiamento do investimento.

As quantidades ofertadas correspondentes à Figura 28 se referem a etapa de rodadas uniformes, em que o vendedor informa a quantidade de energia que deseja negociar a um dado preço de lance.

Para a rodada discriminatória, o preço ofertado por cada proponente é realizado de acordo com sua aversão/propensão ao risco. A figura 21 ilustra este comportamento.

Figura 29 - Preço de Lance na rodada discriminatória

Os geradores com maior propensão ao risco (maior α) tendem a diminuir menos o preço e os jogadores com menor propensão, por sua vez, tendem a diminuir mais. A definição da oferta é feita de forma probabilística em torno de distribuições normais, mas sempre limitadas ao preço de lance da última rodada válida da etapa uniforme (PL) e em 90% deste valor.

Com a formulação definida acima para a rodada discriminatória, os proponentes saem de sua utilidade ótima para o leilão, atribuindo um “desconto” a ser dado no

preço para que os lotes ofertados possam ser comercializados. Os proponentes com maior aversão ao risco tendem a ofertar um preço menor na rodada discriminatória para garantir que a sua energia seja comercializada no mercado cativo e não incorrer na possibilidade de deixar a energia para um ativo com maior risco de preço, no caso o ativo mercado livre.

4.3 DESEMPENHO

O desempenho proveniente da atuação dos jogadores nos leilões de energia elétrica e consequente formação da sua carteira de contratos é de complexa mensuração, visto que o resultado absoluto não transmite inequivocamente a satisfação do jogador, sendo necessária neste caso uma ponderação entre retorno esperado e o risco assumido com o referido portfólio de acordo com a sua propensão ao risco.

A teoria apresentada nos subitens anteriores expressa a formação de um portfólio ótimo, ou seja, um portfólio que maximiza a utilidade do proponente. As curvas de indiferença representam pontos no gráfico de risco e retorno com a mesma utilidade para o jogador α . A figura a seguir ilustra as curvas de indiferença deste jogador e a procura da curva de maior utilidade.

Figura 30 - Curvas de indiferença

O conceito de equivalente seguro (ou equivalente certo) do investidor é utilizado para obtenção do retorno de uma carteira sem risco que proporcionaria ao gerador (jogador) a mesma utilidade da carteira com risco composta após a sua participação no leilão. A figura a seguir ilustra este conceito.

Figura 31 - Equivalente seguro

A função de maior utilidade para uma reta de possibilidade de carteira também se traduz em um máximo equivalente seguro. Os proponentes que não ofertam a quantidade otimizada terão uma menor utilidade e consequentemente um menor equivalente seguro. Este conceito está ilustrado na Figura 32.

Figura 32 - Equivalente seguro do jogador

O desempenho do gerador (jogador) é medido através da proximidade de seu equivalente seguro com o equivalente seguro ótimo. As equações 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 são utilizadas para o cálculo deste desempenho.

$$s = 1 - \frac{Q_{ACR}}{Q_{Total}} \quad 4.8$$

$$h_{jogador} = \sqrt{(\alpha - s_{jogador} * Pacl - (1 - s_{jogador}) * Pacr)^2 + (s_{jogador} * \sigma)^2} \quad 4.9$$

$$Equivalente\ Seguro = \alpha - h \quad 4.10$$

$$Desempenho = \frac{Equivalente\ Seguro_{jogador}}{Equivalente\ Seguro_{\acute{o}timo}} * 1000 \quad 4.11$$

Onde:

s: representa o percentual da energia que será destinada ao ACL.

h: representa o raio da circunferência, como apresentado na Figura 32.

O desempenho do gerador é uma variável adimensional e, quando multiplicada por 1000, apresenta a relação entre a carteira desse jogador e a carteira ótima em unidades por mil.

O capítulo seguinte tratará de mensurar os valores dos coeficientes de propensão ao risco de geradores reais.

5 MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA

O método de análise hierárquica (MAH) é uma técnica gerencial de apoio à decisão criada por Thomas L. Saaty entre 1971 e 1978 (Saaty, 1980). A sua aplicação é muito variada, passando entre estudo de transportes, análise de terrorismo até distribuição de recursos conforme prioridade para questões de governo.

A teoria sugere que o método tem uma similaridade com o funcionamento da mente humana. Ao se deparar com problemas de grande magnitude, a nossa mente divide este problema em inúmeras partes com maior facilidade de julgamento, compara paritariamente estas partes e agrega os resultados até ter um julgamento do todo. Quando o número de partes é demasiado grande para se fazer comparações, a mente humana agrupa elementos com características semelhantes. O modelo deve incluir e medir todos os fatores importantes, qualitativa e quantitativamente mensuráveis, para ser realista.

Esta estratificação do problema descrita acima é denominada como uma hierarquia. Duas técnicas são utilizadas na análise hierárquica, o planejamento para frente ocorre quando se deseja estudar a influência que uma decisão vinda de um nível hierárquico superior tem nos níveis mais baixos, e o planejamento para trás em que se deseja saber a influência que uma alteração realizada em algum nível hierárquico inferior tem no nível hierárquico superior. A combinação das duas técnicas fornece um processo iterativo em que se busca o equilíbrio entre os elementos do nível hierárquico inferior. O autor descreve 4 vantagens em se utilizar as hierarquias:

- A representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos
- Pode-se obter grande detalhe de informação sobre a estrutura e as funções de um sistema nos níveis mais baixos, permitindo uma visão geral de atores e de seus propósitos nos níveis mais altos.
- Os sistemas naturais montados hierarquicamente, isto é, através de construção modular e montagem final de módulos, desenvolvem-se muito mais eficientemente do que aqueles montados de um modo geral.

- Esses sistemas são estáveis e flexíveis: estáveis porque pequenas modificações têm efeitos pequenos; e flexíveis porque adições a uma hierarquia bem estruturada não perturbam o desempenho;

Os conceitos presentes em cada nível hierárquico e o objetivo da análise devem ser bem desenvolvidos, de forma que as pessoas que participarem dos julgamentos tenham uma ideia clara de cada item.

O processo de feedback e de discussão é de extrema importância para o afinamento dos resultados. Mesmo que as pessoas apresentem opiniões diferentes, estas podem mudar de posição quando se deparam com argumentos convincentes de pessoas mais “capazes” naquele item em discussão.

A comparação entre os elementos de um mesmo nível hierárquico é feita de forma paritária, definindo a prioridade de cada elemento em relação ao todo.

A inconsistência nas comparações é uma das dificuldades encontradas no método. Em uma experiência realizada comparando-se 3 objetos, A, B e C, uma pessoa pode definir, fazendo a pesagem com as 2 mãos, que o objeto A é mais pesado que o objeto B, que o objeto B é mais pesado que o objeto C e que o C é mais pesado que o A. Este tipo de inconsistência pode ser identificado pelo método. Na realização de julgamentos com inúmeras pessoas, se algumas poucas apresentarem inconsistência em seus resultados, estas podem ser eliminadas da resolução do problema, mas se muitas apresentarem inconsistência, de forma que o resultado final possa ser influenciado, é necessário que seja feita outra avaliação com a discussão prévia dos conceitos.

As comparações paritárias são realizadas utilizando-se escalas de superioridade. O autor afirma que a nossa habilidade para fazer distinções quantitativas é bem representada por cinco atributos: igual, fraco, forte, muito forte e absoluto. Quando uma precisão maior for necessária podemos utilizar atributos adjacentes totalizando 9 escalas de comparação.

As demonstrações e aplicações matemáticas do método podem ser encontradas em (Saaty, 1980).

5.1 MÉTODO APLICADO À MODELAGEM DE GERADORAS

A estratégia dos geradores de energia nos leilões de energia existente pode ser representada por uma curva de quantidade X Preço. Esta curva relaciona a quantidade de lotes (1MWmédios) que o agente ofertará quando o lance do leilão estiver em um determinado preço. A figura a seguir ilustra a estratégia de uma geradora.

Figura 33 - Estratégia de uma geradora em leilões de energia existente

O perfil de uma geradora pode ser traçado utilizando-se de ações realizadas no passado. O método de análise hierárquica é útil nesta situação, pois torna possível estratificar o perfil de cada geradora.

A estrutura hierárquica do perfil de cada geradora de energia elétrica é ilustrada na Figura 34.

Figura 34 - Estrutura hierárquica do perfil de um gerador de energia elétrica

Esta estrutura foi definida por uma equipe de pesquisadores que trabalham diretamente com análise de riscos no setor de geração e que têm conhecimento das características que impactam na tomada de riscos pelas empresas de geração.

Nesta etapa, é fundamental que 2 conceitos sejam claramente estabelecidos:

- O objetivo do método, ou o 1º nível da estrutura hierárquica;
- A definição de cada nível da estrutura.

O objetivo da aplicação do método é definir quais geradores se comportam mais agressivamente nos leilões de energia existente, ou seja, aqueles que são menos propensos ao risco. Os geradores que tiverem menor propensão (maior aversão) ao risco serão aqueles que se comportarão mais agressivamente nos leilões, ofertando o máximo de energia disponível pelo menor preço, desde que este não seja inferior aos seus custos.

