

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANELIZE RIBEIRO

SIMULAÇÃO DE LEILÕES DE ENERGIA MULTIPRODUTOS CONSIDERANDO
ATRIBUTOS DAS FONTES DE EXPANSÃO NO BRASIL

CURITIBA

2015

ANELIZE RIBEIRO

SIMULAÇÃO DE LEILÕES DE ENERGIA MULTIPRODUTOS CONSIDERANDO
ATRIBUTOS DAS FONTES DE EXPANSÃO NO BRASIL

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento de Tecnologia, no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Área de Concentração de Sistemas Energéticos Convencionais e Alternativos, do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio de Medeiros

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Augusto Barros

CURITIBA

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

ANELIZE RIBEIRO

SIMULAÇÃO DE LEILÕES DE ENERGIA MULTIPRODUTOS CONSIDERANDO
ATRIBUTOS DAS FONTES DE EXPANSÃO NO BRASIL

Dedico este trabalho ao meu querido filho, Henrique R. Ricardo e aos meus pais, Janice A. da Silva Ribeiro e Luiz D. P. Ribeiro.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer inicialmente a Deus por ter me dado saúde e determinação para superar as dificuldades.

À Copel Geração e Distribuição e demais empresas proponentes do projeto de P&D-PD-6491-0279/2012 - Aperfeiçoamento do processo de contratação da expansão do parque gerador, em particular ao Sr. Carlos Bley, gerente do projeto, pela concessão da bolsa de mestrado sem a qual não seria possível realizar esta pesquisa.

Ao meu professor orientador Dr. Lúcio de Medeiros, pelo suporte, compreensão e incentivo.

Ao meu filho e minha família pela paciência e apoio incondicional durante horas de dedicação.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A energia elétrica no Brasil era considerada até 1995 uma indústria verticalizada cujas principais responsabilidades eram gerar, transmitir e distribuir energia elétrica diretamente aos consumidores. Em 2001, o Sistema Elétrico Brasileiro passou por uma severa crise de abastecimento de energia que culminou em uma reforma em 2004, consolidando a orientação de comercialização da energia no país por meio de leilões que vigora até hoje. As licitações de energia através de leilões no país foram em sua partida criados sobre uma base conceitual muito elementar em relação aos critérios para seleção de um vencedor, fundamentado apenas na obrigação de garantir a modicidade tarifária, o que com a exploração do modelo evidenciou a necessidade de um mecanismo capaz de garantir critérios analíticos que permitissem aprimorar as características de um leilão e considerar as externalidades através de leilões multiprodutos, incorporando os atributos de cada projeto candidato. Esta dissertação objetiva analisar, testar, e discutir uma metodologia de simulação de leilões proposta cujo algoritmo foi usado para criação através de um software específico denominado SIML que permite emular diferentes arranjos de leilões. Pretende-se com isso simular leilões multiatributos e testar as alternativas que trazem o menor custo de contratação levando-se em consideração os benefícios técnicos que cada fonte agrega ao sistema. Além disso, é intuito do texto contribuir para uma análise sobre o atendimento às diretrizes de política energética e incorporação, aos leilões atuais, de externalidades das várias fontes de geração de energia. A abordagem metodológica utilizada parte da análise dos leilões enquanto certames de comercialização de energia, seus mecanismos atuais e a necessidade de melhorias em seus critérios para seleção de um projeto vencedor diante de um plano de expansão, inserindo os conceitos de quantificação e valoração dos atributos de cada fonte candidata para a expansão do sistema. Com base nas simulações testadas para o Sistema Elétrico Brasileiro, aplicando-se a metodologia proposta, observa-se que os valores dos atributos influenciam de forma significativa e decisiva nos resultados de um leilão de energia, promovendo uma maior confiabilidade, uma vez que incorpora critérios analíticos ao mecanismo de leilões de energia no Brasil. Adicionalmente, observou-se a possibilidade de alternativas para garantir uma melhor eficiência ao planejamento do setor elétrico, possibilitando testar e simular os leilões antecipadamente e, sob a ótica do ofertante, avaliar preliminarmente seu desempenho e sua probabilidade de vencer o certame em variados cenários.

Palavras-chave: Leilões Multiprodutos. Atributos das Fontes Geradoras. Simulação Monte Carlo.

ABSTRACT

Electric energy was considered a verticalized industry until the year of 1995, which its main responsibilities were to generate, transmit and distribute electric energy directly to the consumers. In 2001, the Electric Brazilian System passed by a severe crisis of energy supply that resulted in a reform in 2004, consolidating the commercial guidance of energy in the Country through auctions, which runs today. Energy bids through the auctions in the Country were created under a conceptual basis very elementary, regarding the criteria for the selection of a winner, based on the obligation to assure the affordability tariff that with the model's exploration revealed the need of a mechanism capable of assure analytical criteria that could allow improves in the characteristics of an auction, and consider the externalities through multiproduct auctions, incorporating the attributes of each competitor project. This dissertation aims to simulate and discuss an auction simulation methodology proposed, which nesting algorithm was used for creation through specific software named SIML, which allows the emulation of different kinds of auctions. It is intended to investigate the alternatives that have lower cost hiring, considering the technical benefits that each source adds to the system. Beyond that, the text view is to contribute for an analysis about the attendance to the energetic and incorporation to the current auctions policy of the externalities of the many sources of energy generation. The methodological approach used consider as basis the auctions analysis while auctions of energy commercialization, its current mechanisms and improvement needs on the selection criteria a winner project in front of an expansion plan, adding the qualification concepts and value of the attributes of each candidate source for the expansion of the system. Based on simulations tested for the Brazilian Electric System, applying the proposed methodology, is observed that the attributes of the values influence on a significant and crucial way on the results of an energy auction, promoting a bigger reliability, once it incorporates analytical criteria into the energy auctions mechanism in Brazil. In addition, it was observed the possibility of alternatives to assure a better efficiency to the electric sector, enabling to test and to simulate the auctions in advance and under the optics of the auction's competitor assess preliminarily its performance and its auction winning probability in varied scenarios.

