

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR ...Elisa Bastos Silva.....

..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM ..15.. / ..02.. / ..2011..

Dr. L. S. C. i.

ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

Elisa Bastos Silva

**Metodologia e simulação de leilão
simultâneo-combinatório para novos
empreendimentos de geração de energia elétrica**

Campinas, 2011

14/2011

Elisa Bastos Silva

Metodologia e simulação de leilão simultâneo-combinatório para novos empreendimentos de geração de energia elétrica

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Barros Correia

Campinas

2011

i

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Si38m Silva, Elisa Bastos
Metodologia e simulação de leilão simultâneo-combinatório para novos empreendimentos de geração de energia elétrica / Elisa Bastos Silva – Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Paulo de Barros Correia.
Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Comercialização. 2. Energia elétrica. 3. Leilões. 4. Programação (Matemática). I. Correia, Paulo de Barros. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: Methodology and simulation of simultaneous-combinatorial auctions for new power plants
Palavras-Chave em Inglês: Trading; Electric power; Auctions; Programming (Mathematics).
Área de Concentração: -
Titulação: Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos
Banca Examinadora: Sérgio Valdir Bajay e Takaaki Ohishi.
Data da Defesa: 15/02/2011
Programa de Pós-Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENERGIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Metodologia e simulação de leilão
simultâneo-combinatório para novos
empreendimentos de geração de energia elétrica**

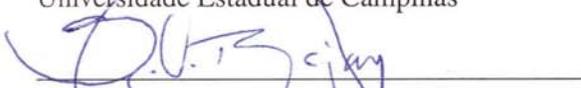
Autor: Elisa Bastos Silva

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Barros Correia

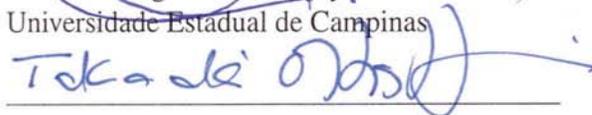
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Paulo de Barros Correia, Presidente
Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay
Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Takaaki Ohishi
Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 15 de fevereiro de 2011

Dedico este trabalho aos meus pais, Sandra Regina Bastos Silva e Maurício Antônio da Silva e às minhas irmãs Mariana Bastos Silva e Fernanda Bastos Silva Di Rezendi Bernardes.

AGRADECIMENTOS

Presto minhas sinceras homenagens às pessoas e às instituições sem as quais este trabalho não poderia ter sido concretizado.

Ao professor Paulo de Barros Correia pela magnífica orientação, confiança, amizade, sábias palavras e lições de vida que sempre serão lembradas com muito carinho e admiração.

Aos meus pais Maurício Antônio da Silva e Sandra Regina Bastos Silva, às minhas irmãs Mariana Bastos Silva e Fernanda Bastos Silva Di Rezende Bernardes, ao meu cunhado Marcelo Di Rezende Bernardes, à tia Raífa Chaer e à tia-mãe e amiga Fátima de Figueiredo, pelo apoio e incentivo em todos os momentos de minha vida, pela base sólida sustentada em amor, carinho e respeito e por todos os ensinamentos que me fazem ter orgulho de pertencer a essa família.

À querida tia Mariza Silva Siqueira pela prontidão nos auxílios concedidos.

Ao Davi Gabriel Lopes, companheiro leal e sempre presente, que me incentivou em todos os momentos.

Aos amigos de curso e de vida Alaíse Garcia, André Frazão, Bruna de Barros, Daniel Gabriel, Debora Lacorte, Filipe Nassau, Glauber Colnago, Jéssica Pillon, João Dedecca, Larissa Gonçalves, Laura Gunn, Luís Eduardo Melo, Natália Addas, Regiane Barros, Roberto Perillo e Sara Almeida pela ajuda, paciência e, principalmente, pela amizade.

Aos demais colegas, professores e funcionários do departamento de energia, sem exceção, pelo próspero convívio e colaborações, sempre ofertados com gentileza e presteza.

Aos amigos e colegas da Companhia Energética de Goiás, Eduardo Sampaio, Fernando Quinta, Ginaldo Rossi, Gustavo Warzocha, José Carlos Zoccoli, Manoel Pedreira, Marcos Alves, Nelson D'Abadia, Vinícius Reis e, especialmente, à Alessandra Siqueira e Maury Alves Peixoto pela amizade e convivência nesse ambiente que estimularam a continuar meus estudos no campo do setor elétrico.

Aos professores Paulo Sérgio Franco Barbosa e Takaaki Ohishi pelas correções e sugestões no exame de qualificação.

Ao Dr. Hélio Marcos Graciosa por todo incentivo e apoio em minha empreitada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

“...é, precisamente, a necessidade permanente de lutar que dá à vida humana um significado perene”, Johan Galtung.

RESUMO

Os mecanismos de comercialização de energia elétrica foram modificados pelo Governo por meio do novo modelo do setor elétrico instituído em 2004. Esse procedimento foi definido, elegendo-se os leilões como forma de licitação para o ambiente de contratação regulada, objetivando minimizar os preços de venda (aproximando-os do custo de produção) e introduzir a competição de mercado. O mecanismo de leilões, no âmbito do setor elétrico, foi adotado por diversos países, que nem sempre obtiveram níveis elevados de. Entretanto, apesar das experiências de insucesso, verifica-se a necessidade de se comercializar energia elétrica através de contratos de longo prazo; logo a formatação dos leilões deve prever diversos aspectos com vista a evitar tais insucessos. Por isso, para o setor elétrico brasileiro, anualmente, são descritas pelo MME uma série de diretrizes em que constam os procedimentos para habilitação técnica, prazos e sistemática adotada para esses leilões. Em esfera nacional, os leilões são classificados como: leilão de linha de transmissão, leilão de energia existente, leilão de energia de ajuste, leilões de reserva e leilão de energia nova. Os leilões de novos empreendimentos tendem à expansão da oferta; são constituídos por aqueles que não sejam detentores de concessão, permissão, autorização, ou ainda, por aqueles que visam à ampliação de parte dos empreendimentos existentes. Esses leilões são, comumente, formatados de maneira sequencial. A proposta dessa dissertação é a avaliação metodológica para leilão de novos empreendimentos de geração, de formato híbrido, utilizando-se os conceitos de leilões simultâneos e combinatórios. Dessa forma se obtém uma análise na ótica do leiloeiro, a fim de aumentar a competição nesse segmento e reduzir o valor do MWh. A simulação do leilão obteve resultados satisfatórios, dada a sua complexidade computacional; assim sendo, essa metodologia mostrou-se adequada e viável para o mercado de energia elétrica.

Palavras-Chave: Comercialização; Energia elétrica; Leilões; Programação (Matemática).

ABSTRACT

The mechanisms of trading energy, established in the model of the electric sector in 2004, were modified by the Government. Such procedure was defined, electing the auctions as a way of bidding for the regulated contract environment, in order to minimize the selling prices (approaching them of the cost production) and to introduce the market competition. The procedure of auctions, in the electric sector, was adopted by several countries, but not always they achieved the perfect competition. However, despite the experience of failure, there is a need to commercialize electric energy in the long term; so the format of the auction should include several aspects in order to avoid such failures. Therefore, for the Brazilian electric sector, annually, are described by the MME a series of guidelines, which include the procedures for technical qualifications, stated periods and the systematic adopted. At national level, the auctions are classified as: transmission line auction, existing ventures auctions, energy adjustment auction, reserve auctions and new ventures auction. The auctions of new ventures tend to supply expansion, they are made by those who are not holders of concession, permission authorization, or even by those who seek the expansion of part of existing projects. These auctions are generally formatted in sequential way. The purpose of this master thesis is the methodological evaluation of an auction of new ventures auctions, of hybrid format, using the concepts of combinatorial and simultaneous auctions. Of this way it gets an analysis based in the auctioneer optics, in order to increase the competition in this segment and to reduce the price per MWh. The simulations of the auction got resulted satisfactory, given its computational complexity, and thus being this methodology proved to be appropriate and feasible to the market of electric energy.

Keywords: Trading; Electric power; Auctions; Programming (Mathematics).

LISTA DE FIGURAS

2.1	Cadeia de produção do setor elétrico.	5
2.2	Ambientes de contratação de energia elétrica.	7
2.3	Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro.	8
2.4	Matriz de geração de elétrica brasileira	9
2.5	Usinas em operação por fonte de energia.	10
2.6	Sistema Interligado Nacional.	12
2.7	Composição da conta de energia.	14
2.8	Evolução da quantidade de consumidores livres no ACL.	17
2.9	Evolução da demanda contratada no ACL	17
2.10	Participação do mercado por classe.	18
2.11	Processo de comercialização de energia.	19
2.12	Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil, de 1995 a 2009.	19
2.13	Participação por submercado na capacidade instalada do SIN.	21
2.14	Calendário dos leilões.	23
2.15	Esquema dos CCEAR.	24
2.16	Histórico do preço médio negociado para os leilões de energia existente.	29
2.17	Histórico do preço negociado para os leilões de energia existente VS valor do PLD.	31
2.18	Histórico do preço médio negociado para os leilões de novos empreendimentos hidro-elétricos.	34
2.19	Histórico do preço médio negociado para os leilões de novos empreendimentos de outras fontes.	36
2.20	Leilões por fonte de energia de 2005 a 2009.	38
3.1	Equilíbrio de Nash.	43
3.2	Equilíbrio de Nash para o Dilema do Prisioneiro.	43
3.3	Aproveitamento do Rio Madeira - RO.	47
3.4	Natureza dos leilões - oferta, demanda e duplo.	49
3.5	Preço de fechamento uniforme.	52

3.6	Preço de fechamento discriminatório.	53
4.1	Esquema geral da sistemática de leilões de novos empreendimentos.	62
5.1	Simulação dos lances.	72
6.1	Arquitetura do <i>software</i> de simulação.	90
6.2	Permissão de uso por tipo de usuário.	93
6.3	Tela de entrada da descrição do leilão.	94
6.4	Planilha dos dados da descrição do leilão.	95
6.5	Planilha dos dados da descrição dos empreendimentos.	95
6.6	Tela de entrada dos dados dos participantes.	96
6.7	Planilha dos dados dos participantes.	97
6.8	Tela do leilão na fase simultânea.	98
6.9	Planilha dos dados da fase simultânea.	99
6.10	Tela do leilão na fase combinatória.	100
6.11	Planilha dos dados da fase combinatória.	101
6.12	Tela inicial dos resultados.	102
6.13	Planilha dos resultados.	103
6.14	Planilha da formulação.	104
6.15	Tela dos resultados	105

LISTA DE TABELAS

2.1	<i>Encargos que compõem a tarifa final de energia elétrica.</i>	15
2.2	<i>Portarias recorrentes aos leilões.</i>	26
2.3	<i>Resultados dos leilões de energia existente.</i>	28
2.4	<i>Resultados dos leilões de energia nova proveniente de hidroelétricas.</i>	33
2.5	<i>Resultados dos leilões de energia nova proveniente de outras fontes de energia.</i>	35
2.6	<i>Resultados dos leilões de energia de reserva.</i>	37
5.1	<i>Estudo de caso: dados do leilão.</i>	70
5.2	<i>Estudo de caso: dados dos empreendimentos.</i>	71
5.3	<i>Estudo de caso: dados dos participantes.</i>	71
5.4	<i>Decrementos máximos e limites mínimos por produto</i>	73
5.5	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 1</i>	74
5.6	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 2</i>	75
5.7	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 3</i>	76
5.8	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 4</i>	77
5.9	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 5</i>	78
5.10	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 6</i>	79
5.11	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 7</i>	80
5.12	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 8</i>	81
5.13	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 9</i>	82
5.14	<i>Simulação de lances da fase simultânea para o produto 10</i>	83
5.15	<i>Simulação de lances da fase combinatória para o participante 1</i>	84
5.16	<i>Simulação de lances da fase combinatória para o participante 2</i>	84
5.17	<i>Simulação de lances da fase combinatória para o participante 3</i>	85
5.18	<i>Simulação de lances da fase combinatória para o participante 4</i>	85
5.19	<i>Simulação de lances da fase combinatória para o participante 5</i>	86
5.20	<i>Resultado da demanda.</i>	86
5.21	<i>Resultado da alocação.</i>	87

5.22	<i>Resultado da participação máxima de mercado.</i>	88
5.23	<i>Resultado da restrição financeira.</i>	88

LISTA DE ALGORITMOS

4.1	Sistemática atual da segunda fase do leilão de novos empreendimentos.	63
4.2	Sistemática simultânea-combiantória para segunda fase do leilão de novos empreendi- mentos.	64
5.1	Algoritmo de geração de lances aleatórios.	73
6.1	Algoritmo de otimização.	106

LISTA DE SIGLAS

Siglas

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis
CCD	Contrato de Conexão ao Sistema de Distribuição
CCEAR	Contrato de Comercialização de Energia Elétrica em Ambiente Regulado
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CER	Contrato de Energia de Reserva
CFURH	Compensação Financeira pelo Uso dos Recursos Hídricos
CMO	Custo Marginal da Operação
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNEN	Comissão de Energia Nuclear
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CO2	Dióxido de Carbono
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CUSD	Contrato de Uso do Sistema de Distribuição
CVU	Custo Variável Unitário
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESS	Encargos de Serviços do Sistema
GEE	Gases do Efeito Estufa

GW	Gigawatt
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
ICB	Índice de Custo Benefício
ICMS	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias
IGP-M	Índice Geral de Preço de Mercado
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWh/hab	Quilowatt-hora por habitante
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MCDS	Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits
MMBTU	<i>Million British Thermal Units</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
MRE	Mecanismo de Realocação de Energia
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
\overline{MW}	Megawatt-médio
ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PI	Programação Inteira
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PPT	Programa Prioritário de Termelétrica
PROINFA	Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia

RE-SEB	Reforma do Setor Elétrico
RGR	Reserva Global de Revisão
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SIN	Sistema Interligado Nacional
TFSEE	Taxa de Fiscalização do Serviço de Energia Elétrica
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
TW	Terawatt
TWh	Terawatt-hora
UBP	Uso de Bem Público
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Termoelétrica
VBA	<i>Visual Basic for Application</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos e contribuições	3
1.2	Estrutura do trabalho	4
2	SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	5
2.1	Estruturação do setor elétrico	5
2.1.1	Geração	8
2.1.2	Transporte	11
2.2	Mercado de energia elétrica	12
2.2.1	Ambiente de contratação regulada	13
2.2.2	Ambiente de contratação livre	16
2.2.3	Liquidação das diferenças	18
2.3	Aspectos da demanda e oferta futura de energia elétrica	19
2.4	Leilões brasileiros de energia elétrica	21
2.4.1	Sistemática dos leilões	24
2.4.2	Leilões de linhas de transmissão	26
2.4.3	Leilão de empreendimentos existentes	27
2.4.4	Leilão de ajuste	30
2.4.5	Leilão de novos empreendimentos	32
2.4.6	Leilão de reserva	36
2.4.7	Aspectos ambientais	37
3	TEORIA DOS JOGOS	40
3.1	Equilíbrio de Nash	42
3.2	Jogos estáticos e dinâmicos	44
3.3	Teoria dos leilões	45
3.3.1	Natureza	48
3.3.2	Lances	50
3.3.3	Preços de fechamento	51

3.3.4	Teorema da equivalência	54
3.3.5	Maldição do ganhador	54
3.4	Formatos dos leilões	55
3.4.1	Leilão sequencial	55
3.4.2	Leilão simultâneo	56
3.4.3	Leilão combinatório	57
4	METODOLOGIA	61
4.1	Sistemática atual de leilão de novos empreendimentos	61
4.2	Sistemática avaliada	64
4.3	Modelo matemático	65
4.3.1	Notação	66
4.3.2	Função-objetivo	66
4.3.3	Restrições	67
4.3.4	Formulação matemática	69
5	ESTUDO DE CASO	70
5.1	Simulação	71
5.1.1	Lances da fase simultânea	72
5.1.2	Lances da fase combinatória	83
5.2	Resultados e discussão	86
6	FERRAMENTA DE SUPORTE À DECISÃO	90
6.1	Especificação da ferramenta	90
6.2	Interface e base de dados	91
6.2.1	Descrição	92
6.2.2	Utilização	93
6.3	Algoritmo de otimização	106
7	CONCLUSÃO	107

REFERÊNCIAS	111
ANEXO A - EMAIL: SISTEMÁTICA DE LEILÕES	118

1 INTRODUÇÃO

O mecanismo de leilão vem sendo utilizado há milhares de anos e existem incidências de seu uso desde a época da Guarda Pretoriana do Império Romano, em 193 d.C.. Após assassinar o então imperador Publius Helvinus Pertinax, venderam o trono através de leilão, tendo como vencedor o Senador Didius Juliano, que veio a sofrer um dos fenômenos mais conhecidos acerca dos leilões: a maldição do ganhador, que é ficar insatisfeito com o resultado. Não poderia ser diferente, já que, ao invés de receber o trono, ele foi decapitado (KRISHNA, 2002).

Atualmente, a comercialização de bens é a forma mais comum da utilização de leilões, e estes representam grande interesse para as empresas, visto que as negociações (que envolvem compra e venda) nessa área é que definem o valor de seus insumos e produtos.

O leilão é caracterizado como forma de revelação da informação dos compradores, pois os vendedores desejam obter o máximo benefício possível com a venda do bem e não sabem ao certo o valor que este possui.

Os exemplos de leilões mais difundidos são os de obra de arte, antiguidades, gados, flores entre outros bens de difícil precificação. Normalmente, seu conceito é vinculado à imagem de um leiloeiro que coordena a sessão, seguindo regras predefinidas. Ele estipula, por exemplo, um valor inicial para garantir a satisfação do vendedor e propõe os valores seguintes para não haver lances indesejáveis. Ocorrendo em um ambiente onde as pessoas estão dispostas a ofertar algo mais pelos bens expostos, nesses exemplos, o leiloeiro visa encontrar o melhor lance para o produto.

Um leilão, quando bem configurado, pode: impor regras comportamentais aos participantes, prevenindo condutas indevidas entre vendedores e compradores, a fim de se evitarem conflitos; revelar as informações do valor que o bem possui para o comprador; bem como tornar eficiente a negociação.

As configurações a respeito dos leilões são variadas, combinando uma série de variáveis e parâmetros, e são abordadas em Teoria dos Jogos e Teoria dos Leilões. É esse arranjo que compreende todo o cuidado para se adotar o tipo de leilão a ser aplicado, já que cada formato possui diferentes características para determinação do equilíbrio e do preço.

Diversas correntes de pensamento econômico afirmam que a concorrência de mercado contribui com preços menores, maiores investimentos, qualidade e inovação. Dessa forma, a regulação

econômica tem buscado inserir seus mercados em modelos de concorrência. Os leilões são mecanismos que permitem a inserção dessa concorrência nas negociações.

Considerando que em diversos países, especialmente nos Estados Unidos, os leilões têm representado uma maneira proveitosa de negociação, nota-se que a investigação teórica tem muito a contribuir para o aperfeiçoamento dos mecanismos de venda. Esses aspectos fazem da Teoria dos Leilões um elemento de estudo para diversos pesquisadores.

Muitas empresas de serviço público no Brasil foram privatizadas através do mecanismo de leilões, entre os anos de 1992 a 2002, a fim de se solucionar problemas de financiamento da expansão do serviço. A premissa de tornar privado o capital dessas empresas foi a inserção de competição, visando a redução do preço aos consumidores finais, o que inegavelmente funcionou para o setor de telecomunicações. Logo, o Governo decidiu estabelecer um cronograma para a abertura do mercado do setor elétrico, incluindo as empresas desse setor no Programa Nacional de Desestatização (PND). A Light e a Escelsa foram as primeiras empresas do setor a serem incluídas no Programa, por meio do Decreto n°. 572 de 1992.

Em seguida, os ambientes de comercialização de energia elétrica passaram a celebrar suas negociações por meio de leilões públicos; tal definição foi apresentada pela Lei n°. 10.438, de 2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica, e alterada pela Lei n°. 10.848, de 2004, que dispõe sobre a comercialização. Segundo Silva (2003), essas leis determinam apenas o mecanismo de negociação; não especificam a configuração que o leilão deve conter. Dessa forma, a cada leilão realizado, o MME aprova portarias que contém a sistemática a ser seguida.

Através dos leilões, o Governo permite uma relação favorável entre remuneração do capital e modicidade tarifária, ou seja, o menor valor do MWh para os consumidores finais. Assim sendo, o leilão deve atender aos dois objetivos: o privado, a fim de maximizar os benefícios para os investidores; e o público, que visa promover eficiência.

A concorrência no setor de energia elétrica, que permite maior modicidade tarifária, pode não ser tão visível aos consumidores finais, já que a geração de energia elétrica compõe apenas 1/3 da tarifa de energia elétrica, sendo os outros 2/3 componentes não são associados aos benefícios de um mercado competitivo.

Estrategicamente, a ampliação do mercado de energia elétrica brasileiro, nos dias atuais, incide apenas por meio dos leilões de novos empreendimentos que também são conhecidos como leilões de energia nova. Estes são responsáveis pela venda da energia de empreendimentos que

ainda não possuem concessão, ou pela da ampliação de empreendimentos existentes. Essa expansão transaciona vultuosos recursos financeiros, uma vez que os custos desses investimentos são extremamente altos.

Logo, a escolha dos formatos dos leilões deve ser realizada através de estudos cautelosos para não haver, por parte das geradoras de energia elétrica, preços abusivos no valor da energia. Por conseguinte, às instituições governamentais e aos agentes reguladores compete estabelecer, com habilidade, as regras acerca dos leilões de energia elétrica e, assim, propor uma sistemática adequada.

1.1 Objetivos e contribuições

Esta dissertação tem por objetivo avaliar uma configuração que contemple uma formatação híbrida, constituída de leilões simultâneos e combinatórios, para os leilões de energia de novos empreendimentos de geração de energia elétrica, que também pode ser aplicada para leilões de linhas de transmissão, fundamentando-se nas teorias dos jogos e dos leilões, bem como em técnicas de otimização que empregam programação inteira. Para tanto, foram investigadas neste trabalho:

- a base teórica e prática sobre a Teoria dos Jogos, para contextualizar e identificar as metodologias e regras dos leilões;
- a base teórica e a aplicabilidade dos problemas de *set-packing*, para avaliar e minimizar a complexidade dos jogos combinatórios;
- a atual legislação sobre os leilões de energia elétrica no Brasil, com a finalidade de avaliar os aspectos regulatórios dessas licitações;
- a sistemática vigente dos leilões de novos empreendimentos de geração, com o intento de especificar as características e problemáticas advindas dessa formatação.

O alvo principal deste trabalho se concentra no estudo das regras dos leilões para formatar adequadamente essas licitações para o mercado de energia, aumentando a competição e visando maior modicidade tarifária. Portanto, é feita uma análise do ponto de vista do leiloeiro, ou seja, o agente regulador do setor de energia elétrica. Tem-se, a partir daí, a principal contribuição deste trabalho, que é o desenvolvimento de uma metodologia, demonstrada por uma ferramenta de simu-

lação, que avalia outra forma de aplicação dos métodos das Teorias dos Jogos e dos Leilões para o mercado de energia, considerando as diretrizes do Ministério de Minas e Energia (MME).

1.2 Estrutura do trabalho

Com o intuito de estruturar com clareza e objetividade, esta dissertação foi dividida em 7 capítulos. O Capítulo 2, intitulado Setor Elétrico Brasileiro, discute as atribuições dos órgãos competentes do setor, o próprio arranjo institucional dos segmentos de geração, transmissão, distribuição e comercialização, bem como seus aspectos físicos. Foi também discutido nesse capítulo os aspectos regulatórios sobre os leilões de energia elétrica brasileiros, apresentando seus resultados, e os aspectos ambientais.

O Capítulo 3, denominado Teoria dos Jogos, objetiva a discussão da literatura especializada acerca dos parâmetros e variáveis que compõem os leilões, como, por exemplo, o tipo de informações, os conceitos de jogos dinâmicos e estáticos, a forma de submissão de lances, os preços de fechamento de um leilão, entre outros, a fim de se compreender os arranjos mais adequados para se estabelecer um leilão.

A metodologia analisada para leilões de novos empreendimentos de geração, que emprega a formatação simultânea e combinatória de leilões, realizada a partir dos conceitos extraídos no Capítulo 2 e Capítulo 3, é desenvolvida no Capítulo 4.

O Capítulo 5 demonstra um estudo de caso para a aplicação prática da metodologia e a sistemática de simulação adotada. Analisam-se, também neste capítulo, os resultados advindos desse estudo, iniciando uma discussão sobre o método, suas dificuldades e a possibilidade de se aprofundar os aprendizados em formações de leilões mais eficientes.

A ferramenta de apoio à decisão (construída para simular o leilão descrito no Capítulo 5) objetivou identificar a viabilidade computacional do problema avaliado. Ela pode ser verificada no Capítulo 6.

A conclusão desta dissertação é descrita no Capítulo 7, em que são apresentadas as principais opiniões obtidas neste trabalho, bem como as sugestões para trabalhos a serem realizados posteriormente.

2 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

2.1 Estruturação do setor elétrico

A primeira reforma do setor, denominado como Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico (RE-SEB), durou de 1996 a 1998. Coordenado pelo MME, esse projeto teve como principal objetivo desverticalizar as empresas de energia elétrica - incentivando a competição nos segmentos de geração e comercialização e mantendo regulamentados os segmentos considerados monopólios naturais, que são a distribuição e a transmissão, conforme ilustra a Figura 2.1.

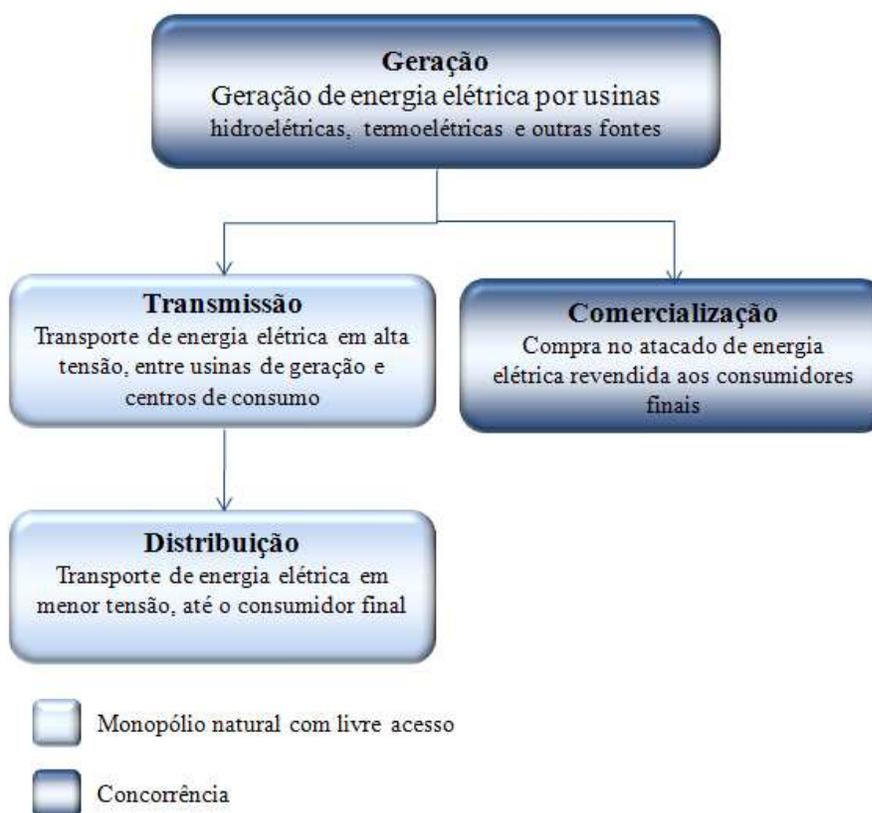


Figura 2.1 - Cadeia de produção do setor elétrico.
Fonte: Elaboração própria, adaptado de Albuquerque (2009).

Entretanto, as mudanças no setor se iniciaram, de fato, em 1993, três anos antes do primeiro projeto de reestruturação, com a promulgação da Lei nº. 8.631. Esta criou contratos de suprimento

entre os agentes distribuidores e geradores e extinguiu a equalização tarifária. Em 1995 criou-se o agente hoje conhecido como Produtor Independente de Energia, bem como o conceito de Consumidor Livre.

O primeiro RE-SEB cuidou da criação de agentes institucionais para melhor estruturar e regular o setor elétrico nacional. A Lei nº. 9.427, de 1996, instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como autarquia, a fim de regular e fiscalizar todos os segmentos do setor elétrico, para manter a qualidade dos serviços aos consumidores finais, estabelecer as tarifas e universalizar o atendimento. Além dessas funções, a ANEEL possui a finalidade de promover as licitações destinadas à contratação de energia elétrica (ANEEL, 1996). Essa primeira reforma cuidou, ainda, da criação de um ambiente para a realização das transações de compra e venda de energia elétrica, chamado de Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE).

A Lei nº. 9.648, de 1998, instituiu o Operador Nacional do Sistema (ONS), uma entidade de direito privado e sem fins lucrativos que atua sob fiscalização da ANEEL, cuja finalidade é supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). É ainda de responsabilidade do ONS, administrar a rede de transmissão de energia elétrica nacional, garantindo a confiabilidade do sistema e o livre acesso dos serviços de transmissão, assim como otimizar os custos, apurando mensalmente os serviços de encargos de transmissão e encargos de uso do sistema.

Após a crise de abastecimento ocorrida em 2001, foi criado um Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico que, ao avaliar o caminho que o setor elétrico estava tomando, propôs uma série de alterações.

Sustentado pelas Leis nº. 10.847 e nº. 10.848 de 2004, o governo federal elaborou novas bases para o setor elétrico. Uma das grandes mudanças dispostas por esse novo modelo se deu em relação à comercialização de energia elétrica, para a qual foram criados ambientes distintos para contratação de energia elétrica: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), como ilustra a Figura 2.2. Esses ambientes são mais bem discutidos na seção seguinte.



Figura 2.2 - Ambientes de contratação de energia elétrica.
 Fonte: Elaboração própria, adaptado de CCEE (2010).

Institucionalmente, o modelo adotado cunhou novas instituições e alterou funções de outras já existentes, conforme demonstrado pela Figura 2.3. Para formular políticas e diretrizes que assegurem o suprimento de recursos energéticos, revisar as matrizes energéticas e estabelecer regras de importação e exportação foi instituído o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).

O MME segue as diretrizes criadas pelo CNPE com o objetivo de estabelecer o planejamento do setor energético nacional, assim como monitorar a segurança do suprimento do Setor Elétrico Brasileiro. Portanto, para garantir essa segurança, o MME coordena um órgão que se encontra em seu âmbito, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), o qual acompanha e avalia a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo o Brasil.

Esse modelo também propôs a instituição da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), através da Lei nº 10.847, de 2004, vinculada ao MME, que objetiva a prestação de serviços sobre estudos e pesquisas a fim de subsidiar o planejamento do setor energético. É de responsabilidade direta da EPE: realizar estudos e projeções da matriz energética, desenvolver o plano de expansão do setor em curto, médio e longo prazos, analisar e promover a habilitação técnico-econômica, sócio-ambiental e estudos para licença ambiental prévia dos empreendimentos a serem leiloados.

A fim de dar continuidade às atividades do MAE, relativa à comercialização de energia elétrica no sistema interligado, estabeleceu-se a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que valora as transações realizadas no mercado de curto prazo através da apuração do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD). Cabe, igualmente, à CCEE liquidar financeiramente os

valores advindos das operações comerciais de compra e venda, realizadas no mercado de curto prazo, e efetuar leilões de compra e venda de energia no ACR, por delegação da ANEEL. A CCEE contabiliza os montantes de energia elétrica comercializada e controla os contratos realizados entre os agentes nos dois ambientes de contratação.