Dois extremos de geradores podem ser identificados com a utilização do conceito de propensão ao risco. O gerador com menor propensão ao risco será aquele que oferta toda a sua energia, independente do preço do lance, desde que não seja inferior aos seus custos, e o gerador com maior propensão ao risco será aquele que decide não ofertar nada de sua energia quando há uma pequena variação do preço do lance em relação à expectativa de preços do ACL.

Figura 35 - Extremos de aversão ao risco

A propensão ao risco de uma geradora de energia elétrica pode ser influenciada por suas características estruturais e conjunturais. A estrutura de uma geradora aponta as características intrínsecas enquanto que a conjuntura de uma geradora aponta as características inerentes ao momento do leilão.

O 3º e último nível da estrutura é composto pelas variáveis que serão quantificadas.

Dentre as características estruturais (E) temos:

- Propriedades do capital (E1): Considera a origem do capital da geradora. Classificadas como estatais e privadas de acordo com estrutura societária da empresa.
- Porte da empresa (E2): Considera o tamanho da empresa de acordo com sua garantia física. A garantia física de uma empresa representa o montante de energia que pode ser comprometido com contratos de energia.
- Custo de geração (E3): O custo de geração é verificado a partir do portfólio de usinas da empresa, considerando as características específicas referentes à origem da fonte (térmica ou hídrica) que influenciam diretamente no custo da produção.

Dentre as características conjunturais (C) temos:

- Preço dos contratos vencendo (C1): Representa o ganho que a geradora tinha com os contratos que estão vencendo no ano do leilão.
- Portfólio ACR/ACL (C2): Define o perfil de contratação da empresa. Geradoras com maior quantidade de energia contratada no ACR têm maior aversão ao risco.
- Volume dos contratos vencendo (C3): Volume da energia da geradora que está no final do contrato, em percentuais da energia total da geradora. Representa a fatia da receita da geradora que está encerrando contrato.

As escalas de comparação estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6- Escalas de Comparação

Número	Descrição	Explicação
1	Mesma importância	As duas variáveis em comparação contribuem igualmente para a definição da propensão ao risco da geradora
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A variável é levemente mais importante para a definição da propensão ao risco do agente
5	Importância grande ou essencial	A variável é fortemente mais importante para a definição da propensão ao risco do agente

Número	Descrição	Explicação
7	Importância muito grande ou demonstrada	A variável é muito fortemente mais importante para a definição da propensão ao risco do agente, sendo que a dominação de uma variável sobre a outra é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A variável é mais importante para a definição da propensão ao risco do agente com o maior grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários	Escalas intermediárias utilizadas para maior precisão

As comparações paritárias são feitas para cada nível hierárquico e para cada subconjunto do nível, desta forma temos 7 comparações. As primeiras comparações são realizadas no 3º nível hierárquico, assim a pessoa que estiver realizando as comparações tem uma melhor ideia do que se tratam os conjuntos do 2º nível antes de fazer a comparação. A seguir é apresentada a lista de comparações paritárias.

As matrizes recíprocas de comparação para cada pessoa ficarão da seguinte forma:

E				C			
	E1	E2	E3		C1	C2	C3
E1	1	6	4	C1	1	9	6
E2	1/6	1	3	C2	1/9	1	1/4
E3	1/4	1/3	1	C3	1/6	4	1

Aversão

	E	C
E	1	4
C	1/4	1

O valor numérico 3 hachurado na 2ª linha da 3ª coluna da matriz E sinaliza que, para o indivíduo que fez a comparação, o porte da empresa (E2) é levemente mais importante que o custo de geração (E3) para a definição da propensão ao risco do agente de geração.

O MAH utiliza da discussão das propriedades influentes no objetivo da análise pelos participantes do julgamento para se chegar a um consenso, mas quando se trata de pessoas experientes e altamente conhecedoras do assunto em discussão o método utiliza-se de julgamentos individuais. As matrizes finais constarão da média geométrica do julgamento dos participantes.

As prioridades finais para as variáveis serão dadas pelo autovetor referente ao maior autovalor da matriz de julgamentos⁶. Os autovetores das 3 matrizes estudadas são apresentados a seguir:

⁶ Toda a análise matemática e as provas dos passos utilizados se encontram em (SAATY, 1980).

	E		C
E1	0,701	C1	0,721
E2	0,193	C2	0,210
E3	0,106	C3	0,069

Aversão

E	0,800
C	0,200

Estes vetores definem os pesos que cada variável tem na aversão ao risco do agente de geração. Neste exemplo, a variável E1 (Propriedade do Capital) corresponde a 70,1%, E2 (Porte da Empresa) a 29,3% e E3 (Custo de Geração) a 10,6% da formação da variável E (Estrutural), que corresponde a 80% na formação da propensão ao risco do gerador.

5.2 DEFINIÇÃO DOS PESOS DAS VARIÁVEIS NA ESTRUTURA HIERÁRQUICA

O método foi aplicado com 11 profissionais da área de comercialização de energia de uma empresa geradora do setor, com amplo conhecimento sobre o assunto. A aplicação foi precedida de uma apresentação do método, com a elucidação dos parâmetros a serem analisados, para que todos os participantes tivessem clareza no momento das comparações. Os resultados desta aplicação se encontram na figura a seguir.

Figura 36- Peso das variáveis na aversão ao risco do agente de geração

Os resultados mostram um grande equilíbrio entre os aspectos estruturais (44,75%) e conjunturais (55,25%) na tomada de risco dos agentes, com uma leve vantagem para o último.

Dentre os aspectos estruturais, a propriedade do capital apresentou larga vantagem em relação aos demais parâmetros com 59,41% de participação, seguido pelo custo da geração com 24,18% e pelo Porte da Empresa com 24,18%, e dentre os aspectos conjunturais o portfólio de contratos teve o maior peso com 41,14%, seguido pelo volume dos contratos vencendo com 31,84% e pelo preço dos contratos vencendo com 27,02%.

Ainda, o método de análise hierárquica apresenta uma formulação para avaliar o grau de consistência do grupo e de cada avaliador em relação às variáveis comparadas⁷. A votação do grupo apresentou grande grau de consistência, não havendo necessidade de uma nova avaliação.

5.3 DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE DE PROPENSÃO AO RISCO DOS AGENTES DE GERAÇÃO – CASO PRÁTICO

A aplicação do MAH para o cálculo da propensão ao risco, após a definição dos pesos de cada variável, deve ser feita individualmente para cada agente de geração utilizando-se da técnica de planejamento para trás. A análise quantitativa das

⁷ Maiores detalhes podem ser encontrados em (CARVALHO, 2005)

variáveis é feita comparativamente entre os agentes de geração. A Tabela 7 mostra como será realizada esta análise.

Tabela 7- Quantificação das variáveis

Variável	Valor
Propriedade do capital	1 para empresas estatais e 0 para empresas privadas
Porte da empresa	1 para a empresa com maior garantia física. As outras empresas serão classificadas entre 1 e 0 de acordo com a sua garantia física, de forma linear.
Custo de geração	1 para a empresa com 100% de seu portfólio constituído de usinas hidrelétricas e 0 para empresas com 100% de seu portfólio constituído de usinas termelétricas. Os demais agentes serão classificados de acordo com a porcentagem de usinas hidrelétricas em seu portfólio
Preço dos contratos vencendo	1 para a empresa que tiver o menor preço médio de contratos vencendo e 0 para a empresa que tiver o maior preço de contrato vencendo. As empresas que não tiverem contratos vencendo terão valor 0
Portfólio ACR/ACL	1 para a empresa que tem 100% de seus contratos realizados no ACR e 0 para a empresa que tem 100% de seus contratos no ACL
Volume dos contratos vencendo	1 para a empresa que tiver o maior volume relativo de energia sendo descontratada e 0 para a empresa que não tem energia sendo descontratada

Como pode ser notado na tabela acima, as geradoras com maior propensão (menor aversão) ao risco obterão os menores valores e as com menor propensão (maior aversão) ao risco obterão os maiores valores. Portanto, nesta análise utilizou-se o conceito de aversão ao risco, sendo este o inverso de propensão ao risco, definindo que os agentes com maiores valores terão maior aversão ao risco e consequentemente menor propensão.

As informações dos agentes de geração coletadas e armazenadas no banco de dados, apresentado no capítulo 6, são utilizadas nesta etapa para o cálculo da aversão ao risco destes agentes.

Um exemplo prático será apresentado resumidamente a seguir com 11 agentes de geração de energia elétrica.

Os dados apresentados neste estudo foram obtidos a partir de fontes públicas e procuram respeitar o sigilo industrial das empresas a que se referem. São apresentados como ilustração de sistemas reais e não devem servir para análise de investimentos e risco. Nenhum dos dados apresentados foi fornecido por qualquer uma das empresas citadas nem advém de consultas às empresas ou qualquer outra fonte.