Key Words: Multiproduct auctions, Attributes of generating sources. Monte Carlo Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - ESTRUTURA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	31
Figura 2 – FLUXOGRAMA DA SISTEMÁTICA DOS LEILÕES.....	39
Figura 3 – RESULTADO DOS LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL DE 2005 A 2014	44
Figura 4 – RESULTADO DOS PREÇOS MÉDIOS DOS LEILÕES.....	45
Figura 5 – DISTRIBUIÇÃO NORMAL	49
Figura 6 – BARRA DE FERRAMENTAS ATIVA.....	52
Figura 7 - TELA DO RELATÓRIO SIMPLIFICADO.....	52
Figura 8 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA proposta.....	53
Figura 9 – INICIALIZAÇÃO DOS LEILÕES.....	59
Figura 10 – PRIMEIRA FASE DO LEILÃO.....	60
Figura 11 – SEGUNDA FASE DO LEILÃO	62
Figura 12 – DADOS PARCIAIS DE SAÍDA DO SIML	66
Figura 13 – ICB OFERTANTE IBIRAPUITÃ 1 – 500 SIMULAÇÕES	85
Figura 14 – ICB OFERTANTE IBIRAPUITÃ 1 – 1000 SIMULAÇÕES	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – qUANTIDADE DE LEILÕES NO BRASIL.....	35
Tabela 2 – DADOS DE ENTRADA DO LEILÃO.....	57
Tabela 3 – RESUMO DOS DADOS DO LEILÃO CASO 1	71
Tabela 4 – LISTA DE OFERTANTES DO LEILÃO – CASO 1.....	71
Tabela 5 – DADOS DE SAÍDA DO LEILÃO	73
Tabela 6– OFERTANTES PERDEDORES	74
Tabela 7 – GARANTIA FÍSICA REPARTIDA PROPORCIONALMENTE.....	75
Tabela 8 – OFERTANTES GANHADORES DO LEILÃO	75
Tabela 9 – PROBABILIDADE DE SUCESSO	77
Tabela 10– DADOS DE SAÍDA DO LEILÃO – CENÁRIO (b).....	77
Tabela 11 – GARANTIA FÍSICA VENDIDA.....	78
Tabela 12 – PROBABILIDADE DE SUCESSO	78
Tabela 13 – DADOS DE SAÍDA DO LEILÃO	79
Tabela 14 – GARANTIA FÍSICA VENDIDA – TÉRMICAS	80
Tabela 15 – PROBABILIDADE DE.....	80
Tabela 16– PREÇO FINAL DOS CENÁRIOS	81
Tabela 17 - PROBABILIDADE DE SUCESSO DOS OFERTANTES NOS CENÁRIO	81
Tabela 18 – CUSTO MÉDIO DOS OFERTANTES NOS CENÁRIOS.....	83
Tabela 19 – RESUMO DOS DADOS DO LEILÃO – CASO 2	87
Tabela 20 – LISTA DE OFERTANTES DO LEILÃO – CASO 2.....	87
Tabela 21 - OFERTANTES PERDEDORES	90
Tabela 22– PROBABILIDADE DE SUCESSO	91
Tabela 23 - OFERTANTES PERDEDORES	92
Tabela 24 – PROBABILIDADE DE SUCESSO	93
Tabela 25 - OFERTANTES PERDEDORES	94
Tabela 26 – PROBABILIDADE DE SUCESSO	95
Tabela 27 – PREÇO FINAL DO LEILÃO – CASO 2.....	96

LISTA DE SIGLAS

ACL – Ambiente de Contratação Livre
ACR – Ambiente de Contratação Regulado
ANA – Agência Nacional das Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BIO – Fonte Biomassa
CCEAR – Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCEE – Câmara de Comércio de Energia Elétrica
CEC – Custo Econômico de Curto Prazo
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais
CESP – Companhia Energética de São Paulo
CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE – Conselho Nacional de Política Energética
COELBA – Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
COELCE – Companhia Energética do Ceará
COP – Custo de Operação
COPEL – Companhia Paranaense de Energia
DNAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
EOL – Fonte Eólica
GF – Garantia Física
GN – Gás Natural
ICB – Índice Custo Benefício
LE – Leilões Estruturantes
LEA – Leilão de Ajuste
LEE – Leilão de Energia Existente
LEN – Leilão de Energia Nova
LER – Leilão de Energia de Reserva
LFA – Leilão de Fontes Alternativas

MAE – Mercado Atacadista de Energia
MME – Ministério de Minas e Energia
ONS – Operador Nacional do Sistema
PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas
PERT – Program Evaluation Review Technique
PLD – Preço de Liquidação de Diferenças
RF – Receita Fixa
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
SEB – Setor Elétrico Brasileiro
SIML – Simulador de Leilões
SIN – Sistema Interligado Nacional
UHE - Usinas Hidrelétricas

LISTA DE SÍMBOLOS / GLOSSÁRIO

$n = 1, \dots, N$	Indexa os leilões segregados por atributos.
N	Nº total de leilões
D_n^*	Garantia física total desejada para o leilão n (dado de entrada). (MW médio) Observa-se que $\sum_n D_n^* = D$ representa a demanda total do leilão.
δ_n	Diferença (positiva) entre D_n^* e D_n , isto é, a “frustração” no preenchimento da GF desejada para o leilão n (resultado da otimização).
H_n	Máximo sobre-preço (dado de entrada) que o leilão segregado n pode ter com relação a um preço de referência do leilão (resultado da otimização)
$i = 1, \dots, I$	Indexa os candidatos do leilão
E_i	Garantia física do candidato i (MW médio)
p_i^*	ICB de cada candidato i já incluindo os atributos (R\$/MWh de garantia física)
x_i	Variável binária que indica se o candidato i foi contratado no leilão
π_n	Preço final (ICB final) de contratação do leilão n (resultado do modelo) (R\$)
D_n^k	Demanda da iteração k para o leilão n (resultado do leilão) (MW médio)
δ_j^*	Demanda residual $D_j^k - D_j^{k+1}$ do leilão n que pode ser distribuída entre outros leilões segregados
$\{\lambda_1 \dots \lambda_{M-m}\}$	Vetor de atributos pré-calculados (R\$/MWh) (dados de entrada)
$\{\mu_1 \dots \mu_m\}$	Vetor de atributos ofertados durante o leilão (R\$/MWh) (dados de entrada)
$\{\sigma_1 \dots \sigma_m\}$	Vetor de atributos ofertados durante o leilão (R\$/MWh) (dados de entrada)
$\{O_1 \dots O_m\}$	Vetor de atributos ofertados durante o leilão (R\$/MWh) (resultado do modelo) (“Receita Fixa”)
$m = 1, \dots, M$	Índice do atributo
π_n^*	Preço de abertura do leilão (R\$/MWh) (dado de entrada)
π_n^k	Preço da iteração k para o leilão n (R\$/MWh)
π_R	Preço de referência do leilão (R\$/MWh) (resultado da otimização)
j^*	Índice do leilão segregado com maior desvio positivo entre o preço obtido e o preço de referência $\pi_n - \pi_R$
l^*	Índice do leilão segregado com menor desvio positivo entre o preço obtido e o preço de referência $\pi_n - \pi_R$
θ	Decremento do preço a cada leilão (R\$/MWh) (dado de entrada)