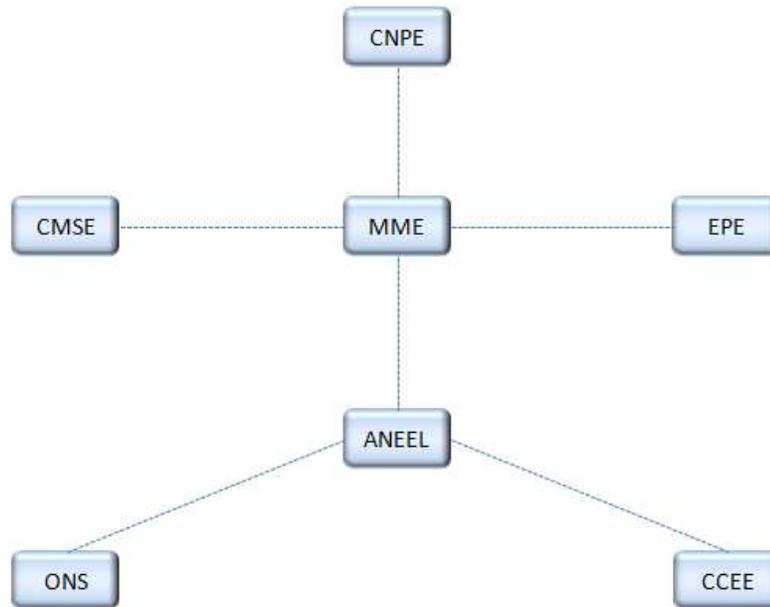


Figura 2.3 - Estrutura institucional do setor elétrico brasileiro.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de CCEE (2010).

Segundo Bajay (2010), as mudanças realizadas nas instituições do setor elétrico brasileiro visavam, principalmente, promover a modicidade tarifária e, ao mesmo tempo, propiciar retornos justos aos investidores a fim de se reduzir a percepção de elevados riscos no setor.

2.1.1 Geração

O sistema elétrico é composto, fisicamente, por geração e transporte. A geração é realizada a partir de fontes primárias de energia, utilizando as mais diversas técnicas, e engloba a produção de energia elétrica por meio da operação de usinas hidroelétricas, térmicas e fontes alternativas.

Conforme a matriz de geração elétrica brasileira, ilustrada pela Figura 2.4, verifica-se que a energia no Brasil é predominantemente advinda de hidroeletricidade (que compõe 72% da matriz

de geração elétrica brasileira) normalmente distantes dos centros consumidores, o que onera os sistemas de transporte.

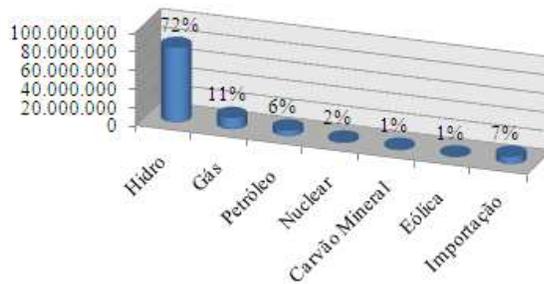


Figura 2.4 - Matriz de geração de elétrica brasileira
Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do ANEEL (2010b).

O uso da hidroeletricidade detém a vantagem de ser um recurso renovável e de baixo custo de produção. Porém os investimentos iniciais são consideravelmente altos e provocam importantes externalidades, principalmente as negativas, devido ao impacto ambiental causado. Albuquerque (2009) ainda completa que nem sempre os cursos d'água estão geograficamente acessíveis, o que dificulta a transmissão da energia gerada, porém o avanço tecnológico das linhas de transmissão de energia elétrica vem mitigando esse obstáculo.

Tolmasquim (2005) acrescenta que outra fonte de energia que vêm crescendo no Brasil são as usinas termoeletricas, que compõem cerca de 25% da matriz energética brasileira àquela época. Estas utilizam diversos tipos de combustíveis, tais como óleo combustível, óleo diesel, gás natural, biomassa e carvão. O processo consiste em converter energia térmica em mecânica e esta, por sua vez, em energia elétrica.

A utilização de termoeletricas apresenta consideráveis emissões de gases poluentes, como também seu custo de geração é vinculado ao preço de outros produtos, como é o caso de usinas movidas a óleo, as quais dependem do preço do petróleo. Entretanto elas não dependem do clima e as restrições quanto à sua localização são menos limitadas (ALBUQUERQUE, 2009).

Compondo 2% da geração brasileira, tem-se a energia nuclear, que é produzida emitindo partículas subatômicas através de um combustível, normalmente urânio, que se fraciona facilmente, gerando grande quantidade de energia. O maior risco de sua utilização se dá pela possibilidade de acidentes. Ainda que a probabilidade de ocorrência de acidentes seja pequena, sua proporção, caso ocorra, é devastadora. Outro problema decorrente da utilização dessa fonte de energia é o acúmulo de dejetos radioativos. Segundo Albuquerque (2009), atualmente, nas usinas nucleares brasileiras, os

dejetos de alta atividade são mantidos em piscinas nas proximidades da usina.

A energia eólica vem aumentando sua atuação na matriz de geração elétrica brasileira; nos dias atuais ela compõe, aproximadamente, 1% da produção de eletricidade no Brasil. A região Nordeste, devido à sua condição climática (velocidade dos ventos constantes), é pioneira na utilização dessa fonte de energia e possui a maioria dos parques eólicos nacionais. Essa energia tem a característica de complementaridade à fonte hidroelétrica, visto que o período de chuvas é inverso ao de ventos.

Atualmente, o Brasil possui 2.294 empreendimentos em operação, gerando 110.925.125 kW de potência. Está prevista, para os próximos anos, uma adição de 47.549.361 kW na capacidade de geração do país, proveniente dos 132 empreendimentos em fase de construção, além de 485 outorgados (ANEEL, 2010b). A Figura 2.5 ilustra os empreendimentos em operação por fonte de energia primária.

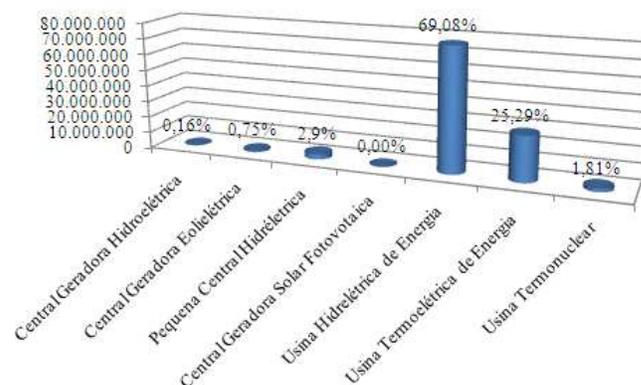


Figura 2.5 - Usinas em operação por fonte de energia.

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados do ANEEL (2010b).

A atividade de geração é composta: por agentes privados, que prestam contas ao poder público concedente e são fiscalizadas pelos órgãos competentes; por produtores independentes, que são agentes jurídicos, detentores de concessão ou autorização para produção e comercialização de energia elétrica com os distribuidores de energia elétrica e com os consumidores livres, assumindo o risco da entrega da energia; e por autoprodutores de energia elétrica, que são aqueles que produzem para consumo próprio e podem comercializar o excedente, caso adquiram autorização.

Como forma de garantir o suprimento de energia elétrica, estabeleceu-se a energia assegurada, que é a máxima produção de energia elétrica que uma usina hidroelétrica pode manter ao longo dos anos, independente da geração real. Está associada, em longo prazo, às condições de

fornecimento de energia ao sistema, assumindo critérios específicos de risco do não atendimento do mercado. O cálculo dessa energia é definido pelo MME (seguindo as diretrizes do CNPE) e efetuado pela EPE, mediante critérios gerais de garantia de suprimento (ANEEL, 2004b). Dessa forma, verifica-se que essa energia possui fundamental importância comercial, visto que essa é a quantidade máxima de energia para venda que uma usina pode ofertar.

Entretanto, as usinas que produzirem mais energia do que a sua energia assegurada contam com o Mecanismo de Realocação de Energia (MRE). Este objetiva o rearranjo da energia do sistema, transferindo o excedente gerado para aquelas usinas que tiveram um resultado abaixo de sua energia assegurada estabelecida. Porém, se todas as usinas do sistema produzirem energia acima de sua energia assegurada, são contabilizadas parcelas dessa sobra para cada um dos geradores que, dessa maneira, podem vender o excedente no mercado *spot*. No caso contrário, quando todas as usinas do sistema produzirem a energia aquém do total de Energia Assegurada do Sistema, o MRE, através do Fator de Ajuste de Energia Assegurada, abaixa o nível dessa energia assegurada para cada usina.

2.1.2 Transporte

O transporte é uma atividade regulada e não competitiva (monopólio natural), responsável por transferir energia elétrica em expressivos blocos entre pontos de oferta e demanda, e é constituído por transmissão e distribuição. O sistema de transmissão une as grandes usinas de geração de energia elétrica aos centros consumidores. Essa conexão é comumente ligada às distribuidoras de energia elétrica, porém existem alguns consumidores que são ligados diretamente à rede de transmissão, por consumirem grande quantidade de energia.

A distribuição tem a finalidade de comercializar energia aos clientes cativos e realizar a entrega de energia a todos. Essa atividade é dividida geograficamente em áreas de concessão, portanto, as empresas distribuidoras são monopólios naturais, uma vez que são obrigadas a atender na totalidade a demanda de seus clientes da região de atuação.

O sistema elétrico brasileiro é composto por um Sistema Interligado Nacional (SIN) que, devido às restrições de transmissão, são divididos em submercados formados por empresas das

regiões Nordeste, parte da região Norte, Centro-oeste, Sudeste e Sul. Apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do País encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados, localizados principalmente na região amazônica (ONS, 2010). A Figura 2.6 ilustra o sistema de transmissão de energia elétrica.

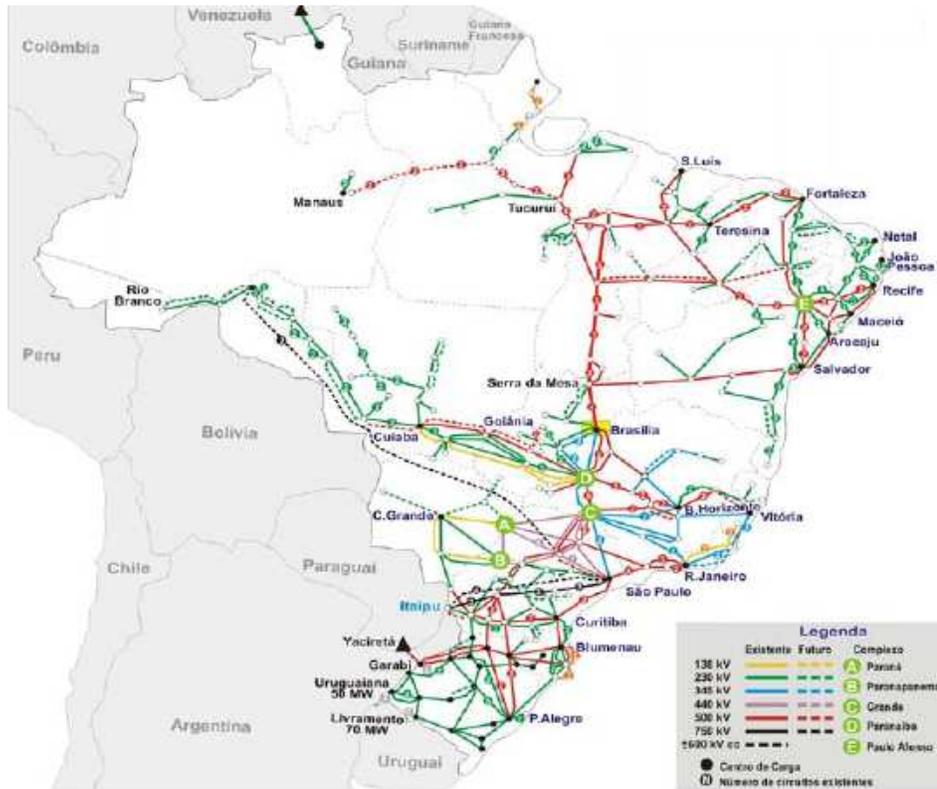


Figura 2.6 - Sistema Interligado Nacional.
Fonte: ONS (2010).

O ONS realiza o despacho das usinas que constituem o SIN de forma centralizada, com a finalidade de coordenar operacionalmente o sistema, visto que as usinas são de diferentes proprietários e que a geração de uma usina interfere no procedimento das demais.

2.2 Mercado de energia elétrica

A publicação do Decreto nº. 5163, de 2004, veio regulamentar a lei de comercialização de energia elétrica; dentre outras disposições, foram criados dois ambientes de contratação, em médio

e longo prazo, e o mercado de liquidação das diferenças (*spot*), que comercializa a energia elétrica em curto prazo.

2.2.1 Ambiente de contratação regulada

Um dos segmentos definidos em longo prazo é o ACR, em que a compra e a venda de energia elétrica se dão através de licitações entre os agentes vendedores (que são responsáveis pela geração ou comercialização da energia) e os agentes compradores (que disponibilizam a energia elétrica aos consumidores finais de forma regulada).

Via de regra, essa contratação é formalizada através de contratos bilaterais firmados entre os agentes; os pagamentos decorrentes desses contratos são realizados diretamente entre as partes envolvidas, sem interferência da CCEE. Como exceção, tem-se a energia advinda da usina da Itaipú que é comercializada através da ELETROBRAS (Centrais Elétricas Brasileiras) para os submercados Sudeste, Centro-Oeste e Sul, bem como os contratos provenientes do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA) (MUNHOZ, 2008).

No ACR, a quantidade e o preço contratados, bem como os prazos desses contratos são informações públicas e são anunciados pela CCEE após os leilões.

Como já foi citado, o desenho do setor elétrico instituído previa modicidade tarifária; entretanto a inserção da concorrência no segmento de geração pode não ser tão sensível aos consumidores finais, pertencentes ao ACR, visto que o valor da conta de energia resulta de diversos componentes, além da geração, como ilustrado na Figura 2.7.

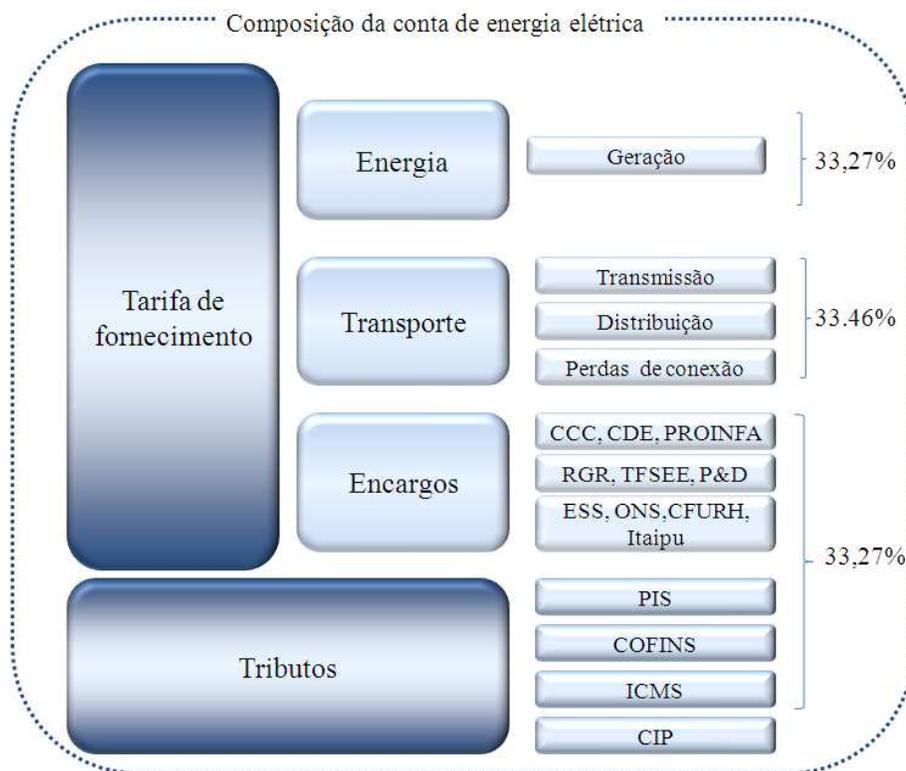


Figura 2.7 - Composição da conta de energia.
 Fonte: Elaboração própria.

Segundo a ANEEL (2008a), a geração compõe 33,27% da tarifa de energia. O transporte, que inclui transmissão, distribuição e possíveis perdas de conexão, compõe 33,46% da tarifa de energia. Os demais 33,27% do valor da fatura de energia são atribuídos aos encargos e tributos. Os tributos federais que incidem sobre a energia elétrica são o PIS - Programa de Integração Social (com alíquota de 1,65%) e a COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (com alíquota de 7,6). Em nível estadual tem-se o ICMS - Imposto sobre a Circulação de Mercadorias. Nesse caso cada estado define o valor da contribuição, realiza o recolhimento através da fatura e o repassa ao Governo Estadual. Os encargos referentes à tarifa estão dispostos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Encargos que compõem a tarifa final de energia elétrica.

Encargo	Finalidade	% da tarifa final
CCC Conta de Consumo de Combustíveis	Subsidia a geração térmica dos sistemas isolados.	4,14
CDE Conta de Desenvolvimento Energético	Propõe o desenvolvimento energético a partir de fontes alternativas; promove a universalização do serviço de energia elétrica, e subsidia as tarifas dos consumidores classificados como Baixa Renda.	3,57
RGR Reserva Global de Revisão	Indeniza ativos vinculados à concessão e fomenta a expansão do setor.	1,9
TFSEE Taxa de Fiscalização do Serviço de Energia Elétrica	Provém os recursos para o funcionamento da ANEEL	0,47
ESS Encargos de Serviços do Sistema	Subsidia a manutenção da confiabilidade e estabilidade do Sistema Interligado Nacional.	0,12
PROINFA Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia	Subsidia fontes alternativas de energia elétrica.	0,92
P&D Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética	Promove pesquisas científicas e tecnológicas relacionadas à eletricidade e ao uso sustentável dos recursos naturais.	0,48
ONS Operador Nacional do Sistema	Provém recursos para o funcionamento do ONS.	0,02
CFURH Compensação Financeira pelo Uso dos Recursos Hídricos	Compensa financeiramente o uso da água e terras produtivas para fins de geração de energia elétrica.	1,80
<i>Royalties</i> de Itaipu	Paga a energia gerada de acordo com o tratado Brasil/Paraguai.	0,60

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Albuquerque (2009).

Albuquerque (2009) analisa que as tarifas de energia elétrica não demonstraram tendência clara de queda de preço desde o início da reestruturação do setor elétrico até os dias atuais. O aumento nominal dessas tarifas foi expressivo, acompanhando a tendência do IGP-M. Ao longo

do tempo, os encargos e a distribuição tiveram oscilações tanto positivas quanto negativas, o que influencia significativamente os valores da tarifa. Contudo, ao considerar que a geração representa cerca de um terço da tarifa final, é possível que o preço competitivo da geração de energia tenha colaborado para, ao menos, manter a constância no valor final da tarifa.

2.2.2 Ambiente de contratação livre

A realização de operações de compra e venda de energia elétrica por meio de contratos negociados livremente são realizados no ACL; participam desse mercado: os geradores, os comercializadores, os consumidores livres, os importadores e os exportadores. Os contratos, normalmente, são flexíveis, ficando a critério dos agentes definirem os prazos, a quantidade e preço da energia.

Conforme explicita o Art. 15 da Lei nº. 9.074, de 1995, respeitados os contratos vigentes com suas respectivas concessionárias, o consumidor - atendido em tensão igual ou superior a 69 kV com carga maior ou igual a 3.000 kW - pode optar pela compra de energia elétrica de qualquer concessionária, permissionária ou autorizada de serviços de energia elétrica. A Lei nº. 9.427, de 1996, passou a permitir que os consumidores com demanda contratada maior ou igual 500 kW também pudessem, desde então, a fazer parte do mercado livre de energia, desde que os consumidores com demanda inferior a 3.000 kW adquiram a energia de PCHs, geradores eólicos, ou ainda termoelétricas alimentadas a biomassa.

Os clientes que se configuram como potenciais consumidores livres, com interesse em migrar para o ACL, devem solicitar sua adesão junto à CCEE, custeando os devidos encargos, além de celebrar com a distribuidora local o Contrato de Uso do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica (CUSD) e o Contrato de Conexão ao Sistema de Distribuição de Energia Elétrica (CCD).

Os gráficos ilustrados pela Figura 2.8 e Figura 2.9 representam a evolução dos clientes livres do ano de 2001 até o ano de 2010. O primeiro apresenta a quantidade de clientes e o segundo a quantidade de carga (\overline{MW}) contratada.

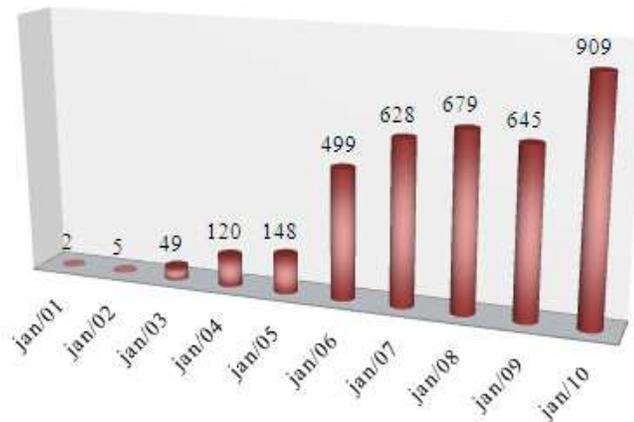


Figura 2.8 - Evolução da quantidade de consumidores livres no ACL.
 Fonte: Elaboração própria, a partir de dados de CCEE (2010).

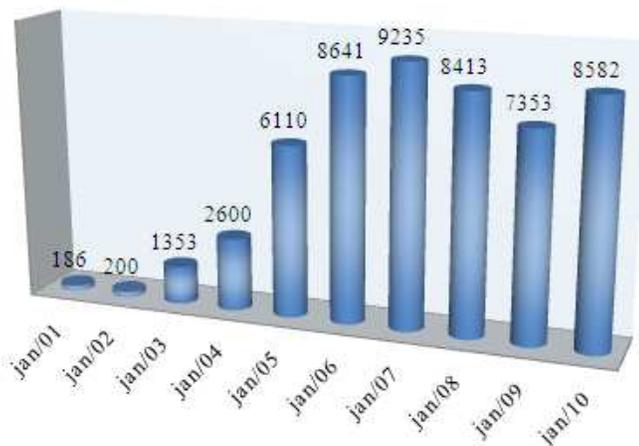


Figura 2.9 - Evolução da demanda contratada no ACL
 Fonte: Elaboração própria, a partir de dados de CCEE (2010).

Para garantir um ganho financeiro extra, os geradores comercializam o excedente de sua energia, que não está comprometida a nenhum contrato no mercado livre, negociando tal excedente ao preço do PLD médio mensal. Normalmente, o valor do PLD é baixo; dessa forma, os consumidores livres conseguem comprar energia a um preço mais acessível do que comprariam em um contrato bilateral. Porém, esses agentes ficam expostos ao risco do PLD subir, principalmente em períodos secos, e terem que custear a energia a um preço muito alto.

Um agente, para comercializar qualquer contrato de energia elétrica, deve ser registrado na CCEE e todos os contratos firmados entre os agentes de mercado são registrados também ali. Atualmente, a CCEE possui 1339 agentes cadastrados. A Figura 2.10 demonstra a participação, por

classe, de agentes no mercado.

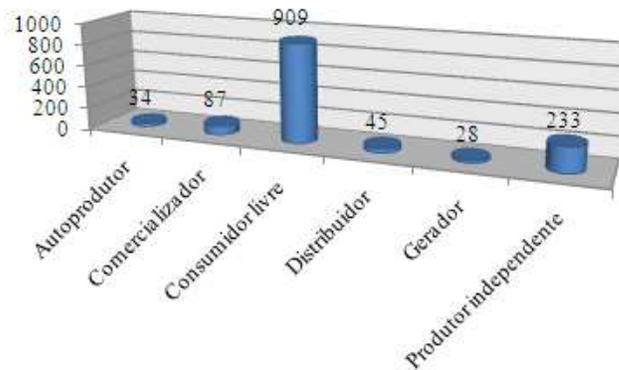


Figura 2.10 - Participação do mercado por classe.

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados de CCEE (2010).

O ACL permite o desenho de contratos flexíveis, pois eles podem ser livremente negociados entre os agentes; definem-se preços, prazos, volumes e cláusulas de flexibilização, a critério dos envolvidos. Devido à flexibilidade de contratação, muitos geradores, comercializadores e consumidores livres realizam leilões de energia de curto prazo (*ex-post*), ou seja, depois que a energia do consumidor livre foi demandada (MUNHOZ, 2008).

2.2.3 Liquidação das diferenças

O mercado de curto prazo (*spot*) ocorre através da contabilização das diferenças entre as transações da energia produzida e a energia contratada em tempo real, conforme ilustrado pela Figura 2.11. Ao efetuar essa operação, semanalmente, a CCEE fornece o preço da energia em R\$/MWh para cada submercado e patamar de carga (leve, médio e pesado). Esse preço é utilizado para as transações no mercado *spot* e é denominado de Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Caso um agente utilize mais energia do que a prevista em contrato, pagará o valor do PLD pelo excedente de carga apropriado. Ao contrário, se um agente utilizar menor quantidade de carga que a prevista em contrato, essa diferença será creditada ao valor do PLD.

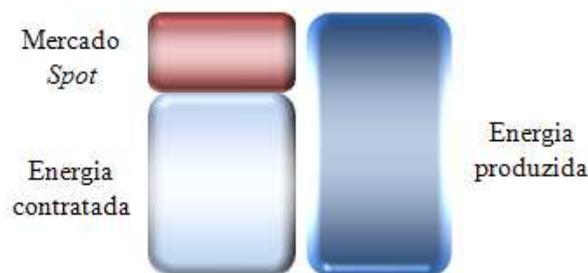


Figura 2.11 - Processo de comercialização de energia.
 Fonte: Elaboração própria, a partir de dados de CCEE (2010).

O cálculo do PLD é realizado a partir de dados de Custos Marginais da Operação (CMO) calculados pelo ONS. Este é resultante de modelos matemáticos que processam as informações sobre as condições hidrológicas, preços de combustíveis, demanda de energia, entre outras variáveis.

2.3 Aspectos da demanda e oferta futura de energia elétrica

A crise do petróleo na década de 1970, o crescimento populacional, a urbanização e a industrialização são variáveis determinantes para o crescimento do consumo de energia elétrica. A evolução deste consumo, para o País como um todo, está ilustrada na Figura 2.12 (EPE, 2007).

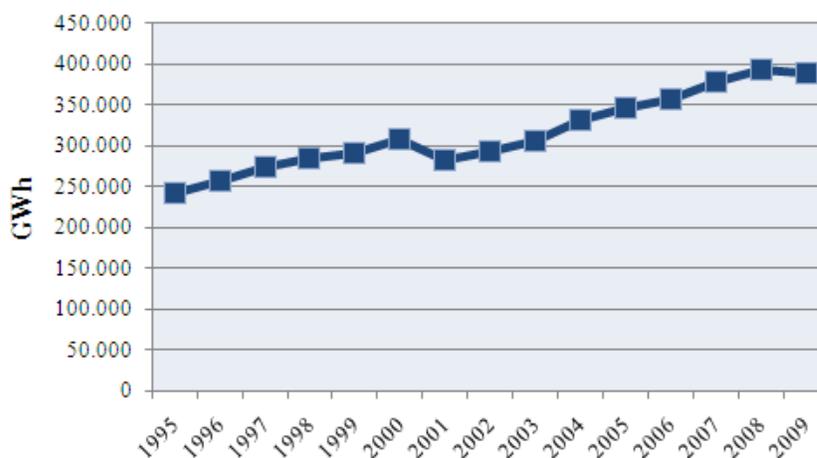


Figura 2.12 - Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil, de 1995 a 2009.
 Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da EPE.

Esse crescimento é explicado pela relação do consumo com a renda (Produto Interno Bruto

- PIB) e a população. Dessa forma, Albuquerque (2009) avalia que a economia influencia diretamente no consumo, bem como as oscilações do setor de energia elétrica impactam no crescimento econômico. Como exemplo, tem-se o racionamento de energia ocorrido em 2001, que freou o crescimento do País naquela época.

A fim de se garantir o desenvolvimento do País, são necessárias quantidades crescentes de energia elétrica. Para atender a esse requisito, tornam-se fundamentais estudos, tanto do lado da demanda quanto da oferta de energia, voltados para o planejamento da expansão. Verifica-se, pois, a necessidade de projetar a demanda e oferta futuras, razão pela qual a EPE realiza um cuidadoso estudo desses fatores no Plano Decenal da Expansão de Energia (PDE). Esse relatório detalha a projeção num horizonte de dez anos, com o objetivo de prever um crescimento econômico sustentável e, ao mesmo tempo, atender aos critérios de garantia de suprimento.

Segundo o PDE-2019, a oferta interna de energia elétrica aumentará de 539,9 TWh em 2010 para cerca de 830 TWh em 2019, o que corresponde a um aumento de aproximadamente 45% da oferta, em kWh/hab (EPE, 2010).

Entretanto, a intensidade elétrica da economia - ou seja, a quantidade de energia elétrica suficiente para produzir uma unidade monetária de produto - mantém-se constante ao longo do período (EPE, 2010).

Conforme dados do PDE-2019, a carga de energia do SIN terá um aumento médio anual, no horizonte decenal, de $3.300 \overline{\text{MW}}$. O acréscimo no submercado Sul-Sudeste/Centro-Oeste varia de 2.100 a $2.600 \overline{\text{MW}}$ por ano. Para os submercados Norte e Nordeste o aumento da carga varia entre 700 e $1.100 \overline{\text{MW}}$ por ano. Dessa forma, a capacidade instalada do SIN, demonstrada pela Figura 2.13, evolui de $103.598 \overline{\text{MW}}$ para $167.044 \overline{\text{MW}}$, do início do estudo até dezembro de 2019.

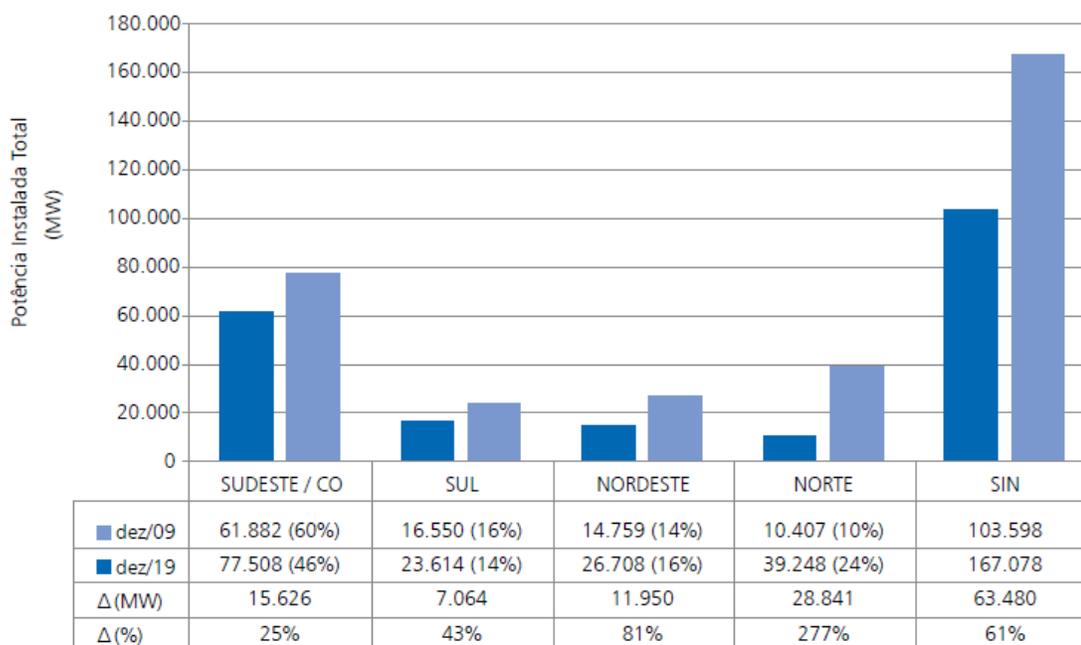


Figura 2.13 - Participação por submercado na capacidade instalada do SIN.