Ainda, os resultados dos cálculos aqui apresentados não consideram as decisões sacramentadas na Medida Provisória 579, de 11 de Setembro de 2012, convertida na Lei 12.783, de 11 de Janeiro de 2013.

Em primeiro lugar, quantifica-se cada uma das variáveis estruturais dos agentes de geração, conforme apresentado na Tabela 8, na Tabela 9 e na Tabela 10.

Tabela 8- Propriedade do capital dos agentes de geração

Agente	Estatal	Privada	Valor
AES TIETÊ	-	X	0
CEEE-GT	X	-	1
CEMIG GERACAO	X	-	1
CESP	X	-	1
CHESF	X	-	1
COPEL GET	X	-	1
DUKE	-	X	0
ELETRONORTE	X	-	1
FURNAS	X	-	1
LIGHT ENERGIA	-	X	0
TRACTEBEL	-	X	0

Tabela 9- Porte dos agentes de geração

Agente	Garantia Física	Valor
AES TIETÊ	1.275,4	0,248
CEEE-GT	457,75	0,089
CEMIG GERACAO	3.659,33	0,713
CESP	3.916,00	0,763
CHESF	4.028,00	0,785
COPEL GET	1.953,00	0,380
DUKE	1.034,00	0,201
ELETRONORTE	4.164,00	0,811
FURNAS	5.133,00	1,000
LIGHT ENERGIA	637,00	0,124
TRACTEBEL	2.877,00	0,560

Tabela 10- Custo da geração dos agentes

Agente	Hidro	Termo	Valor
AES TIETÊ	1.275,4	0,0	1,000
CEEE-GT	457,1	0,7	0,998
CEMIG GERACAO	3.587,4	71,9	0,980
CESP	3.916,0	0,0	1,000
CHESF	3.798,2	229,8	0,943
COPEL GET	1.941,0	12,0	0,994
DUKE	1.034,0	0,0	1,000
ELETRONORTE	4.164,0	0,0	1,000
FURNAS	4.379,4	753,6	0,853
LIGHT ENERGIA	637,0	0,0	1,000
TRACTEBEL	2.024,2	852,8	0,704

Após definir o valor de todas as variáveis estruturais podemos calcular o perfil dos 11 agentes de geração referente a este conjunto.

Tabela 11- Aversão do agente em nível estrutural

Agente	Propriedade do capital	Porte	Custo de geração	Aversão estrutural
AES TIETÊ	0	0,248	1	0,28
CEEE-GT	1	0,089	0,998	0,61
CEMIG GERACAO	1	0,713	0,98	0,71
CESP	1	0,763	1	0,72
CHESF	1	0,785	0,943	0,72
COPEL GET	1	0,38	0,994	0,66
DUKE	0	0,201	1	0,03
ELETRONORTE	1	0,811	1	0,73
FURNAS	1	1	0,853	0,76
LIGHT ENERGIA	0	0,124	1	0,02
TRACTEBEL	0	0,56	0,704	0,09
PESO	0,5941	0,164	0,2418	0,4475

A Figura 37 apresenta a comparação entre a composição da aversão estrutural das 11 empresas comparadas.

Figura 37- Composição da aversão estrutural das empresas.

A mesma análise pode ser feita para o conjunto de variáveis conjunturais. Foi utilizado como exemplo de conjuntura um leilão sendo realizado para início de fornecimento em 2013. Os contratos que vencem neste ano são aqueles realizados no 1º leilão de energia existente no produto 2005-08.

A Tabela 12, a Tabela 13 e a Tabela 14 apresentam o cálculo das variáveis que compõem a aversão conjuntural do agente.

Tabela 12- Preço dos contratos vencidos dos agentes de geração

Agente	Preço	Valor
AES TIETÊ	0,00	0,00
CEEE-GT	57,47	0,446
CEMIG GERACAO	0,00	0,00
CESP	62,10	0,000
CHESF	52,79	0,898
COPEL GET	57,50	0,444
DUKE	59,98	0,204
ELETRONORTE	56,00	0,588
FURNAS	60,94	0,112
LIGHT ENERGIA	51,73	1,000
TRACTEBEL	0,00	0,000

Tabela 13 - Perfil de contratação dos agentes de geração

Agente	ACR	ACL	Valor
AES TIETÊ	1.268,00	0,00	1,000
CEEE-GT	436,00	76,98	0,850
CEMIG GERACAO	1.032,00	2704,81	0,276
CESP	2.215,54	1579,19	0,584
CHESF	4.799,92	20,29	0,996
COPEL GET	1.686,11	293,48	0,852
DUKE	556,00	495,01	0,529
ELETRONORTE	1.990,55	1714,50	0,537
FURNAS	5.792,19	472,14	0,925
LIGHT ENERGIA	522,00	13,16	0,975
TRACTEBEL	878,60	2725,50	0,244

Tabela 14- Volumes relativos descontratados

Agente	Volume	Relativo	Valor
AES TIETÊ	0	0,000	0,000
CEEE-GT	260	0,568	0,915
CEMIG GERACAO	0	0,000	0,000
CESP	800	0,204	0,329
CHESF	2.500	0,621	1,000
COPEL GET	980	0,502	0,808
DUKE	214	0,207	0,333
ELETRONORTE	672	0,161	0,260
FURNAS	3.076	0,599	0,966
LIGHT ENERGIA	380	0,597	0,961
TRACTEBEL	0	0,000	0,000

Após definir o valor de todas as variáveis conjunturais podemos calcular o perfil dos 11 agentes de geração referente a este conjunto.

Tabela 15- Aversão do agente em nível conjuntural

Agente	Preço	Perfil de contratos	Volume descontratado	Aversão conjuntural
AES TIETÊ	0	1	0	0,41
CEEE-GT	0,446	0,85	0,915	0,76
CEMIG GERACAO	0	0,276	0	0,11
CESP	0	0,584	0,329	0,35
CHESF	0,898	0,996	1	0,97
COPEL GET	0,444	0,852	0,808	0,73
DUKE	0,204	0,529	0,333	0,38
ELETRONORTE	0,588	0,537	0,26	0,46
FURNAS	0,112	0,925	0,966	0,72
LIGHT ENERGIA	1	0,975	0,961	0,98
TRACTEBEL	0	0,244	0	0,10
PESO	0,2702	0,4114	0,3184	0,5525

A Figura 38 apresenta a comparação entre a composição da aversão conjuntural das 11 empresas comparadas.

Figura 38- Composição da aversão conjuntural das empresas

A aversão ao risco de cada agente é composta pelo conjunto de variáveis estruturais e pelo conjunto de variáveis conjunturais. A união de todos estes fatores culmina na solução procurada, apresentada na Tabela 16.

Tabela 16- Aversão ao risco final dos agentes de geração

Agente	Aversão estrutural	Aversão conjuntural	Aversão ao risco
AES TIETÊ	0,154	0,21	0,18
CEEE-GT	0,824	0,563	0,68
CEMIG GERACAO	0,942	0,058	0,45
CESP	0,954	0,145	0,51
CHESF	0,952	0,926	0,94
COPEL GET	0,88	0,555	0,70
DUKE	0,145	0,281	0,22
ELETRONORTE	0,964	0,555	0,74
FURNAS	0,984	0,342	0,63
LIGHT ENERGIA	0,13	0,992	0,61
TRACTEBEL	0,183	0,051	0,11
PESO	0,4475	0,5525	1

A Figura 39 apresenta a comparação entre a composição da aversão ao risco das 11 empresas comparadas.

Figura 39 - Composição da aversão ao risco das empresas

As empresas com índice mais próximo da unidade são as que tiveram maior aversão ao risco, destacando-se a empresa estatal CHESF que teve o maior valor.

5.4 Transformação dos Coeficientes de Aversão ao Risco

O Método de Análise Hierárquica fornece um valor de coeficiente de aversão ao risco para cada empresa de acordo com as características das mesmas, representadas pelos parâmetros descritos anteriormente. Este coeficiente deve possuir uma correspondência com o coeficiente de aversão ao risco utilizado no espaço Risco x Retorno de escolha de portfólio, de forma a refletir o perfil de agressividade do jogador em seus lances durante o leilão.

A correspondência entre os coeficientes de aversão ao risco será realizada a partir da definição de valores limites (mínimo e máximo) para os coeficientes no espaço Risco x Retorno, relacionando estes aos valores limítrofes da análise hierárquica com base em resultados de leilões já realizados. Após o relacionamento dos valores extremos, é possível realizar a transformação de maneira proporcional às amplitudes (diferença entre o valor máximo e o mínimo) dos coeficientes, tal como ilustra a figura a seguir.

Figura 40 - Transformação dos Coeficientes de Aversão ao Risco

A transformação dos coeficientes obtidos pelo método de análise hierárquica nos coeficientes utilizados no espaço Risco x Retorno encerra toda a metodologia para escolha de portfólio dos vendedores em leilões de energia elétrica.

6 BANCO DE DADOS DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

A formação de um banco de dados de comercialização de energia se fez necessária neste trabalho para alimentar o cálculo das variáveis dos agentes de geração no método de análise hierárquica, conforme apresentado no caso prático do capítulo 5.