QT_n^k	Somatório das garantias físicas dos candidatos i (MW médio)
k	Iteração do leilão
i_k^*	Candidato com menor p_{i^*} não-selecionado do leilão
x_i^k	Variável binária que indica se o candidato i foi contratado no leilão
P_i	Probabilidade de sucesso de cada candidato no leilão
N_i	Número de leilões ganhos pelo candidato i
C_i	Custo médio final dos leilões em que o candidato i venceu
h	Indexa os leilões vencidos pelo candidato i onde $h = \{1, \dots, N_i \leq N\}$
N_{Ti}	Número total de leilões que o candidato i participou

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTO.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	18
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Teoria de leilões.....	21
2.1.1 Conceitos Básicos.....	21
2.2 EXPERIÊNCIAS COM LEILÕES DE ENERGIA ELÉTRICA.....	25
2.3 LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL.....	28
2.3.1 Histórico	29
2.3.2 Leilões de energia nova	35
2.4 LEILÕES MULTIATRIBUTOS.....	46
2.5 SIMULAÇÃO MONTE-CARLO	48
3 MATERIAIS E MÉTODO	51
3.1 MATERIAIS	51
3.1.1 Software Simulação de Leilões SIML.....	51
3.2 MÉTODO.....	53
3.2.1 Etapa 1 – Definição dos cenários de simulação.....	54
3.2.1.1 Definição dos dados de entrada.....	54
3.2.1.2 Definição de cenários.....	57
3.2.2 Etapa 2 – Aplicação do método de leilões multiatributos	58
3.2.2.2 Parametrização dos dados no software SIML	65

3.2.3 Etapa 3 – Cálculo das Estatísticas	66
3.2.4 Etapa 4 – Análise dos Resultados.....	67
4 ESTUDO DE CASO	69
4.1 Estudo de caso 1	69
4.1.1 Cenário (a) - Leilão único não segregado	73
4.1.2 Cenário (b) – Leilão conjunto com atributo segregador.....	77
4.1.3 Cenário (c) – Leilão segregado	79
4.2 Estudo de caso 2.....	86
4.2.1 Cenário (a) – Leilão único não segregado.....	90
4.2.2 Cenário (b) – Leilão conjunto com atributo segregador.....	92
4.2.3 Cenário (c) – Leilão segregado	94
5 CONCLUSÕES.....	97
REFERÊNCIAS.....	99

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

No ambiente de mercados de energia elétrica é evidente a preocupação com a eficiência na implementação de projetos com capacidade para garantir a expansão do sistema e a segurança do abastecimento com baixos custos. Por outro lado, mecanismos de compra e venda no mercado de energia elétrica incapazes de minimizar picos de preços e com níveis de suprimento insatisfatórios não garantem segurança e confiabilidade para a sociedade, tornando-se necessário introduzir novos mecanismos na comercialização de energia.

Desde 2002, o Brasil vem utilizando os leilões de contratos de suprimento como instrumento para compra e venda de energia elétrica (AGUIAR, 2004). A Lei nº 10.438/2002 (Brasil, 2002a) determinou que, no mínimo, 50% da energia das geradoras sob controle federal seja comercializada através de leilões públicos e, pelo Decreto 4.562/2002 (Brasil, 2002b), todas as distribuidoras devem utilizar os mesmos certames para contratar 100% de suas necessidades de energia.

Em 2004, um novo marco regulatório do Setor Elétrico Brasileiro (SEB) foi instituído através da Lei nº 10.848/2004 (Brasil, 2004a), e Decreto nº 5.163/2004 (Brasil, 2004b), consolidando a orientação de contratação de energia no país por meio de leilões e mantendo a observância à modicidade tarifária e condições e limites de repasse do custo de aquisição da energia para o consumidor final, entre outros aspectos. Adicionalmente, busca-se promover a melhoria na segurança do suprimento de energia, estabelecendo uma competição por preços no processo de comercialização, e a competição aberta entre agentes de geração pelo critério de menor tarifa. Este modelo muda o foco da contratação, privilegiando o longo prazo e criando dois ambientes, o ambiente regulado, operacionalizado através de leilões de compra e venda de energia, e o ambiente livre, com contratos de compra e venda de energia negociada livremente entre duas partes. Ambos os ambientes ocorrem simultaneamente permitindo uma alocação eficiente dos recursos com efeitos positivos na atratividade dos investimentos.

Um leilão de energia elétrica é um processo licitatório, ou seja, é uma concorrência promovida pelo poder público visando obter energia elétrica em um

prazo futuro (estabelecido nos termos de um edital), geralmente através da construção de novas usinas de geração elétrica. Barroso *et al.* (2011) argumentam que são os leilões que decidem, em última forma, a composição do parque gerador, a localização das novas fontes de geração, a consideração de externalidades e a repartição dos riscos entre produtores e consumidores.

É cada vez mais importante o estudo dos leilões por se tratar da principal forma de comercialização de energia do país. Diversos agentes estão envolvidos no processo: governo, distribuidoras, geradores e comercializadores, atraindo investimentos estrangeiros e nacionais. Os impactos são de grande proporção sobre a economia e o desenvolvimento do país. A população (consumidor final) também é afetada diretamente, quer seja pelo preço da tarifa a ser paga, pelo acesso ao produto final ou até mesmo pela falta dele.

Existem vários tipos de leilões de energia empregados no país e, entre os principais, estão os leilões de “energia nova” para contratar energia de novos empreendimentos (usinas que entram em operação em 3 ou 5 anos); os leilões de “energia existente”, criado para contratar energia gerada por usinas já construídas e que estejam em operação, com investimentos já amortizados; os leilões de “ajuste”, para contratar parcela de energia não contratada em leilões anteriores devido aos erros de previsão de demanda pelas concessionárias; e leilões de “energia de reserva”, criada para elevar a segurança no fornecimento de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), que podem advir de energia nova ou existente.

Adicionalmente, o governo promove frequentemente leilões “estruturantes”, de empreendimentos que tenham prioridade de licitação e implantação, por serem estratégicos e de interesse público. Um exemplo deste tipo de leilão de energia é o da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, que está sendo construída na bacia do Rio Xingu, no norte do Pará, com usina com capacidade instalada de aproximadamente 11 GW, cujo leilão ocorreu em 20 de abril de 2010.

Cada projeto tem uma determinada Garantia Física (GF) [em MW] que reflete a quantidade máxima de energia que o projeto consegue suprir em base sustentável e que define o montante de energia a ser comercializado no leilão (BEZERRA *et al.*, 2014). O governo promove os leilões com os montantes de energia requeridos pelas distribuidoras e cada gerador vencedor garante a segurança do suprimento entregue, em longo prazo, através da assinatura de um contrato com cada distribuidora.