Fonte: EPE (2010).

Quanto à expansão dos projetos hidroelétricos, é previsto o acréscimo, a partir de 2014, de 1.088 $\overline{\text{MW}}$ de projetos detentores de outorga de concessão, além de 32.269 $\overline{\text{MW}}$ de novos projetos a serem licitados. Assim, a capacidade hídrica em 2019 será aproximadamente 117 GW.

Em relação à expansão dos projetos termoeletricos, a capacidade instalada no SIN evolui de 14 GW para 25 GW, com energia já contratada e, a partir de então, se mantém estável.

São requeridos investimentos da ordem de R\$175 bilhões, no horizonte decenal, para a expansão em geração. Entretanto, parte desse investimento é referente a empreendimentos já contratados; 108 bilhões de reais é o montante a ser investido em novos empreendimentos.

2.4 Leilões brasileiros de energia elétrica

Os mecanismos de comercialização de energia elétrica se dão através de leilões como forma de licitação para o ambiente de contratação regulada, com vista a minimizar os preços de venda (aproximando-os do custo de produção) e introduzir a competição de mercado.

O procedimento de leilões, no âmbito do setor elétrico, foi adotado por diversos países, que nem sempre atingiram um elevado grau de competição. Entretanto, apesar das experiências de insucesso, verifica-se a necessidade de comercializar energia elétrica em longo prazo, e nesse contexto, os leilões se configuram como a melhor opção.

É através da modalidade de leilões no ACR que (conforme o artigo 2º da Lei nº. 10.848) deve ser garantida a totalidade do mercado das concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica pertencentes ao SIN. Esses leilões, por sua vez, são regulados e realizados pela ANEEL, que pode promovê-los diretamente, ou por intermédio da CCEE (ANEEL, 2004b).

Em esfera nacional, os leilões são classificados como: leilão de linha de transmissão, leilão de energia existente, leilão de energia de ajuste, leilão de energia nova e leilão de reserva, descritos detalhadamente nas seções seguintes.

Em 30 de julho de 2004 foram regulamentados: a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e a autorização da geração de energia elétrica, através do Decreto nº 5.163, conforme comentado anteriormente. Dentre outras disposições, definiu-se, então, o calendário dos leilões, a partir de um ano base “A” - que é a previsão do início do suprimento da energia elétrica, adquirida pelos agentes de distribuição por meios dos leilões. A partir desse ano base, têm-se os anos: “A-1”(A menos um), que é o ano anterior ao ano base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica; “A-3”(A menos três), que é o terceiro ano anterior ao ano base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica; e “A-5”(A menos cinco), que é o quinto ano anterior ao ano base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica, conforme ilustra a Figura 2.14 (ANEEL, 2004a).

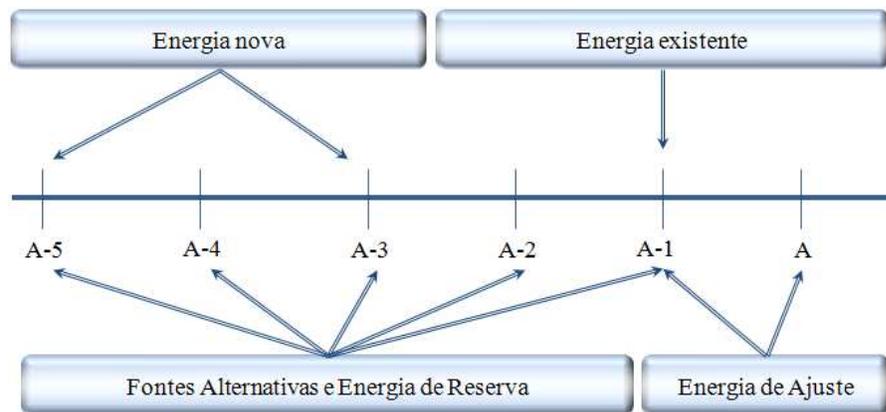


Figura 2.14 - Calendário dos leilões.

Fonte: Elaboração própria.

O referido decreto determina, também, que os indicadores, fórmulas e parâmetros, a serem utilizados para aceite das propostas, devem ser avaliados através do menor valor do megawatt-hora (R\$/MWh) oferecido, empregando-se o critério da menor tarifa. Essa medida visa à modicidade tarifária, já que os consumidores cativos não possuem poder de barganha, nem participação direta na compra de sua própria energia (ANEEL, 2004a).

No momento da determinação desse decreto, havia especulações - por parte das geradoras de energia elétrica - de que os preços a serem definidos seriam excessivamente baixos. Foi possível verificar que realmente em alguns leilões os preços de reserva foram baixos o suficiente para afastar alguns geradores, porém não o bastante para repelir todos os potenciais vendedores (BAJAY, 2010).

Entre os compradores e os vendedores - vencedores dos leilões de energia procedente de empreendimentos existentes ou novos - são celebrados contratos bilaterais, denominados CCEAR (Contrato de Comercialização de Energia Elétrica em Ambiente Regulado), conforme ilustrado na Figura 2.15 (CCEE, 2010). O CCEAR prevê duas modalidades: a primeira, por quantidade de energia em que o risco hidrológico é assumido pela geradora; e a segunda, pela disponibilidade de energia elétrica em que o risco hidrológico é assumido pela compradora (ANEEL, 2004a).

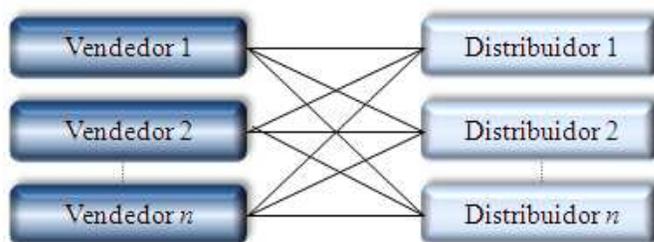


Figura 2.15 - Esquema dos CCEAR.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de CCEE (2010).

Os participantes vendedores deverão apresentar lastro para venda de energia e potência suficiente para garantir a totalidade de seus contratos, como determinado pelo artigo 2º da Lei nº. 10.848. Esse lastro é constituído pela garantia física, que corresponde à quantidade máxima de energia e potência elétrica associadas ao empreendimento, incluindo importação. Essa garantia poderá ser utilizada para comprovação de atendimento de carga ou comercialização, por meios de contratos (ANEEL, 2004b).

Para a realização dos leilões, as distribuidoras de energia elétrica devem informar à ANEEL, com cinco anos de antecedência, sua previsão de demanda. Bajay (2010) discute que ao se instituir essa regulamentação, as distribuidoras de energia argumentavam que projetar a demanda cinco anos à frente, de maneira confiável, era uma tarefa complexa devido ao contexto da economia brasileira à época. Entretanto, até hoje essa preocupação não se constituiu em problemas. O autor ainda completa que:

“por outro lado, existem evidências de que as projeções da demanda de eletricidade estão sendo ‘manipuladas’, pelas concessionárias distribuidoras, a fim de se beneficiarem com expectativas de preço favoráveis tanto nos leilões de ‘energia nova’, como nos leilões de ajuste”.

2.4.1 Sistemática dos leilões

A formatação dos leilões deve prever diversos aspectos com vista a evitar falhas. Garcia (2009) cita, como um problema político, que a não venda do empreendimento é considerada um fracasso maior que uma venda inadequada, pois, dessa forma, pode forçar o aumento do preço de

reserva.

Devem-se observar, também, penalidades - para evitar fracasso do leilão - caso haja desistência nas ofertas realizadas, ou para regras que sejam utilizadas de forma indevida pelos participantes. Em contrapartida, para se obter credibilidade nas regras, é fundamental que se tenha cuidado ao estabelecer multas, a fim de não causar barreiras à participação.

Outro aspecto é evitar a junção das principais empresas que exercem poder de mercado, pois essas podem criar monopólios¹ ou construir barreiras à entrada de competidores menores. O fracasso de um leilão está intimamente ligado ao fato de não se atrair um número suficiente de competidores, o que o torna não lucrativo e ineficiente (GARCIA, 2009).

Portanto, para a promoção dos leilões de energia elétrica, a ANEEL planeja o edital, observando as regras gerais de licitação e concessão, com base nas diretrizes do Ministério de Minas e Energia. Esse edital contempla desde os objetos, metas, prazos, garantias financeiras, portarias sobre procedimentos e sistemáticas, até estudos de licenças ambientais, que prevêm a mitigação dos problemas relacionados à formatação (COSTA, 2010).

Costa (2010) menciona que são diversas as portarias do MME que versam sobre leilões de energia elétrica. Anualmente são descritas uma série de diretrizes apresentando quais leilões serão realizados naquele ano, as fontes a serem contratadas, a modalidade de contratação e as previsões de data para realização desses leilões.

A partir dessas diretrizes, para cada leilão é elaborada uma portaria específica, na qual constam os procedimentos para habilitação técnica e demais prazos. Essa, geralmente, apresenta como anexo a sistemática do leilão. Porém, quando se considera a característica do leilão que se pretende realizar semelhante a outro já realizado, é feita a referência a uma portaria já existente, que contenha a sistemática adequada (COSTA, 2010).

Ainda segundo Costa (2010), a metodologia utilizada para a definição dessas sistemáticas é avaliada de acordo com o produto a ser leiloado e, também, com o aprendizado das experiências e resultados de leilões anteriores. Como as variáveis e parâmetros não conseguem seguir um padrão para todos os leilões, devido às características de cada empreendimento, cada leilão torna-se único, fazendo com que os órgãos competentes ainda se posicionem sob uma curva de aprendizado.

A Tabela 2.2 descreve as principais portarias que, recorrentemente, são mencionadas nos editais dos leilões e a descrição do que cada uma estabelece.

¹Ausência de concorrência e existência de um único fornecedor.

Tabela 2.2 - *Portarias recorrentes aos leilões.*

Portarias	Descrição
Portaria MME - MF 234 de 2002	Preço base máximo, em Reais por MMBTU, para suprimento de gás natural destinado à produção de energia elétrica pelas usinas integrantes do PPT e que sejam vinculadas ao sistema elétrico interligado.
Portaria MME 112 de 16.05.2006	Critérios de reajuste tarifário.
Portaria MME 42 de 01.03.2007	Critérios de reajustes tarifários de empreendimentos termelétricos.
Portaria MME 46 de 09.06.2007	Cálculo do CVU de referência para os leilões.
Portaria MME 21 de 18.01.2008	Procedimentos para Registro na ANEEL e Habilitação Técnica pela EPE de projetos de geração de energia elétrica.
Portaria MME 258 de 28.07.2008	Metodologia de cálculo da garantia física de novos empreendimentos de geração de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional - SIN.
Portaria MME 463 de 03.12.2009	Metodologia para o cálculo dos montantes de garantia física de energia de usinas hidrelétricas não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, para fins de participação no Mecanismo de Realocação de Energia - MRE, inclusive para fins de participação nos Leilões de Compra de Energia Elétrica.

Fonte: Elaboração própria, adaptado de Costa (2010).

2.4.2 Leilões de linhas de transmissão

Os leilões de linhas de transmissão (que são regulamentados pela Lei 10.848) licitam para contratação de serviços públicos de transmissão de energia elétrica, mediante outorga de concessão, incluindo construção, operação e manutenção das instalações de transmissão da rede básica do SIN, com regras operativas aprovadas pela ANEEL. Essas visam assegurar a otimização dos recursos eletroenergéticos existentes ou futuros. A partir da celebração do contrato, tem-se o prazo de, no máximo, trinta anos de concessão para o participante vencedor (ANEEL, 2004b).

A fonte de receita das empresas de transmissão que compõem a Rede Básica é constituída

pela Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) cuja finalidade é cobrir os custos do transporte de energia elétrica. Elas englobam os investimentos feitos pelas concessionárias para construção e manutenção dessas redes, além de compor uma parcela da tarifa final de energia elétrica; são pagas pelos geradores, distribuidores e consumidores finais (GUNN, 2008).

O leilão de linhas de transmissão é composto, comumente, por lotes que constituem as linhas de transmissão e as subestações, previamente descritos em edital. Os lotes são leiloados sequencialmente e através de lances fechados. Com isso, vence o leilão, o participante que oferecer a menor receita anual permitida (R\$/ano) para cada lote individualizado, desde que os valores ofertados pelos demais participantes sejam superiores a 5% (cinco por cento) do valor ofertado pela menor proposta financeira apresentada em envelope fechado. Caso existam lances que se encontrem nesta faixa de 5% (cinco por cento) do menor valor ofertado, o leilão continua através de lances abertos e sucessivos até a identificação do ganhador.

A sistemática adotada tem impacto direto na TUST; dessa forma, quanto mais competitivo for o leilão, menores serão essas tarifas, tanto para os agentes de geração e distribuição, quanto para os consumidores finais.

A ANEEL licitou até o primeiro semestre de 2010, aproximadamente, 38,8 mil quilômetros de novas linhas de transmissão e um total de 60,6 mil MVA de potência de transformação, ampliando a Rede Básica do SIN. Esses empreendimentos atraíram investidores nacionais e internacionais, principalmente de países como Espanha, Itália, Colômbia, Portugal e Argentina (ANEEL, 2010a).

No entanto, atualmente, o setor enfrenta alguns desafios com a incerteza da renovação das concessões, visto que, em 2015, cerca de 70 mil quilômetros de linhas e da interligação de parte do sistema isolado estão com o encerramento dos contratos previsto.

2.4.3 Leilão de empreendimentos existentes

Os leilões de energia elétrica de empreendimentos existentes têm por objetivo vender energia elétrica proveniente daqueles em operação (em que os contratos de concessão estejam finalizando) para atender às necessidades do mercado das distribuidoras de energia elétrica.

Esses leilões (segundo o inciso II do parágrafo 2º do artigo 2 da Lei nº. 10.848) têm o início de suprimento um ano após a celebração do CCEAR, sendo classificados como leilão A-1, e têm prazo de concessão de, no mínimo, três anos e, no máximo, quinze anos (ANEEL, 2004b).

De acordo com o Decreto nº. 5.163, para aquisição de empreendimentos nos leilões de energia existente, o MME define um preço máximo. Esse preço, desde 2009, não pode superar o valor médio resultante dos leilões de compra de energia elétrica de novos empreendimentos (ANEEL, 2004a).

Segundo Munhoz (2008), os preços negociados em leilões de energia existente correspondem ao valor de oportunidade da energia elétrica, uma vez que, os empreendimentos que provêm essa energia já foram amortizados.

Até novembro de 2010, foram realizados oito leilões de energia existente, conforme indicado na Tabela 2.3. O primeiro leilão de energia existente contratou 17.008 $\overline{\text{MW}}$ distribuídos em três produtos. No total, esse leilão transacionou um volume de energia de 1.192.737.024,000 MWh e um montante financeiro de R\$ 74.740.088.540,16.

Tabela 2.3 - Resultados dos leilões de energia existente.

Leilão/Ano	Produto	Quantidade ($\overline{\text{MW}}$)	Preço inicial (R/\$MWh)	Preço final (R/\$MWh)	Volume (MWh)	Montante (R\$)
001/2004	2005-08	9054	80,00	57,51	634.938.912,000	36.515.336.829,12
	2006-08	6782	86,00	67,33	475.608.096,000	32.022.693.103,68
	2007-08	1172	93,00	75,46	82.190.016,000	6.202.058.607,36
002/2005	2008-08	1325	99,00	83,13	929.196.000,000	7.724.406.349,00
	2009-08	0	104,00	0	0	0
003/2005	2006-03	102	73,00	62,95	2.683.008,000	168.895.353,00
004/2005	2009-08	1166	96,00	94,91	81.769.248,000	7.760.719.327,68
005/2006	2007-08	204	105,00	104,74	14.306.112,000	1.498.449.520,80
006/2007	-	-	-	-	-	-
007/2008	-	-	-	-	-	-
008/2009	2010-D05	1	100,00	80,00	43.824,000	3.505.920,00
	2010-Q05	83	100,00	99,14	3.637.392,000	360.605.184,00

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados extraídos de (ANEEL, 2010a).

No segundo leilão de energia existente verificou-se um aumento nos preços iniciais dos produtos expostos. Foi contratado apenas um produto com capacidade de 1.325 $\overline{\text{MW}}$; essa negociação resultou um volume de 929.196.000,000 MWh e o montante financeiro de R\$ 7.724.406.349,00. No terceiro leilão, a negociação de 102 $\overline{\text{MW}}$ foi realizada com preços mais baixos, devido ao curto prazo contratual, o que diminuiu a incerteza em relação à negociação. Entretanto, no quarto leilão, a tendência de aumento dos preços foi confirmada. Com uma diferença entre o preço teto e o preço de fechamento em 0,24%, o quinto leilão de energia existente contratou 204 $\overline{\text{MW}}$.

Nota-se que no sexto e sétimo leilões de energia existente não houve contratação. No sexto não houve propostas, provavelmente porque os vendedores não aceitaram ofertar lances abaixo do valor fixado de 109,00 R\$/MWh. O sétimo foi cancelado por falta de vendedores interessados. Esses fatos podem ser considerados como uma indicação do mercado às instituições responsáveis de que o preço de reserva estava próximo ou abaixo do que os participantes estavam dispostos a oferecer.

Por fim, o oitavo leilão contratou 84 $\overline{\text{MW}}$ através de dois produtos distintos, um por quantidade e outro por disponibilidade, com preços bem elevados. O aumento dos preços, ilustrados pelo Figura 2.16, pode ser explicado através de três fatores: i) os preços da energia no mercado livre mais atrativos; ii) a experiência dos agentes, adquirida nos leilões passados, revertida para seu benefício e; iii) sinalização de uma expectativa de escassez de energia futuramente.

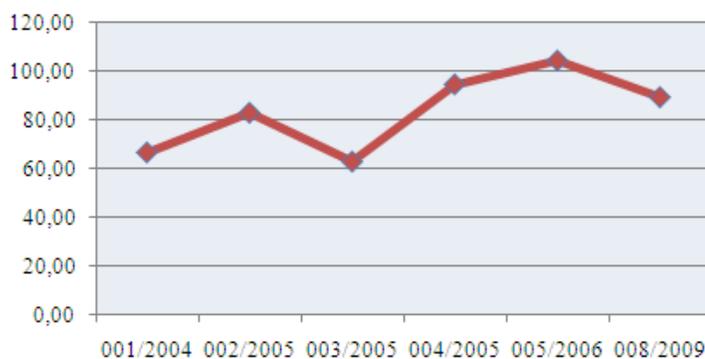


Figura 2.16 - Histórico do preço médio negociado para os leilões de energia existente.

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados dos leilões, como quantidade e preço negociados, são informações de domínio público. Dessa forma, essas informações se tornam valiosas para os agentes que pretendem realizar outros tipos de contratação em longo prazo, para qualquer ambiente de contratação, pois gera um

aprendizado aos agentes que os beneficiam para licitações futuras (MUNHOZ, 2008).

2.4.4 Leilão de ajuste

Para complementar, quando necessário, a carga de energia para atendimento dos consumidores cativos, o Artigo 26 do Decreto nº. 5.163 dispõe que a ANEEL deve promover (diretamente ou através da CCEE) leilões para contratação de energia de ajuste com o prazo de suprimento de até dois anos. O montante de carga para contratação, nesse tipo de leilão, não pode exceder um por cento da carga total contratada de cada agente distribuidor (ANEEL, 2004a).

Então, celebrações dos contratos bilaterais devem ser formalizadas entre as partes envolvidas e registradas na ANEEL e na CCEE. Esses contratos deverão conter as condições referentes à composição das garantias e prever o início de entrega da energia elétrica.

Os leilões de ajuste são considerados únicos; cada vendedor tem conhecimento sobre qual o comprador está efetuando o lance, pois a licitação é realizada diretamente para os vendedores interessados. Os contratos decorrentes desses leilões possuem início de suprimento, no máximo, quatro meses a partir da realização do leilão e considera como termo inicial o dia primeiro de cada mês.

Esses leilões ocorrem para contornar a incerteza da previsão de demanda realizada pelas distribuidoras, com até cinco anos de antecedência. Entretanto, antes de submeterem suas demandas para licitação, as distribuidoras, sobrecontratadas e subcontratadas, podem negociar seus contratos entre si por meio de um mecanismo de compensação de sobras e déficits (MCSD). Dessa forma, o mercado é ajustado e, no balanço de demanda final, pode não haver nenhuma distribuidora descontratada (MUNHOZ, 2008).

O gráfico da Figura 2.17 apresenta os valores negociados nos leilões de energia de ajuste, ocorridos entre os anos de 2005 a 2009 comparados ao valor do PLD da época. A análise com o valor do PLD se faz necessária, pois os contratos advindos desse tipo de leilão são de curto prazo e, portanto, tendem a se aproximar do valor do PLD.

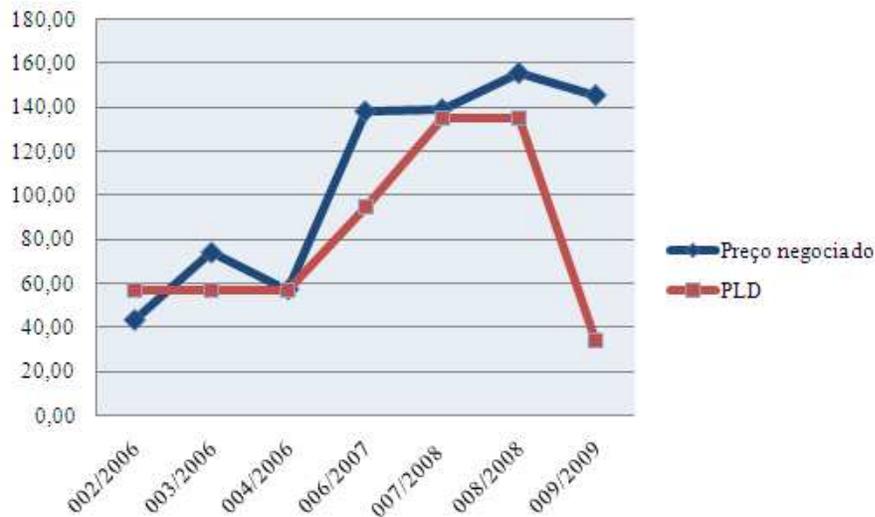


Figura 2.17 - Histórico do preço negociado para os leilões de energia existente VS valor do PLD.

Fonte: Elaboração própria.

A primeira licitação para os leilões de ajuste ocorreu em 2005, contudo não houve compradores, pois as distribuidoras de energia ajustaram suas demandas através do mecanismo de MCSD. Para o segundo, terceiro e quarto leilões de energia de ajuste, os valores negociados se aproximam do valor do PLD para o mesmo período.

No quinto leilão de energia de ajuste não houve negociação; uma das hipóteses para o ocorrido é o valor do PLD estar acima do valor negociado em contratos bilaterais. No sexto, sétimo e oitavo leilões de ajuste, os preços se elevaram acompanhando o valor do PLD. Diferente do ocorrido no nono leilão, em 2009, em que o valor do PLD estava demasiadamente baixo e a negociação se deu por um valor cerca de quatro vezes maior que o PLD. Como hipótese para esses valores discrepantes, Bajay (2010) atribui que:

“certo grau de *self-dealing*’ também está ocorrendo nos leilões de ajuste, na medida em que concessionárias distribuidoras estão comprando energia, nestes leilões, de supridores que pertencem aos seus controladores, a preços acima da média dos leilões”.

2.4.5 Leilão de novos empreendimentos

Os leilões de novos empreendimentos de energia elétrica referem-se à venda de energia elétrica daqueles que não sejam detentores de concessão, permissão, autorização, ou ainda, àqueles que visem à ampliação de parte dos empreendimentos existentes.

Para cumprir um leilão de energia elétrica proveniente de empreendimentos emergentes, o MME deve definir o montante total de energia elétrica a ser contratado, no ACR, por submercado e a relação dos empreendimentos de geração capazes de participar dos leilões. Para tanto, a EPE realiza estudos para otimização técnico-econômica do parque hidrotérmico do SIN, bem como o do sistema de transmissão associado (ANEEL, 2004a).

O inciso III do parágrafo 2º do artigo 2 da Lei nº. 10.848 dispõe que o início de suprimento será de três ou cinco anos após a celebração do CCEAR, classificando-os como leilão A-3 ou A-5 para a energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração; dispõe ainda o prazo de concessão de, no mínimo, quinze anos para termelétrica e, no máximo, trinta anos para hidroelétrica (ANEEL, 2004b).

Os empreendimentos hidrelétricos têm o intuito de atender à base da curva de carga diária de energia elétrica, enquanto os empreendimentos termelétricos operam, preferencialmente, para atender ao pico da curva de carga, ou para atender à demanda durante o período de estiagem. Portanto, a autorização de implantação de novos empreendimentos de geração termelétrica só é sancionada pelo MME, quando se comprova a disponibilidade dos combustíveis necessários para sua operação (COSTA; PIEROBON, 2008).

Segundo Costa e Pierobon (2008), os empreendimentos de fontes distintas são leiloados separadamente. Os empreendimentos hidrelétricos são licitados em função da tarifa de energia elétrica. Já os empreendimentos termelétricos são licitados em função de uma metodologia elaborada pela EPE - o índice de custo benefício (ICB) - para que esses empreendimentos possam ser comparados entre si. O critério de decisão consiste em selecionar os projetos pelo menor ICB.

Os leilões de novos empreendimentos de geração começaram a ser licitados a partir de 2005. Desta data até hoje, foram realizados dez leilões desse tipo, além dos leilões do complexo do Rio Madeira (Santo Antônio e Jirau) e Belo Monte. Esses últimos são os maiores empreendimentos já leiloados.

As usinas de Santo Antônio e Jirau, localizadas em Rondônia, possuem respectivamente, 3.150 e 3.300 MW de potência instalada. A usina de Belo Monte, localizada no Pará, com 11.000 MW de potência instalada corresponde ao último empreendimento hidroelétrico leiloado.

Os leilões de energia nova provenientes de hidroelétricas são apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Resultados dos leilões de energia nova proveniente de hidroelétricas.

Leilão/Ano	Produto	Quantidade (MW)	Preço inicial (R\$/MWh)	Preço final (R\$/MWh)	Volume (MWh)	Montante (R\$)
001/2005	2008-H30	71	116,00	106,95	18.672.432,000	1.997.021.862,24
	2009-H30	46	116,00	114,18	12.096.528,000	1.382.401.738,56
	2010-H30	889	116,00	115,04	233.778.552,009	26.893.466.502,96
002/2006	2009-H30	1028	125,00	126,77	270.331.104,00	34.268.979.962,88
003/2006	2011-H30	569	125,00	120,86	149.642.448,000	18.086.122.895,04
005/2007	2012-H30	715	126,00	129,14	188.039.280,000	24.284.244.713,28
Santo Antônio/2007	2012-H30	2218	122,00	78,87	379.236.145,680	29.910.354.809,78
Jirau/2008	2013-H30	1975	91,00	71,37	348.649.462,578	24.883.112.144,19
007/2008	2013-H30	121	123,00	98,98	31.819.128,000	3.149.457.289,44
008/2008	2012-H30	1	144,00	144,00	262.992,000	37.870.848,00
009/2009	-	-	-	-	-	-
010/2008	2015-H30	327	100,00	99,48	85.998.384,000	8.554.766.831,04
Belo Monte/2010	2015-H30	4419	83,00	77,97	794.925.102,709	61.980.310.258,22

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados extraídos de (CCEE, 2010).

Para os empreendimentos hidroelétricos, o primeiro leilão de energia nova negociou um volume de 264.547.512 MWh, resultando um montante de R\$ 30.272.890.103,76.

O segundo e o quinto leilões de energia nova obtiveram o preço final maior que o preço inicial, devido ao fato de a licitação ter obtido o critério de maior oferta por UBP².

²O uso do bem público foi definido pelo poder concedente, com objetivo de encontrar o ponto de equilíbrio entre a maximização dos pagamentos à União e a minimização do impacto sobre o preço da energia elétrica aos consumidores regulados. É calculado o valor de UBP ao término do leilão. Este valor acrescido do valor do lance menos o UBP de referência, deve ser menor que o custo marginal da energia (REGO, 2009). Complementarmente, maiores detalhes

Verifica-se que as diferenças entre o preço inicial e o preço final variaram até 35%. Entretanto, a maioria dos empreendimentos obteve pequenas diferenças de preço, exceto os leilões do complexo do Rio Madeira (que apresentaram 35,4% de diferença dos preços iniciais e finais para a usina de Santo Antônio e, aproximadamente, 21,6% para o empreendimento de Jirau). E o sétimo leilão de energia nova atingiu um deságio de cerca de 20%.

Nota-se, portanto, que o deságio médio atingiu cerca de 10%; entretanto, ao desconsiderar os leilões dos maiores empreendimentos (Santo Antônio, Jirau e Belo Monte), essa média cai para 5%.

O total de energia comercializada nos leilões de novos empreendimentos de fonte hidroelétrica foi de 12.379 MW. As usinas do complexo do Rio Madeira correspondem acerca de 18% dessa energia contratada, enquanto a usina de Belo Monte representa, em média, 19% dos empreendimentos hidroelétricos contratados.

Na Figura 2.18 são apresentadas as variações de preços negociados nos leilões. Percebe-se uma diminuição dos preços nos empreendimentos de maior capacidade, como nos empreendimentos de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte.

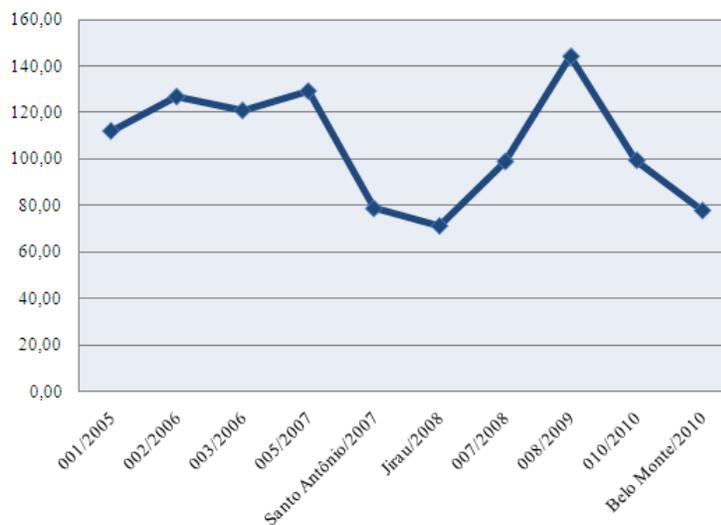


Figura 2.18 - Histórico do preço médio negociado para os leilões de novos empreendimentos hidroelétricos. Fonte: Elaboração própria.

Oito leilões realizados negociaram energia proveniente de outras fontes (T - termoelétricas e OF - outras fontes), conforme demonstrados na Tabela 2.5. O deságio médio nas negociações encontram-se na obra de referência.

nesses tipos de empreendimentos foi de 6,2%. Os deságios mais notáveis nessas negociações se referem ao produto 2010-T15 do primeiro leilão e o produto 2011-OF15 do sexto leilão.

O volume de energia de outras fontes para novos empreendimentos de geração negociaram um volume de 1.375.076.856,000 MWh e montante financeiro de R\$ 184.732.524.164,64.