Para tanto, foram pesquisadas as fontes públicas que disponibilizam informações acerca da comercialização de energia destes agentes, abrangendo os sites da ANEEL, da CCEE, da EPE e as Notas Técnicas das revisões tarifárias das concessionárias de distribuição de energia elétrica.

Após a coleta dos dados, estes foram estruturados e organizados dentro de um banco de dados desenvolvido em modelo ACCESS 2007.

A formação deste banco de dados foi realizada paralelamente ao desenvolvimento da pesquisa com o método de análise hierárquica, sendo que a princípio não se tinha conhecimento de quais variáveis seriam utilizadas para a avaliação da aversão ao risco dos agentes de geração. Desta forma, o banco de dados contém mais informações do que as que são necessárias para esta avaliação.

O próprio banco de dados de comercialização de energia se tornou um produto secundário deste trabalho, devido a quantidade de dados adquiridos e a estruturação desenvolvida.

Os itens a seguir apresentam as fontes de informações utilizadas, a estruturação do banco de dados e os relatórios disponibilizados.

6.1 FONTES DE INFORMAÇÕES

Na CCEE estão registrados todos os contratos realizados no ACR e no ACL para fins de contabilização. Estão disponíveis para o público, no caso dos CCEARs realizados em leilões, as quantidades contratadas, a duração dos contratos e os preços da energia. A CCEE tem em seus registros as informações referentes às quantidades e a duração dos CCEALs, mas isto não é disponibilizado publicamente. O preço destes contratos é restrito aos agentes e nem a CCEE tem esta informação.

Mensalmente a CCEE disponibiliza relatórios individuais com o consumo, a geração, a geração de teste, o montante em contratos de venda, o montante em

contratos de compra, a garantia física, a garantia física ajustada e a contabilização para os agentes de geração e o consumo e o montante em contrato de compra para os consumidores livres e para as distribuidoras.

A ANEEL disponibiliza no Banco de Informações de Geração a garantia física das usinas em operação, a lista de usinas em construção e a lista de usinas em outorga. As revisões tarifárias das distribuidoras são muito ricas em informações, e no balanço energético é possível ver qual a previsão de mercado para o ano teste e a energia disponível em contratos bilaterais.

A ONS divulga diversas informações sobre a operação do sistema e sobre o armazenamento de energia.

A EPE publica anualmente o Plano Decenal de Energia com as projeções de demanda no longo prazo, o planejamento de expansão do sistema, com a lista de usinas e sua atual situação, assim como a configuração do sistema no longo prazo.

6.1.1 Contratos

Nesta frente do Banco de Dados são cadastrados todos os CCEAR firmados nos leilões de energia, dividido em 2 grupos.

- Distribuidoras: Apresenta os contratos firmados pelas distribuidoras com as geradoras de energia em todos os leilões, com os montantes contratados, o preço e a duração dos contratos. Cada negociação realizada em um produto produz um conjunto de contratos com todas as empresas de geração que ofertaram sua energia.

- Geradoras: Apresenta os contratos firmados pelas geradoras com as distribuidoras em todos os leilões em que a geradora vendeu energia. Novamente, cada negociação realizada em um produto produz um conjunto de contratos firmados com todas as distribuidoras que contrataram esta energia.

Para os produtos na modalidade disponibilidade, o resultado dos produtos e contratos firmados ainda é dividido entre as usinas térmicas comercializadas.

6.1.2 Contratos Bilaterais

A revisão tarifária e os reajustes tarifários anuais fornecem dados importantes sobre os contratos das distribuidoras. Especificamente para o propósito deste banco de

dados foram utilizados os dados do balanço energético das distribuidoras, principalmente em relação aos contratos bilaterais firmados, com informações sobre as partes que firmaram o negócio, o montante e o preço negociado.

A aquisição destas informações foi realizada para todas as concessionárias de distribuição de energia elétrica, se tornando um verdadeiro trabalho de mineração de dados.

A Tabela 17 apresenta os contratos bilaterais, Itaipu e Proinfa com suas respectivas energias associadas para a distribuidora CPFL Paulista.

Tabela 17 - Contratos bilaterais, Itaipu e PROINFA da CPFL PAULISTA

Contrato	Energia [MWh]
BAESA	556.954,00
CERAN	439.854,00
CPFL BRASIL - BIOMASSA I	970.571,00
CPFL BRASIL - COMPETITIVO - L.P.	1.944.899,00
CPFL BRASIL - PPT	2.082.017,00
CPFL GERAÇÃO - NOVA 1 - CPCH	633.965,00
CPFL GERAÇÃO (MONJOLINHO) - NOVA 1 - CPCH	2.918,00
ENERCAN	1.047.553,00
PETROBRAS	1.213.626,00
TRACTEBEL L.P.	1.778.732,00
ITAIPU	5.866.309,00
PROINFA	400.733,00
TOTAL	16.938.131,00

6.1.3 Descontratação

O montante de reposição de uma distribuidora é a quantidade de energia que está sendo descontratada em um determinado ano.

As geradoras também estarão sendo descontratadas com o término dos contratos e é interessante para outras geradoras saberem com quem estariam disputando em um novo leilão e com quanto de energia as concorrentes poderiam estar participando. A Tabela 18 apresenta as geradoras que estão sendo descontratadas em 2013.

Tabela 18 - Geradoras descontratadas em 2013

Empresa	Energia descontratada [MWmédio]
CEEE-GT	152,00
CEMIG GERACAO	927,00
CESP	1.178,00
CHESF	1.054,00
COPEL GET	368,00
DUKE	58,00
ELETRONORTE	328,00
EMAE	33,00
ESCELSA	27,00
FURNAS	2.527,00
LIGHT ENERGIA	130,00

6.1.4 Resultados da Contabilização

A contabilização financeira do mercado de energia elétrica feita pela CCEE é transparente, isto quer dizer que a CCEE disponibiliza mensalmente para o público informações sobre a geração dos agentes geradores, a geração teste dos geradores, o consumo dos geradores e dos consumidores, os montantes vendidos em contrato pelos geradores, o montante contratado pelos geradores e consumidores, a garantia física e a garantia física ajustada dos geradores. Em posse de todas estas informações é feita a contabilização individual de cada agente.

6.1.5 Perfil

O perfil de uma geradora demonstra alguns detalhes de sua “personalidade”. Geradoras que comprometem praticamente 100% de sua garantia física com contratos demonstram que estão dispostas a assumir o risco de ter uma energia gerada ou alocada menor que a sua garantia física, mas também demonstram que não querem vender energia no curto prazo. Geradoras que vendem a maior parte de sua energia no ACR demonstram que preferem negócios com menor rentabilidade, mas com menor risco. Geradoras que vendem a maior parte de sua

energia no ACL geralmente têm setores especializados dentro da mesma, que estudam o mercado e preferem assumir o risco para ganhar mais.

A Figura 41 e a Tabela 19 apresentam o perfil da CESP, utilizando informações em MW médios até 2008.

Figura 41 - Perfil da CESP

Tabela 19 - Perfil da CESP

Ano	Geração [MWm]	MRE [MWm]	Garantia física [MWm]	Total de contratos [MWm]	Contratos ACR [MWm]
2005	4.209	3.827	3.821	3.190	848
2006	4.767	3.826	3.820	3.773	2.026
2007	4.581	3.998	3.827	3.769	2.046
2008	4.557	3.929	3.825	3.795	2.216

Nos 4 anos analisados o agente teve geração maior que a sua garantia física, com um máximo em 2006. A diferença entre a energia alocada ao agente (MRE) e a garantia física é a energia secundária do agente. A tabela 20 mostra como o agente vende a sua energia.

Tabela 20 - Venda de energia da CESP

Ano	MCP	ACL	ACR
2005	16,5%	61,3%	22,2%
2006	1,2%	45,7%	53,0%
2007	1,5%	45,0%	53,5%
2008	0,8%	41,3%	57,9%

A parcela do Mercado de Curto Prazo (MCP) do agente é utilizada para diminuir o risco de ficar exposto caso a geração total do sistema não seja maior que a sua garantia física. A CESP diminui gradualmente esta parcela durante os anos. A parcela de ACR cresceu durante os anos, tomando uma boa parcela dos contratos no ACL e do MCP, demonstrando que a CESP prefere vender sua energia em contratos de longo prazo com baixo risco.

O perfil da geradora LIGHT ENERGIA é apresentado na Figura 42.

Figura 42 - Perfil da LIGHT ENERGIA

Nos 3 últimos anos analisados a LIGHT ENERGIA comprometeu praticamente 100% de sua garantia física em contratos no ACR demonstrando ser uma empresa com alta aversão ao risco. A Tabela 21 ilustra melhor o perfil da LIGHT ENERGIA nestes 4 anos.