Para facilitar a implantação e consolidação do modelo de licitações de energia através de leilões no país, os projetos são escolhidos com base no custo da sua GF, não levando em consideração mais nenhum tipo de externalidade das fontes geradoras, tais como a região em que a usina se encontra, o custo de transmissão e a despachabilidade da fonte, entre outros, o que mostra a necessidade de um aperfeiçoamento no modelo que conta com mais de dez anos e 28 leilões realizados até 2014.

Nesse trabalho foi testada e analisada uma proposta de aperfeiçoamento para os leilões de energia nova e de reserva no Brasil apresentada no projeto de PD-6491-0279/2012 - Aperfeiçoamento do processo de contratação da expansão do parque gerador (LACTEC; PSR, 2013). Esta metodologia considera a receita fixa de cada ofertante com uma distribuição Normal de probabilidade e utiliza a técnica de Simulação Monte Carlo para sortear um valor em cada simulação de leilão. Adicionalmente, considera diversas externalidades das fontes de geração de energia. Ainda no âmbito do projeto de P&D, foi desenvolvido uma ferramenta computacional para realizar as simulações dos leilões. Tanto a metodologia quanto o *software* serão utilizados nesta dissertação para realizar análises de resultados de dois estudos de caso de leilões de energia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa consiste em simular e analisar uma proposta de aperfeiçoamento para os leilões de energia nova e de reserva no Brasil, de forma a atender às diretrizes de política energética e incorporar aos leilões atuais externalidades das várias fontes de energia.

1.2.2 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos dessa dissertação estão:

- Analisar experiências de utilização de leilões multiatributos ou multiprodutos
- Desenvolver uma metodologia para simulação e análise dos leilões de energia elétrica, a partir de metodologia proposta de leilões multiprodutos
- Empregar e testar a ferramenta desenvolvida para realizar simulações de leilões SIML
- Empregar a técnica de Simulação Monte Carlo nos sorteios dos atributos ofertantes nos leilões de energia
- Simular leilões de energia multiprodutos considerando critérios dos geradores e leiloeiro como entrada do sistema e a receita fixa dos ofertantes como uma variável aleatória
- Analisar os resultados em dois estudos de caso considerando leilões de energia já realizados no país.

1.3 JUSTIFICATIVA

O modelo de contratação através de leilões, que originalmente deve permitir a implantação do planejamento feito pelo governo, possui mais de dez anos e apresenta sinais de que necessita de aperfeiçoamento. Nesse sentido, os leilões atuais somente consideram a receita fixa dos ofertantes. Para contornar esse problema, algumas regras e critérios *ad hoc* foram criados pelo governo, ao longo da implementação do modelo atual, tais como a realização de leilões específicos para determinado tipo de fonte, por exemplo, leilão de fontes alternativas, leilão de usinas hidrelétricas ou leilão de energia de reserva para usinas termelétricas movidas a gás natural.

Entretanto, não são consideradas no modelo atual as diversas externalidades dos ofertante internamente ao processo dos certames. Bezerra, B. *et al.* (2014) propõe que externalidades, tais como a localização, a capacidade de atender a demanda de ponta, a possibilidade de despachar (se flexível ou inflexível), entre outras, possam fazer parte intrinsecamente do mecanismo do leilão, permitindo

assim incorporar o planejamento das fontes e permitir a contestação do planejamento de forma mais clara.

O Operador Nacional do Sistema (ONS) já havia sugerido a necessidade de melhorias através de um aperfeiçoamento ao modelo vigente de tal forma que possa melhor consolidar a operação do SIN através da resultante dos sistemas planejados. (ONS, 2012). Por exemplo, o ONS afirma que é necessário a realização de leilões de oferta por fonte e que dever-se-ia considerar “não somente o preço, mas também as condições de segurança do suprimento examinadas sob a ótica do atendimento regional” (op. cit., p. 46).

Rego (2012), por sua vez, analisou os leilões de energia no Brasil de 2005 a 2011 e apontou diversos pontos fracos do modelo, tais como a metodologia de contratação termelétrica por disponibilidade e a adoção de um preço-teto “nem sempre adequado”.

O Brasil prescindia de metodologia e ferramenta computacional que permitisse simular, em um ambiente controlável, os certames a partir de critérios analíticos, regras e parâmetros pré-estabelecidos, tais como definição de preço-teto, GF de contratação etc., além de considerar das externalidades das fontes, garantindo um melhor planejamento da expansão, de tal forma a propiciar a efetiva materialização dos projetos. Nesse sentido, uma nova sistemática para leilões multiprodutos foi apresentada em 2014, fruto de um projeto de P&D (LACTEC; PSR, 2013), que permite uma comparação de fontes com distintos atributos e a realização de certames segregados, com o objetivo de obter resultados mais coerentes com os custos da expansão e operação dos sistemas de geração e transmissão (BEZERRA *et al.*, 2014). Um *software* baseado nesta metodologia foi também desenvolvido permitindo a simulação de leilões de energia baseado na nova metodologia (MEDEIROS *et al.*, 2015).

A presente pesquisa pretende realizar uma análise quantitativa e qualitativa sobre o impacto de diferentes regras de segregação dos atributos na expansão do sistema, inserção de leilões multiprodutos em que várias fontes de energia compitam entre si e os principais atributos de cada fonte, tais como o atendimento à ponta ou a despachabilidade de usinas, com base na metodologia proposta em BEZERRA *et al.* (2014) e *software* desenvolvido por MEDEIROS *et al.* (2015).

Finalmente, é importante ressaltar que não é objeto desta dissertação apresentar metodologias para o cálculo dos atributos, mas apenas considera-los no

modelos. Os dois estudos de caso apresentados aqui trazem valores de atributos pré-calculados de forma ad hoc.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em cinco capítulos. Além deste capítulo introdutório, apresenta-se no Capítulo 2 a fundamentação teórica do trabalho, em particular os principais conceitos sobre leilões, experiências nacionais e internacionais, histórico no país, leilões multiatributos e a técnica de Monte Carlo.

No Capítulo 3 são apresentados os materiais e método desenvolvidos nesta dissertação. Nos materiais da dissertação é descrito, de forma sucinta, o *software* de simulação SIML conforme apresentado em MEDEIROS *et al* (2015). A metodologia da dissertação considera simular e analisar leilões de energia elétrica, a partir de proposta de BEZERRA *et al.* (2014) para leilões multiatributos.