Tabela 2.5 - *Resultados dos leilões de energia nova proveniente de outras fontes de energia.*

Leilão/Ano	Produto	Quantidade (MW)	Preço inicial (R\$/MWh)	Preço final (R\$/MWh)	Volume (MWh)	Montante (R\$)
001/2005	2008-T15	561	139,00	132,26	73.769.256,000	9.756.666.570,24
	2009-T15	855	139,00	129,26	112.408.560,000	14.530.160.541,60
	2010-T15	862	139,00	121,20	113.349.552,000	13.807.584.944,64
002/2006	2009-T15	654	140,00	132,39	85.982.688,000	11.383.604.353,44
003/2006	2011-T15	535	140,00	137,44	70.350.360,000	9.668.965.313,04
004/2007	2010-T15	1304	140,00	134,67	171.470.784,000	23.092.685.819,52
005/2007	2012-T15	1597	141,00	128,37	209.999.112,000	26.956.698.409,44
006/2008	2011-OF15	1076	150,00	128,42	141.489.696,000	18.169.979.209,20
007/2008	2013-OF15	3004	146,00	141,78	394.941.888,000	57.357.179.003,52
008/2009	2012-OF15	10	146,00	144,60	1.314.960,000	190.143.216,00

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados extraídos de (CCEE, 2010).

O preço médio de fechamento dos leilões de empreendimentos de outras fontes é demonstrado pela Figura 2.19. Esses leilões mantêm seu preço cerca de 30% acima dos empreendimentos hidroelétricos. Seu preço é mais elevado, devido aos seus altos custos de operação e de combustível.

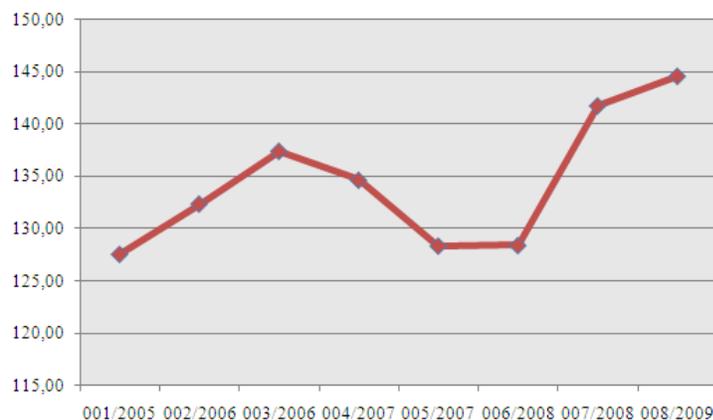


Figura 2.19 - Histórico do preço médio negociado para os leilões de novos empreendimentos de outras fontes.

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que foi negociado cerca de 1.4 bilhão de MWh nos leilões de novos empreendimentos de outras fontes; já os leilões de fonte hídrica negociaram aproximadamente 2.5 bilhões de MWh. Entretanto, a negociação de energia proveniente de outras fontes resultou o montante financeiro de R\$ 185 bilhões enquanto os empreendimentos de fonte hídrica movimentaram R\$ 165 bilhões.

Ao se comparar os preços de fechamento dos leilões de novos empreendimentos com os leilões de empreendimentos existentes, verifica-se um preço mais elevado da energia nova. Isso se deve ao fato de que os novos empreendimentos ainda necessitam amortizar o investimento que será realizado em sua construção e o custo da operação, contrário aos empreendimentos existentes que já possuem seus investimentos amortizados (ALBUQUERQUE, 2009).

2.4.6 Leilão de reserva

Com o objetivo de elevar a segurança no fornecimento de energia elétrica no SIN, foram definidos (pelo artigo 3º da Lei nº. 10.848) e regulamentados (pelo Decreto nº. 6.353 de 2008) os leilões para contratação de energia de reserva, oriundos de empreendimentos contratados apenas para essa finalidade, seja de novos empreendimentos de geração ou de empreendimentos existentes (ANEEL, 2004b).

A comercialização de energia de reserva é formalizada através dos CER (Contratos de Ener-

gia de Reserva) entre os vendedores e a CCEE, que representa os agentes de consumo, incluindo os consumidores livres e os autoprodutores. Esses contratos detêm o prazo de, no máximo, trinta e cinco anos, podendo ser celebrados nas modalidades por quantidade ou disponibilidade de energia elétrica (ANEEL, 2008b).

Os leilões de energia de reserva começaram a ser realizados a partir de 2008 e, atualmente, foram realizados três leilões, conforme demonstrado pela Tabela 2.6. Esses leilões negociaram energia de fontes distintas, como: biomassa, eólica e pequenas centrais hidroelétricas. O período de fornecimento para os produtos contratados variaram de quinze a trinta anos.

Tabela 2.6 - Resultados dos leilões de energia de reserva.

Leilão/Ano	Produto	Quantidade (MW)	Preço inicial (R\$/MWh)	Preço final (R\$/MWh)	Volume (MWh)	Montante (R\$)
001/2008	2009-ER15	84	61,00	60,86	4.415.040,000	115.793.007,60
	2010-ER15	1204	61,00	58,71	64.473.600,000	1.111.704.457,81
002/2009	2012-EOL20	753	189,00	148,39	132.015.960,000	19.590.109.531,20
003/2010	2011-BIO15	137,1	156,00	154,18	9.664.908,000	1.490.134.854,80
	2012-BIO15	43,5	156,00	145,37	4.052.376,000	589.108.248,00
	2013-PCH30	21,7	155,00	130,73	5.706.405,600	745.973.159,16
	2013-BIO15	100,2	156,00	134,47	7.880.496,000	1.059.703.069,20
	2013-EOL20	266,8	167,00	122,69	44.724.132,000	5.487.130.997,28

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados extraídos de (CCEE, 2010).

A média do preço de fechamento nesses leilões é aproximadamente 120,00 R\$/MWh, acompanhando a tendência de preços dos leilões de novos empreendimentos de geração proveniente de outras fontes. O volume negociado nesses leilões foi de 272.932.917 MWh, gerando um montante financeiro de R\$30.189.657.325,05.

2.4.7 Aspectos ambientais

Os combustíveis fósseis e seus derivados vêm sendo utilizados ao longo dos séculos XIX e XX até os dias de hoje nos diversos setores da economia, e a emissão de dióxido de carbono (CO₂) proveniente desses combustíveis - como demonstram alguns estudos - está cada vez mais

relacionada ao problema climático mundial, ao aquecimento da Terra (SOUBBOTINA; SHERAM, 2000).

Nesse contexto, verifica-se maior interesse ambiental ao se elegerem investimentos para energia renovável, cuja emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) é inferior à emissão de termelétricas movidas a combustíveis fósseis (REGO, 2009) .

Ainda segundo Rego (2009) - ao se analisarem os leilões de energia de novos empreendimentos - constatou-se que a contratação de energia elétrica proveniente de fontes não renováveis é intensiva, notadamente de termelétricas movidas a óleo *Diesel*, que colaboram massivamente com a emissão de GEE, conforme ilustrado pela Figura 2.20. Esse fato se deve aos projetos de empreendimentos hidrelétricos enfrentarem obstáculos ambientais e sociais, no que tange, principalmente, ao impacto das barragens tanto em comunidades tradicionais, como na fauna e flora locais.

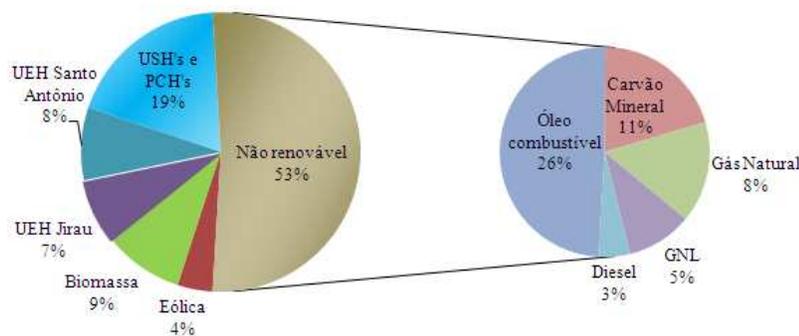


Figura 2.20 - Leilões por fonte de energia de 2005 a 2009.

Fonte: Elaboração própria.

Em 31 de agosto de 1981 foi promulgada a Lei nº. 6.938, tida como um marco na área ambiental. Essa estabelece, como política nacional do meio ambiente, a avaliação do impacto ambiental, objetivando (através do Art. 2º) preservar e recuperar a qualidade ambiental favorável à vida; assegura tanto as condições devidas ao desenvolvimento socioeconômico do país, quanto a segurança nacional e proteção da dignidade humana. Conforme Braga et al. (2005), essa Lei disciplinou e equalizou o sistema de licenciamento em nível nacional, visto que diversos estados já previam licenciamentos antes da sua promulgação.

A resolução nº. 237 de 19 de dezembro de 1997 - estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) - define, em seu Art. 8º, que cabe ao Poder Público a expedição das licenças Prévia (LP), de Instalação (LI) e de Operação (LO), como definidas pelos parágrafos:

“I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empre-

endimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;”

“II - Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;

“III - Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.”

Assim sendo, os estados expedem essas licenças - através de seus órgãos de controle ambiental - para projetos em seu limite territorial. No que se refere ao licenciamento em âmbito nacional ou regional, as licenças são expedidas pelo governo federal, através do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA).

No caso do licenciamento de empreendimentos que se destinam a produção de materiais nucleares (utilização da energia nuclear e suas aplicações), o licenciamento compete à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), mediante parecer do IBAMA, em concordância com os órgãos estaduais e municipais de controle ambiental (BRAGA et al., 2005).

O CONAMA, em 23 de janeiro de 1986, constituiu a Resolução nº. 1, definindo em seu Art. 2º que o licenciamento das atividades que modificam o meio ambiente passa a depender do estudo do relatório de impacto ambiental (RIMA) e do estudo de impacto ambiental (EIA), os quais serão submetidos à avaliação das organizações ambientais estaduais e federais.

Rego (2009) define o EIA como um conjunto de análises que estuda todos os possíveis impactos decorrentes da construção ou ampliação do empreendimento, avaliando todo o entorno do projeto como: localização, comprometimento do lençol freático, disposição de resíduos perigosos, entre outros. Logo, o RIMA é o documento final, de acesso público, que é composto, principalmente, pelas informações advindas do EIA.

3 TEORIA DOS JOGOS

Teoria dos Jogos é uma subárea da matemática que estuda as estratégias pelas quais os jogadores escolhem distintas ações, a fim de melhorar seu retorno financeiro em relação a um determinado investimento. Conforme Romp (1997), a Teoria dos Jogos diz respeito à forma como os indivíduos tomam decisões racionais, quando estas são interdependentes.

A teoria dos jogos ganhou maior destaque após a publicação do livro sobre teoria dos jogos e comportamento econômico, por Neumann e Morgenstern (1944), que definem tal teoria através das iterações estratégicas, em que cada jogador determina sua estratégia, supondo as ações de seus oponentes.

Os conceitos de individualismo, racionalidade e interdependência mútua se fazem necessários para a compreensão completa da significância acerca da Teoria dos Jogos. O individualismo é definido caracterizando-se os jogos como não cooperativos e cooperativos. Em jogos não cooperativos, os jogadores são incapazes de entrar em acordos vinculativos e aplicáveis uns com os outros, o que explica o caráter intrínseco da individualidade desses jogos. Em contrapartida, em jogos cooperativos são analisadas as situações em que tais acordos são permitidos (ROMP, 1997). Conforme Lo et al. (2000), os jogos cooperativos compartilham as informações com o intuito de mitigar os custos referentes à operação em que se envolve a aplicabilidade da Teoria dos Jogos.

A racionalidade é explicada partindo-se do pressuposto de que todos os indivíduos são racionais, agindo, assim, em seu interesse próprio. Por conseguinte, pressupõe-se que os indivíduos são capazes de determinar, pelo menos, probabilisticamente, o resultado de suas ações, obtendo vantagens sobre esses resultados. O conceito de interdependência mútua considera a relação das ações entre os jogadores, em que a ação de um jogador é, em parte, determinada pelas ações dos outros jogadores. Esse conceito garante ações estratégicas, pois os jogadores procuram antecipar o efeito de suas ações em relação ao comportamento de seus oponentes (ROMP, 1997).

Segundo Osborne e Rubinstein (1994), essa teoria é embasada na hipótese de que jogadores adotam objetivos fundamentados em ações racionais e estratégicas, considerando sua expertise em relação ao comportamento dos jogadores opositores.

Um jogo é regido por normas e regras que determinam quais são os movimentos que cada participante pode realizar, bem como as resultantes de todas as combinações de tais movimentos

(HEAP; VAROUFAKIS, 1995). O resultado do jogo é definido pelo conjunto de estratégias e pela condição de mercado de todos os jogadores que possuem objetivos comuns.

Segundo Azevedo (2004), as informações são caracterizadas como completas ou incompletas, perfeitas ou imperfeitas, simétricas ou assimétricas, embasadas em certezas ou em incertezas e, quanto aos resultados, podem-se obter os benefícios, o pagamento e o equilíbrio do jogo.

Munhoz (2004) define que os jogos de informação completa são aqueles em que os jogadores têm acesso a todas as informações referentes ao jogo - o que auxilia a definição de estratégias - e ao benefício de cada participante. Diferente desses, os jogos de informação incompleta não revela todas as informações, tampouco a recompensa aos jogadores. Nos mercados de energia elétrica não existem jogos com informação completa, uma vez que as funções de custo e de avaliação de cada empresa são informações confidenciais.

O jogo de informação perfeita auxilia o participante em suas estratégias, pois, em cada iteração, o participante tem acesso ao histórico completo do jogo. Quanto à informação imperfeita, o jogador pode desconhecer alguma parte do histórico do jogo ao ter que tomar uma decisão (LO et al., 2000).

Azevedo (2004) afirma que nos jogos de informação simétrica não há vantagem de informação quando um jogador se move, pois as informações são equivalentes entre os jogadores, o que ocorre, diferentemente, nos jogos de informação assimétrica, em que cada jogador possui informações distintas.

Nos jogos de informação baseada em certezas, o ambiente não se modifica após o movimento dos jogadores, proporcionando assim - sem envolver probabilidade - benefícios de valores certos. Nos jogos baseados em incertezas, os benefícios possuem valores probabilísticos, pois dependem do comportamento do ambiente que pode ser revelado aos jogadores. Nesses jogos, embasados em incertezas, os agentes avaliam as probabilidades a fim de maximizar os valores esperados (AZEVEDO, 2004).

As estratégias podem se classificar como puras - aquelas que não envolvem probabilidades, pois mapeiam o conjunto de informações certas e possíveis do jogador - e mistas - as que se relacionam com a distribuição de probabilidades, uma vez que elas mapeiam o conjunto de informações incertas do jogador (AZEVEDO, 2004).

3.1 Equilíbrio de Nash

O conceito de equilíbrio, que é empregado em todos os tipos de jogos, é considerado o princípio mais difundido no que se refere à Teoria dos Jogos, e a partir de então os estudos se estenderam em relação a este assunto. Esse equilíbrio é conhecido por Equilíbrio de Nash (MUNHOZ, 2004).

O equilíbrio de Nash foi motivado, conforme Romp (1997), com a pergunta “Quais as propriedades que devem ter um equilíbrio?”, o que foi respondido por Nash (1951), baseando-se nos trabalhos de Cournot em 1938.

Segundo Azevedo (2004), a estratégia ótima de cada jogador é adquirida através da resposta ótima das ações dos outros jogadores. Essas ações fazem parte de um perfil característico de estratégias e, a partir disso, observa-se o equilíbrio do jogo, denominado equilíbrio de Nash. Portanto verifica-se que se de n jogadores, $n - 1$ utilizarem as ações táticas definidas, então esse perfil será um equilíbrio de Nash. E não haverá nenhuma ação melhor a ser tomada para o último jogador (n) a não ser utilizar, também, a estratégia definida pelo perfil.

Portanto, identifica-se um equilíbrio de Nash quando todos os jogadores utilizam suas melhores estratégias ótimas, simultaneamente. O conjunto de estratégias será um equilíbrio de Nash, quando as melhores respostas de todos os jogadores forem coincidentes (AZEVEDO, 2004).

De acordo com Bierman e Fernandez (1998), o equilíbrio pode ser compreendido na Figura 3.1, em que as melhores respostas de dois jogadores (S_A e S_B) são representadas pelas retas, e o ponto onde estas se cruzam corresponde ao equilíbrio de Nash.

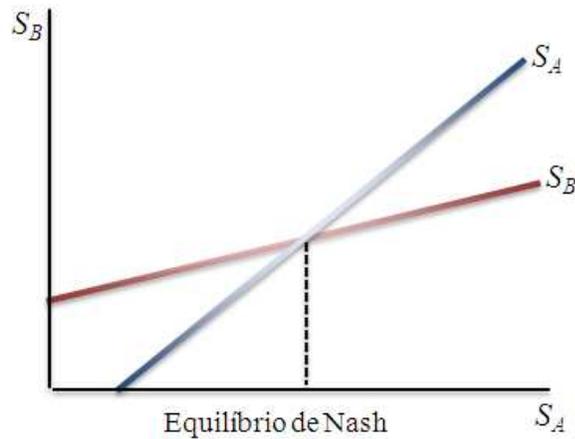


Figura 3.1 - Equilíbrio de Nash.
 Fonte: Bierman e Fernandez (1998).

Romp (1997) ilustra essa metodologia, aplicando-a ao jogo do dilema do prisioneiro. A Figura 3.2 demonstra as estratégias dos prisioneiros - confessar ou não confessar - e os resultados de suas estratégias, que são os anos de reclusão. Caso o prisioneiro 1 suponha que o prisioneiro 2 optará por confessar-se, então sua melhor estratégia é também confessar-se (-6 é melhor que -9); então a célula correspondente ao resultado para o prisioneiro 1 é sublinhada. Caso o prisioneiro 1 suponha que o prisioneiro 2 optará por não confessar-se, ainda assim, a melhor estratégia para o prisioneiro 1 é confessar-se (0 é melhor que -1); em tal caso, sublinha-se a célula correspondente à estratégia do prisioneiro 1. A mesma análise é realizada para o prisioneiro 2, sublinhando-se seus resultados.

		Prisioneiro 1	
		Confessar	Não Confessar
Prisioneiro 2	Confessar	<u>-6</u> , <u>-6</u>	<u>0</u> , -9
	Não Confessar	-9, <u>0</u>	-1, -1

Figura 3.2 - Equilíbrio de Nash para o Dilema do Prisioneiro.
 Fonte: Elaboração própria, adaptado de Romp (1997).

Quando todos os resultados são sublinhados em uma mesma célula, verifica-se que essa célula corresponde a um equilíbrio de Nash, por definição, já que em um equilíbrio de Nash todos os

jogadores utilizaram suas estratégias ótimas. No jogo do dilema do prisioneiro, apenas uma célula tem todos os seus elementos sublinhados, o que corresponde a dois presos confessando-se e, por isso, este é o único equilíbrio de Nash para esse jogo (ROMP, 1997).

Nash (1951) prova em seu teorema: “Um jogo é finito se o número de agentes e o conjunto de estratégias de cada agente forem finitos. Então, em todo jogo finito existe pelo menos um equilíbrio de Nash, ainda que ele envolva estratégias mistas”; portanto, pode-se afirmar que o equilíbrio é, estrategicamente, estável.

3.2 Jogos estáticos e dinâmicos

Bierman e Fernandez (1998) afirmam que os jogos podem ser estáticos ou dinâmicos. Em jogos estáticos, os jogadores tomam decisões isoladamente, desconhecendo as decisões de seus opositores e esses jogos podem ocorrer de forma normal ou estratégica. Os jogos normais fornecem o mínimo de informações necessárias para a descrição do jogo (tais como a lista de jogadores, as estratégias disponíveis para cada jogador) e o pagamento depende do resultado do jogo. Os estratégicos ou extensivos fornecem detalhes adicionais no tempo da tomada de decisão e na quantidade de informação que os jogadores possuem quando vão tomar a decisão. Um exemplo de um jogo estático é um leilão de primeiro preço de lance fechado. Nesse tipo de leilão, cada jogador sugere apenas um lance sem saber o lance sugerido por seus oponentes; então, o melhor lance é aceito como preço de compra (ROMP, 1997).

Segundo Correia et al. (2002), os jogos estáticos são aqueles em que cada agente se movimenta apenas em um único estágio, ainda que o jogo tenha mais de um. No setor elétrico, pode-se encontrar essa situação nos leilões de empreendimentos de geração. Caso esses leilões apresentem mais de uma fase, podem-se considerar cada uma delas como um jogo diferente, pois cada fase possui sua própria estratégia e busca atingir objetivos diferentes.

Os jogos dinâmicos, de acordo com Romp (1997), possuem uma sequência para o fim do jogo, bem como permitem um jogador observar o comportamento de alguns oponentes, se não de todos, com o andamento do jogo. Os motivos principais de um jogo se caracterizar como dinâmico se dão, primeiramente, pela capacidade de observação dos jogadores em relação ao comportamento

de seus oponentes e de suas estratégias, antes de decidir sua resposta ótima e, também, pela observação dos resultados de jogos anteriores que possibilitam o enriquecimento das estratégias dos jogadores. Um exemplo de um jogo dinâmico é o chamado Leilão Inglês, em que os jogadores oferecem abertamente seus lances e a última melhor oferta é aceita como preço de fechamento.

3.3 Teoria dos leilões

Os mecanismos de leilões são utilizados há milhares de anos, porém seu estudo adquiriu maior acuidade após um trabalho publicado por Willian S. Vickrey em 1961. Esses são mecanismos dinâmicos e eficientes para comercializar produtos em que o preço é de difícil determinação. Segundo Klemperer (2000), podem ser definidos como uma forma de alocação de recursos que se baseiam na competição e em que se espera a maximização dos benefícios por parte dos participantes.

Chakravarti et al. (2002) define que o mecanismo de leilão é, comumente, avaliado como um jogo não cooperativo de informação incompleta entre participantes competitivos.

Laffont (1997) defende a facilidade da utilização dos leilões, primeiramente, por causa das regras do jogo ser bem definidas, os dados enriquecedores para o aprendizado do jogo, bem como a simplicidade para fazê-los públicos.

O mecanismo de venda por meio de leilões é composto por lances de cada participante, pela regra de alocação que envolve a distribuição de probabilidades sobre o conjunto de participantes, e pela regra de pagamento (KRISHNA, 2002).

Krishna (2002) fundamenta os métodos de formação de preços, por meio da teoria dos leilões, com a atuação direta dos compradores e vendedores na formação deste preço. Dessa forma é verificada, segundo Klemperer (1999), a relação entre a teoria dos leilões e os mercados competitivos, bem como a precificação nos monopólios e oligopólios¹.

Quando se leiloam produtos e o preço máximo é estabelecido, chama-se este de preço de reserva. Segundo Dekrajangpetch e Sheblé (2000), o preço de reserva é apenas empregado nas situações em que os participantes (compradores ou vendedores) determinam os preços a fim de

¹Existência de poucos fornecedores em que cada um deles detém uma parcela grande do mercado.

assegurar que os outros participantes não o determinem, garantindo, portanto, um preço aceitável para a aquisição do bem leiloado. Em leilões de energia elétrica no Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é que determina qual o preço de reserva, e este é definido no edital do leilão.

Os bens ou produtos, segundo Rasmusen (2001), são classificados de acordo com as diversas avaliações que os compradores detêm de tal bem. Para tanto, os bens são considerados como de valor comum, de valor privado e de valor correlato. Os bens de valor comum são aqueles em que os licitantes possuem valores idênticos, mas cada licitante faz uma estimativa da sua avaliação, baseada em informação privada. Os bens de valor privado são os que o licitante possui um valor definido para o bem em leilão, ao qual ele chegou sem a interferência de outros licitantes e sem que ele possa se basear num preço de revenda, pois para um licitante o valor privado equivale à sua avaliação. Enquanto os bens de valores correlatos são aqueles em que as avaliações dos diferentes licitantes são correlacionadas, apesar de eles possuírem valores diferentes para o bem.

Segundo Krishna (2002), para diversas unidades de um mesmo produto, assume-se a característica de substitutos quando o valor marginal unitário diminui à medida em que o participante aumenta a aquisição dessas unidades. Para esses bens, a soma de suas utilidades individuais são iguais a soma de suas utilidades conjuntamente, como demonstrado pela Equação 3.1.

$$U(A) + U(B) = U(A \cup B) \quad (3.1)$$

onde U é a utilidade e A e B os bens.

Ao contrário, os bens são considerados complementares, quando o valor marginal obtido por uma unidade aumente em conformidade com a quantidade de bens já adquiridos pelo participante. A Equação 3.2 demonstra que a soma das utilidades conjuntas dos bens é maior que a soma individual de suas utilidades. Dessa forma, a natureza dos bens tende a demonstrar as preferências dos participantes.

$$U(A) + U(B) \leq U(A \cup B) \quad (3.2)$$

onde U é a utilidade e A e B os bens.

Como exemplo de bens complementares, no setor elétrico, tem-se a visão pelo lado da oferta por meio de diferentes fontes de energia, como é o caso de empreendimentos de fonte hídrica e empreendimentos de fonte eólica, em que a correlação da sazonalidade é negativa, ou seja, o pe-

ríodo de chuvas é inverso ao de ventos. Dessa forma, a aquisição de bens complementares impacta positivamente na receita.

A complementaridade pode ser notada, também, pela aquisição de bens a fim de redução de custos de investimentos, como é o caso do aproveitamento do Rio Madeira em Porto Velho, no estado de Rondônia. A UHE de Santo Antônio e a UHE de Jirau, que estão sendo construídas, marcam o início do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira (ANEEL, 2010a). A complementaridade, neste caso, se dá pela localização dos empreendimentos, como ilustrado pela Figura 3.3. Entretanto, a correlação da sazonalidade desses empreendimentos é positiva, ou seja, em períodos de seca, a receita é negativamente impactada.

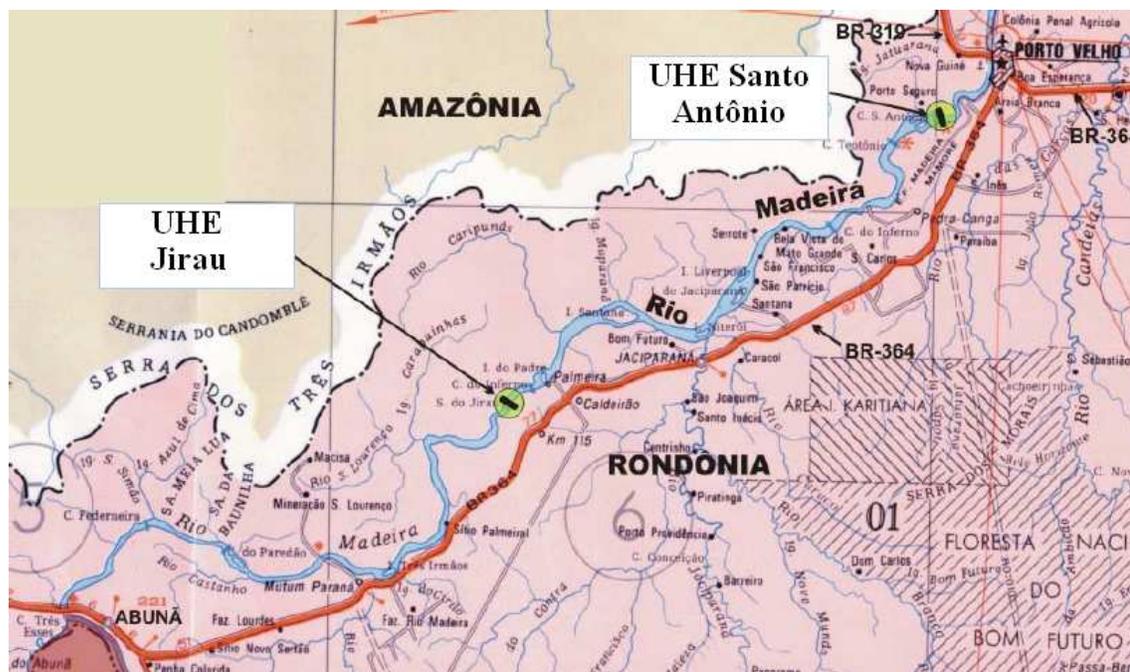


Figura 3.3 - Aproveitamento do Rio Madeira - RO.

Fonte: ELETROBRAS (2010).

Para explicar melhor os mecanismos de leilões, esses foram classificados quanto à sua estrutura tais como: a natureza do leilão (oferta, demanda ou duplo); os tipos dos lances (abertos ou fechados); e a determinação do preço de fechamento (uniformes ou discriminatórios).

Silva (2003) define os agentes como leiloeiro e participantes. O leiloeiro é o agente que compra em um leilão de demanda, ou vende em um leilão de oferta; ou aquele que compra e vende, ou apenas coordena o leilão no caso de leilões duplos. É função do leiloeiro escolher o formato do leilão e definir suas regras de funcionamento, aceitação de lances e determinação do vencedor.

Os participantes são os agentes que irão disputar entre si a oportunidade de fazer negócio com o leiloeiro; esses devem aceitar a dinâmica do leilão, de forma irrestrita, e realizar os lances de acordo com sua estratégia.

As interações de um leilão são influenciadas pelas ações de todos nele envolvidos. O leiloeiro influi ao escolher o formato do leilão e determina quais informações serão fornecidas ao participante, motivando assim as estratégias de cada jogador. O juízo de valor acerca do bem e as estratégias dos lances de cada participante determinam o preço de fechamento (SILVA, 2003).

3.3.1 Natureza

Os leilões se caracterizam, também, a partir de sua natureza; são leilões simples (oferta e demanda) ou leilões duplos, conforme ilustrados na Figura 3.4. Nos leilões simples, os bens são negociados pelo leiloeiro, com vários interessados em vender ou comprar o bem. Em leilões duplos, o leiloeiro age como coordenador da negociação, pois os compradores e os vendedores manifestam seus lances e o leiloeiro se encarrega em identificar e agrupar os pares que são possíveis para negociação, conforme a conveniência do leilão (SILVA, 2003).

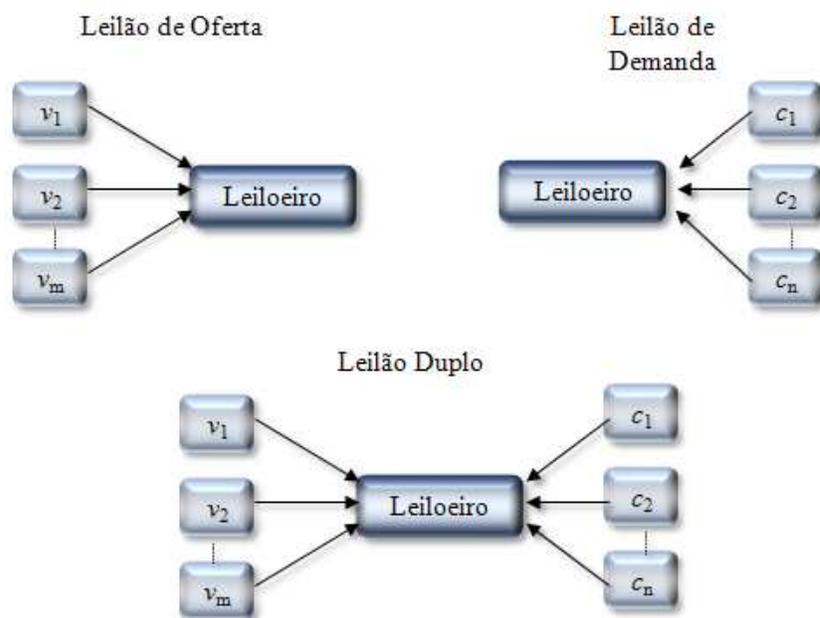


Figura 3.4 - Natureza dos leilões - oferta, demanda e duplo.
 Fonte: Elaboração própria, adaptado de Silva (2003).