Tabela 21 - Perfil da LIGHT ENERGIA

Ano	MCP	ACL	ACR
2005	5,7%	23,4%	70,9%
2006	2,6%	0,0%	97,4%
2007	0,2%	2,6%	97,2%
2008	0,3%	2,5%	97,2%

6.1.6 Dados necessários para a valoração da aversão ao risco dos agentes de geração

Como já foi mencionado anteriormente, o banco de dados excede as informações necessárias na metodologia para a definição da aversão ao risco dos agentes de geração, principalmente por ter sido desenvolvido paralelamente à aplicação da metodologia de análise hierárquica.

As informações requeridas para a avaliação da aversão ao risco dos agentes de geração são aquelas apresentadas no 3º nível da estrutura hierárquica da Figura 34, a saber: Propriedade do Capital dos agentes de geração, Porte da Empresa, Custo de Geração, Preço dos Contratos Vencendo, Portfólio ACR/ACL e Volume dos Contratos Vencendo. Todas estas informações são cadastradas no banco de dados e devem ser preenchidas periodicamente para manter a base atualizada e as análises mais realistas. A seguir são apresentadas as variáveis e as informações necessárias para o seu cálculo:

- Propriedade do Capital: É cadastrada na tabela “Agentes de Geração”, pois se trata de uma característica deste, e tem periodicidade baixa de atualização.
- Porte da Empresa: É calculada a partir da soma da Garantia Física das usinas cadastradas para cada agente de geração na tabela “Usinas”. Estes dados podem ser obtidos no Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL. Deve ser atualizado com a entrada em operação de novas usinas para estes agentes.
- Custo de Geração: É calculado a partir da Garantia Física das usinas hidrúcas e térmicas cadastradas na tabela “Usinas”. Os parâmetros “Hidráulica” e “Térmica” é uma característica de cada usina.
- Preço dos contratos vencendo: É calculado a partir do preço dos contratos realizados em leilões que estão vencendo no ano de início de suprimento do produto em questão. Utiliza as informações de resultados dos leilões cadastrados nas tabelas de contratos. Deve ser atualizado sempre que houver um leilão.
- Portfólio ACR/ACL: Utiliza as informações de resultados de contabilização da CCEE para identificar o montante total em contrato para cada agente de geração e os resultados de leilões e notas técnicas das revisões tarifárias das distribuidoras (contratos bilaterais) para apurar a soma do montante comercializado no ACR. Deve ser atualizado anualmente com as informações de contabilização da CCEE e

com as informações das notas técnicas das distribuidoras, sendo que os contratos dos leilões devem ser atualizados sempre que houver um novo leilão.

- Volume dos contratos vencendo: É calculado a partir do volume dos contratos realizados em leilões que estão vencendo no ano de início de suprimento do produto em questão. Utiliza as informações de resultados dos leilões cadastrados nas tabelas de contratos. Deve ser atualizado sempre que houver um leilão.

Com as informações apresentadas, já é possível utilizar o banco de dados para a valoração da aversão ao risco dos agentes de forma atualizada.

6.2 BANCO DE DADOS

A partir das informações levantadas nos resultados dos leilões de energia, nas notas técnicas das revisões tarifárias das distribuidoras e pelos resultados individuais dos agentes disponibilizados pela CCEE, foi montado um banco de dados em formato MS ACCESS que faz, além do armazenamento dos dados, a disponibilização de informações úteis aos usuários. Alguns destes formulários de dados e relatórios serão apresentados nos itens subsequentes.

6.2.1 Menu Principal

Este formulário é apresentado na inicialização do banco de dados, através dele é possível escolher outros formulários para a visualização dos dados.

Figura 43 - Menu principal

Na Figura 43 é apresentado o menu principal do banco de dados com os botões de acesso a outros formulários, que serão mostrados nos próximos subitens.

6.2.2 Menu Leilões

Este formulário é acessado através do botão “Leilões” do Menu principal. Nele são apresentadas as opções de visualização de informações dos leilões de energia realizados no ACR depois de 2004.

Nestes formulários os leilões são apresentados como intermediadores de contratos. Os próprios certames se comportam como compradores de energia das geradoras e como vendedores de energia para as distribuidoras.

Todos os leilões de energia existente, de energia nova, de energia de fontes alternativas estão cadastrados no banco e nestes formulários é possível consultar as participações dos agentes de geração e de distribuição em cada leilão.

6.2.2.1 Distribuidoras (Leilão)

Este formulário é acessado pelo botão “Distribuidoras” do formulário “Menu Leilões” e apresenta as distribuidoras de energia elétrica, com algumas informações na parte superior do formulário. Na parte central é apresentado o subformulário que contém todas as informações sobre participações da distribuidora em leilões.

Distribuidoras (Leilão)

PEA Distribuidoras

Distribuidoras: AES SUL

razaosocial: AES SUL Distribuidora Gaúcha de Energia S/A.

Região atendida: Sul Consumidores atendidos: 1.126.584 fimdaconcessao: 06/11/2027

Leilão	Energia Total (MWh)	Energia (MWm)	Preço Atual (R\$/MWh)	Preço (R\$/MWh)
12LEN14-D20	5.836.496,19	35,04		102,10
12LEN14-Q30	1.397.080,27	5,50		102,00
1LEE05-08	8.393.255,80	119,68	79,44	57,51
1LEE06-08	21.678.764,35	309,13	93,01	67,33
1LEE07-08	2.943.336,83	41,97	104,23	75,46
1LEN08-H30	843.401,85	3,21	139,78	106,95
1LEN08-T15	3.332.031,00	25,34	172,86	132,26
1LEN09-H30	331.371,88	1,26	149,37	114,28
1LEN09-T15	2.114.103,83	16,08	168,63	129,02
1LEN10-H30	7.574.714,01	28,80	150,36	115,04
1LEN10-T15	3.672.665,50	27,93	159,21	121,81
2LEE08-08	2.671.526,25	38,10	111,84	83,13
2LEN09-H30	11.037.219,45	41,97	163,17	126,76
2LEN09-T15	2.834.202,38	21,56	172,80	134,24
4LEE09-08	772.086,25	11,01	125,18	94,91
4LEN10-T15	931.277,24	7,08	167,18	134,67
5LEN12-H30	5.344.813,84	20,32	158,43	129,14
5LEN12-T15	5.968.998,48	45,39	157,47	128,37
6LEN13-Q30	38.543.455,00	317,06	149,71	118,43

Voltar

Registro: 1 de 43 Sem Filtro Pesquisar

Figura 44 - Formulário Distribuidoras (Leilão)

6.2.2.2 Geradoras (Leilão)

Este formulário apresenta as informações sobre a participação dos agentes de geração em leilões de energia.

Geradoras (Leilão)

PEA

Agentes de Geração com Contratos em Leilões

Empresa: FURNAS

razaosocial: FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S. A.

Empreendimento	Contrato	Energia (MWm)	Preço (R\$/MWh)	Preço Atual (R\$/MWh)
	1LEE05-08	3.076,00	60,94	84,18
	1LEE06-08	2.527,00	69,58	96,12
	1LEE07-08	150,00	77,70	107,33
Manso	1LEN08-H30	35,00	97,89	127,94
Manso	1LEN10-H30	55,00	112,89	147,55
UHE Baguari	1LEN10-H30	11,55	115,68	151,19
UHE Batalha	1LEN10-H30	47,00	114,70	149,91
UHE Simplicio	1LEN10-H30	185,00	115,88	151,46
	4LEE09-08	281,00	96,00	126,62
Santa Cruz Nova	5LEN12-T15	351,00	129,34	158,67

Voltar

Registro: 61 de 129 | Sem Filtro | furnas

Figura 45 - Formulário Geradoras (Leilão)

Na parte central é apresentado o subformulário que contém todas as informações sobre participações dos agentes de geração em leilões. Os agentes que não tiveram nenhuma participação em leilões até o momento não serão apresentados neste formulário.

6.2.2.3 Leilão

Este formulário apresenta as informações sobre as distribuidoras e as geradoras que negociaram energia no leilão.

Leilão

Leilão: 1LEE05-08
Descrição: 1º Leilão de energia existente 2005-08
Início: 2005
Duração: 8
Tipo Fonte: Hidro
Tipo Produto: Quantidade

Distribuidora	Energia (MWm)
AES SUL	119,68
AMPLA	336,74
BANDEIRANTE	263,21
CAIUÁ	31,65
CEAL	169,57
CEB	127,30
CEEE	216,44
CELG	365,98
CELPA	436,21
CELPE	248,27
CELTINS	34,62
CEMAR	333,63
CEMAT	8,90
CEMIG	530,17
CEPISA	187,93
CLFSC	33,63

Empresa	Empreendimento	Energia (MWm)
CEEE-GT		260,00
CESP		800,00
CHESF		2500,00
COPEL GET		980,00
DUKE PARANAPAN		214,00
ELETRONORTE		672,00
EMAE		85,00
ESCELSA		87,00
FURNAS		3076,00
LIGHT		380,00

Voltar

Registro: 1 de 51 | Sem Filtro | Pesquisar

Figura 46 - Formulário Leilão

Na parte central é apresentado o subformulário que contém todas as informações sobre participações das distribuidoras no referido leilão e o subformulário que contém todas as informações sobre participações dos agentes de geração no referido leilão.