Dois estudos de caso são apresentados no capítulo 4. O primeiro estudo de caso simula o leilão A-3 2011, realizado com usinas térmicas a gás, eólicas e biomassa. O segundo estudo de caso levou em consideração o leilão A-5 2013, a partir dos ofertantes deste certame. As entradas destas simulações são definidas de forma ad hoc, pois não é o objeto da dissertação o cálculo dos atributos e de alguns parâmetros de entrada do leiloeiro.

Finalmente, o capítulo 5 apresenta as considerações finais da dissertação e sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TEORIA DE LEILÕES

2.1.1 Conceitos Básicos

A teoria dos leilões é um ramo da teoria dos jogos que estuda o comportamento dos participantes, bem como as diversas possibilidades de formação dos mecanismos de um leilão. O termo “leilão” é muito comum no dia a dia econômico e trata-se de uma modalidade de negociação muito usada em empresas privadas ou órgãos públicos para solucionar de forma rápida, simples e eficiente a compra ou venda de produtos. Pode ser entendido como um jogo simultâneo¹ de informações incompletas (FIANI, 2012).

Klemperer (1999) afirma que a teoria dos leilões é importante por questões práticas, empíricas e teóricas e justifica sua informação baseando-se no fato de que um grande número de transações econômicas é realizado através de leilões. Os governos de diversos países os utilizam para vender títulos do tesouro, direitos minerais, incluindo campos de petróleo, e também em privatizações de empresas e concessão de serviços.

Um leilão é um mecanismo econômico de negociação definido por regras ou um conjunto de normas, tais como quem pode realizar os lances, como esses lances podem ocorrer, que tipo de lance é válido, quando o vencedor é determinado, entre outras.

Os leilões denominados “abertos” dispensam convite, ou seja, é acessível à qualquer cidadão ou empresa interessado, nos quais qualquer interessado pode dar um lance. Por outro lado, os leilões “fechados” seguem necessidades jurídicas que exigem qualificações prévias através de inscrições ou outros critérios para validar o interesse e possibilidade de participação do candidato. O conjunto de arrematadores do leilão e o valor atribuído ao produto arrematado configuram o ambiente do leilão.

¹ Jogo simultâneo é o fato dos arrematadores desconhecerem os lances dos concorrentes de acordo com Fiani (2012).

Nos leilões, o preço de reserva é um preço determinado pelo leiloeiro ou vendedor. Como exemplos, tem-se o preço teto ou preço mínimo, limitando a negociação durante a realização do leilão.

Existem quatro tipos de leilões amplamente usados e analisados conforme segue (KLEMPERER, 1999):

1. Leilão de lance ascendente: também conhecido como lance aberto ou leilão inglês. Esse tipo de leilão tem como característica principal os lances feitos pelos arrematadores de forma crescente. Nesse leilão o preço é aumentado sucessivamente até que apenas um arrematador permaneça e seu lance seja o preço final do produto. Em geral, os lances são feitos de forma aberta ao público e de conhecimento de todos;
2. Leilão de lance descendente: também conhecido como holandês, muito usado por vendedores de flores na Holanda, esse tipo de leilão tem como característica principal o fato de o leiloeiro iniciar com um valor alto e ir baixando, sucessivamente, até quando um arrematador aceita o valor. Nesse momento o valor é o preço final do produto. Também, neste tipo, os lances são em geral realizados de forma aberta ao público;
3. Leilão de lance fechado e primeiro preço: cada licitante submete independentemente um único lance, sem ver os lances dos outros, e o objeto é vendido ao licitante que fizer o lance mais alto. Em geral, os lances deste tipo de leilão são feitos de forma sigilosa, através de envelopes lacrados ou em um sistema eletrônico de forma simultânea;
4. Leilão de lances fechados e de segundo preço: também conhecido como leilão Vickrey, cada licitante apresenta de forma independente um único lance, sem ver outras "propostas", e o objeto é vendido ao licitante que fizer o lance mais alto. No entanto, o preço pago é de acordo com a segunda maior proposta, ou o segundo maior preço. Também aqui os lances são feitos de forma sigilosa.

Klemperer (1999) considera importante, ainda, identificar as principais diferenças que podem ser extraídas dos diversos tipos de leilões. Leilões unidimensionais têm como aspecto importante apenas um bom preço oferecido. No caso de um leilão multidimensional, mais de um aspecto é relevante, como qualidade e prazo de entrega, por exemplo. No leilão unilateral, o ofertante e o

leiloeiro decidem qual é o lance vencedor. Para o leilão bilateral, o vendedor e o ofertante apresentam valores e o leiloeiro deve combinar as propostas. No leilão de lance aberto todo ofertante pode conhecer os lances. No caso de leilões de lance fechado só o leiloeiro tem acesso aos lances.

Existem ainda diversas classificações para os leilões podendo ser simples, quando apenas um objeto é leilado, ou múltiplo, em que mais de um objeto é leilado, podendo ser objetos idênticos, semelhantes ou distintos.

Os leilões também podem ser classificados quanto à sua natureza, podendo ser por oferta, por demanda, ou duplo (KLEMPERER, 1999):

1. Leilões de compra ou de oferta: vendedores ofertam seus objetos ao leiloeiro com a possibilidade de um preço teto acima do qual o bem não é adquirido e, dessa forma, vence o ofertante que der o menor lance, desde que esse lance seja menor que o preço teto;
2. Leilões de venda ou de demanda: vendedores ofertam seus objetos ao leiloeiro com a possibilidade de um preço mínimo abaixo do qual o produto não é vendido e dessa forma vence o leilão o ofertante que der o maior lance, respeitando-se o lance mínimo;
3. Leilões duplos: nesse caso, os lances de compra e venda são feitos simultaneamente, não sendo necessário um preço teto ou mínimo e o vencedor é definido dentro do intervalo entre os lances vencedores de oferta e demanda.

Outro ponto substancial a ser considerado na análise dos leilões é sua valoração. Considerando que se trata de um mecanismo de revelação de preços, sua utilização nesse caso busca maximizar a receita que o vendedor pode extrair da venda. A chamada valoração aborda a forma como o objeto é valorado pelos ofertantes e, dessa forma, podem ser classificados como leilões de valor privado, nos quais os ofertantes atribuem valores diferentes para o objeto leilado a partir da sua utilidade ou importância, restrita às suas necessidades e preferências pessoais. Nesse caso, o valor que o participante atribui ao bem não é conhecido pelos demais ofertantes, pois leva em conta uma preferência pessoal do comprador. Leilões de valor privado não são adequados para revenda, visto que o objeto não é visto pelo comprador como um investimento. Um exemplo de leilão de valor privado são leilões

de obras de arte, cujo valor do objeto leiloado pode ser diferente para um comprador comum.