Nos leilões de oferta, os vendedores fazem lances de oferta para vender um bem que o leiloeiro, ou demandante, pretende adquirir pelo menor preço. O leiloeiro pode fixar um preço de reserva acima do qual o bem não é adquirido. Ganha o participante que fizer o menor lance de oferta, desde que seu lance seja menor do que o preço de reserva. Em um leilão de demanda, os compradores fazem lance para comprar um bem que o ofertante pretende vender pelo maior preço. Vence o participante que fizer o maior lance de demanda, desde que seu lance seja maior do que o preço de reserva (MASILI, 2004).

Dekrajangpetch e Sheblé (2000) definem leilão duplo quando os vendedores fazem lances de oferta e os compradores fazem lances de demanda simultaneamente. O preço de fechamento desse leilão é estabelecido no intervalo entre os lances de oferta e demanda, dependendo das regras estabelecidas. O leilão duplo pode ser caracterizado pela existência ou não de agentes identificados, ou seja, os agentes podem negociar entre si, ou por intermédio de um leiloeiro.

3.3.2 Lances

No que compete aos lances, Wolfstetter (1999) os distingue, inicialmente, em leilões orais (abertos) e escritos (fechados). Os leilões abertos, ou também conhecidos como leilões de múltiplas rodadas, de acordo com o autor, via de regra são realizados oralmente, ou através de programas de computadores. A sistemática em um leilão aberto se dá por lances sequenciais, em que cada participante pode, a cada iteração, melhorar o lance imediatamente anterior.

Normalmente, em leilões abertos, os lances são descendentes quando se trata de natureza de oferta, e ascendentes quando a natureza é de demanda. Ganha o participante que fizer o melhor lance, após o leilão ser encerrado, geralmente quando nenhum lance é apresentado dentro de um intervalo de tempo pré-determinado. Esse formato de leilão é conhecido como Leilão Inglês (KLEMPERER, 1999).

Conforme Silva (2003), como os participantes e os lances, neste tipo de leilão, são de conhecimento público, existe a possibilidade de se alterarem os lances em função das estratégias e comportamentos de seus opositores, o que garante um maior grau de competição entre os participantes.

Porém, se o bem for subestimado pelos participantes, pode haver assimetria de informação; assim um jogador pode ganhar um leilão com um lance muito inferior ao seu valor de oportunidade. Há também, a assimetria de poder de mercado, que ocorre quando um participante desenvolve sua estratégia para tolher os demais (MILGROM; WEBER, 1982). O mecanismo para evitar esse problema é a utilização de um incremento mínimo a cada iteração, estabelecido pelas regras do leilão.

Entretanto, garantindo a competição, com regras bem estabelecidas, esse tipo de leilão pode ser eficiente, pois o preço de fechamento tende a ser o custo de oportunidade do ganhador. A estratégia básica em leilões abertos é melhorar o lance sequencialmente, até que o leilão seja ganho, ou o valor de oportunidade seja alcançado (ETHIER et al., 1999).

No leilão fechado, os participantes fazem suas ofertas, simultaneamente, através de um envelope fechado. Ganha o participante que fizer o melhor lance, caso o preço de reserva tenha sido respeitado. Os participantes e seus lances não são de conhecimento público (WOLFSTETTER, 1999). Portanto tem-se que o leilão fechado é um jogo estratégico, enquanto que o leilão aberto é

um jogo dinâmico.

Conforme Ethier et al. (1999), o leilão fechado equivale ao Leilão Holandês, em que o preço inicial é fixado por um valor muito maior ao seu valor de oportunidade e, no decorrer das iterações, os preços são reduzidos continuamente. Nesse tipo de leilão, não há a possibilidade de aprendizado, pois os lances são definidos de acordo com o valor de oportunidade que o participante atribui ao bem.

Segundo Sheble (1999), o Leilão Holandês requer uma avaliação do mercado e do valor do bem leilado, pois, ao se descuidar dessa avaliação *ex-ante*, aumenta a chance do agente não conseguir concretizar a negociação.

Perry et al. (2000) analisam um leilão fechado de dois estágios que é frequentemente empregado em privatizações. Esse formato de leilão produz sempre o mesmo rendimento esperado do leilão ascendente, mas é menos suscetível a lances que envolvem preempção² e colusões³.

3.3.3 Preços de fechamento

O preço de fechamento nos leilões é aquele pelo qual o bem é negociado e que serve como referência de preço para o mercado. Silva (2003) caracteriza os leilões pela formação do preço de fechamento do bem leilado, podendo ser de primeiro ou segundo preço, uniforme ou discriminatório, bem como pela forma dos lances oferecidos que podem ser abertos ou fechados.

No leilão de primeiro preço, o participante oferece o melhor lance e ganha o leilão pagando pelo bem o valor do lance ganhador. Vicrey (1961) propôs o leilão de segundo preço, em que ganha o leilão o participante que oferecer o melhor lance, porém, paga-se pelo bem o valor do segundo melhor lance.

²É a cláusula contratual que impõe ao comprador a obrigação de, antes de alienar o bem comprado, oferecê-lo ao vendedor de quem o obteve, tendo este, preço por preço, para que use do seu direito de preferência para readquiri-la, com exclusão dos outros interessados (BRASIL, 2002).

³Baseia-se no conjunto de empresas que firmam acordos estratégicos, em relação ao preço, com a finalidade de maximizar os lucros e, segundo Bikhchandani e Huang (1989), para qualquer formato de leilão pode ocorrer colusão.

Preço uniforme

Os preços de fechamento uniformes definem o mesmo pagamento para todos os participantes. Proposto inicialmente por Friedman (1960), as propriedades teóricas desse leilão são excelentes em um cenário simplista. Porém, segundo Ethier et al. (1999), o leilão de preço uniforme tem boas, mas não excelentes propriedades na prática. Esse tipo de leilão, para o setor elétrico, por exemplo, poderia, potencialmente, elevar os preços da energia e reduzir a eficiência abaixo dos níveis teoricamente atingíveis.

O preço de fechamento uniforme pode variar a cada iteração entre os preços do último comprador e vendedor que realizaram a transação no leilão. A Figura 3.5 considera um leilão de energia elétrica de natureza dupla e com o preço de fechamento uniforme, em que os vendedores estão arranjados em ordem crescente, e os compradores se encontram em ordem decrescente. Os últimos compradores e vendedores a realizarem a transação definem o preço de fechamento do leilão.

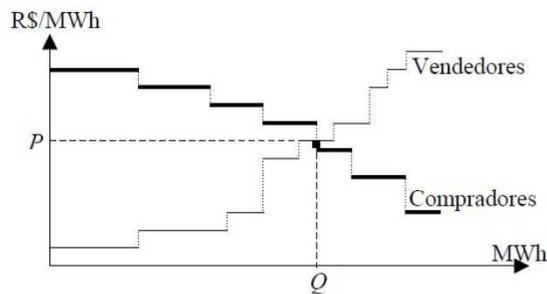


Figura 3.5 - Preço de fechamento uniforme.

Fonte: Silva (2003).

O eixo das abscissas representa a quantidade de energia negociada Q e o eixo das ordenadas representa o preço de fechamento P . Cada curva crescente, para os vendedores, e decrescente, para os compradores, representam o lance efetuado no leilão. O ponto de intersecção das curvas identifica o preço de fechamento P e a quantidade de energia negociada no leilão Q . A quantidade negociada não é a máxima possível, porém é a máxima quando se determina que o preço deve ser uniforme.

Preço discriminatório

No leilão discriminatório, cada participante paga o valor de seu lance pelo produto requerido. Esse leilão tende a desencorajar a utilização de poder de mercado através de uma maior visibilidade de preços. Hudson (2000) alega que o leilão discriminatório também tem o potencial de reduzir casos de fixação estratégica de capacidade, acentuando a confiança no sistema.

O preço discriminatório pode ser considerado em duas formas, segundo Silva (2003). Primeiro, como preço único para cada transação compreendida na iteração de cada lance de preço do par vendedor e comprador envolvidos. Nesse caso, o excedente de cada transação é repartido entre os envolvidos no negócio. Outra forma é o preço diferenciado para as duas partes, ou seja, o preço que o vendedor recebe é diferente do preço que o comprador paga, para um determinado par de compradores e vendedores que realizaram a transação. O excedente, neste caso, fica de posse do leiloeiro, visto que cada parte na negociação paga seu próprio lance.

A Figura 3.6 ilustra o preço de fechamento discriminatório, que difere da Figura 3.5, pois os preços de fechamento são indicados em cada negociação realizada. O preço médio apresentado no gráfico demonstra a utilidade média da energia para os agentes. Verifica-se então, que existem preços discriminatórios no leilão e preços uniformes nas transações isoladas; assim, os excedentes gerados beneficiam igualmente os compradores e os vendedores.

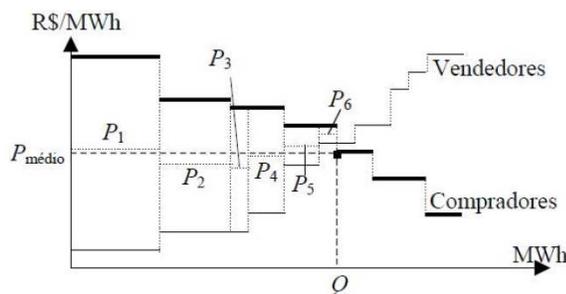


Figura 3.6 - Preço de fechamento discriminatório.

Fonte: Silva (2003).

Mount (1999) demonstra que o uso de preço de fechamento discriminatório em leilões, em que geradores recebem pelos seus próprios lances, pode ser a melhor forma de se projetar um leilão no mercado de energia elétrica, pois a curva de demanda é praticamente inelástica, enquanto a curva de oferta possui uma elasticidade de preço grande. Consequentemente, a incerteza com relação à

carga é amortecida ao se usar o leilão com o preço de fechamento discriminatório.

3.3.4 Teorema da equivalência

O teorema de equivalência de receita, de acordo com McAfee e Mcmillan (1987), garante que o valor esperado para o vendedor seja o mesmo para qualquer formato de leilão, desde que - considerando-se um bem único e indivisível - os valores de diferentes participantes estejam distribuídos de forma independente, os participantes ofereçam lances simétricos e sejam neutros ao risco. Wolfstetter (1999) e Klemperer (2000) acrescentam ainda a essas condições o fato de nenhum participante ser capaz de exercer poder de mercado.

Segundo Chakravarti et al. (2002), sob a ótica do vendedor, qualquer mecanismo de leilão maximiza a receita, uma vez sejam atendidas as condições para a equivalência (de receita) e complementadas pelo preço de reserva ótimo. Este é que determina o valor mínimo ou máximo pelo qual o bem pode ser adquirido.

3.3.5 Maldição do ganhador

Varian (2000) afirma que nos leilões de bens de valor comum, cada participante pode ter uma estimativa diferente, pois se baseiam em informações distintas que compõem tal valor.

Kagel e Levin (2001) avaliam que o fenômeno da maldição do ganhador se deve ao fato de os participantes embasarem seus lances apenas em suas próprias estimativas, desconsiderando a dos demais participantes. Embora essa estimativa individual possa estar correta, em geral, não se leva em consideração que o participante que obtiver a melhor estimativa em relação ao bem, ganha o leilão.

Dessa forma, de acordo com Thaler (1988), o ganhador do leilão pode ser amaldiçoado de duas maneiras. A primeira, quando o valor pago é maior que o valor do bem em leilão, obtendo prejuízo. A segunda, quando o valor do bem em leilão é menor que a estimativa do ganhador, ou

seja, o resultado financeiro é menor que o esperado. Em ambos os casos, o ganhador do leilão fica insatisfeito com o resultado obtido.

Dois principais fatores aumentam a variância das estimativas e dos lances e, assim, influenciam para que ocorra a maldição do vencedor: o grau de incerteza em relação ao valor do bem leiloadado e o número de participantes. Portanto, quanto mais dispersas as estimativas e valores dos lances acerca do bem, maior será a probabilidade de que o ganhador ofereça um lance que exceda o valor real do bem (BAZERMAN; SAMUELSON, 1983).

3.4 Formatos dos leilões

Para se criar uma sistemática de leilões adequada, deve-se considerar e combinar os diversos elementos anteriormente citados, porém o que se deve observar, cuidadosamente, é a formatação, que pode ser caracterizada como sequencial, simultânea, combinatória ou híbrida. Esses formatos de leilão são discutidos nas subseções seguintes.

3.4.1 Leilão sequencial

Este tipo de leilão é aquele em que os bens são leiloados individualmente para cada iteração, seguindo, dessa forma, uma ordem pré-definida; ou seja, após a identificação do ganhador e a definição do preço de fechamento de um determinado bem é que se inicia o leilão do próximo produto. Conforme Krishna (2002), os leilões sequenciais podem ser de primeiro ou segundo preço.

Nos leilões sequenciais de primeiro preço, é observado que não existe a oportunidade de arbitragem intemporal, ou seja, esperar por uma próxima unidade não muda a expectativa de alteração no preço nas rodadas subsequentes. Isso ocorre, pois as estratégias de equilíbrio são funções crescentes do valor de lance; dessa forma, os itens são vendidos por valores decrescentes. O primeiro item será do licitante que ofertou o maior valor; o segundo, do licitante que ofertou o segundo maior valor, e assim por diante. Neste caso, os produtos leiloados serão alocados de forma eficiente

(KRISHNA, 2002).

Ainda segundo Krishna (2002), os leilões sequenciais de segundo preço se assemelham aos leilões sequenciais de primeiro preço, pois também não muda a expectativa de alteração de preço em rodadas futuras. Observa-se que os participantes apostam um valor mais alto neste tipo de leilão, porém a estratégia dominante de apostar o próprio valor está presente apenas na última rodada. Isso ocorre para qualquer rodada, pois, há uma opção associada em não ganhar o leilão corrente, dada a esperança de ganhar o leilão num período posterior. Contudo, as estratégias nos leilões sequenciais de segundo preço são consideradas ótimas somente se todos os demais participantes a adotarem (KRISHNA, 2002).

Em leilões sequenciais, segundo Ashenfelter (1989), observa-se o fenômeno da anomalia de declínio dos preços, pois foi evidenciado na prática que os preços, nesse formato de leilão, tendem a cair. Porém, McAfee e Vincent (1993) ao estudarem esse fenômeno, aplicando a teoria de aversão ao risco, constataram que, de fato, essa anomalia ocorre, somente, se a aversão dos participantes ao risco aumentar com o decorrer do tempo.

3.4.2 Leilão simultâneo

Segundo Cramton et al. (2006), o mecanismo de leilão simultâneo foi proposto por Paul Milgrom, Robert Wilson e Preston McAfee, direcionado, inicialmente, para a venda de bens divisíveis nos mercados de eletricidade e gás. O modelo consiste na venda de múltiplos bens leiloados concomitantemente.

Esse formato caracteriza-se pelo fato de todos os bens estarem associados aos seus preços e expostos simultaneamente; dessa forma, os participantes podem concorrer a qualquer um deles ao mesmo tempo. O final do leilão ocorre ao se obter o melhor lance, identificando-se, assim, o vencedor e o preço de fechamento. A motivação para esse tipo de leilão é a relação observada pelos participantes sobre os preços que os bens podem ter, sendo substitutos ou complementares (CRAMTON et al., 2006).

Ausubel e Cramton (2002) incorporaram ao leilão simultâneo o mecanismo de *clock*, denominando de *Clock Auction*, o qual utiliza o fator tempo para submissão de lances. Dessa maneira,

é possível observar a flexibilidade gerada: para os compradores, verifica-se a oportunidade de alteração de bens; e para os vendedores, que objetivam a eficiência e a maximização de receitas, obtém-se a oferta ajustada pelo mercado.

O mecanismo *Clock Auction* utiliza etapas discretas. Primeiro, por serem robustas em relação ao problema de comunicação, uma vez que a janela de lances tem uma duração significativa, proporcionando aos participantes tempo para corrigir qualquer tipo de problema de comunicação. Segundo, uma etapa discreta melhora a descoberta do preço, ao dar aos participantes a oportunidade para analisarem suas ações entre as etapas (AUSUBEL; CRAMTON, 2002).

3.4.3 Leilão combinatório

Cramton et al. (2006) definem leilões combinatórios como aqueles em que os participantes submetem seus lances a um conjunto de combinações dos bens, denominado pacote, bem como aos bens, individualmente. Para identificação dos ganhadores e dos preços de fechamento, são utilizadas técnicas de otimização combinatória e programação matemática.

A análise consiste em avaliar se a oferta de um pacote é melhor que a soma dos lances individuais para cada bem que compõe o pacote; caso positivo, os bens são vendidos como um pacote (CRAMTON et al., 2006).

A principal vantagem do leilão combinatório, segundo Cramton et al. (2006), é que o participante pode manifestar plenamente suas preferências, o que leva a uma maior eficácia econômica e maiores receitas para o leilão. Isso ocorre, pois, muitas vezes o participante está disposto a ofertar valores muito maiores por dois ou mais produtos conjuntos do que a soma dos seus valores individuais, já que, para os fins do interessado, os bens são complementares e juntos podem gerar uma receita maior.

Os leilões combinatórios vêm sendo empregados pelas mais diversas áreas, como, por exemplo, transporte de carga por caminhões, rotas de ônibus, além de contratos industriais. Têm sido propostos, também, para o uso em tráfego aéreo, assim como na alocação do espectro de rádio para serviços de comunicação sem fio. Para cada caso, a motivação principal para o uso do leilão combinatório é a presença de complementaridades entre os itens que podem diferir entre os participantes

(CRAMTON et al., 2006).

Ausubel e Milgrom (2002) propuseram um leilão combinatório conhecido com leilão ascendente de *Ausubel-Milgrom*, que consiste num leilão de ofertas discretas e os lances denominados em termos de uma unidade monetária mínima.

Para qualquer rodada, um participante pode oferecer lances em qualquer pacote. Em cada iteração, os lances são realizados simultaneamente. Ao final de cada rodada, o leiloeiro define o conjunto de lances provisoriamente vencedores ⁴. Na última rodada, o leiloeiro escolhe uma alocação que maximiza a receita. O leilão termina caso não exista melhoria nos lances (KRISHNA, 2002).

O leilão combinatório *proxy* ascendente é um mecanismo direto do leilão de *Ausubel-Milgrom*, em que cada participante submete um vetor de lances a um *proxy* (representante) que efetua os lances. Esse tipo de leilão combinatório permite que os participantes tenham restrições orçamentárias, encontrando o ponto ótimo do participante em sua essência de acordo com as preferências citadas (CRAMTON et al., 2006).

Ausubel, Cramton e Milgrom propuseram o leilão *clock-proxy* como um *design* combinatório prático. A fase *clock* é seguida pela rodada final *proxy*. Essa combinação associa a simples e transparente descoberta de preços do leilão *clock* com a eficiência do leilão *proxy*. Com relação ao modelo simultâneo ascendente, este possui uma série de vantagens, como por exemplo, a ausência do problema da exposição, a eliminação dos incentivos de redução da demanda, bem como a prevenção de estratégias colusivas. Sem a fase final *proxy*, os autores apresentam um leilão combinatório iterativo que pode ser implementado como um simples leilão *clock*, evitando os problemas computacionais complexos num processo com alta descoberta de preços (CRAMTON et al., 2006).

Problema de alocação de produtos

O problema de alocação de produtos encontrado nos leilões combinatórios se deve à dificuldade em se atribuir, de forma eficiente, um único produto a um único participante. Portanto, estudos

⁴Os lances provisoriamente vencedores são aqueles que maximizam a receita, respeitando-se as restrições. A cada participante é associado, no máximo, um lance provisoriamente ganhador e, também, um único produto (KRISHNA, 2002).

demonstram que, para se determinar uma alocação eficiente para esse problema, é necessário resolver um problema de programação inteira (PI).

A programação inteira é um caso particular de otimização, no qual as variáveis assumem valores inteiros ou discretos. Um subconjunto desta classe de programação ocorre quando as variáveis de um problema estão restritas aos valores 0-1, mais conhecido como programação binária (booleana), ou zero - um. Esse tipo de programação é utilizado para indicar a ocorrência ou não de um evento na otimização da função objetivo (atribui-se 1 quando um evento ocorre e 0 quando o evento não ocorre (WOLSEY; NEMHAUSER, 1999)).

Conforme Krishna (2002), para se determinar o pagamento de cada participante, um problema similar de alocação deve ser resolvido, uma vez que o participante em questão for removido do sistema. Se cada participante recebe ao menos um produto, isso significa que outros n problemas de alocação adicionais devem ser resolvidos.

Uma metodologia utilizada para resolver esse problema de alocação é o problema de *set-packing*. Esta metodologia faz parte de uma classe de problemas de programação combinatória pertencentes à família dos problemas *NP-hard*. Ou seja, problemas não polinomiais complexos, que consistem em encontrar soluções que minimizem o problema de cobrir um conjunto de necessidades com o menor custo possível. Também pode-se entender como o problema de encontrar o mínimo de subconjuntos que contenham todos os elementos de um subconjunto dado, com a finalidade de minimizar algum valor (WOLSEY; NEMHAUSER, 1999).

Ainda segundo Wolsey e Nemhauser (1999), o *set-packing* trabalha com subconjuntos de um dado conjunto, visando maximizar o peso do empacotamento restrito à aparição de cada elemento apenas uma vez, ou seja, cada elemento é único.

O problema de *set-packing* generalizado é caracterizado através do seguinte problema de programação inteira:

$$\text{Max } \sum_{j=1} l_j y_j \quad (3.3)$$

$$\text{s.a. } Ay = b \quad (3.4)$$

$$y \in \{0,1\} \quad (3.5)$$

onde, l é o lance, A a matriz booleana, b o vetor de inteiros e y a variável booleana.

A restrição necessária do problema de *set-packing* é descrita pela Equação 3.6. Essa restrição garante que um certo conjunto de eventos possa ocorrer (WOLSEY; NEMHAUSER, 1999).

$$\sum_i y_i \leq 1 \tag{3.6}$$

O modelo trabalha com uma variável binária (que determina se um elemento será selecionado ou não para pertencer ao pacote) associada a um vetor de custos para seleção desse elemento.

4 METODOLOGIA

Este capítulo, considerando os conceitos apresentados no Capítulo 2 e Capítulo 3, tem por finalidade descrever a metodologia com que se pretende atingir o objetivo deste trabalho: avaliar uma nova sistemática para os leilões de novos empreendimentos de geração de energia elétrica.

Faz-se necessário, portanto, analisar algumas importantes questões ao se estabelecer uma formatação de leilões, a fim de se evitarem colusões, bem como garantir a eficiência do evento, impedindo que se atraiam poucos participantes ao leilão. Entre outros fatores, a credibilidade das regras, o preço de reserva e a estrutura de mercado devem ser considerados.

4.1 Sistemática atual de leilão de novos empreendimentos

A formatação recorrente dos mecanismos para realização dos leilões de novos empreendimentos de geração está disposta no Anexo I à Portaria de número 231, de 4 de julho de 2008, promulgada pelo Ministério de Minas e Energia.

O esquema do leilão, conforme ilustrado pela Figura 4.1, se constitui em duas fases. A primeira, estritamente para empreendimentos hídricos, garante o direito de participação para a segunda fase e é composta das etapas inicial e contínua. Os empreendimentos, nessa fase, são licitados individual e sequencialmente. A segunda fase é composta de uma etapa para empreendimentos hídricos e outra para empreendimentos de oferta de energia proveniente de outras fontes (térmicas e eólicas). Os lances durante toda a segunda fase deverão ser iguais ou inferiores ao lastro para venda de cada participante. Todas as etapas da segunda fase constituem-se de uma rodada uniforme e outra discriminatória (MME, 2008).

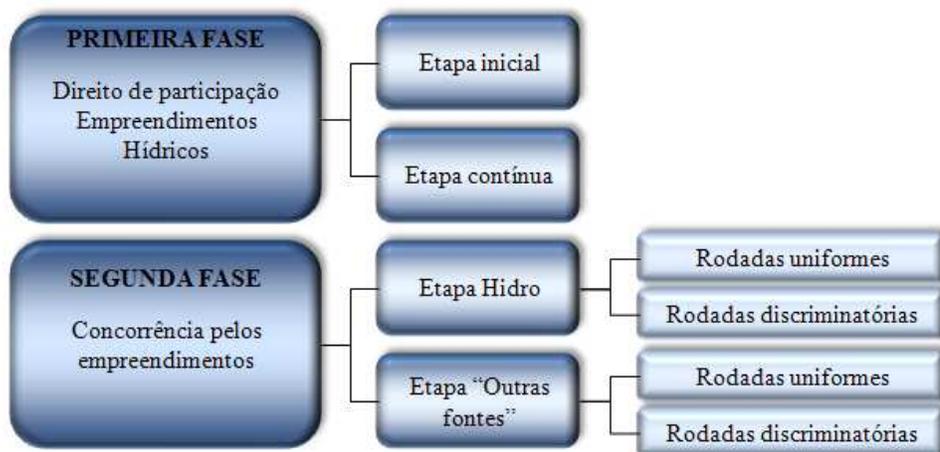


Figura 4.1 - Esquema geral da sistemática de leilões de novos empreendimentos.
 Fonte: Elaboração própria.

Em MME (2008), o leilão se inicia pelos empreendimentos hídricos, sendo estabelecido para cada um deles um preço máximo, assim como a demanda e oferta de referência. Nessa fase, os concorrentes submetem um lance único para cada empreendimento, devendo este, ser menor ou igual ao “preço de lance”.

O “preço de lance” para a primeira fase da rodada inicial é aquele que se compreende entre o “preço teto” da primeira fase - valor limite previamente definido pelo MME, expresso em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh) - e o “preço de referência” - valor máximo de cada empreendimento previamente definido pelo MME e calculado pela EPE, expresso em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh) (MME, 2008).

Concorrem na etapa contínua o participante que submeter o menor “preço de lance” e os participantes cujas propostas não sejam superiores a cinco por cento do menor preço de lance submetido. A progressão dos “preços de lances” na etapa contínua é calculada pela subtração do “preço corrente” (último menor lance) pelo decremento mínimo da primeira fase (MME, 2008).

Na “segunda fase”, conforme ilustrado no Algoritmo 4.1, na etapa de empreendimentos hídricos, têm-se os “lances” submetidos por quantidade de lotes - montantes de energia elétrica igual a 1,0 MW médio, que representa a menor parcela de um produto - de forma uniforme, associados ao “preço de lance”, que é calculado pela subtração do “preço corrente” pelo decremento mínimo da segunda fase (MME, 2008).

Havendo um ponto de equilíbrio entre oferta e demanda em quantidade de lotes a um preço prefixado, o leilão segue para a “rodada discriminatória”, quando há um único lance de preço

associado à quantidade de lotes classificada para essa iteração (MME, 2008).

Para a etapa de empreendimentos de outras fontes, na segunda fase do leilão, o procedimento é análogo à etapa hídrica da segunda fase, pois, possui as iterações uniformes para negociar quantidades de lotes e uma rodada discriminatória com lances únicos de preço. O “preço de lance” para ofertas de outras fontes é constituído através do ICB. Ao final da rodada discriminatória da etapa de outras fontes, o leilão é encerrado (MME, 2008).

Algoritmo 4.1 Sistemática atual da segunda fase do leilão de novos empreendimentos.

Inserir: P_L, P_C, d^I, d^{II}

- 1: Inicia a etapa de fontes hidroelétricas
 - 2: **enquanto** Existe oferta para empreendimentos hidroelétricos = true **faça**
 - 3: Calcula a demanda de referência hidroelétrica
 - 4: **retorna** Demanda de referência hidroelétrica
 - 5: Calcula a oferta de referência hidroelétrica
 - 6: **retorna** Oferta de referência hidroelétrica
 - 7: $P_L = P_C - d^I$ {Calcula o novo preço de lance}
 - 8: **se** $QuantidadeOfertada \geq OfertaReferencia$ **então**
 - 9: Calcula a demanda de referência hidroelétrica
 - 10: **retorna** Demanda de referência hidroelétrica
 - 11: Calcula a oferta de referência hidroelétrica
 - 12: **retorna** Oferta de referência hidroelétrica
 - 13: $P_L = P_C - d^I$ {Calcula o novo preço de lance}
 - 14: **fim se**
 - 15: Inicia a rodada discriminatória para empreendimentos hidroelétricos
 - 16: **fim enquanto**
 - 17: Inicia a etapa de outras fontes
 - 18: Calcula a demanda de referência de outras fontes
 - 19: **retorna** Demanda de referência de outras fontes
 - 20: Calcula a oferta de referência de outras fontes
 - 21: **retorna** Oferta de referência de outras fontes
 - 22: $P_L = P_C - d^{II}$ {Calcula o novo preço de lance}
 - 23: **se** $QuantidadeOfertada \geq OfertaReferencia$ **então**
 - 24: Calcula a demanda de referência de outras fontes
 - 25: **retorna** Demanda de referência de outras fontes
 - 26: Calcula a oferta de referência de outras fontes
 - 27: **retorna** Oferta de referência de outras fontes
 - 28: $P_L = P_C - d^{II}$ {Calcula o novo preço de lance uniforme}
 - 29: **fim se**
 - 30: Inicia a rodada discriminatória para empreendimentos de outras fontes
-

4.2 Sistemática avaliada

Para o presente trabalho, o leilão foi dividido em duas etapas aplicáveis à segunda fase da sistemática atual. A primeira etapa utiliza a teoria dos leilões simultâneos, considerando o mecanismo *clock*; já a segunda emprega a teoria dos leilões combinatórios, conforme ilustrado pelo Algoritmo 4.2. Para ambas as etapas, os lances de cada participante, para cada empreendimento ou pacotes de empreendimentos, devem atender às restrições estabelecidas pelo leiloeiro.

Algoritmo 4.2 Sistemática simultânea-combinatória para segunda fase do leilão de novos empreendimentos.

Inserir: P_L, P_C, d^I, d^{II}

- 1: Inicia a etapa simultânea
 - 2: **enquanto** Existe oferta = true **faça**
 - 3: $P_L \leq P_C$ {Calcula o novo preço de lance simultâneo}
 - 4: **se** $Tempo \geq t_1$ **então**
 - 5: $P_L \leq P_C$ {Calcula o novo preço de lance simultâneo}
 - 6: **fim se**
 - 7: **fim enquanto**
 - 8: Monta os pacotes individuais da etapa simultânea
 - 9: **retorna** Pacotes da etapa simultânea
 - 10: Inicia a etapa combinatória
 - 11: **enquanto** Existem novos pacotes = false and $Tempo \geq t_2$ **faça**
 - 12: Otimizar os pacotes
 - 13: **fim enquanto**
 - 14: **retorna** Vencedores
 - 15: **retorna** Preço de fechamento
-

A primeira etapa é iniciada com o preço mínimo de cada produto, sendo este o preço de reserva individual (em R\$/MWh) para cada empreendimento, conforme definido pela ANEEL.

Todos os produtos são leiloados concomitantemente; desse modo, o preço de lance de cada participante deverá ser igual ou inferior ao preço de abertura (ANEEL, 2004b). Para cada iteração, o preço corrente de lance é aquele que corresponde ao menor preço do lance da rodada anterior para cada produto, representado pela Equação 4.1,

$$P_i^{z+1} \leq Pmin_k^z \quad (4.1)$$

onde P é o preço de lance, z a rodada e k o empreendimento.

Essa etapa se encerra quando todos os empreendimentos ficarem com os preços de lances sem

sofrerem decréscimos por um tempo t_1 determinado. Cada lance oferecido é considerado válido, não podendo o participante retirar a oferta realizada.

A partir das informações adquiridas nessa etapa, são preparados, automaticamente, pacotes com produtos individuais, contendo o empreendimento e o preço de lance ofertado para cada um dos participantes, ou seja, é criado um pacote para cada empreendimento ofertado.

A segunda etapa se inicia, imediatamente, após o término da primeira. Os participantes, então, podem preparar outros pacotes (que serão compostos de combinações de empreendimentos), configurando-os de acordo com seus interesses e ofertando lances fechados para cada um deles durante um tempo t_2 determinado.