6.2.3 Menu Contratos

Neste formulário são apresentadas as opções de visualização de informações dos contratos realizados entre as geradoras e as distribuidoras.

6.2.3.1 Distribuidoras (Contratos)

Este formulário apresenta todos os contratos realizados por cada distribuidora, inclusive os bilaterais. O volume de contratos é grande, pois como já foi ressaltado anteriormente, cada distribuidora deve fazer contratos com todos os agentes vendedores no leilão.

Vendedor	Produto	Empreendimento	Energia (MWm)	Preço (R\$/MWh)
EDP LAJEADO	Bilateral	BANDEIRANTE - EDP LAJEADO	13,45	125,94
ENERPEIXE	Bilateral	BANDEIRANTE - ENERPEIXE	111,94	161,23
ENERPEIXE	Bilateral	BANDEIRANTE - ENERPEIXE CEMAT	41,75	152,59
FAFEN	Bilateral	BANDEIRANTE - FAFEN	102,08	152,41
INVESTCO	Bilateral	BANDEIRANTE - INVESTCO LAJEADO	1,42	118,82
Agente H	10LEN15-H30	Canaã	0,21	153,98
Agente H	10LEN15-H30	Ferreira Gomes	3,20	69,78
Agente H	10LEN15-H30	Garibaldi	1,77	107,98
Agente H	10LEN15-H30	Jamari	0,27	154,23
Agente H	10LEN15-H30	Santa Cruz de Monte Negro	0,21	153,73
COPEL GET	10LEN15-H30	Colider	3,81	103,40
EMAE	10LEN15-H30	Pirapora	0,49	154,49
Agente H	11LEN15-H30	Santo Antonio Jari	5,68	104,00
Agente H	11LEN15-H30	Teles Pires	23,26	58,36
ELETROSUL	12LEN14-D20	Cerro Chato IV	0,19	97,17
ELETROSUL	12LEN14-D20	Cerro Chato IV	0,19	97,17
ELETROSUL	12LEN14-D20	Cerro Chato V	0,23	96,85
ELETROSUL	12LEN14-D20	Cerro Chato V	0,23	96,85
ELETROSUL	12LEN14-D20	Cerro Chato VI	0,53	96,39

Figura 47 - Formulário Distribuidoras (Contratos)

Na parte central é apresentado o subformulário que disponibiliza todos os contratos realizados pela distribuidora com o respectivo vendedor, a identificação do contrato, o empreendimento para os leilões de energia nova, a energia média contratada e o preço do contrato, sendo que este é o preço ofertado pelas geradoras no leilão.

6.2.3.2 Geradoras (Contratos)

Este formulário apresenta todos os contratos realizados por cada agente de geração, inclusive os bilaterais.

Contrato	Empreendimento	Comprador	Energia (MWm)	Preço (R\$/MWh)
Bilateral	CPFL PAULISTA - BAESA	CPFL PAULISTA	63,45	169,92
Bilateral	CPFL PIRATININGA - BAESA	CPFL PIRATININGA	31,72	163,31
2LEN09-H30	Barra Grande	AES SUL	0,41	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	AMPLA	0,15	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	BANDEIRANTE	0,17	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CAIUÁ	0,03	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CEAL	0,06	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CEB	0,32	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CELESC	2,72	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CELG	0,16	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CELPA	0,28	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CELPE	0,62	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CELTINS	0,06	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CEMAR	0,16	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CEMIG	0,59	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CEPISA	0,11	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	CLFSC	0,03	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	COELBA	0,37	127,73
2LEN09-H30	Barra Grande	COFLCF	0,21	127,73

Figura 48 - Formulário Geradoras (Contratos)

Na parte central é apresentado o subformulário que contem todos os contratos realizados pelo agente de geração com o respectivo comprador, a identificação do contrato, o empreendimento para os leilões de energia nova, a energia média contratada e o preço do contrato.

6.2.4 Menu Demanda

Neste formulário são apresentadas duas opções, na primeira (Distribuidoras) é apresentada a projeção de energia requerida de cada distribuidora de acordo com o crescimento do seu mercado e a energia contratada, e na segunda (Geral) é apresenta a projeção da energia requerida total do sistema, que agrega todas as distribuidoras.

6.2.4.1 Requerida Distribuidoras

Este formulário apresenta as distribuidoras com as informações de mercado projetado a partir do mercado cadastrado para a mesma.

Figura 49 - Formulário Requerida Distribuidoras

A projeção da energia requerida da distribuidora para atendimento do seu mercado é dividida em 3 parcelas:

- Energia Disponível: Energia contratada pela distribuidora através de leilões, de contratos bilaterais, de Itaipu e do Proinfa.
- Reposição: Montante de energia que está sendo descontratado pela distribuidora. Representa os contratos que estão vencendo. A diferenciação desta parcela é importante, pois as distribuidoras são obrigadas a contratar grande parte deste montante através de leilões de energia existente.
- Expansão: Montante de energia extra requerida para garantir o crescimento do consumo.

6.2.4.2 Requerida Geral

Este formulário apresenta a soma da demanda das distribuidoras.

Figura 50 - Formulário Requerida Geral

6.2.5 Menu Descontratação

Neste formulário define-se o intervalo de anos que se deseja consultar o montante de energia que está sendo descontratada. Estes contratos se referem aos contratos realizados no ACR por meio de leilões de energia existente, novo hidráulico, novo térmico e de fontes alternativas.

6.2.5.1 Descontratação

Este formulário apresenta o gráfico “Gráfico Descontratação” com as energias descontratadas durante o intervalo de anos escolhido.

Figura 51 - Formulário Descontratação

6.2.6 Menu Preços

Neste formulário são apresentadas as projeções de preços dos agentes de distribuição. Os cálculos das projeções levam em consideração a projeção de mercado da distribuidora, a entrada e saída de operação dos contratos, a renovação dos contratos existentes e a contratação de energia proveniente de novos empreendimentos. A figura abaixo apresenta o formulário em questão.

Os cenários “baixo”, “médio” e “alto” se referem a valores percentuais de recontratação de energia para as distribuidoras e do preço desta recontratação para o horizonte de estudo.

Figura 52 - Menu Preço

6.2.7 Resultados

Este formulário apresenta os resultados mensais dos agentes em forma de gráficos e tabelas.

Figura 53 - Formulário Resultados - Perfil

Na parte central do formulário se encontram os gráficos e tabelas disponíveis. As abas são utilizadas para a navegação entre os resultados dos agentes de geração. Na Figura 53 é apresentada a aba “Perfil” que mostra os resultados do agente Furnas de forma anual. Neste gráfico são apresentados 4 tipos de dados:

- Soma de Geração: Soma da geração líquida mensal do agente no ano.
- Soma de Garantia Física: Soma da Garantia Física mensal do agente no ano.
- Soma de Contratos totais: Soma do montante contratado mensal do agente no ano.
- Soma de Energia Contratada ACR: Montante contratado no ACR pelo agente no ano.

Figura 54 - Formulário Resultados - ACR

A aba ACR apresenta o montante contratado do agente no ACR durante toda a duração de contrato, discriminado pelo tipo.

Figura 55 - Formulário Resultados - Geração

A aba Geração apresenta o montante gerado pelo agente de geração durante os meses do ano.

Figura 56 - Formulário Resultados - Contratos

A aba Contratos apresenta o montante vendido em contratos (ACR + ACL) pelo agente de geração durante os meses do ano.

Figura 57 - Formulário Resultados - Assegurada

A aba Assegurada apresenta a energia assegurada hidráulica do agente de geração durante os meses do ano.

Figura 58 - Formulário Resultados - Evolução

A aba Evolução apresenta a evolução dos dados das 3 últimas abas durante os meses/anos do histórico do agente de geração.

Resultados

Agentes de geração

Empresa: FURNAS Razão Social: FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S. A.

Perfil ACR Geração Contratos Assegurada Evolução **Tabela**

Geração MW	Assegurada MW	Contratos MW	Ano	Mês
4.849,71	4.247,57	5.492,30	2.005	2
5.039,34	4.905,33	5.791,06	2.005	3
5.259,94	4.426,74	5.805,19	2.005	1
6.082,76	4.302,41	5.649,83	2.005	4
6.006,51	4.086,36	5.828,62	2.005	5
5.970,65	3.954,17	5.550,78	2.005	6
5.498,47	4.266,71	6.334,68	2.005	7
6.565,30	3.962,39	6.051,70	2.005	8
5.269,35	4.947,39	5.592,70	2.005	9
5.538,85	5.261,41	5.813,16	2.005	10
5.309,51	4.366,28	5.484,28	2.005	11
4.815,59	4.398,67	5.714,42	2.005	12
4.900,67	5.674,15	7.130,64	2.006	1
5.091,82	4.713,19	6.274,46	2.006	2
6.277,29	4.878,52	7.017,40	2.006	3
5.609,79	4.374,85	6.500,27	2.006	4
5.876,57	4.699,06	6.530,79	2.006	5
5.917,06	4.218,71	6.513,77	2.006	6

Voltar

Registro: 4 355 de 701 Sem Filtro furna

Figura 59 - Formulário Resultados - Tabela

A aba Tabela apresenta todos os dados disponíveis na aba Evolução na forma de tabela.