Ainda de acordo com Klemprerer (1999), sobre a valoração, os leilões ainda podem ser classificados como de valor comum, em que o objeto é visto como um investimento. Neste caso, a valoração é comum e o objeto possui o mesmo valor para todos os ofertantes, apesar de qualquer incerteza envolvida. O objeto sofre influência dos demais participantes e, normalmente, possui um valor de mercado. Um bom exemplo de leilão de valor comum é o de concessão de exploração de petróleo, no qual o valor é dado de acordo com o mercado e de conhecimento comum.

Vanzan (2008) cita, de acordo com o fenômeno da maldição do vencedor, o fato de que os ofertantes direcionam suas ofertas com base unicamente no valor de suas próprias estimativas sem considerar o comportamento dos demais ofertantes.

Esse fenômeno ocorre por não ser levado em conta o fato de que vence o leilão o participante que possui a melhor estimativa do valor do objeto a ser vendido e, devido à incerteza na estimativa dos preços dos objetos a serem leiloados, implicando em uma estimativa que excede o valor da venda condicionada ao fato de vencer o leilão, pode resultar em ofertas vencedoras que produzem resultado financeiro menor do que o esperado ou até mesmo negativo.

Os participantes que possuem as maiores estimativas tenderão a lançar ofertas superiores às dos participantes com estimativas menores, mesmo considerando que as ofertas apresentadas sejam inferiores às estimativas efetuadas, gerando uma probabilidade alta de que o ofertante vencedor do leilão seja o que possui a maior estimativa, que geralmente será um valor superestimado do objeto. O vencedor do leilão pode ser amaldiçoado de duas formas:

1. O valor pago por ele é maior que o valor do objeto em leilão e, dessa forma, o vencedor tem prejuízo com a compra;
2. O valor do objeto em leilão é menor que a estimativa do vencedor, de forma que o resultado financeiro da operação é menor que o esperado.

Em ambos os casos o vencedor do leilão fica insatisfeito com o resultado financeiro obtido. Quanto maior a incerteza, maior a variação das estimativas desse valor. Analogamente, um aumento no número de participantes também resultaria no aumento da variação das estimativas e das ofertas. Vanzan (2008) conclui que um

aumento na dispersão das estimativas e ofertas deve aumentar a probabilidade de que a oferta vencedora exceda o valor real do objeto. Dessa forma, quanto melhor for a estimativa de valor do ofertante com relação ao objeto leiloado, maior será sua chance de vencer um certame.

2.2 EXPERIÊNCIAS COM LEILÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

Os leilões de eletricidade são utilizados para equilibrar a oferta e a demanda a um custo baixo. Nos últimos anos, a comercialização de energia através de leilões vem despertando grande interesse por parte dos estudiosos, governos, investidores e agentes de geração.

Staschus *et al.* (1991) ressalta o fato de como efetivamente é possível agregar, de forma eficiente, ganhos significativos a partir do aumento na concorrência no setor elétrico. Dessa forma, os serviços públicos e órgãos reguladores reconhecem como melhor metodologia a licitação através de leilões de compra de energia elétrica.

Ainda é relevante considerar a complexidade no desenvolvimento ou até na implantação de uma metodologia de leilão de energia baseada no pressuposto de que eletricidade é um produto, serviço com vários atributos que podem competir através de mais de um projeto, visando atender uma demanda nacional de utilidade pública. A incorporação de diversos fatores, além do preço ou da capacidade, claramente acrescenta dificuldades ao processo licitatório através de leilão.

Com isso, fica evidente a dificuldade enquanto maior desafio no processo de leilões como veículo de estímulo da concorrência através de um sistema eficaz de licitação que seja capaz de simular um processo de planejamento antecipado com garantias de avaliar corretamente todos os atributos relevantes e suas inter-relações.

Muitos são tipos de leilões para comercialização de energia elétrica que culminam com contratos de curto, médio e longo prazos destinados a homologar nova capacidade de geração ou manter a capacidade existente através de várias tecnologias, tais como hídrica, gás natural, eólica, biomassa, etc.

Maurer; Barroso, L. (2011), afirma que o modelo mais usado nos leilões de eletricidade é aquele no qual o leiloeiro ou ofertante coloca seu lance (maior preço

de oferta) e os consumidores ou distribuidores, no momento do leilão, vão baixando sucessivamente o valor até ser arrematado. Esse é o chamado leilão inverso, no qual o menor valor é o vencedor.

A América Latina é a região líder em introduzir leilões de eletricidade como um instrumento de promoção da concorrência em contratos de energia elétrica. Dezenas de leilões já foram realizados com bons resultados (MAURER; BARROSO, L. 2011). Por exemplo, a experiência colombiana foi muito bem sucedida, o gás natural, carvão e óleo combustível garantem uma representatividade considerável e há uma pequena fração atualmente para eólica. Grande parte de seus projetos possuem fortes restrições ambientais, motivando para os próximos anos geração a carvão devido à existência de grandes reservas (MAURER; BARROSO, L. 2011). Os leilões foram realizados a partir de 2008, com antecedência de quatro ou cinco anos do período de entrega da energia.

O Chile tem sua infraestrutura elétrica dividida em dois principais sistemas, o Norte e Central, interligados e vários sistemas locais isolados para atendimento remoto no extremo sul do país. Leilões de energia foram realizados a partir de outubro de 2006, embora não se tenha efetuado leilões de tecnologia específicos. O mecanismo tem levado a uma variação de preços significativa entre os diversos contratos e áreas geográficas, possibilitando aos geradores escolher diferentes estratégias de volume-preço para cada contrato leiloado. Nesse contexto de contratos, diferentes de acordo com a região geográfica do país, discussões internas e estudos buscam um mecanismo capaz de gerar preços baixos para os consumidores finais através de uma estratégia única de contratação.

O Peru tem sua infraestrutura resumida em hidroelétricas e termoeletricas interligadas ao sistema elétrico nacional com poucos casos isolados em áreas rurais. O Peru realizou diversos leilões de energia elétrica, com vários resultados mistos, muitos casos foram anulados e muitos casos com pequena expressividade resultando em baixa cobertura da demanda. Porém, novas regras entraram em vigor a partir de 2009 e, em 2010, quatro leilões ocorreram simultaneamente. Uma série de leilões específicos de energia vem sendo realizados no Peru, onde sua característica principal está voltada para leilões únicos (MAURER; BARROSO, L. 2011).