A identificação dos ganhadores e dos preços de fechamento, na segunda etapa, é determinada através do método de PI (demonstrado pelo modelo matemático descrito nas seções abaixo) que visa minimizar os valores dos lances relacionados a cada pacote.

4.3 Modelo matemático

Os problemas decisórios, ou seja, aqueles que envolvem diversas alternativas para se encontrar soluções, podem ser auxiliados através da otimização. A programação matemática visa aproximar o mundo matemático para se obter uma solução ótima do mundo real em que, normalmente, se alcançam soluções concretas.

A programação matemática consiste em, após a devida descrição do problema, defini-lo qualitativa e quantitativamente, traduzir esta definição do problema em um modelo matemático e resolvê-lo, obtendo assim uma solução ótima. Dessa forma, esta seção tem o intuito de modelar matematicamente a sistemática analisada na Seção 4.2.

4.3.1 Notação

Tem-se por objetivo, nesta seção, descrever as variáveis e constantes relacionadas ao problema de programação matemática:

- \mathbb{I} conjunto dos participantes;
- \mathbb{K} conjunto dos empreendimentos;
- \mathbb{J} conjunto dos pacotes de empreendimentos;
- D demanda total estabelecida;
- M participação máxima de mercado estabelecida;
- G_i garantia financeira do participante $i \in \mathbb{I}$;
- e_{ij} energia assegurada solicitada pelo participante $i \in \mathbb{I}$ para o pacote $j \in \mathbb{J}$;
- b_{ij} lance ofertado pelo participante $i \in \mathbb{I}$ para o pacote $j \in \mathbb{J}$;
- c_{ij} custo de investimento para o participante $i \in \mathbb{I}$ e pacote $j \in \mathbb{J}$;
- y_i^j variável booleana que indica se o participante $i \in \mathbb{I}$ ganhou o pacote $j \in \mathbb{J}$;
- A_i^{jk} matriz booleana que indica se o pacote $j \in \mathbb{J}$, do participante $i \in \mathbb{I}$, contém o empreendimento $k \in \mathbb{K}$.

O conjunto dos participantes (\mathbb{I}) contém todos os vendedores envolvidos no leilão e varia, portanto, de 1 a i . Da mesma maneira, são interpretados os conjuntos dos empreendimentos (\mathbb{K}) e o dos pacotes de empreendimentos (\mathbb{J}) que variam, respectivamente, de 1 a k e de 1 a j . As demais variáveis e constantes serão descritas na Subseção 4.3.2 e na Subseção 4.3.3.

4.3.2 Função-objetivo

A função-objetivo deste modelo adota como critério para o problema de programação matemática, a minimização dos valores dos lances relacionados a cada pacote de empreendimentos.

Por conseguinte, tem-se como leitura da Função 4.2 a minimização do somatório do produto da energia assegurada (de todos os empreendimentos definidos em um determinado pacote) multiplicada pelos lances atribuídos por cada um dos participantes. Considera-se que um determinado

participante ganhou, ou não, o pacote de empreendimentos através da variável booleana y_i^j , que ao assumir o valor 1, tem-se que o participante $i \in \mathbb{I}$ ganhou o pacote de empreendimentos $j \in \mathbb{J}$; porém, ao assumir o valor 0, resulta o contrário.

$$\text{Min} \sum_{i \in \mathbb{I}} \sum_{j \in \mathbb{J}} (e_{ij} b_{ij}) y_i^j \quad (4.2)$$

4.3.3 Restrições

As restrições nos problemas de programação matemática têm por objetivo impor limites às variáveis de otimização. Para o presente trabalho, foram identificadas as restrições de demanda, participação máxima de mercado, restrição financeira e unicidade, descritas a seguir.

Restrição de demanda

A restrição de demanda visa garantir o suprimento de energia elétrica conforme ditado pela ANEEL. Este é um dado incerto, posto que é estimado a partir do somatório das demandas, em MW, informado pelas distribuidoras.

A Restrição 4.3 define que o somatório da energia assegurada (dos empreendimentos contidos em cada pacote de todos os participantes) deve ser maior ou igual à demanda estimada, dado que o participante tenha ganho, ou não, tal pacote através da variável y_j^i .

$$\sum_{i \in \mathbb{I}} \sum_{j \in \mathbb{J}} e_{ij} y_i^j \geq D \quad (4.3)$$

Restrição de participação máxima de mercado

Com o intuito de garantir maior competição, foi inserida a restrição de limitação de mercado, o que impede a um determinado participante ganhar a totalidade dos empreendimentos, para não haver formação de monopólio. Essa participação é estimada como uma parcela da totalidade da demanda, em MW, e é definida pela Restrição 4.4.

$$\sum_{j \in \mathbb{J}} e_{ij} y_i^j \leq M \text{ para } i \in \mathbb{I} \quad (4.4)$$

Dessa forma, considerando-se que o pacote avaliado é vencedor através da variável booleana y_i^j , a restrição define que o somatório da energia assegurada (estipulada por um participante para cada pacote selecionado) deve ser menor ou igual ao compartilhamento de mercado previamente estipulado pelo leiloeiro.

Restrição de garantia financeira

A restrição de garantia financeira assegura que um comprador não ofereça lances que ultrapassem seu lastro financeiro, em reais (R\$), definido pela atual regulamentação, representando um por cento do custo de investimento para cada um dos empreendimentos, que são calculados pela EPE, dispostos no documento de habilitação técnica do empreendimento.

A Restrição 4.5 define que a soma do produto dos custos de investimento de cada pacote c_{ij} pela variável y_i^j (que indica se o pacote $j \in \mathbb{J}$ do participante i é vencedor)- multiplicado pelo percentual definido pela EPE como garantia - deve ser inferior ou igual à garantia financeira depositada G_i .

$$\sum_{j \in \mathbb{J}} 0,01 c_{ij} y_i^j \leq G_i \text{ para } i \in \mathbb{I} \quad (4.5)$$

Restrição de unicidade

A Restrição 4.6 determina que a soma de todos os empreendimentos, contidos em pacotes válidos na matriz A_{ij}^k de cada participante, deve ser menor ou igual a 1. Essa restrição visa garantir que um único empreendimento k seja vendido apenas para um comprador i em um único pacote j . Para tanto, é utilizado o método de PI do tipo *set-packing*, conforme citado na subseção 3.4.3.

$$\sum_{i \in \mathbb{I}} \sum_{j \in \mathbb{J}} A_{ij}^k y_i^j \leq 1 \quad (4.6)$$

A matriz A_{ij}^k , assim como a variável y_i^j , é definida como booleana. Ao se montar os pacotes de empreendimentos, o participante $i \in \mathbb{I}$ indica o valor 1, caso o empreendimento $k \in \mathbb{K}$ esteja contido no pacote $j \in \mathbb{J}$; e indica o valor 0, caso ocorra o contrário.

4.3.4 Formulação matemática

A formulação matemática é descrita conforme segue, condensando-se as variáveis, constantes, função-objetivo e restrições, citadas anteriormente, para a resolução do problema de programação matemática.

$$\text{Min} \sum_{i \in \mathbb{I}} \sum_{j \in \mathbb{J}} (e_{ij} b_{ij}) y_i^j \quad (4.7)$$

$$\text{s.a.} \sum_{i \in \mathbb{I}} \sum_{j \in \mathbb{J}} e_{ij} y_i^j \geq D \quad (4.8)$$

$$\sum_{j \in \mathbb{J}} e_{ij} y_i^j \leq M \text{ para } i \in \mathbb{I} \quad (4.9)$$

$$\sum_{j \in \mathbb{J}} 0,01 c_{ij} y_i^j \leq G_i \text{ para } i \in \mathbb{I} \quad (4.10)$$

$$\sum_{i \in \mathbb{I}} \sum_{j \in \mathbb{J}} A_{ij}^k y_i^j \leq 1 \text{ para } k \in \mathbb{K} \quad (4.11)$$

$$y_i^j \in \{0,1\} \text{ para } j \in \mathbb{J} \text{ e } i \in \mathbb{I} \quad (4.12)$$

5 ESTUDO DE CASO

Como método de investigação qualitativa, concentrando-se sobre o estudo da metodologia apresentada neste trabalho, fez-se necessária a utilização de um estudo de caso para que os resultados fossem facilmente analisados e compreendidos. Portanto, tem-se nesse capítulo o estudo de um leilão utilizando dados, não reais, estimados a partir da média dos resultados de leilões anteriores.

Para validação do modelo, foi avaliado um leilão de novos empreendimentos de energia elétrica contendo dez produtos, cinco participantes e a possibilidade de gerar vinte pacotes de produtos para cada participante.

Dos vinte pacotes construídos, dez são constituídos pelos produtos individuais ofertados na etapa simultânea, e os outros dez são estabelecidos pelos participantes, contendo a combinação desejada de produtos.

Os dados como demanda, compartilhamento de mercado e tempo para a etapa simultânea foram estimados como demonstrados pela Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - *Estudo de caso: dados do leilão.*

Demanda	1000 MW
Limitação de mercado	75 %
<i>Clock</i> etapa simultânea	5 min

Fonte: Elaboração própria.

As informações referentes aos empreendimentos constam na Tabela 5.2. No que se refere às garantias financeiras dos participantes, foram estimados valores como mostra a Tabela 5.3.

Tabela 5.2 - *Estudo de caso: dados dos empreendimentos.*

Produto	Custo de investimento (R\$)	Capacidade (MW)	Preço de abertura (R\$/MWh)
UHE 1	329.362.090,00	90	123,00
UHE 2	242.551.320,00	140	123,00
UHE 3	1.090.914.120,00	350	123,00
UHE 4	302.220.075,00	120	130,00
UHE 5	302.220.075,00	87	130,00
UHE 6	248.520.670,00	76	133,00
UHE 7	596.824.636,00	125	128,00
UHE 8	309.689.923,00	102	130,00
UHE 9	300.926.844,00	98	133,00
UHE 10	245.996.361,00	89	121,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.3 - *Estudo de caso: dados dos participantes.*

Participante	Garantia financeira (R\$)
Participante 1	40.761.081,13
Participante 2	41.363.461,64
Participante 3	41.162.668,14
Participante 4	41.564.255,14
Participante 5	41.765.048,64

Fonte: Elaboração própria.

5.1 Simulação

Segundo Shannon (1975), a simulação é um processo de desenvolvimento que representa um sistema real para conduzir experimentos de modelos, com o intuito de entender seu comportamento, bem como definir estratégias para sua operação.

Um modelo a ser simulado deve conter características como: transparência, proporcionando clareza aos usuários quanto às funcionalidades e hipóteses levantadas; flexibilidade, permitindo a simulação de várias circunstâncias; operacionalidade, baseando-se em fatores estritamente necessários para a determinação de soluções, evitando elementos excessivos; e robustez, apresentando resultados consistentes, sem distorções substanciais, ao se realizarem pequenas alterações no modelo avaliado (ARAÚJO, 1988).

A aplicação de um modelo real deve considerar lances ofertados por cada um dos partici-

pantes. Para fins deste estudo de caso, os lances de cada participante foram simulados para a etapa simultânea e combinatória, conforme ilustrado pela Figura 5.1.

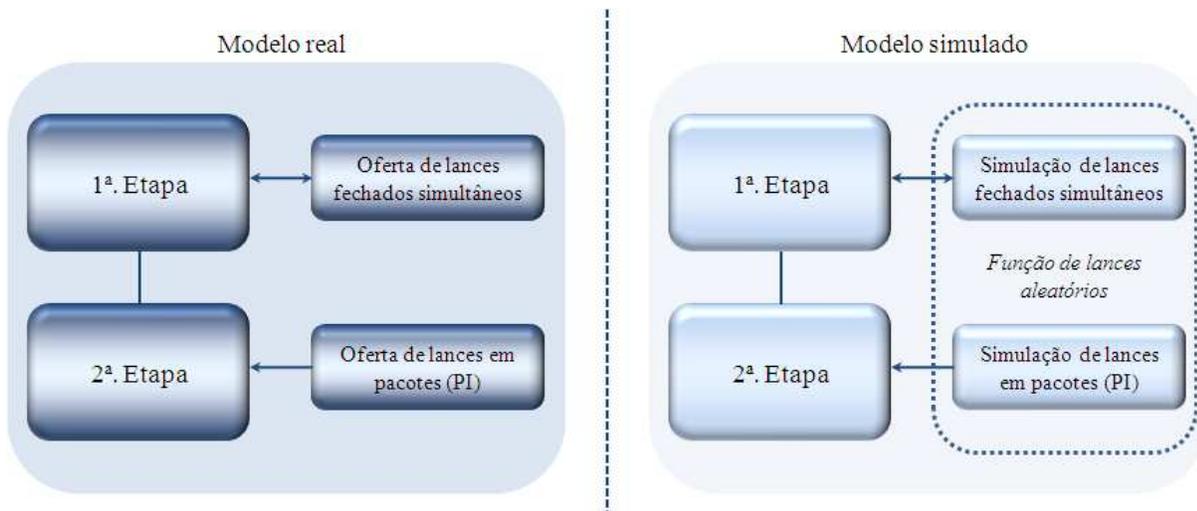


Figura 5.1 - Simulação dos lances.

Fonte: Elaboração própria.

A simulação para a etapa simultânea foi gerada através de uma função de programação aleatória que se fundamenta em promover lances inferiores ao lance corrente de cada produto através do método de Monte Carlo ¹, promovendo uma quantidade de trinta rodadas para essa etapa. Para a etapa combinatória foram simulados lances únicos para cada pacote montado.

5.1.1 Lances da fase simultânea

Os lances na fase simultânea foram gerados através de uma rotina desenvolvida para este fim. Tomou-se como premissa que os participantes possuem informações de custos semelhantes; dessa forma, a oferta de lances por parte dos diferentes participantes foi simétrica, bem como o comportamento neutro ao risco. A adoção desses critérios se faz necessária para a simulação,

¹O método consiste basicamente na geração de sucessivos números aleatórios em termos das variáveis do problema que serão testados contra um modelo estatístico que tem como base a distribuição de probabilidade dada pelo risco do problema tratado. Cada amostra corresponde a uma iteração do método. Então, é fornecida uma estimativa do valor esperado do problema, assim como um erro para essa estimativa, que é inversamente proporcional ao número de iterações (FERNANDES, 2005).

porém, a análise dos resultados se dá pela ótica do leiloeiro, como já mencionado.

Como parâmetro inicial, definiu-se o preço de reserva e estabeleceu-se um percentual de decremento máximo de lances por produto, como limite final para simulação. Os decrementos máximos e limites inferiores de lances podem ser avaliados pela Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - *Decrementos máximos e limites mínimos por produto*

Produto	Limite superior (R\$/MWh)	Decremento Máximo (%)	Limite inferior (R\$/MWh)
1	123,00	14	105,78
2	123,00	12	108,24
3	123,00	20	98,40
4	130,00	15	110,50
5	130,00	03	126,10
6	133,00	22	103,74
7	128,00	07	119,04
8	130,00	09	118,30
9	133,00	12	117,04
10	121,00	08	111,32

Fonte: Elaboração própria.

A função aleatória desenvolvida pode ser verificada através do Algoritmo 5.1.

Algoritmo 5.1 Algoritmo de geração de lances aleatórios.

```

1: Sub GeraLancesAleatorios()
2: 'Macro: Algoritmo de geração aleatória de lances
3: 'Declara variáveis
4: Dim i, j as integer
5: 'Laço de repetição para gerar 30 lances aleatórios
6: For i = 3 To 33 Step 1
7: 'Percorre os dez produtos para cada um dos cinco participantes
8: For J = 1 To 60 Step 1
9: "Gera lance aleatório considerando os valores máximo e mínimo
10: Range("A1").Value = "=PsiUniform(Lmax,Lmin)"
11: Cells(2 + i, j) = Range("A15")
12: Next j
13: Next i
14: End Sub

```

Os lances gerados dos distintos participantes, para cada produto, podem ser analisados da Tabela 5.5 à Tabela 5.14.

Tabela 5.5 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 1*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	122,70	120,00	121,80	119,40	120,40
2	119,20	119,00	119,30	119,25	119,00
3	118,90	118,70	118,60	119,00	118,75
4	118,30	118,25	118,20	118,15	118,40
5	117,85	117,80	117,75	117,70	117,95
6	117,40	117,35	117,30	117,25	117,50
7	116,95	116,90	116,85	116,80	117,05
8	116,50	116,45	116,40	116,35	116,60
9	116,05	116,00	115,95	115,90	116,15
10	115,60	115,55	115,50	115,45	115,70
11	115,15	115,10	115,05	115,00	115,25
12	114,70	114,65	114,60	114,55	114,80
13	114,25	114,20	114,15	114,10	114,35
14	113,80	113,75	113,70	113,65	113,90
15	113,35	113,30	113,25	113,20	113,45
16	112,90	112,85	112,80	112,75	113,00
17	112,45	112,40	112,35	112,30	112,55
18	112,00	111,95	111,90	111,85	112,10
19	111,55	111,50	111,45	111,40	111,65
20	111,10	111,05	111,00	110,95	111,20
21	110,65	110,60	110,55	110,50	110,75
22	110,20	110,15	110,10	110,05	110,30
23	109,75	109,70	109,65	109,60	109,85
24	109,30	109,25	109,20	109,15	109,40
25	108,85	108,80	108,75	108,70	108,95
26	108,40	108,35	108,30	108,25	108,50
27	107,95	107,90	107,85	107,80	108,05
28	107,50	107,45	107,40	107,35	107,60
29	107,05	107,00	106,95	106,90	107,15
30	106,60	106,55	106,50	106,45	106,70

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.6 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 2*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	122,00	119,00	122,50	121,10	120,00
2	118,75	118,68	118,65	118,70	118,82
3	118,40	118,33	118,30	118,35	118,47
4	118,05	117,98	117,95	118,00	118,12
5	117,70	117,63	117,60	117,65	117,77
6	117,35	117,28	117,25	117,30	117,42
7	117,00	116,93	116,90	116,95	117,07
8	116,65	116,58	116,55	116,60	116,72
9	116,30	116,23	116,20	116,25	116,37
10	115,95	115,88	115,85	115,90	116,02
11	115,60	115,53	115,50	115,55	115,67
12	115,25	115,18	115,15	115,20	115,32
13	114,90	114,83	114,80	114,85	114,97
14	114,55	114,48	114,45	114,50	114,62
15	114,20	114,13	114,10	114,15	114,27
16	113,85	113,78	113,75	113,80	113,92
17	113,50	113,43	113,40	113,45	113,57
18	113,15	113,08	113,05	113,10	113,22
19	112,80	112,73	112,70	112,75	112,87
20	112,45	112,38	112,35	112,40	112,52
21	112,10	112,03	112,00	112,05	112,17
22	111,75	111,68	111,65	111,70	111,82
23	111,40	111,33	111,30	111,35	111,47
24	111,05	110,98	110,95	111,00	111,12
25	110,70	110,63	110,60	110,65	110,77
26	110,35	110,28	110,25	110,30	110,42
27	110,00	109,93	109,90	109,95	110,07
28	109,65	109,58	109,55	109,60	109,72
29	109,30	109,23	109,20	109,25	109,37
30	108,95	108,88	108,85	108,90	109,02

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.7 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 3*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	123,00	122,90	122,50	120,00	119,00
2	118,60	118,54	118,30	118,39	118,29
3	117,89	117,83	117,59	117,68	117,58
4	117,18	117,12	116,88	116,97	116,87
5	116,47	116,41	116,17	116,26	116,16
6	115,76	115,70	115,46	115,55	115,45
7	115,05	114,99	114,75	114,84	114,74
8	114,34	114,28	114,04	114,13	114,03
9	113,63	113,57	113,33	113,42	113,32
10	112,92	112,86	112,62	112,71	112,61
11	112,21	112,15	111,91	112,00	111,90
12	111,50	111,44	111,20	111,29	111,19
13	110,79	110,73	110,49	110,58	110,48
14	110,08	110,02	109,78	109,87	109,77
15	109,37	109,31	109,07	109,16	109,06
16	108,66	108,60	108,36	108,45	108,35
17	107,95	107,89	107,65	107,74	107,64
18	107,24	107,18	106,94	107,03	106,93
19	106,53	106,47	106,23	106,32	106,22
20	105,82	105,76	105,52	105,61	105,51
21	105,11	105,05	104,81	104,90	104,80
22	104,40	104,34	104,10	104,19	104,09
23	103,69	103,63	103,39	103,48	103,38
24	102,98	102,92	102,68	102,77	102,67
25	102,27	102,21	101,97	102,06	101,96
26	101,56	101,50	101,26	101,35	101,25
27	100,85	100,79	100,55	100,64	100,54
28	100,14	100,08	99,84	99,93	99,83
29	99,43	99,37	99,13	99,22	99,12
30	98,72	98,66	98,42	98,51	98,41

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.8 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 4*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	129,00	129,30	128,00	128,85	127,89
2	127,29	127,35	127,46	127,51	127,30
3	126,69	126,75	126,86	126,91	126,70
4	126,09	126,15	126,26	126,31	126,10
5	125,49	125,55	125,66	125,71	125,50
6	124,89	124,95	125,06	125,11	124,90
7	124,29	124,35	124,46	124,51	124,30
8	123,69	123,75	123,86	123,91	123,70
9	123,09	123,15	123,26	123,31	123,10
10	122,49	122,55	122,66	122,71	122,50
11	121,89	121,95	122,06	122,11	121,90
12	121,29	121,35	121,46	121,51	121,30
13	120,69	120,75	120,86	120,91	120,70
14	120,09	120,15	120,26	120,31	120,10
15	119,49	119,55	119,66	119,71	119,50
16	118,89	118,95	119,06	119,11	118,90
17	118,29	118,35	118,46	118,51	118,30
18	117,69	117,75	117,86	117,91	117,70
19	117,09	117,15	117,26	117,31	117,10
20	116,49	116,55	116,66	116,71	116,50
21	115,89	115,95	116,06	116,11	115,90
22	115,29	115,35	115,46	115,51	115,30
23	114,69	114,75	114,86	114,91	114,70
24	114,09	114,15	114,26	114,31	114,10
25	113,49	113,55	113,66	113,71	113,50
26	112,89	112,95	113,06	113,11	112,90
27	112,29	112,35	112,46	112,51	112,30
28	111,69	111,75	111,86	111,91	111,70
29	111,09	111,15	111,26	111,31	111,10
30	110,49	110,55	110,66	110,71	110,50

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.9 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 5*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	134,20	134,60	134,80	134,21	134,40
2	133,97	134,08	133,99	133,98	133,91
3	133,74	133,85	133,76	133,75	133,68
4	133,51	133,62	133,53	133,52	133,45
5	133,28	133,39	133,30	133,29	133,22
6	133,05	133,16	133,07	133,06	132,99
7	132,82	132,93	132,84	132,83	132,76
8	132,59	132,70	132,61	132,60	132,53
9	132,36	132,47	132,38	132,37	132,30
10	132,13	132,24	132,15	132,14	132,07
11	131,90	132,01	131,92	131,91	131,84
12	131,67	131,78	131,69	131,68	131,61
13	131,44	131,55	131,46	131,45	131,38
14	131,21	131,32	131,23	131,22	131,15
15	130,98	131,09	131,00	130,99	130,92
16	130,75	130,86	130,77	130,76	130,69
17	130,52	130,63	130,54	130,53	130,46
18	130,29	130,40	130,31	130,30	130,23
19	130,06	130,17	130,08	130,07	130,00
20	129,83	129,94	129,85	129,84	129,77
21	129,60	129,71	129,62	129,61	129,54
22	129,37	129,48	129,39	129,38	129,31
23	129,14	129,25	129,16	129,15	129,08
24	128,91	129,02	128,93	128,92	128,85
25	128,68	128,79	128,70	128,69	128,62
26	128,45	128,56	128,47	128,46	128,39
27	128,22	128,33	128,24	128,23	128,16
28	127,99	128,10	128,01	128,00	127,93
29	127,76	127,87	127,78	127,77	127,70
30	127,53	127,64	127,55	127,54	127,47

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.10 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 6*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	125,00	124,96	123,00	123,00	124,10
2	122,77	122,69	122,58	122,37	122,33
3	122,10	122,02	121,91	121,70	121,65
4	121,42	121,34	121,23	121,02	120,98
5	120,75	120,67	120,56	120,35	120,30
6	120,07	119,99	119,88	119,67	119,63
7	119,40	119,32	119,21	119,00	118,95
8	118,72	118,64	118,53	118,32	118,28
9	118,05	117,97	117,86	117,65	117,60
10	117,37	117,29	117,18	116,97	116,93
11	116,70	116,62	116,51	116,30	116,25
12	116,02	115,94	115,83	115,62	115,58
13	115,35	115,27	115,16	114,95	114,90
14	114,67	114,59	114,48	114,27	114,23
15	114,00	113,92	113,81	113,60	113,55
16	113,32	113,24	113,13	112,92	112,88
17	112,65	112,57	112,46	112,25	112,20
18	111,97	111,89	111,78	111,57	111,53
19	111,30	111,22	111,11	110,90	110,85
20	110,62	110,54	110,43	110,22	110,18
21	109,95	109,87	109,76	109,55	109,50
22	109,27	109,19	109,08	108,87	108,83
23	108,60	108,52	108,41	108,20	108,15
24	107,92	107,84	107,73	107,52	107,48
25	107,25	107,17	107,06	106,85	106,80
26	106,57	106,49	106,38	106,17	106,13
27	105,90	105,82	105,71	105,50	105,45
28	105,22	105,14	105,03	104,82	104,78
29	104,55	104,47	104,36	104,15	104,10
30	103,87	103,79	103,68	103,47	103,43

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.11 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 7*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	132,67	131,43	130,20	129,60	129,50
2	129,36	129,34	129,33	129,27	129,16
3	129,02	129,00	128,99	128,93	128,82
4	128,68	128,66	128,65	128,59	128,48
5	128,34	128,32	128,31	128,25	128,14
6	128,00	127,98	127,97	127,91	127,80
7	127,66	127,64	127,63	127,57	127,46
8	127,32	127,30	127,29	127,23	127,12
9	126,98	126,96	126,95	126,89	126,78
10	126,64	126,62	126,61	126,55	126,44
11	126,30	126,28	126,27	126,21	126,10
12	125,96	125,94	125,93	125,87	125,76
13	125,62	125,60	125,59	125,53	125,42
14	125,28	125,26	125,25	125,19	125,08
15	124,94	124,92	124,91	124,85	124,74
16	124,60	124,58	124,57	124,51	124,40
17	124,26	124,24	124,23	124,17	124,06
18	123,92	123,90	123,89	123,83	123,72
19	123,58	123,56	123,55	123,49	123,38
20	123,24	123,22	123,21	123,15	123,04
21	122,90	122,88	122,87	122,81	122,70
22	122,56	122,54	122,53	122,47	122,36
23	122,22	122,20	122,19	122,13	122,02
24	121,88	121,86	121,85	121,79	121,68
25	121,54	121,52	121,51	121,45	121,34
26	121,20	121,18	121,17	121,11	121,00
27	120,86	120,84	120,83	120,77	120,66
28	120,52	120,50	120,49	120,43	120,32
29	120,18	120,16	120,15	120,09	119,98
30	119,84	119,82	119,81	119,75	119,64

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.12 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 8*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	129,75	129,00	128,50	128,90	129,30
2	128,20	128,29	128,35	128,16	128,18
3	127,86	127,95	128,01	127,82	127,84
4	127,52	127,61	127,67	127,48	127,50
5	127,18	127,27	127,33	127,14	127,16
6	126,84	126,93	126,99	126,80	126,82
7	126,50	126,59	126,65	126,46	126,48
8	126,16	126,25	126,31	126,12	126,14
9	125,82	125,91	125,97	125,78	125,80
10	125,48	125,57	125,63	125,44	125,46
11	125,14	125,23	125,29	125,10	125,12
12	124,80	124,89	124,95	124,76	124,78
13	124,46	124,55	124,61	124,42	124,44
14	124,12	124,21	124,27	124,08	124,10
15	123,78	123,87	123,93	123,74	123,76
16	123,44	123,53	123,59	123,40	123,42
17	123,10	123,19	123,25	123,06	123,08
18	122,76	122,85	122,91	122,72	122,74
19	122,42	122,51	122,57	122,38	122,40
20	122,08	122,17	122,23	122,04	122,06
21	121,74	121,83	121,89	121,70	121,72
22	121,40	121,49	121,55	121,36	121,38
23	121,06	121,15	121,21	121,02	121,04
24	120,72	120,81	120,87	120,68	120,70
25	120,38	120,47	120,53	120,34	120,36
26	120,04	120,13	120,19	120,00	120,02
27	119,70	119,79	119,85	119,66	119,68
28	119,36	119,45	119,51	119,32	119,34
29	119,02	119,11	119,17	118,98	119,00
30	118,68	118,77	118,83	118,64	118,66

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.13 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 9*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	133,00	129,00	131,25	132,50	130,00
2	128,90	128,60	128,59	128,72	128,81
3	128,49	128,19	128,18	128,31	128,40
4	128,08	127,78	127,77	127,90	127,99
5	127,67	127,37	127,36	127,49	127,58
6	127,26	126,96	126,95	127,08	127,17
7	126,85	126,55	126,54	126,67	126,76
8	126,44	126,14	126,13	126,26	126,35
9	126,03	125,73	125,72	125,85	125,94
10	125,62	125,32	125,31	125,44	125,53
11	125,21	124,91	124,90	125,03	125,12
12	124,80	124,50	124,49	124,62	124,71
13	124,39	124,09	124,08	124,21	124,30
14	123,98	123,68	123,67	123,80	123,89
15	123,57	123,27	123,26	123,39	123,48
16	123,16	122,86	122,85	122,98	123,07
17	122,75	122,45	122,44	122,57	122,66
18	122,34	122,04	122,03	122,16	122,25
19	121,93	121,63	121,62	121,75	121,84
20	121,52	121,22	121,21	121,34	121,43
21	121,11	120,81	120,80	120,93	121,02
22	120,70	120,40	120,39	120,52	120,61
23	120,29	119,99	119,98	120,11	120,20
24	119,88	119,58	119,57	119,70	119,79
25	119,47	119,17	119,16	119,29	119,38
26	119,06	118,76	118,75	118,88	118,97
27	118,65	118,35	118,34	118,47	118,56
28	118,24	117,94	117,93	118,06	118,15
29	117,83	117,53	117,52	117,65	117,74
30	117,42	117,12	117,11	117,24	117,33

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.14 - *Simulação de lances da fase simultânea para o produto 10*

Rodada	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
1	120,00	118,00	118,10	119,45	118,35
2	117,99	117,84	117,79	117,83	117,77
3	117,76	117,61	117,56	117,60	117,54
4	117,53	117,38	117,33	117,37	117,31
5	117,30	117,15	117,10	117,14	117,08
6	117,07	116,92	116,87	116,91	116,85
7	116,84	116,69	116,64	116,68	116,62
8	116,61	116,46	116,41	116,45	116,39
9	116,38	116,23	116,18	116,22	116,16
10	116,15	116,00	115,95	115,99	115,93
11	115,92	115,77	115,72	115,76	115,70
12	115,69	115,54	115,49	115,53	115,47
13	115,46	115,31	115,26	115,30	115,24
14	115,23	115,08	115,03	115,07	115,01
15	115,00	114,85	114,80	114,84	114,78
16	114,77	114,62	114,57	114,61	114,55
17	114,54	114,39	114,34	114,38	114,32
18	114,31	114,16	114,11	114,15	114,09
19	114,08	113,93	113,88	113,92	113,86
20	113,85	113,70	113,65	113,69	113,63
21	113,62	113,47	113,42	113,46	113,40
22	113,39	113,24	113,19	113,23	113,17
23	113,16	113,01	112,96	113,00	112,94
24	112,93	112,78	112,73	112,77	112,71
25	112,70	112,55	112,50	112,54	112,48
26	112,47	112,32	112,27	112,31	112,25
27	112,24	112,09	112,04	112,08	112,02
28	112,01	111,86	111,81	111,85	111,79
29	111,78	111,63	111,58	111,62	111,56
30	111,55	111,40	111,35	111,39	111,33

Fonte: Elaboração própria.