7 SIMULADOR DE LEILÕES

A partir da metodologia desenvolvida no projeto, apresentada nos itens anteriores, foi criada uma ferramenta computacional de simulação de leilões de energia com a participação de jogadores reais e jogadores virtuais.

O processo de simulação de um leilão de energia existente deve seguir as seguintes etapas:

1 – Atualização das informações no banco de dados de comercialização de energia dos geradores que serão utilizados como jogadores virtuais, ou seja, que terão a participação no leilão realizada de forma automática a partir da metodologia desenvolvida aqui apresentada.

2 – Cadastro do leilão pelo administrador do sistema, com as informações de data/hora de realização do leilão, do preço e risco do ativo ACL (para a utilização pelos jogadores virtuais), e com os parâmetros da sistemática do leilão, que são cadastrados pela CCEE em um leilão real.

3 – Cadastro dos jogadores virtuais e reais que participarão do leilão pelo administrador do sistema. O administrador ainda deverá cadastrar a quantidade de lotes que cada jogador, real ou virtual, terá disponível para a participação no leilão. Cada jogador real deverá participar do leilão com o seu computador acessando o sistema que se localiza em um servidor através do seu Browser. Para cada jogador real são fornecidas informações de usuário e senha para acesso ao sistema. Apenas o administrador tem o conhecimento dos jogadores que participarão do leilão (real e virtual) e dos lotes disponíveis.

4 – Preparação do leilão para os jogadores. Definição da contextualização do leilão, com informações sobre expectativa de demanda do leilão, expectativa de número de participantes, expectativa e desvio do preço no ACL, início do suprimento e duração do contrato.

5 – Acesso ao sistema pelos jogadores reais e confirmação das informações cadastradas pelo administradores (lotes disponíveis).

6 – Realização do leilão, com a participação de todos os jogadores. O administrador tem acesso às informações inseridas no sistema pelos jogadores em todas as rodadas realizadas.

7 – Resultados dos leilões com a venda de lotes pelos jogadores reais e virtuais e o desempenho de cada jogador.

Os itens a seguir apresentam resumidamente o sistema desenvolvido.

7.1 ADMINISTRADOR

O simulador foi desenvolvido para o treinamento da sistemática do leilão, baseando-se no modelo utilizado pela CCEE. Um “administrador” faz o papel do organizador do leilão, correspondente à CCEE, e do regulador, correspondente à ANEEL. A figura a seguir apresenta a tela inicial do administrador do leilão.

Figura 60 - Tela inicial – Administrador

Nesta tela estão dispostas todas as opções que tem o administrador do leilão. O botão “Novo Leilão” abre a tela de cadastro de leilões apresentada a seguir:

Dados do leilão	
Identificador	Leilão Existente 01
Data / Hora	20/06/11 17:50
Intervalo entre jogadas	120 [s]
Preço inicial	150 [R\$ / MWh]
Preço ACL	150 [R\$ / MWh]
Parâmetro de decremento (DPF)	2 [%]
Desvio Preço ACL	15 [R\$ / MWh]
Fator de referência (FR)	1,20
Ano início fornecimento	2012
Demanda	600 [MW]
FDEMPD	0,15
PDEMPQ	1,30

Figura 61 - Tela de dados do leilão – Administrador

As informações de preço, desvio no ACL e ano de início de fornecimento requeridas nesta tela são necessárias para a definição da estratégia de oferta dos jogadores virtuais. As demais informações se referem à sistemática do leilão.

Após o cadastro do leilão, o administrador insere os jogadores que participarão da simulação através do botão “Adicionar jogador” da tela inicial.

Duas opções são apresentadas: inserção de um jogador real ou inserção de um jogador virtual. A Figura 62 apresenta a tela da 2ª opção. Para o jogador real, o administrador cadastra o seu identificador e senha para o acesso do usuário, o máximo de lotes que este usuário poderá ofertar e a empresa que ele estará representando. Os jogadores reais representam empresas de geração existentes para diferenciar as estratégias e para que seja possível avaliar o desempenho da negociação do mesmo.

Dados do jogador	
☐ Real ☒ Virtual	Identificador: DUKE PARANAPAN Máx. lotes: <input type="text"/>
Alpha = 0,27 Alpha ACL = 192,16	

Figura 62 - Inserção de jogador virtual – Administrador

Para o jogador virtual, o administrador escolhe o agente de geração que deseja cadastrar no leilão e o número de lotes disponíveis, cabendo ao software calcular os coeficientes de propensão ao risco deste agente através de uma consulta ao banco de dados.

A seguir são apresentados alguns botões da tela inicial do administrador (Figura 60) e as suas funcionalidades.

- Rodadas: Apresenta ao administrador o histórico de oferta dos jogadores nas rodadas durante a realização do leilão.

- Atividades servidor: Apresenta o histórico de atividades realizadas pelo servidor.
 - Cancelar leilão: Cancela o leilão antes de seu início.
 - Importar leilão: Importa todas as informações de um leilão realizado anteriormente, desde os parâmetros de cadastro do leilão até o cadastro dos participantes.
 - Exportar leilão: Exporta as informações cadastradas no leilão para que sejam utilizadas posteriormente.
 - Remover jogador: Exclui um jogador cadastrado no leilão.
- O botão relatórios apresenta os resultados do leilão.

7.2 USUÁRIO

Os usuários acessam o servidor, onde está o serviço do simulador de leilões, através da tela inicial apresentada na Figura 63.

Figura 63 - Tela inicial – Usuário

Os dados de entrada, usuário e senha, são fornecidos pelo administrador do leilão antes do início da simulação. Ao fazer o Login, o usuário acessa o ambiente de simulação, confirma os seus dados e entra no ambiente de negociação, apresentado na Figura 64.

Figura 64 - Ambiente de negociação – Usuário

É nesta tela que o usuário faz as ofertas de quantidade nas rodadas uniformes e de preço na rodada discriminatória.

7.3 RELATÓRIOS

O simulador disponibiliza ao administrador 4 tipos de relatórios;

- Resumo: Apresenta o resumo dos dados cadastrais do leilão e dos jogadores participantes, inclusive com as informações utilizadas para o cálculo do coeficiente de aversão ao risco do gerador (α).

Leilão Apresentação Desempenho dos jogadores

Resumo do leilão

Data: 2010-09-10T14:39:00.000-03:00	Demanda:	5000.00	Ano de entrega:	2013
Tempo entre jogadas: 15	Demanda Referência:	5400.00	Preço ACL:	130.0
Total de jogadores: 5	Fator de referência:	1.20	Desvio Preço ACL:	13.0
	Decremento:	10.00	DEMPO:	0.1
			POEMPO:	1.3

Jogadores

CESP	Quantidade ofertada:	800.0
-------------	----------------------	-------

Parâmetros

K1:	0.777411	Z1:	0.5838462	Propriedade Capital:	0.5941	Volume Descontratado:	0.3184	Alpha:	0.7308721
K2:	1.0	Z2:	1.0	Porte Empresa:	0.1641	Preço Contratos:	0.2702	Alpha corrigido:	118.9893
K3:	1.0	Z3:	0.1007562	Custo Geração:	0.2418	Perfil Contratos:	0.4114		

CHESF

Quantidade ofertada: 2500.0

Parâmetros

K1:	1.0	Z1:	0.99579144	Propriedade Capital:	0.5941	Volume Descontratado:	0.3184	Alpha:	0.84013365
K2:	1.0	Z2:	0.85008055	Porte Empresa:	0.1641	Preço Contratos:	0.2702	Alpha corrigido:	107.62811
K3:	0.9660434	Z3:	0.24478291	Custo Geração:	0.2418	Perfil Contratos:	0.4114		

ELETRONORTE

Quantidade ofertada: 672.0

Parâmetros

K1:	0.8225	Z1:	0.53392966	Propriedade Capital:	0.5941	Volume Descontratado:	0.3184	Alpha:	0.7045232
K2:	1.0	Z2:	0.90177137	Porte Empresa:	0.1641	Preço Contratos:	0.2702	Alpha corrigido:	121.72969
K3:	1.0	Z3:	0.079667145	Custo Geração:	0.2418	Perfil Contratos:	0.4114		

Figura 65 - Relatório - Resumo

- Gráficos: Apresenta a evolução da oferta dos jogadores com o decréscimo do preço nas rodadas uniformes, o preço ofertado por cada jogador na rodada discriminatória e quantidade negociada.

Figura 66 - Relatório - Gráficos

- Jogadas: Apresenta as informações disponibilizadas no relatório “Gráfico” em formato de texto.