Da América Central, apenas o Panamá vem realizando leilões de compras com contrato de longo prazo. A infraestrutura do Panamá está dividida quase que

igualmente entre recursos hídricos e térmicos e o país apresenta geograficamente um grande potencial hidrelétrico e algum potencial geotérmico. O Panamá é um membro do mercado regional da América Central, possibilitando a interligação com outros países. Após a implantação da contratação através de leilões o primeiro leilão foi realizado em 2008 envolvendo contratos de 10 anos, a partir de 2012 e 2013.

A Costa Rica e o Panamá possuem mercados competitivos individuais, basicamente com um sistema centralizado de participação privada na geração limitada a 30% do total da capacidade instalada do país. Os países apresentam demandas muito superiores em relação aos outros países da América Central, com destaque para infraestrutura hidrelétrica. Outro ponto considerável geograficamente é localização, facilitando a integração com outros países, no caso do Panamá com o sistema colombiano (MAURER; BARROSO, L. 2011).

De forma geral, na América Central os leilões podem ser um mecanismo de compartilhamento desses recursos, em uma base competitiva, de um mercado prestes a ser o primeiro no desenvolvimento através das fronteiras, com infraestrutura ligando os países e estendendo ao México e Colômbia, permitindo potencialmente a construção de grandes usinas hidrelétricas com economia em escala incluindo serviços públicos ou grandes clientes.

O México possui sua infraestrutura baseada em combustíveis fósseis, óleo, gás natural, carvão, pequenas quantidades de diesel e hidrelétrica. O consumo de eletricidade tem um crescimento contínuo e explica a notável mudança de geração ao longo da última década com o aumento da capacidade através de gás natural substituindo plantas de óleo combustível. Conforme Maurer; Barroso, L. (2011), a experiência mexicana é muito bem sucedida, todos os projetos lançados apresentaram sucesso.

Na Europa, a Espanha possui uma infraestrutura composta por hidrelétrica, gás natural, carvão, nuclear, óleo combustível e outras fontes renováveis. A utilização de leilões implementou um modelo de leilões trimestral, para suportar o cálculo do preço da energia a ser repassado de forma regulamentada aos consumidores. Os primeiros cinco leilões começaram em junho de 2007. No primeiro leilão menos de 40% das necessidades previsíveis foram leiloadas. Todos os leilões ocorridos até hoje foram no modelo descendente simultâneo.

O Reino Unido tem sua geração de eletricidade oriunda do carvão, petróleo e gás, seguido por nuclear, ligações internacionais e renováveis. De propriedade

pública até 1990, a partir de então o fornecimento de eletricidade sofreu uma reestruturação completa e foi privatizado. Passado o período baseado em um preço médio alto, plantas mais velhas foram desativadas. Grande parte da nova capacidade do reino Unido foi construída para substituir as plantas mais velhas e não para atender o aumento de cargas (MAURER; BARROSO, L. 2011).

2.3 LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL

O sistema elétrico interligado brasileiro é o maior da América Latina, com mais de 4.200 empreendimentos de geração, na sua maioria (62%) Usinas Hidrelétricas (UHEs) com grandes reservatórios e capacidade de regulação para vários anos, pulverizados através de 12 principais bacias hidrográficas.

Quanto ao restante da geração, inclui usinas térmicas a gás natural, carvão, nucleares e óleo diesel. Recentemente, foram incorporadas ao sistema pequenas centrais hidrelétricas, energia eólica e bioeletricidade (através do bagaço da cana). Os leilões têm contribuído para criar uma concorrência no mercado, permitindo aos investidores competir para entrar no mercado com o estímulo através de contratos de longo prazo, formando assim a base para o surgimento de novas capacidades.

Globalmente, os leilões no Brasil têm atraído investidores nacionais e estrangeiros uma vez que possui várias tecnologias, novos projetos assim como a parceria com países vizinhos, através de interconexões internacionais.

Cada vez mais desperta e aumenta o interesse dos países em estudar mais sobre leilões de energia enquanto ferramenta de licitação para aquisição de eletricidade. Como resposta, os leilões têm desempenhado um papel significativo no equilíbrio da oferta e demanda de forma clara e objetiva, reforçando a segurança do suprimento a médio e longo prazo.

Fica evidente que a competição é possível e necessária, e por isso os leilões de energia no setor elétrico já provaram ser um mecanismo ativo e eficiente capaz de garantir a compra da eletricidade através do menor preço provável para o consumidor final. Mercados de energia futuros de compradores e vendedores em estável situação financeira são mais propícios à concorrência negociados através de leilões.

Com essa intenção, a partir do início dos anos 90 vários países vêm passando por reformas no setor elétrico, principalmente com o propósito de inserir competição ao processo e maior eficiência para o atendimento ao consumidor final e a garantia da entrega do suprimento.

Cezario (2007) destaca que no caso do Brasil, além de inserir a competição, a necessidade de melhorias no investimento, eficiência e segurança no setor também são considerados pontos fundamentais. Dessa forma, os leilões têm se mostrado uma alternativa dinâmica e eficiente na compra e venda de energia, despertando grande interesse das empresas no processo de comercialização.

2.3.1 Histórico

A reforma do SEB teve início em 1993 com a Lei 8.631 (Brasil, 1993), que substituiu a equalização tarifária por contratos entre geradores e distribuidores do suprimento de energia (CEZARIO, 2007).

Sua base está na promulgação da Lei 9.074 (Brasil, 1995), que introduz o conceito de energia livre e o produtor independente. Também em 1995, a Lei Geral de Concessões estabelece regras para infraestrutura, também no setor elétrico, quanto à concorrência de concessões.

A energia elétrica era considerada uma indústria verticalizada com base em empresas como Companhia Energética de São Paulo (CESP), a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e a Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Entre suas principais responsabilidades bastava gerar, transmitir e distribuir energia elétrica diretamente aos seus consumidores.

Por vezes a responsabilidade de distribuição estava separada da responsabilidade da geração e transporte da energia, como era o caso das geradoras federais e das distribuidoras estaduais, tais como a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA), a Companhia Energética do Ceará (COELCE) e outras distribuidoras na região nordeste.

Com a evolução da tecnologia em telecomunicações, as dificuldades do uso do sistema interligado de grande complexidade se tornaram muito menores. Com isso, os únicos argumentos que mantinham um sistema verticalizado das empresas

energéticas eram os custos envolvidos na comercialização, operação e manutenção dos contratos.

Foi desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em parceria com a consultoria da *Coopers & Lybrand* o Projeto de Reestruturação do SEB. Através do projeto as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização podem ser realizadas de forma independente. Foram privatizadas as áreas de geração e comercialização visando agregar competição no mercado. Em paralelo com os setores de transmissão e distribuição, permaneceram sob o controle do governo Cezario (2007).