5.1.2 Lances da fase combinatória

Os lances na fase combinatória foram simulados assim como os lances da fase simultânea. Entretanto, têm-se um lance para cada pacote de produtos e os dez primeiros pacotes correspondem a pacotes com produtos individuais, advindos da fase simultânea com seus lances associados. Esses lances podem ser verificados através da Tabela 5.15 à Tabela 5.19.

Tabela 5.15 - *Simulação de lances da fase combinatória para o participante 1*

	Produto	Lance
Pacote 1	1	106,60
Pacote 2	2	108,95
Pacote 3	3	98,72
Pacote 4	4	110,49
Pacote 5	5	129,00
Pacote 6	6	103,87
Pacote 7	7	119,84
Pacote 8	8	118,68
Pacote 9	9	117,42
Pacote 10	10	111,55
Pacote 11	8 e 10	97,00
Pacote 12	3 e 10	95,00
Pacote 13	6 e 8	94,30
Pacote 14	4 e 7	93,00
Pacote 15	4 e 7	98,90
Pacote 16	3 e 9	98,75
Pacote 17	1 e 6	90,00
Pacote 18	2 e 6	99,00
Pacote 19	6 e 10	95,00
Pacote 20	5 e 7	98,90

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.16 - *Simulação de lances da fase combinatória para o participante 2*

	Produto	Lance
Pacote 1	1	106,55
Pacote 2	2	108,88
Pacote 3	3	98,66
Pacote 4	4	110,55
Pacote 5	5	127,64
Pacote 6	6	103,79
Pacote 7	7	119,82
Pacote 8	8	118,77
Pacote 9	9	117,12
Pacote 10	10	111,40
Pacote 11	3 e 5	98,00
Pacote 12	4 e 10	103,76
Pacote 13	6 e 9	97,00
Pacote 14	4, 6 e 8	99,80
Pacote 15	1 e 3	99,30
Pacote 16	3 e 9	98,00
Pacote 17	4 e 9	98,00
Pacote 18	3 e 7	79,00
Pacote 19	2, 4 e 7	100,15
Pacote 20	2 e 9	100,12

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.17 - *Simulação de lances da fase combinatória para o participante 3*

	Produto	Lance
Pacote 1	1	106,50
Pacote 2	2	108,85
Pacote 3	3	98,42
Pacote 4	4	110,66
Pacote 5	5	127,55
Pacote 6	6	103,68
Pacote 7	7	119,81
Pacote 8	8	118,83
Pacote 9	9	117,11
Pacote 10	10	111,35
Pacote 11	3 e 5	100,00
Pacote 12	3 e 7	98,00
Pacote 13	3, 5 e 8	94,00
Pacote 14	4 e 9	99,50
Pacote 15	3 e 4	101,25
Pacote 16	4 e 10	103,24
Pacote 17	4 e 5	100,00
Pacote 18	2 e 10	100,50
Pacote 19	4 e 8	98,67
Pacote 20	7 e 8	101,20

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.18 - *Simulação de lances da fase combinatória para o participante 4*

	Produto	Lance
Pacote 1	1	106,45
Pacote 2	2	108,90
Pacote 3	3	98,51
Pacote 4	4	110,71
Pacote 5	5	127,54
Pacote 6	6	103,47
Pacote 7	7	119,75
Pacote 8	8	118,64
Pacote 9	9	117,24
Pacote 10	10	111,39
Pacote 11	6 e 10	97,00
Pacote 12	4 e 7	100,00
Pacote 13	6 e 8	102,00
Pacote 14	5 e 8	97,50
Pacote 15	6 e 8	100,25
Pacote 16	6 e 8	99,58
Pacote 17	6, 7 e 10	99,70
Pacote 18	2, 5 e 9	105,50
Pacote 19	3 e 7	103,67
Pacote 20	6 e 8	102,20

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.19 - *Simulação de lances da fase combinatória para o participante 5*

	Produto	Lance
Pacote 1	1	106,70
Pacote 2	2	109,02
Pacote 3	3	98,41
Pacote 4	4	110,50
Pacote 5	5	127,47
Pacote 6	6	103,43
Pacote 7	7	119,64
Pacote 8	8	118,66
Pacote 9	9	117,33
Pacote 10	10	111,33
Pacote 11	5, 7 e 10	102,76
Pacote 12	5 e 9	99,78
Pacote 13	6 e 8	105,40
Pacote 14	1 e 5	100,30
Pacote 15	1 e 6	100,25
Pacote 16	7 e 8	100,35
Pacote 17	1 e 5	103,00
Pacote 18	3 e 8	98,80
Pacote 19	5 e 10	101,10
Pacote 20	5 e 10	102,30

Fonte: Elaboração própria.

5.2 Resultados e discussão

A verificação dos resultados e da formulação se dá imediatamente após a inserção das informações solicitadas através do simulador, baseando-se nas restrições impostas pelo modelo.

O modelo avaliado gerou um volume de transação de R\$1.482.467,94/h, minimizando, dessa forma, o valor monetário do leilão. A demanda comercializada foi de 1092 MW, acatando a restrição de demanda que, para este exemplo, foi definida a uma quantidade de 1000MW, como ilustrado pela Tabela 5.20.

Tabela 5.20 - *Resultado da demanda.*

Restrição de demanda (MW)	Demanda Contratada (MW)
1000	1092

Fonte: Elaboração própria.

Para o estudo em questão, como pode ser constatado pela Tabela 5.21, foram alocados oito

produtos: os empreendimentos 1 e 10 foram adquiridos pelo participante 1, a preços de lances de R\$ 106,60/MWh e R\$ 111,50/MWh, incorrendo deságios de preço de 13,3% e 7,9%, respectivamente; o empreendimento 6 foi alocado ao participante 3, com deságio de 22%, a um preço de fechamento de R\$ 103,68/MWh; o empreendimento 4 foi fechado a um preço de R\$ 110,71/MWh, havendo um deságio de 16,8%, e foi adquirido pelo participante 4; os empreendimentos 2, 3, 7 e 8 foram adquiridos pelo participante 5. O produto 2 a um preço de R\$ 109,02/MWh obteve deságio de 11,4%; o produto 3 foi vendido por R\$ 98,41/MWh, com deságio de 19,9%. Os produtos 7 e 8 foram vendidos em um pacote de combinação de bens a um preço de R\$ 100,35/MWh cada, incorrendo deságios de 21,6% e 22,8%, respectivamente. Os demais produtos não foram alocados a nenhum participante, bem como o participante 2 não adquiriu nenhum empreendimento.

Tabela 5.21 - *Resultado da alocação.*

Vencedor	Produto	Capacidade (MW)	Preço de fechamento (R\$/MWh)	Deságio de preço (%)
Participante 1	UHE 1	90	106,60	13,3
	UHE 10	89	111,50	7,9
Participante 3	UHE 6	76	103,68	22
Participante 4	UHE 4	120	110,71	16,8
Participante 5	UHE 2	140	109,02	11,4
	UHE 3	350	98,41	19,9
	UHE's 7 e 8	227	100,35	21,6 e 22,8

Fonte: Elaboração própria.

Verificou-se, de acordo com a Tabela 5.22, que a restrição de participação máxima de mercado foi atendida, visto que previu-se 75% do valor da demanda, ou seja, 750MW como quantidade máxima para cada um dos cinco participantes. O participante 1 adquiriu empreendimentos, somando uma quantidade de 179MW que representam cerca de 16,3% no montante desse leilão. O participante 3 ocupou aproximadamente 7% do mercado, o que equivale a 76MW. O participante 4 obteve um percentual de 11% do mercado desse leilão, adquirindo 120MW. Com 717MW, atribuiu-se ao participante 5 a maior parcela de mercado desse leilão, representado por 65,7% de participação de mercado.

Tabela 5.22 - Resultado da participação máxima de mercado.

Participação máxima de mercado	75%	750MW
Participante 1	16,3%	179MW
Participante 2	-	-
Participante 3	7%	76MW
Participante 4	11%	120MW
Participante 5	65,7%	717MW

Fonte: Elaboração própria.

A restrição de garantia financeira também foi respeitada conforme ilustrado pela Tabela 5.23, uma vez que a soma dos custos dos empreendimentos contidos nos pacotes vencedores não ultrapassaram a garantia financeira depositada pelos participantes. Nota-se que o participante 1, que dispôs de uma garantia no valor de R\$ 40.761.081,13, supriu a garantia requerida dos empreendimentos adquiridos, que somou R\$ 5.753.584,51. O mesmo ocorreu para os participantes 3, 4 e 5 que propuseram garantias de R\$ 41.162.668,14, R\$ 41.564.255,14 e R\$ 41.765.048,64 e obtiveram as garantias requeridas somadas em R\$ 2.485.206,70, R\$ 3.022.200,75 e R\$ 22.399.799,99, respectivamente.

Tabela 5.23 - Resultado da restrição financeira.

	Soma dos custos dos empreendimentos adquiridos (R\$)	Garantia requerida (R\$)	Garantia depositada (R\$)
Participante 1	575.358.451,00	5.753.584,51	40.761.081,13
Participante 2	-	-	41.363.461,64
Participante 3	248.520.670,00	2.485.206,70	41.162.668,14
Participante 4	302.220.075,00	3.022.200,75	41.564.255,14
Participante 5	2.239.979.999,00	22.399.799,99	41.765.048,64

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que, para este estudo de caso, todos os participantes depositaram garantia financeira suficiente para adquirir os dez empreendimentos, contudo isso não se torna possível devido à restrição de compartilhamento de mercado que limita a participação em 75% da demanda total.

Obteve-se sucesso, também, na restrição de unicidade (que é considerada a mais importante para a utilização desse modelo) uma vez que um empreendimento foi vendido a apenas um participante.

O tempo computacional do processamento foi considerado satisfatório, perdurando por cerca de 3 minutos para a resolução do problema, não sendo, dessa forma, necessário desenvolver pro-

cessos com maior eficiência computacional. Entretanto, como o problema de leilões combinatórios envolve abordagens matemáticas muito complexas para resolução, não é possível auferir a viabilidade computacional para este simulador, caso o número de variáveis aumentem consideravelmente. Inicialmente foram realizados testes com um número reduzido de variáveis e, com o aumento gradativo de tais parâmetros, verificou-se um aumento exponencial no tempo computacional, mesmo que ainda viável.

6 FERRAMENTA DE SUPORTE À DECISÃO

Com o intuito de validar a metodologia proposta no Capítulo 4, foi desenvolvida uma ferramenta *inhouse* para avaliação da sistemática, utilizando-se de técnicas de simulação e se concentrando em otimização matemática.

6.1 Especificação da ferramenta

Um das dificuldades em se propor uma solução para os problemas de programação matemática é a definição do *software* de otimização, uma vez que existem várias opções de programas com essa funcionalidade, cada um apresentando soluções através de diferentes métodos.

Para o desenvolvimento da ferramenta, foram eleitos os *softwares*: *Microsoft Visual Basic for Application* (VBA), que controla a interface com o usuário responsável pela entrada dos dados e demonstração dos resultados; *Microsoft Excel* cuja finalidade é receber as informações da interface, atuar como banco de dados, efetuar cálculos essenciais ao modelo e receber os resultados da otimização; esta é efetuada pelo software *Frontline Solver*, conforme ilustra a Figura 6.1.

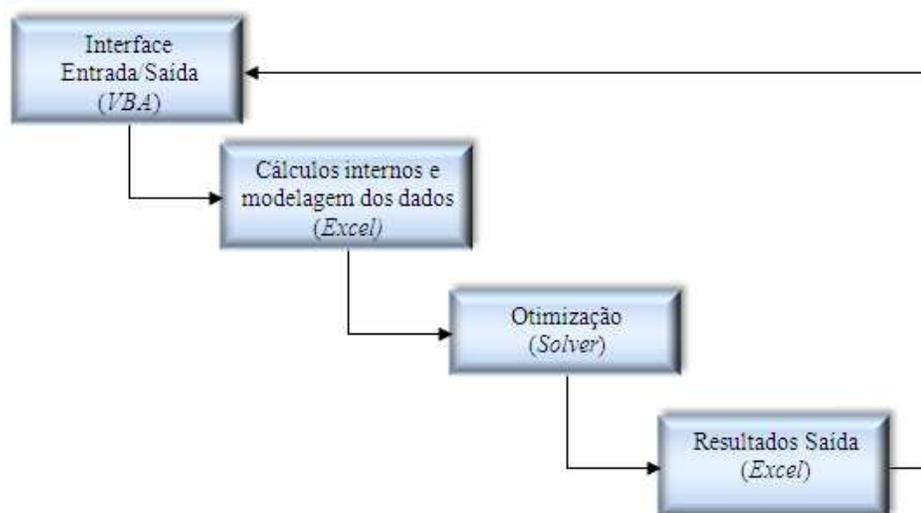


Figura 6.1 - Arquitetura do *software* de simulação.

Fonte: Elaboração própria.

A ferramenta VBA é um ambiente de programação computacional que é incorporado aos aplicativos da família de programas *Microsoft Office*, entre eles o *Microsoft Excel*. Essa ferramenta possibilita a substituição, extensão e controle das funcionalidades já existentes no *Excel*, bem como a criação e manipulação de interfaces através da programação de macros ¹.

O *Excel* é um programa da *Microsoft*, composto por planilhas eletrônicas, que tem como principais recursos efetuar cálculos e construir gráficos para análises de dados, a fim de se obterem decisões mais acertadas. É o software mais difundido para tais funcionalidades nos âmbitos comerciais, acadêmicos e particulares.

O aplicativo *Solver* é um *software* desenvolvido pela *Frontline* para resolução de problemas de programação matemática; é integrado à planilha eletrônica e acessado através de seus suplementos. As vantagens de sua utilização é que ele reduz a possibilidade de erros (uma vez que os usuários apenas indicam as células da planilha eletrônica na formulação do problema de forma interativa e visual), bem como permite flexibilidade à formulação.

O algoritmo utilizado pelo *Solver* para a resolução de problemas não lineares é o de gradiente reduzido genérico, desenvolvido por Leon Lasdon, da *University of Texas* em Austin, e Allan Warren, da *Cleveland State University*. Para problemas lineares ou inteiros, o algoritmo implementado é o método *Simplex*, utilizando limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite, implementado por John Watson e Dan Fylstra, da empresa *Frontline Systems*.

6.2 Interface e base de dados

Esta seção objetiva a demonstração do armazenamento dos dados, bem como a interface gráfica - desenvolvida para facilitar e tornar prática a utilização da ferramenta de suporte à decisão (uma vez que tal ambiente gráfico define a fronteira que há entre a forma de comunicação externa e os detalhes internos de processamento).

¹É uma ação ou um conjunto de ações que você pode usar para automatizar tarefas (EXCEL, 2007).

6.2.1 Descrição

Para o desenvolvimento da interface, foi utilizada a ferramenta VBA, como já mencionado, e construídos cinco formulários.

- Empreendimentos: recebe os dados referentes ao leilão, inseridos pelo leiloeiro;
- Participantes: recebe os dados, também inseridos pelo leiloeiro, relativos aos participantes;
- Fase simultânea: recebe os lances, simultaneamente, por cada participante;
- Fase combinatória: recebe os lances por pacotes, efetuados por cada participante;
- Resultados: resolve o leilão e demonstra os resultados obtidos.

Através do *Excel*, é realizado o armazenamento dos dados inseridos pela interface e otimização do modelo; para tanto foram construídas as seguintes planilhas:

- Descrição k: tem o objetivo de receber e armazenar os dados inseridos pelo leiloeiro através da interface Empreendimentos;
- Participantes: objetiva registrar os dados inseridos pelo leiloeiro sobre os participantes;
- Auxiliar I: retém os lances de cada um dos participantes, para cada rodada da fase simultânea e efetua o cálculo, para cada empreendimento, tomando o menor lance, para retornar à interface, como o novo lance corrente;
- Auxiliar II: a finalidade desta planilha é a recepção dos dados advindos da interface “Fase Combinatória” para análise dos pacotes;
- Otimização combinatória: esta planilha utiliza os dados das demais planilhas para a resolução do modelo matemático através do *Solver*.

6.2.2 Utilização

Esta subseção visa demonstrar a utilização e a navegação da ferramenta de suporte à decisão. A Figura 6.2 demonstra o acesso permitido para cada um dos dois tipos de usuário (leiloeiro e participante).

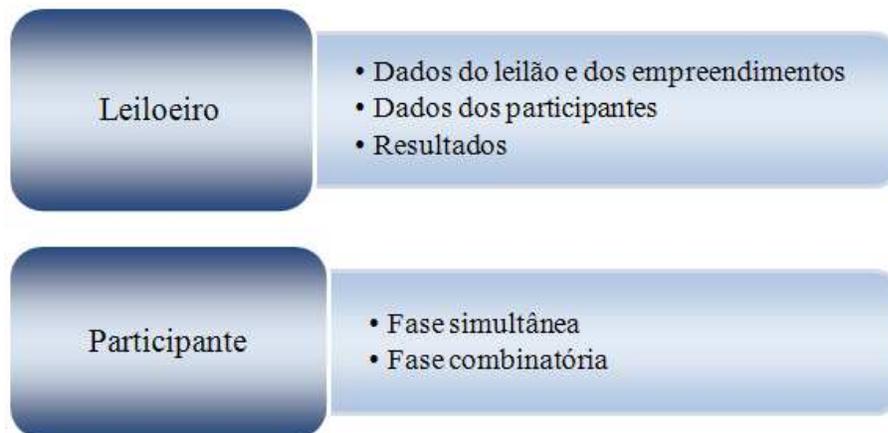


Figura 6.2 - Permissão de uso por tipo de usuário.
Fonte: Elaboração própria.

Dados do leilão

A Figura 6.3 ilustra a entrada de dados do leilão realizada pelo leiloeiro. Nesta tela, são informados os dados imprescindíveis para a modelagem definida no Capítulo 4 e, inicialmente, solicitam-se o nome e a data do leilão, bem como o compartilhamento de mercado e a demanda.

Leilão Simultâneo-Combinatório

**SIMULAÇÃO - LEILÃO DE NOVOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO
SIMULTÂNEO-COMBINATÓRIO**

UNICAMP

Leiloeiro Participante 1 Participante 2 Participante 3 Participante 4 Participante 5

Empreendimentos | Participantes | Fase Simultânea | Fase Combinatório | Resultados

Dados do leilão

Nome: Leilão simultâneo-combinatório

Data: 10/10/2010 Compartilhamento de Mercado (%): 75 Demanda (MW): 1000

Empreendimentos

Produto	Descrição	Preço de Abertura (R\$/MWh)	Custo do Investimento (R\$)	Capacidade (MW)
Produto 1	UHE 1	123,00	329362090,00	90
Produto 2	UHE 2	123,00	242551320,00	140
Produto 3	UHE 3	123,00	1090914120,00	350
Produto 4	UHE 4	130,00	302220075,00	120
Produto 5	UHE 5	135,00	348864023,00	87
Produto 6	UHE 6	133,00	248520670,00	76
Produto 7	UHE 7	128,00	596824636,00	125
Produto 8	UHE 8	130,00	309689923,00	102
Produto 9	UHE 9	133,00	300926844,00	98
Produto 10	UHE 10	121,00	245996361,00	89

Controles

Limpar Incluir

Figura 6.3 - Tela de entrada da descrição do leilão.

Fonte: Elaboração própria.

São também requeridas informações referentes a cada um dos dez empreendimentos disponíveis para a simulação. São elas: descrição, preço de abertura em reais por megawatt-hora (R\$/MWh), custo do investimento em reais (R\$) e capacidade do empreendimento em megawatt-médio (MW).

Para inserir os dados fornecidos nas telas representadas pela Figura 6.3, no quadro de identificação, deve considerar-se como Leiloeiro e utilizar o botão **Incluir**, para que as informações sejam armazenadas em suas respectivas planilhas, conforme ilustrado pelas Figura 6.4 e Figura 6.5. Os dados são armazenados em células fixas e são utilizados posteriormente no modelo de otimização.

DADOS DO LEILÃO	
Nome:	Leilão simultâneo-combinatório
Data:	10/10/2010
Demanda Máxima:	1000
Participação de mercado:	750

Figura 6.4 - Planilha dos dados da descrição do leilão.

Fonte: Elaboração própria.

EMPREENHIMENTOS			
Produto 1		Produto 6	
Descrição:	UHE 1	Descrição:	UHE 6
Preço de Abertura:	123,00	Preço de Abertura:	133,00
Energia Assegurada:	90	Energia Assegurada:	76
Custo do investimento:	329362090,00	Custo do investimento:	248520670,00
Produto 2		Produto 7	
Descrição:	UHE 2	Descrição:	UHE 7
Preço de Abertura:	123,00	Preço de Abertura:	128,00
Energia Assegurada:	140	Energia Assegurada:	125
Custo do investimento:	242551320,00	Custo do investimento:	596824636,00
Produto 3		Produto 8	
Descrição:	UHE 3	Descrição:	UHE 8
Preço de Abertura:	123,00	Preço de Abertura:	130,00
Energia Assegurada:	350	Energia Assegurada:	102
Custo do investimento:	1090914120,00	Custo do investimento:	309689923,00
Produto 4		Produto 9	
Descrição:	UHE 4	Descrição:	UHE 9
Preço de Abertura:	130,00	Preço de Abertura:	133,00
Energia Assegurada:	120	Energia Assegurada:	98
Custo do investimento:	302220075,00	Custo do investimento:	300926844,00
Produto 5		Produto 10	
Descrição:	UHE 4	Descrição:	UHE 10
Preço de Abertura:	130,00	Preço de Abertura:	121,00
Energia Assegurada:	87	Energia Assegurada:	89
Custo do investimento:	302220075,00	Custo do investimento:	245996361,00

Figura 6.5 - Planilha dos dados da descrição dos empreendimentos.

Fonte: Elaboração própria.

As informações referentes aos participantes são ilustradas pela Figura 6.6 em que se requerem o nome do participante, o representante e a garantia financeira depositada em reais (R\$).

Leilão Simultâneo-Combinatório

**SIMULAÇÃO - LEILÃO DE NOVOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO
SIMULTÂNEO-COMBINATÓRIO**

Leiloeiro
 Participante 1
 Participante 2
 Participante 3
 Participante 4
 Participante 5

Empreendimentos | Participantes | Fase Simultânea | Fase Combinatório | Resultados

Participante 1

Nome:

Representante: Garantia financeira (R\$):

Participante 2

Nome:

Representante: Garantia financeira (R\$):

Participante 3

Nome:

Representante: Garantia financeira (R\$):

Participante 4

Nome:

Representante: Garantia financeira (R\$):

Participante 5

Nome:

Representante: Garantia financeira (R\$):

Controles

Figura 6.6 - Tela de entrada dos dados dos participantes.

Fonte: Elaboração própria.

Analogamente, na tela de entrada de dados do leilão, os dados da tela de participantes são inseridos na planilha, ilustrada pela Figura 6.7, utilizando-se o botão **Incluir** e estando selecionado como Leiloeiro no quadro de identificação.

Participante 1	
Nome	Participante 1
Representante	Representante 1
Garantia Financeira	40761081,13
Participante 2	
Nome	Participante 2
Representante	Representante 2
Garantia Financeira	41363461,64
Participante 3	
Nome	Participante 3
Representante	Representante 3
Garantia Financeira	41162668,14
Participante 4	
Nome	Participante 4
Representante	Representante 4
Garantia Financeira	41564255,14
Participante 5	
Nome	Participante 5
Representante	Representante 5
Garantia Financeira	41765048,64

Figura 6.7 - Planilha dos dados dos participantes.

Fonte: Elaboração própria.

Fase simultânea

Cada um dos cinco participantes, concomitantemente, terá acesso à tela (representada pela Figura 6.8) que informa o nome, a capacidade e o preço corrente para cada empreendimento.

O leilão, nesta fase, ocorrerá de forma simultânea, gerando rodadas enquanto houver decréscimo de preços de lances para cada um dos empreendimentos.

Os participantes oferecem seus lances e os submetem para cada empreendimento através do botão **Submeter**. A partir dos lances oferecidos pelos participantes é calculado o menor preço de lance e demonstrado como lance corrente, oferecendo como oportunidade aos demais participantes a redução dos lances através de uma nova rodada. Esta fase se encerra quando não houver redução de ofertas por um período de 5 minutos.

Leilão Simultâneo-Combinatório

**SIMULAÇÃO - LEILÃO DE NOVOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO
SIMULTÂNEO-COMBINATÓRIO**

UNICAMP

Leiloeiro
 Participante 1
 Participante 2
 Participante 3
 Participante 4
 Participante 5

Empreendimentos | Participantes | Fase Simultânea | Fase Combinatório | Resultados

1ª Rodada

Produto 1 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="122,70"/>	Produto 2 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="122,00"/>
Produto 3 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="122,30"/>	Produto 4 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="129,65"/>
Produto 5 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="129,00"/>	Produto 6 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="127,00"/>
Produto 7 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="130,00"/>	Produto 8 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="128,00"/>
Produto 9 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="131,00"/>	Produto 10 Descrição: <input type="text"/> Preço de Corrente (R\$/MWh): <input type="text"/> Capacidade (MW): <input type="text"/> Lance: <input type="text" value="121,50"/>

Controles

Figura 6.8 - Tela do leilão na fase simultânea.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 6.9 demonstra o armazenamento dos lances e o cálculo do menor lance para cada rodada na fase simultânea. Cada produto (k) possui uma matriz $K_{30 \times 5}$ de lances válidos. Isso significa que, na rodada simultânea, assume-se o máximo de trinta rodadas para cada um dos cinco participantes (i). Esta planilha também realiza o cálculo do menor lance por rodada e por participante e retorna, através de funções programadas, o resultado para interface.

Produto k					
Lance i = 1	Lance i = 2	Lance i = 3	Lance i = 4	Lance i = 5	Lance Corrente
122,00	119,00	122,50	121,10	120,00	119,00
118,75	118,68	118,65	118,70	118,82	118,65
118,40	118,33	118,30	118,35	118,47	118,30
118,05	117,98	117,95	118,00	118,12	117,95
117,70	117,63	117,60	117,65	117,77	117,60
117,35	117,28	117,25	117,30	117,42	117,25
117,00	116,93	116,90	116,95	117,07	116,90
116,65	116,58	116,55	116,60	116,72	116,55
116,30	116,23	116,20	116,25	116,37	116,20
115,95	115,88	115,85	115,90	116,02	115,85
115,60	115,53	115,50	115,55	115,67	115,50
115,25	115,18	115,15	115,20	115,32	115,15
114,90	114,83	114,80	114,85	114,97	114,80
114,55	114,48	114,45	114,50	114,62	114,45
114,20	114,13	114,10	114,15	114,27	114,10
113,85	113,78	113,75	113,80	113,92	113,75
113,50	113,43	113,40	113,45	113,57	113,40
113,15	113,08	113,05	113,10	113,22	113,05
112,80	112,73	112,70	112,75	112,87	112,70
112,45	112,38	112,35	112,40	112,52	112,35
112,10	112,03	112,00	112,05	112,17	112,00
111,75	111,68	111,65	111,70	111,82	111,65
111,40	111,33	111,30	111,35	111,47	111,30
111,05	110,98	110,95	111,00	111,12	110,95
110,70	110,63	110,60	110,65	110,77	110,60
110,35	110,28	110,25	110,30	110,42	110,25
110,00	109,93	109,90	109,95	110,07	109,90
109,65	109,58	109,55	109,60	109,72	109,55
109,30	109,23	109,20	109,25	109,37	109,20
108,95	108,88	108,85	108,90	109,02	108,85
108,95	108,88	108,85	108,90	109,02	108,85

Figura 6.9 - Planilha dos dados da fase simultânea.

Fonte: Elaboração própria.

Fase combinatória

Inicia-se, ao final da fase simultânea, a fase combinatória, demonstrada pela Figura 6.10, em que é informada aos participantes a situação de cada empreendimento. São elas: descrição, capacidade (MW) e o menor lance ofertado na fase simultânea.

A partir dessas informações é possível preparar os pacotes, marcando os produtos almejados e ofertando o preço de lance (R\$/MWh) pelo pacote, submetendo-os através do botão **Submeter**.

Leilão Simultâneo-Combinatório

**SIMULAÇÃO - LEILÃO DE NOVOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO
SIMULTÂNEO-COMBINATÓRIO**

Leiloeiro | Participante 1 | Participante 2 | Participante 3 | Participante 4 | **Participante 5**

Empreendimentos | Participantes | Fase Simultânea | Fase Combinatória | Resultados

Pacote	Produto 1	Produto 2	Produto 3	Produto 4	Produto 5	Produto 6	Produto 7	Produto 8	Produto 9	Produto 10	Lance
Pacote 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	102,76
Pacote 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	99,78
Pacote 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	105,40
Pacote 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	100,30
Pacote 5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	100,25
Pacote 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	100,35
Pacote 7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	103,00
Pacote 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	98,80
Pacote 9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	101,10
Pacote 10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	102,30

Produto	Descrição	Capacidade	Lance Fase 1
Produto 1	UHE 1	90	106,55
Produto 2	UHE 2	140	108,88
Produto 3	UHE 3	350	98,66
Produto 4	UHE 4	120	110,55
Produto 5	UHE 4	87	127,64
Produto 6	UHE 6	76	103,79
Produto 7	UHE 7	125	131,43
Produto 8	UHE 8	102	118,77
Produto 9	UHE 9	98	117,12
Produto 10	UHE 10	89	111,4

Controle

Limpar | Submeter

Figura 6.10 - Tela do leilão na fase combinatória.

Fonte: Elaboração própria.

Na fase combinatória, os dados são armazenados conforme ilustrado pela Figura 6.11. Para cada participante (i), é gerada uma matriz de conteúdo $J_{10 \times 10}$ que determina, para cada pacote, qual produto está (1), ou não está (0) contido no pacote elaborado pelo participante. A planilha também contempla os valores de lances ofertados por cada pacote, que são avaliados posteriormente pelo modelo de otimização.

	Participante <i>i</i>									
	<i>Pacote 11</i>	<i>Pacote 12</i>	<i>Pacote 13</i>	<i>Pacote 14</i>	<i>Pacote 15</i>	<i>Pacote 16</i>	<i>Pacote 17</i>	<i>Pacote 18</i>	<i>Pacote 19</i>	<i>Pacote 20</i>
<i>Produto 1</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Produto 2</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Produto 3</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Produto 4</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Produto 5</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Produto 6</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
<i>Produto 7</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
<i>Produto 8</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Produto 9</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Produto 10</i>	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
Lance	97,00	95,00	94,30	93,00	98,90	98,75	90,00	99,00	95,00	98,90

Figura 6.11 - Planilha dos dados da fase combinatória.

Fonte: Elaboração própria.

Resultados

Após todos os participantes submeterem seus pacotes, o leiloeiro resolve o leilão através da tela representada pela Figura 6.12, utilizando o botão **Resolver** que acionará o *Solver* e retornará o resultado do leilão à aplicação.