Leilão Apresentação				
Evolução das Jogadas				
Rodada uniforme				
Jogada 1				
Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço
CESP	800	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
CHESF	2500	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
ELETRONORTE	672	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
FURNAS	3076	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
AES TIETE	800	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
TRACTEBEL	1000	2010-09-10T14:39:01.000-03:00	5400,00	130,00
Jogador 1	1000	2010-09-10T14:39:04.000-03:00	5400,00	130,00
Jogada 2				
Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço
CESP	739	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
CHESF	2500	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
ELETRONORTE	550	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
FURNAS	3076	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
AES TIETE	0	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
TRACTEBEL	0	2010-09-10T14:39:16.000-03:00	5400,00	117,00
Jogador 1	700	2010-09-10T14:39:19.000-03:00	5400,00	117,00
Jogada 3				
Jogador	Lance	Data / Hora do lance	Demanda Ref	Preço
CESP	453	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
CHESF	2316	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
ELETRONORTE	322	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
FURNAS	2887	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
AES TIETE	0	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
TRACTEBEL	0	2010-09-10T14:39:31.000-03:00	5400,00	105,30
Jogador 1	500	2010-09-10T14:39:38.000-03:00	5400,00	105,30

Figura 67 - Relatório - Jogadas

- Desempenho: Apresenta o desempenho dos jogadores ao final do leilão.

Leilão Apresentação					
Desempenho dos jogadores					
Jogador	Comportamento	Ofertado	Vendido	Preço	Desempenho
AES TIETE	AES TIETE	0	0	117,00	1000
CESP	CESP	453	453	94,77	980
CHESF	CHESF	2316	1160	100,48	921
ELETRONORTE	ELETRONORTE	322	0	105,30	932
FURNAS	FURNAS	2887	2887	95,84	949
Jogador 1	DUKE PARANAPAN	500	0	103,00	1000
TRACTEBEL	TRACTEBEL	0	0	117,00	1000

Figura 68 - Relatório – Desempenho

O jogador real (Jogador 1) também tem seu desempenho avaliado a partir do equivalente seguro, sendo que a estratégia ótima é aquela que maximiza a utilidade do gerador que está tendo o comportamento simulado.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual marco regulatório brasileiro trouxe como uma de suas principais vertentes a modicidade tarifária para os consumidores. Neste sentido, os leilões de energia elétrica obtiveram um papel privilegiado, reduzindo o preço contratado das geradoras, através do ganho de escala e da competição entre os agentes, e reduzindo os riscos contratuais tanto para os consumidores cativos quanto para as geradoras.

Os contratos realizados nos leilões de energia existente têm em geral longo prazo de duração (acima de 5 anos), trazendo estabilidade de receita para as empresas geradoras de energia, beneficiando estas em cenários de folga estrutural, quando o PLD se encontra baixo, e beneficiando os consumidores em cenários de “estresse” estrutural, quando o PLD se encontra alto. Os contratos realizados no ACL geralmente tem um prazo mais curto de duração, fazendo com que os preços acordados entre as partes estejam mais ligados com as condições conjunturais do sistema, e assim trazendo um risco maior para os geradores. Assim, grande parte das geradoras ainda privilegiam os leilões, caracterizados como uma forma mais “segura” de comercialização de energia.

A definição da estratégia de comercialização de energia destas empresas de geração é uma tarefa de alta complexidade, dado o número de opções disponíveis no mercado, a alta variabilidade das condições sistêmicas representadas pelo PLD, a falta de informações confiáveis sobre os preços praticados no mercado, dentre outros, o que torna imprescindível o desenvolvimento de metodologias e ferramentas que auxiliem os geradores nesta tomada de decisão.

Este trabalho apresentou uma metodologia de participação em leilões de energia existente para geradores de energia elétrica inseridos no mercado brasileiro. Esta metodologia foi elaborada utilizando conceitos que são amplamente utilizados no mercado financeiro para formação de portfólio de ativos, levando em consideração a diferenciação da estratégia dos geradores que foi traduzida através do conceito de utilidade. Este conceito permite capturar a percepção que cada agente de geração tem em relação ao risco de comercialização de energia.

A aplicação do Método de Análise Hierárquica (MAH) permitiu estratificar a aversão ao risco destes geradores através de variáveis estruturais e conjunturais e definir

os pesos que cada uma destas variáveis têm na formação do indicador final, denominado de coeficiente de aversão ao risco.

O Banco de Dados de informações de comercialização de energia elaborado permitiu a quantificação da aversão ao risco de todos os agentes de geração de energia, e tendo sido apresentado um caso prático aplicado em 11 empresas de geração.

Como resultado do projeto, foi desenvolvido um software no qual foram implementadas todas as metodologias apresentadas e a sistemática do 8º Leilão de Energia existente, onde podem ser simulados leilões com a participação de “jogadores” reais, representados por usuários, e de “jogadores” virtuais, que representam geradores existentes utilizando a estratégia de otimização de carteiras.

O software implementado permite que a concessionária faça treinamentos de leilões de energia com as equipes designadas para esta atividade e possibilita a definição de estratégias de participação em leilões reais de acordo com cenários previamente determinados.

Esta metodologia se mostrou bastante promissora para a realização de futuros estudos como: avaliação de diversos ativos representando contratos no ACL e no ACR no horizonte de contratação do leilão que está sendo realizado; aplicação da metodologia a leilões multi-produtos; aplicação da metodologia a leilões de disponibilidade; aplicação da metodologia a leilões de energia nova; avaliação da propensão ao risco das geradoras a partir de sua atual carteira de contratos, taxa interna de retorno, perfil dos acionistas; etc.

O modelo apresentado nesta dissertação diferencia-se dos trabalhos realizados anteriormente, na medida em que estrutura uma metodologia de participação em leilões de acordo com as condições de risco dos ativos (ACL e ACR) e da propensão ao risco dos agentes, quantificando de forma sistemática a propensão destes agentes através do método de análise hierárquica, que avalia as características conjunturais e estruturais que influenciam nesta tomada de decisão, e na formação de um banco de dados especializado com informações do setor elétrico.

Referências

AGUIAR, A. S. **Estratégia de oferta de geradores em leilões de contratação de energia**. Dissertação de mestrado, PUC, Rio de Janeiro – Brasil. 2004.

AGUIAR, A. S. **“Equivalente Certo e Medidas de Risco em Decisões de Comercialização de Energia Elétrica”**. Tese de doutorado, PUC, Rio de Janeiro – Brasil. 2008.

AZEVEDO, E. M. **Modelo computacional de teoria dos jogos aplicado aos leilões brasileiros de energia elétrica**. Tese de doutorado, Unicamp, Campinas – Brasil. 2004.

BRASIL. 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.

BRASIL. Decreto nº 5.177, de 12 de agosto de 2004. Dispõe sobre a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

BRASIL. Decreto nº 7.317, de 28 de setembro de 2010. Dá nova redação aos arts. 3o, 18, 24 e 27 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 outra providência.

BRASIL. Decreto nº 7.521, de 8 de julho de 2011. Dá nova redação aos arts. 24, 36 e 40 do Decreto no 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica e dá outras providências.

BRASIL. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. 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.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CCEE. **Visão Geral das Operações da CCEE – Versão 2010**. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br/>>.

CARVALHO, G. S.; MINGOTI, S. A. **Manual do Usuário: Programas para realização da Análise Hierárquica**. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2005.

DANTAS, A. B.; SAMOBYL, R. W. **Escolhendo risco nas tomadas de decisões empresariais através de funções de utilidade e expansão de Taylor**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO). Natal, 2003.

GUARNIER, E.; RAMOS, D. S.; PELEGRINI, M. A. **Modelo de projeção de preços nos mercados livre e regulado**. Relatório de etapa do projeto de P&D ANEEL – Metodologia e sistema computacional para previsão de preços com apoio de redes neurais e técnicas de clusterização de energias afluentes, considerando fenômenos climáticos El Niño e La Niña. São Paulo, 2010.

GUARNIER, E.; RAMOS, D. S.; CAMARGO, L. A. S. **Modelo de projeção de preços**. Relatório de etapa do projeto de P&D ANEEL – Sistema Computacional para a Precificação de Contratos Bilaterais de Energia Elétrica, com o suporte de algoritmos genéticos e técnicas avançadas de previsão de preços de médio e longo prazos. São Paulo, 2013.

MARKOWITZ, H. **Portfolio selection**. The Journal of Finance, v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952.

MASILI, G. S. **Metodologia e software para simulação de leilões de energia elétrica do mercado brasileiro**. Dissertação de mestrado, Unicamp, Campinas – Brasil. 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Modelo Institucional do Setor Elétrico. Brasília, 2003.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Portaria 231 de 30 de setembro de 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Portaria 391 de 13 de outubro de 2009.

MUNHOZ, F. C. **Metodologia e software para fixação de lances em leilões de energia elétrica**. Dissertação de mestrado, Unicamp, Campinas - Brasil. 2004.

QUEIROZ, A. K.. **Sistema de Suporte às Estratégias de Comercialização de Energia Elétrica**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina - Brasil. 2010.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. N. York: McGraw-Hill, 1980.

SECURATO, J. R. **Decisões financeiras em condições de risco**. 244p, p191-230, Editora Atlas S. A.. São Paulo, 1996.