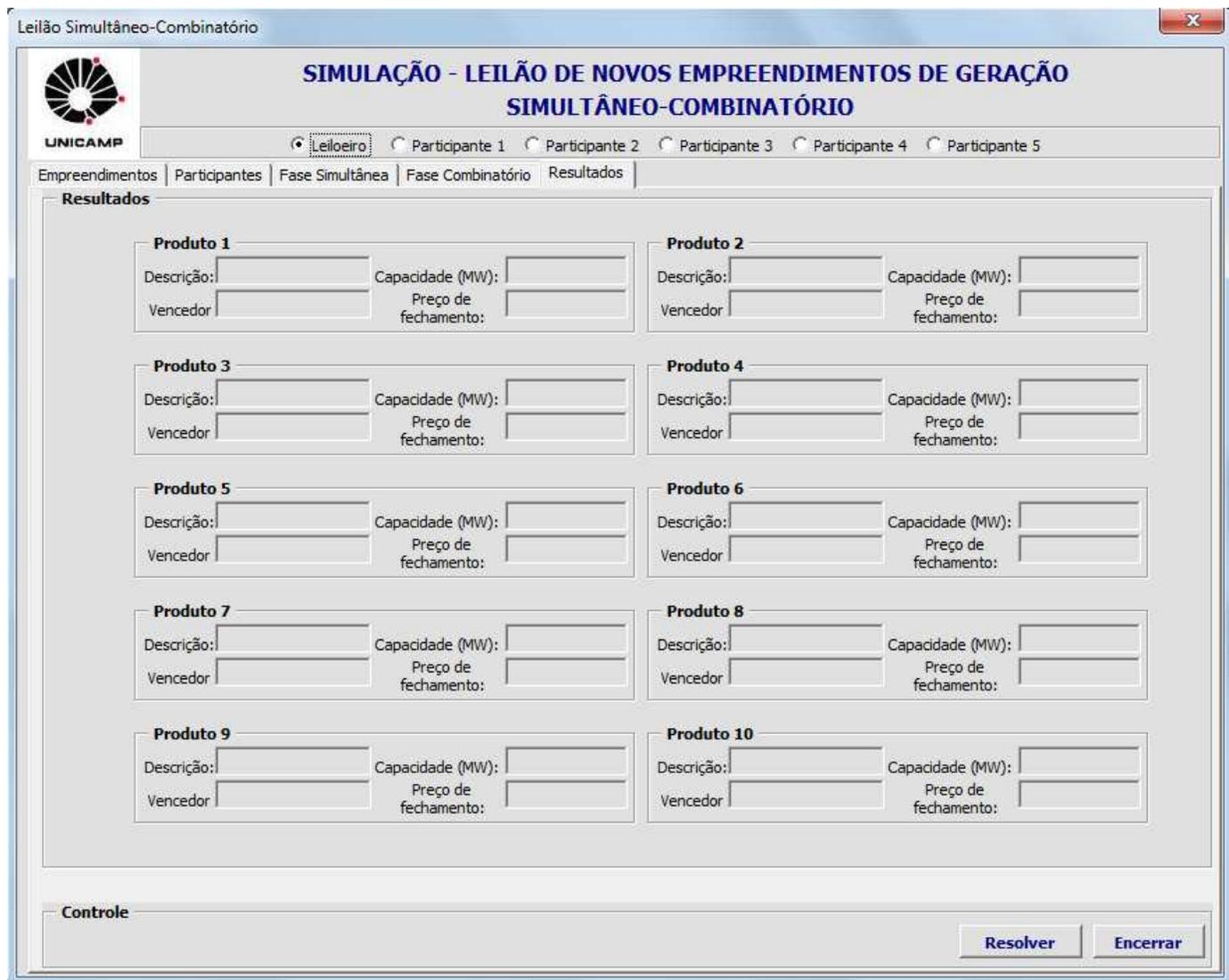


Figura 6.12 - Tela inicial dos resultados.

Fonte: Elaboração própria.

O *Solver* resolverá o modelo contido na planilha denominada “Otimização combinatória”, que reúne as informações das demais planilhas, formando uma matriz binária (representada pela Figura 6.13) para cada participante. A matriz contém os vinte pacotes construídos, ressaltando-se que os dez primeiros foram montados automaticamente, através dos lances ofertados pela fase simultânea, e os outros dez criados pelos próprios participantes. A célula selecionada na matriz booleana, de valor 1, representa que aquele empreendimento está contido no pacote.

A linha identificada como “Lance * EA” representa, para cada pacote, o lance ofertado, multiplicado pela soma da energia assegurada de cada empreendimento que compõe o pacote. A linha “ $\sum EA$ ” concebe o somatório das energias asseguradas de cada pacote; já a linha “ $\sum Custok$ ”

soma os custos de investimentos de cada produto disposto no pacote. A linha identificada como “Y” representa a variável booleana, que indica qual participante ganhou que pacote(s). Ao ser acionado, o *Solver* identifica os vencedores, atribuindo o valor 1 para a célula que representa a coluna do pacote vencedor, e então, a célula é selecionada.

Participante <i>i</i>									
Pacote 1	Pacote 2	Pacote 3	Pacote 4	Pacote 5	Pacote 6	Pacote 7	Pacote 8	Pacote 9	Pacote 10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
106,70	109,02	98,41	110,50	127,47	103,43	119,64	118,66	117,33	111,33
0,00	15262,80	34443,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
90,00	140,00	350,00	120,00	87,00	76,00	125,00	102,00	98,00	89,00
329362090	242551320	1090914120	302220075	302220075	248520670	596824636	309689923	300926844	245996361
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Participante <i>j</i>									
Pacote 11	Pacote 12	Pacote 13	Pacote 14	Pacote 15	Pacote 16	Pacote 17	Pacote 18	Pacote 19	Pacote 20
0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	1	0	1	1
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
102,76	99,78	105,40	100,30	100,25	100,35	103,00	98,80	101,10	102,30
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22779,45	0	0	0	0
301,00	185,00	178,00	177,00	166,00	227,00	177,00	452,00	176,00	176,00
1145041072	603146919	558210593	631582185	577882760	906514559	631582185	1400604043	548216436	548216436
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Figura 6.13 - Planilha dos resultados.

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida à otimização, os resultados contidos na formulação (conforme a Figura 6.14) são demonstrados, automaticamente, na interface, como ilustra a Figura 6.13.

Função Objetivo	$\Sigma(EA * b)$	1482467,942
Restrição de demanda	$\Sigma EA * Y$	1092,00
	Demanda (MW)	1000
	$\Sigma EA * y, i=1$	179
Restrição de participação de mercado	$\Sigma EA * y, i=2$	0
	$\Sigma EA * y, i=3$	76
	$\Sigma EA * y, i=4$	120
	$\Sigma EA * y, i=5$	717
	Participação (MW)	750
Restrição de garantia financeira	$\Sigma \text{custo}(k) * Y, i=1$	R\$ 5.753.584,51
	$\Sigma \text{custo}(k) * Y, i=2$	R\$ 0,00
	$\Sigma \text{custo}(k) * Y, i=3$	R\$ 2.485.206,70
	$\Sigma \text{custo}(k) * Y, i=4$	R\$ 3.022.200,75
	$\Sigma \text{custo}(k) * Y, i=5$	R\$ 22.399.799,99
	Garantia , i = 1	R\$ 40.761.081,13
	Garantia , i = 2	R\$ 41.363.461,64
	Garantia , i = 3	R\$ 41.162.668,14
	Garantia , i = 4	R\$ 41.564.255,14
	Garantia , i = 5	R\$ 41.765.048,64
Restrição de unicidade	$\Sigma k1 * Y$	1
	$\Sigma k2 * Y$	1
	$\Sigma k3 * Y$	1
	$\Sigma k4 * Y$	1
	$\Sigma k5 * Y$	0
	$\Sigma k6 * Y$	1
	$\Sigma k7 * Y$	1
	$\Sigma k8 * Y$	1
	$\Sigma k9 * Y$	0
	$\Sigma k10 * Y$	1

Figura 6.14 - Planilha da formulação.

Fonte: Elaboração própria.



Figura 6.15 - Tela dos resultados

Fonte: Elaboração própria.

A simulação apresentada neste trabalho, bem como a ferramenta desenvolvida, foi realizada em computador que possui processador Intel® Celeron 1.87GHz e 120GB de memória RAM; as versões dos softwares utilizados foram as do *MSOffice 2007* e *Premium Solver 9.0*.

6.3 Algoritmo de otimização

Para otimizar o leilão foi criado um algoritmo que resolve o problema de programação matemática através de uma macro do *MS Excel*. O código computacional, demonstrado pelo Algoritmo 6.1, modela a formulação em conformidade aos dados da planilha e retorna o resultado.

Algoritmo 6.1 Algoritmo de otimização.

```
1: Sub AlgoritmoDeOtimização()  
2: ' Macro: Algoritmo de Otimização  
3: 'Seleciona a célula da função objetivo  
4: Range("N21").Select  
5: 'Define o critério de otimização (Minimizar)  
6: SolverOk SetCell:="N21", MaxMinVal:=2, ValueOf:="0", ByChange:="B17:CW17"  
7: 'Definem as células das variáveis binárias  
8: SolverAdd CellRef:="B17:CW17", Relation:=5, FormulaText:="binario"  
9: 'Define restrição de demanda  
10: SolverAdd CellRef:="N22", Relation:=3, FormulaText:="N23"  
11: 'Define restrição de limitação de mercado  
12: SolverAdd CellRef:="N24:N28", Relation:=1, FormulaText:="N29"  
13: 'Define restrição financeira do participante 1  
14: SolverAdd CellRef:="N30", Relation:=1, FormulaText:="N35"  
15: 'Define restrição financeira do participante 2  
16: SolverAdd CellRef:="N31", Relation:=1, FormulaText:="N36"  
17: 'Define restrição financeira do participante 3  
18: SolverAdd CellRef:="N32", Relation:=1, FormulaText:="N37"  
19: 'Define restrição financeira do participante 4  
20: SolverAdd CellRef:="N33", Relation:=1, FormulaText:="N38"  
21: 'Define restrição financeira do participante 5  
22: SolverAdd CellRef:="N34", Relation:=1, FormulaText:="N39"  
23: 'Define restrição de unicidade  
24: SolverAdd CellRef:="N40:N49", Relation:=1, FormulaText:="1"  
25: 'Resolve o problema de otimização  
26: SolverSolve  
27: End Sub
```

7 CONCLUSÃO

A primeira reforma do setor elétrico iniciou-se pelas privatizações de empresas para diminuição da intervenção estatal, bem como para sustentar a política econômica da época que, entre outras disposições, propôs a outorga de concessões por meio de leilões públicos.

Uma das grandes mudanças no modelo do setor elétrico foi a desverticalização das empresas de energia elétrica, incentivando a competição nos segmentos de geração e comercialização e mantendo regulamentados os segmentos considerados monopólios naturais, que são a distribuição e a transmissão.

Em relação ao mercado de energia elétrica, foram criados ambientes distintos para contratação de energia elétrica: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). O primeiro destinado a comercializar energia elétrica para fornecimento dos consumidores cativos e o segundo destinado aos consumidores livres através de contratos flexíveis.

Devido ao racionamento de energia elétrica - ocorrido no ano de 2001, que abalou a credibilidade da primeira reforma do setor elétrico - o Governo Federal iniciou o processo da segunda reforma desse setor, criando nova regulamentação para a outorga e concessão de geração de energia elétrica, assim como para a comercialização. Entretanto, conclui-se que o setor elétrico encontra-se em um *tradeoff* entre competição e regulamentação, pois (mesmo que o destaque seja a entrada de agentes privados nesses segmentos) esse modelo está cercado de cuidados, a fim de se manterem as peculiaridades do SIN.

Para atenderem à totalidade de sua demanda, as distribuidoras passaram a comprar sua energia por meio de leilões, sob o critério da menor tarifa, com a finalidade de propiciar modicidade tarifária aos consumidores finais através do ACR.

Como forma de expansão do sistema, definiu-se os leilões de novos empreendimentos. Tem-se, então, que o emprego do mecanismo de leilão para o setor elétrico vai além do processo licitatório, ajustando as curvas de oferta e demanda de energia elétrica. Logo, constatou-se que, para obtenção de sucesso neste processo, deve haver um aprofundado estudo sobre a melhor configuração do leilão a se aplicar.

A introdução da concorrência visa redução de preços; porém, no setor elétrico, a inserção pura e simples da concorrência não contribuiu razoavelmente para a redução dos preços, visto que,

ao final da década de 1990, a livre negociação não provia incentivos suficientes aos agentes.

Por outro lado, a iniciativa de inserção do mecanismo de leilões para comercialização de energia elétrica tem-se revelado eficiente na busca da redução dos preços, já que esses foram capazes de introduzir efetivamente a concorrência. Nota-se que isso é devido ao baixo preço da energia negociada em leilão comparada ao preço dos contratos bilaterais estabelecidos entre os agentes.

Entretanto, definir um mecanismo que permita a concorrência como os leilões, por exemplo, não é suficiente para reduzir substancialmente a conta de energia do consumidor final, visto que o segmento competitivo da geração compõe cerca de 30% do valor da fatura.

Entre outras formas para se reduzir o valor final da energia elétrica encontra-se a necessidade de uma regulamentação e fiscalização sólidas e atuantes, assim como incentivo aos investimentos para ajuste das curvas de oferta e demanda, a fim de se mitigarem as barreiras de um mercado de energia tão dependente das condições climáticas, como é o caso brasileiro. Verifica-se, também, a necessidade de se fortalecer um ambiente institucional hábil para formatar de forma eficiente tais mecanismos de concorrência.

Atualmente, os leilões de novos empreendimentos são realizados de forma sequencial, e um dos possíveis fatores para a escolha desse formato é a facilidade computacional e de elaboração de estratégias pelos participantes. Porém, a utilização desse formato não permite a revelação de preferências dos agentes, o que diminui a eficiência do leilão.

Contudo, a literatura acerca de leilões não é determinística ao afirmar qual formato de leilão é o mais eficiente, pois se conclui que, quando se trata de escolher o melhor formato de leilão com base na teoria, não há um formato ótimo, uma vez que essa escolha depende, dentre outros, de fatores econômicos.

Baseado nesse desafio, este trabalho apresentou uma metodologia aportada por uma ferramenta de simulação que analisou o formato de leilões simultâneo-combinatórios para licitação de novos empreendimentos de energia elétrica. Foram utilizadas as regras estabelecidas pela regulamentação vigente, sob a concepção do leiloeiro do setor, a ANEEL, com o propósito de se obter maior competição e diminuir, dessa maneira, o valor da energia elétrica para os consumidores finais.

Ao empregar tal formatação, a competição se confirma; possibilita-se aos participantes agrupar seus empreendimentos em pacotes, visto que para eles tais empreendimentos podem possuir a característica de complementaridade e, dessa forma, reduzir seus custos de investimento. Devido a essa sinergia, é possível que os participantes adotem estratégias mais agressivas ao adquirir os bens

desejados, aumentando a competição e alterando a receita final do leilão. Esse tipo de formatação incentiva, também, os agentes a revelarem sua preferência, o que aumenta a eficiência do leilão.

O modelo foi desenvolvido utilizando-se de técnicas de programação matemática inteira, a fim de se obter uma resposta ótima ao problema proposto. A função-objetivo, que compõe o problema, consistiu em minimizar o valor dos lances ofertados com o intuito precípua de promover modicidade tarifária, considerando-se as restrições de demanda, de garantia financeira, de compartilhamento de mercado e de unicidade.

A unicidade é a restrição mais significativa da formulação, posto que se utiliza o conceito de *set-packing* para alocação eficaz dos produtos, garantindo a venda de um único empreendimento a um único ganhador. A análise para resolução desse problema se fez de maneira simples, avaliando se a oferta do pacote montado pelo participante era melhor do que a soma das ofertas individuais de todos os participantes para cada um dos produtos. Caso positivo, o modelo vendia o bem como um pacote.

O simulador desenvolvido atingiu as características desejáveis à simulação, tais como: flexibilidade, operacionalidade e robustez. Para estudo da viabilidade computacional foi simulado um leilão contendo dez empreendimentos, cinco participantes e vinte pacotes. A apreensão inicial foi voltada à análise do tempo de processamento, vista a complexidade do problema de *set-packing*. Não se fez necessária, portanto, a utilização de outros métodos matemáticos, dado que o tempo computacional foi considerado satisfatório, na ordem de três minutos de otimização.

Este *software* de simulação foi criado apenas com o intuito de validar a metodologia, portanto não se preocupou com detalhes voltados à engenharia de *software*, como segurança dos dados, arquitetura distribuída, entre outros. Sua implementação se fez de maneira simples, utilizando-se de planilhas do *Excel* para o processamento dos dados, uma interface desenvolvida em VBA (que é um suplemento do *Excel*) e o *Solver*, que é um software integrado à planilha eletrônica para resolução da otimização.

Dada a viabilidade do uso de leilões combinatórios para novos empreendimentos de geração de energia elétrica, torna-se interessante, como proposta de trabalhos futuros, empregar rodadas simultâneas à fase combinatória em uma única fase, implementando, dessa forma, o leilão conhecido como *Ausubel-Milgrom*.

Torna-se também atraente o estudo de leilões combinatórios aplicados às licitações de linhas de transmissão, visto que tais empreendimentos transacionam um grande volume monetário e,

principalmente, possuem como característica a complementaridade, o que justifica o uso de leilões combinatórios.

A literatura especializada sobre leilões combinatórios ainda é muito limitada, principalmente no que se refere às *commodities*, logo esta dissertação representa um empenho que visa contribuir com a comunidade científica a respeito dos mecanismos utilizados na comercialização de energia elétrica.

Contudo é constatada a necessidade de se aprimorar esses mecanismos de negociação, bem como desenvolver outras metodologias para as aplicações de leilões no âmbito do setor elétrico.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. L. de. **o Impacto da introdução da concorrência no mercado de geração de energia elétrica no Brasil**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

ANEEL. **Lei nº. 9427**. 1996. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei19969427.pdf>
Acesso em março de 2010.

_____. **Decreto nº. 5.163**. Julho 2004. Disponível em
<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045163.pdf> Acesso em março de 2010.

_____. **Lei nº. 10.840**. Março 2004. Disponível em
<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200410848.pdf> Acesso em março de 2010.

_____. **Cadernos Temáticos ANEEL - Por dentro da conta de luz. Informação de utilidade pública**. 2008. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Cartilha-1p-atual.pdf>
Acesso em novembro de 2010.

_____. **Decreto nº. 6.353**. Janeiro 2008. Disponível em
http://www.planalto.gov.br/ccivil/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6353.htm Acesso em março de 2010.

_____. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2010. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/>
Acesso em novembro de 2010.

_____. **Banco de Informação da Geração**. 2010. Disponível em:
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp> Acesso em novembro de 2010.

ARAUJO, J. L. **Modelos de energia para planejamento**. Dissertação (Mestrado) — COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1988.

ASHENFELTER, O. How auctions work for wine and art. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 3, n. 3, p. 23–36, 1989.

AUSUBEL, L. M.; CRAMTON, P. Demand reduction and inefficiency in multi-unit auctions. **Journal Economic Literature**, 2002.

AZEVEDO, E. M. D. **Modelo computacional de Teoria de Jogos aplicado aos leilões brasileiros de energia elétrica**. Tese (Doutorado) — Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 2004.

BAJAY, S. V. Avaliação crítica do atual modelo institucional do setor elétrico brasileiro. In: COPPE - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **XIII Congresso Brasileiro de Energia**. Rio de Janeiro, 2010.

BAZERMAN, M. H.; SAMUELSON, W. F. I won the auction but don't want the prize. **The Journal of Conflict Resolution**, v. 27, n. 4, p. 618–634, Dezembro 1983.

BIERMAN, H. S.; FERNANDEZ, L. **Game theory with economic applications**. 2. ed. [S.l.]: Addison Wesley, 1998. 452 p.

BIKHCHANDANI, S.; HUANG, C. fu. Auction with resale markets: A model of treasury bill auctions. **The Review of Financial Studies**, v. 2, p. 331–339, 1989.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental - os desafios do desenvolvimento sustentável**. [S.l.]: Pearson Prentice Hall Brasil, 2005.

BRASIL. **Novo Código Civil - Lei nº. 10.406**. 10 de Janeiro 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/> Acesso em outubro de 2010.

CCEE. **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**. 2010. Disponível em <http://www.ccee.org.br/> Acesso em Abril de 2010.

CHAKRAVARTI, D. et al. Auctions: Research opportunities in marketing. **Marketing Letters**, p. 281–296, 2002.

CORREIA, P. B.; LANZOTTI, C.; SILVA, A. J. da. **Teoria dos leilões: investigação e aplicação na comercialização de energia elétrica**. UNICAMP, 2002.

COSTA, A. M. A. **Dúvidas sobre sistemática dos leilões**. Setembro 2010. Email em 31 de setembro de 2010.

COSTA, R. C.; PIEROBON, E. C. **Leilão de Energia Nova: Análise da Sistemática e dos Resultados**. 2008. BNDES.

CRAMTON, P.; SHOHAM, Y.; STEINBERG, R. **Combinatorial Auctions**. Massachusetts Institute of Technology: MIT Press, 2006.

DEKRAJANGPETCH, S.; SHEBLÉ, G. B. Structures and formulations for electric power auctions. **Electric Power Systems Research**, v. 54, p. 159 – 167, 2000.

ELETROBRAS. **Eletrobrás - Furnas**. 2010. Disponível em <http://www.furnas.com.br/> Acesso em novembro de 2010.

EPE. **Plano Nacional de Energia**. 2007.

_____. **Plano Decenal da Expansão de Energia 2019**. 2010.

ETHIER, R. et al. A uniform price auction with locational price adjustments for competitive electricity markets. **Electrical Power and Energy System**, v. 21, p. 103–110, 1999.

EXCEL, M. **Ajuda do microsoft Office Excel**. Msoffice 2007. Help online, 2007.

FERNANDES, C. A. B. de A. Gerenciamento de riscos em projetos: como usar o microsoft excel para realizar a simulação monte carlo. 2005.

FRIEDMAN, M. **A program for monetary stability**. [S.l.]: Fordham University Press, 1960.

GARCIA, A. G. P. **Leilão de eficiência energética no Brasil**. Rio de Janeiro: Synergia, 2009.

GUNN, L. K. **Precificação de contratos inflexíveis de energia elétrica: rentabilidade e os impactos dos tributos**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, 2008.

HEAP, S. H.; VAROUFAKIS, Y. **Game theory: A critical Introduction**. [S.l.]: Routledge, 1995. 384 p.

HUDSON, R. Analysis of uniform and discriminatory price auction in restructured electricity markets. **Oak Ridge National Laboratory**, 2000.

KAGEL, J. H.; LEVIN, D. Behavior in multi-unit demand auctions: Experiments with uniform price and dynamic vickrey auctions. **Econometrica**, v. 69, n. 2, p. 413–454, Março 2001.

KLEMPERER, P. Auction theory: A guide to literature. **Journal of economic surveys**, p. 227 – 286, 1999.

_____. **Why every economist should learn some auction theory**. [S.l.]: Oxford University, 2000.

KRISHNA, V. **Auction Theory**. [S.l.]: Academic Press, 2002. 200 p.

LAFFONT, J.-J. Game theory and empirical economics: the case of auction data. **European Economic Review**, v. 41, p. 1 – 35, 1997.

LO, K. L.; LOZANO, C. A.; GERS, J. M. Game theory application for determining wheeling charges. **IEEE International Conference in Electric utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies**, p. 308–313, 2000.

MASILI, G. S. **Metodologia e software para simulação de leilões de energia elétrica do mercado brasileiro**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 2004.

MCAFEE, R. P.; MCMILLAN, J. Auctions and bidding. **Journal Economics Literature**, v. 25, p. 699 – 738, 1987.

MCAFEE, R. P.; VINCENT, D. The declining price of anomaly. **Journal economic theory**, v. 60, p. 191–212, 1993.

MILGROM, P. R.; WEBER, R. J. Theory of auction and competitive biddings. **The Econometric Society**, v. 50, p. 1089–1122, 1982.

MME. **Portaria nº. 231**. Julho 2008. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/prt2004231mme.pdf> Acesso em março de 2010.

MOUNT, T. D. Market power and price volatility in restructured markets for electricity. **IEEE Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences**, 1999.

MUNHOZ, F. C. **Metodologia e software para fixação de lances em leilões de energia elétrica**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 2004.

MUNHOZ, F. C. **Modelo de suporte à decisão para contratação eficiente de energia elétrica**. Tese (Doutorado) — Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 2008.

NASH, J. Non-cooperative games. **Annals of Mathematics**, v. 54, n. 2, p. 286–295, 1951.

NEUMANN, J. von; MORGENSTERN, O. **Theory of games and Economic Behavior**. [S.l.]: Princeton University Press, 1944.

ONS. **Operador Nacional do Sistema**. Outubro 2010. Disponível em:
<http://www.ons.org.br/home/> Acesso em 10/10/2010.

OSBORNE, M. J.; RUBINSTEIN, A. **A course in game theory**. Massachusetts Institute of Technology: MIT Press, 1994.

PERRY, M.; WOLFSTETTER, E.; ZAMIR, S. A sealed-bid auction that matches the english auction. **Games and Economic Behavior**, v. 33, p. 256–273, 2000.

RASMUSEN, E. **Game and information: an introduction to game theory**. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2001.

REGO, E. E. **Aspéctos regulatórios e financeiros nos leilões de energia elétrica - A lição das usinas botox**. Rio de Janeiro: Synergia, 2009.

ROMP, G. **Game Theory: introduction and applications**. [S.l.]: Oxford, 1997.

SHANNON, R. E. **Systems Simulation: The art and science**. [S.l.]: Prentice Hall, 1975.

SHEBLE, G. B. **Computational Auction Mechanisms for Restructured Power Industry Operation**. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers, 1999.

SILVA, A. J. D. **Leilões de certificado de energia elétrica: máximo excedente versus máxima quantidade negociada**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 2003.

SOUBBOTINA, T. P.; SHERAM, K. A. **Beyond economic growth: meeting the challenges of global development**. [S.l.]: WBI learning resources series, 2000.

THALER, R. H. Anomalies: the winner's curse. **Journal of Economic Perspectives**, v. 2, p. 191 – 202, 1988.

TOLMASQUIM, M. T. **Geração de Energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: Princípios básicos**. [S.l.]: Campus, 2000.

VICREY, W. Counterspeculation, auctions and competitive sealed-tenders. **Journal of Finance**, v. 16, p. 8 – 37, 1961.

WOLFSTETTER, E. **Topics in Microeconomics: Industrial Organization, Auctions, and Incentives**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1999.

WOLSEY, L. A.; NEMHAUSER, G. L. **Integer and combinatorial optimization**. [S.l.]: Wiley-Interscience, 1999.

ANEXO A - EMAIL: SISTEMÁTICA DE LEILÕES

elisabs@fem.unicamp.br - 687.5MB (70.3%) - 05/01/2011 11:56:58 pm -0300 - pt_BR.ISO8859-1 - OpenWebMail (+z)

Data: Wed, 5 Jan 2011 23:56:37 -0300
De: elisabs@fem.unicamp.br
Para: Agnes Maria de Aragao da Costa <agnes.costa@mme.gov.br>
Assunto: Re: RES: Dúvidas - Contato VII CBPE
From: Agnes Maria de Aragao da Costa <agnes.costa@mme.gov.br>
To: "elisabs@fem.unicamp.br" <elisabs@fem.unicamp.br>
Cc: Marisete Fatima Dadald Pereira <marisete.pereira@mme.gov.br>, Tiago de Barros Correia <tiago.correia@mme.gov.br>
Sent: Mon, 13 Sep 2010 22:42:18 +0000
Subject: RES: Dúvidas - Contato VII CBPE

Prezada Elisa,

Agradeço pelo interesse. São diversas as portarias que versam sobre leilões. Geralmente, todo ano, sai uma Portaria de diretrizes (ou mais de uma), dizendo quais leilões serão realizados no ano, quais as fontes a serem contratadas, modalidade de contratação e previsões de data para a realização desses leilões.

Depois, cada leilão geralmente tem a sua portaria própria, pois nela consta os procedimentos para a habilitação técnica além de outros prazos. Nessas, vc encontra a referência sobre qual é a Portaria usada como referência para cálculo de reajuste de combustível, por exemplo. E, geralmente, ela traz como anexo a sistemática do leilão. Só não traz quando se decide usar uma sistemática anterior, quando se considera a característica do leilão que se pretende realizar semelhante a outro já realizado. Nesse caso, ela faz referência à outra Portaria em que consta a sistemática.

A metodologia para definição da sistemática depende muito do produto que ser leiloado. E também é uma evolução das experiências anteriores, porque a gente aprende muito com os resultados do leilão. Depende também, por exemplo, das condições de financiamento vigentes (o que influencia no prazo dos contratos). No fundo, a gente se encontra sobre uma curva de aprendizado em que cada leilão é meio que único, entende? Porque dificilmente vc consegue que todas as variáveis/parâmetros sejam iguais em todos os leilões.

Bem, com relação às principais portarias que recorrentemente são mencionadas nas portarias de leilões, segue a lista:

Portaria	Regras
Portaria MME – MF 234 de 2002	Fixa o preço base máximo, em Reais por MMBTU, para suprimento de gás natural destinado à produção de energia elétrica pelas usinas integrantes do PPT e que sejam vinculadas ao sistema elétrico interligado
Portaria MME 112 de 16.05.2006	Critérios de reajuste tarifário
Portaria MME 42 de 1º.03.2007	Critérios de reajustes tarifários de empreendimentos termelétricos
Portaria MME 46 de 09.06.2007	Cálculo do CVU de referência para os leilões
Portaria MME 21, de 18.01.2008	Procedimentos para Registro na ANEEL e Habilitação Técnica pela EPE de projetos de geração de energia elétrica
Portaria MME 258 de 28.07.2008	Define a metodologia de cálculo da garantia física de novos empreendimentos de geração de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional – SIN.
Portaria MME 463 de 03.12.2009	Estabelece a metodologia para o cálculo dos montantes de garantia física de energia de usinas hidrelétricas não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, para fins de participação no Mecanismo de Realocação de Energia - MRE, inclusive para fins de participação nos Leilões de Compra de Energia Elétrica.

> Cumpre destacar que todas elas estão disponíveis no site do MME. Vc faz a pesquisa em "legislação". É a publicidade dos atos públicos e a transparência de que falei na apresentação.

> Att.

> Agnes Maria de Aragão da Costa

> Assessora Econômica

> Ministério de Minas e Energia

> Fone: +55-61-3319-5303

> Fax: + 55-61-3319-5068

> -----Mensagem original-----

> De: elisabs@fem.unicamp.br [mailto:elisabs@fem.unicamp.br]

> Enviada em: segunda-feira, 13 de setembro de 2010 16:48

> Para: Agnes Maria de Aragao da Costa

> Assunto: Dúvidas - Contato VII CBPE

> Prezada Agnes, > Boa tarde! Sou Elisa Bastos estudante de pós-graduação pela Unicamp e monitora em uma disciplina da prof. Virginia Parente, que sempre fala muito bem de você. Vi sua apresentação no VII CBPE e gostei muito do seu trabalho, parabéns.

> Devido ao trabalho de minha dissertação, que é acerca de leilões de energia elétrica, me surgiu uma dúvida, e creio que talvez você possa me orientar.

> Quanto às sistemáticas do leilão o MME que dita, através de portarias, como o leilão ocorrerá. Pelo que constatei pelo site da CCEE analisando os editais dos leilões, não identifiquei um padrão utilizado nas sistemáticas para leilões de novos empreendimentos.

> Gostaria de saber qual a metodologia e quais diretrizes o MME define para designar que determinado leilão utilizará determinada Portaria como sistemática. Essas portarias, como a 231, de 2008 e a 434, de 2009 por exemplo, são fixadas por um determinado período e/ou para um determinado leilão? Resumindo, baseado em que tais portarias são definidas, e também, se existe algum documento oficial que determina as diretrizes a serem seguidas que pode ser disponibilizado.

> Desde já agradeço

> Elisa Bastos Silva

> Planejamento de Sistemas Energéticos

> Área de concentração: Comercialização de energia elétrica

> Departamento de Energia - Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP

> Campinas - SP

> Tel:55(19) 8827 6210

> Tel:55(19) 3521 3285 (Depto de Energia/Alunos da Pós-graduação)- Sala 301

> Site: www.fem.unicamp.br

> (elisabs@fem.unicamp.br, elisabs@gmail.com)

----- End of Original Message -----