Com a reestruturação do SEB foram criados três importantes órgãos responsáveis pela regulação do setor como um todo.

- Pela Lei 9.427 (Brasil, 1996), de 1996 foi criada, a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e cujo objetivo é regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica alinhada às diretrizes e políticas do governo federal.
- Pela Lei 9.648 (Brasil, 1998), foi criado o ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, com o objetivo de executar atividades de controle e coordenação da operação e da transmissão da energia elétrica.
- Pela Lei nº 9.648 (Brasil, 1998), foi criado o MAE – Mercado Atacadista de energia Elétrica garantindo o regime livre de negociação da energia entre as empresas geradoras e distribuidoras

O SEB enfrentou uma severa crise de abastecimento da energia elétrica em 2001, que definiu um rigoroso plano de racionamento de energia. Dessa forma, o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico propôs um conjunto de alterações.

Com a reforma do setor elétrico no Brasil, em 2004, o Governo Federal instituiu a base do novo modelo do SEB com um novo marco regulatório, através da Lei nº 10.848 (Brasil, 2004b), e Decreto nº 5.163 (Brasil, 2004a), consolidando a orientação de contratação de energia no país por meio de leilões, com três objetivos principais:

- Garantir a segurança do suprimento de energia elétrica
- Promover a modicidade tarifária

- Acesso universal à eletricidade (inserção social no setor elétrico)

Em termos institucionais, o novo modelo, de acordo com a Figura 1, definiu a criação de uma instituição responsável pelo planejamento do setor elétrico a longo prazo, a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), uma instituição com a função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento da energia elétrica, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) e uma instituição para dar continuidade às atividades do MAE, relativas à comercialização da energia elétrica no sistema interligado, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).



FIGURA 1 - ESTRUTURA DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO
 FONTE: ONS (2015)

O CNPE funciona como assessoria do Presidente da República, elabora diretrizes da energia elétrica e promove o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país; assegura em função das características regionais, o suprimento de insumos energéticos as áreas mais remotas ou de difícil acesso do país, submetendo as medidas específicas ao Congresso Nacional. Revê, periodicamente, as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do país, considerando as fontes convencionais e alternativas às tecnologias disponíveis; estabelece diretrizes para programas específicos, como os de usos do gás natural, do álcool, de outras biomassas, do carvão e da energia termonuclear. Ainda estabelece diretrizes para

importação e exportação de maneira a atender as necessidades de consumo interno de petróleo e seus derivados, gás natural e condensado.

O MME ganhou como atribuições as áreas de aproveitamento da energia hidráulica, mineração e metalurgia, geologia, recursos minerais e energéticos, petróleo, combustível e energia elétrica, incluindo a nuclear. É responsável por formular e implementar a política para o setor energético de acordo com as diretrizes do CNPE; permite a contribuição de possíveis interessados, tais como concessionárias, movimentos sociais, universidades, consumidores e investidores nos estudos, por exemplo, de crescimento da economia, previsão da demanda por energia, estratégia escolhida para expansão do sistema. Monitora a segurança do suprimento do setor elétrico por intermédio do CMSE e ainda define ações preventivas para restauração da segurança de suprimento para o caso de desequilíbrios conjunturais entre oferta e demanda.

A ANEEL está ligada ao MME e entre suas atribuições está regular e fiscalizar a geração a transmissão à distribuição e a comercialização da energia elétrica; atender reclamações de agentes e consumidores para atingir equilíbrio entre as partes e beneficiar a sociedade; medir o conflito de interesse entre os agentes do setor elétrico e entre estes e os consumidores; conceder, permitir e autorizar instalações e serviços de energia; garantir tarifas justas; zelar pela qualidade dos serviços e exigir investimentos; estimular a competição entre os operadores e assegurar a universalização dos serviços; realizar leilões de concessão de empreendimentos de geração e transmissão e, ainda, licitação para aquisição de energia para os distribuidores.

ONS, entidade de direito privado sem fins lucrativos, é responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN, sob a fiscalização e regulação da ANEEL (MME, 2015).

A EPE, criada em 2004, é responsável por estudos e pesquisas que ajudam no planejamento de ações do MME no que se refere a política energética nacional. Tem como atribuições promover estudos para dar suporte ao gerenciamento da relação reserva e produção de hidrocarbonetos no Brasil, visando a autossuficiência sustentável; promover estudos de mercado visando definir cenários de demanda e oferta de petróleo, seus derivados e produtos petroquímicos; desenvolver estudos de impacto social; viabilidade técnica e econômica e socioambiental para os empreendimentos de energia elétrica e de fontes renováveis; dar suporte e participar

das articulações visando a integração energética com outros países; desenvolver estudos para incrementar a utilização de carvão mineral nacional; entre outros.

A CCEE iniciou seus trabalhos em 2004 sucedendo o MAE. Possui papel estratégico para viabilizar as operações de compra e venda de energia elétrica, registrando e administrando contratos firmados entre geradores, comercializadores, distribuidores e consumidores livres. Viabiliza a comercialização de energia elétrica no SIN nos ambientes de contratação regulada e livre, além de efetuar a contabilização e a liquidação financeira das operações realizadas no mercado de curto prazo. Os procedimentos de comercialização utilizados pela CCEE, que provêm da ANEEL, têm como principais atribuições manter o registro de todos os contratos fechados; promover leilões de energia elétrica de compra e venda conforme delegação da ANEEL; promover o monitoramento das ações empreendidas pelos agentes, no âmbito da CCEE, visando à verificação de sua conformidade com as regras e procedimentos de comercialização e com as outras disposições regulatórias (MME, 2015).

O CMSE tem a função de acompanhar e avaliar, permanentemente, a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional. Acompanhar o desenvolvimento das atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica, gás natural, petróleo e seus derivados; identificar dificuldades e obstáculos de caráter técnico, ambiental, comercial, institucional e outros que afetem, ou possam afetar, a regularidade ou a segurança do abastecimento e atendimento a expansão dos setores de energia elétrica, gás natural, petróleo e seus derivados; elaborar propostas de ajustes, soluções e recomendações de ações preventivas ou saneadoras visando à manutenção ou restauração da segurança no abastecimento e no atendimento eletro energético, encaminhando-as, quando for o caso, a CNPE.

As concessionárias e as autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do SIN, por meio de licitações nas modalidades de leilões, devem garantir o atendimento na totalidade de seu mercado no ambiente de contratação regulada.

No Brasil, os tipos de leilões empregados no setor elétrico são os seguintes:

- Leilão de Energia Existente (LEE)
- Leilão de Energia de Ajuste (LEA)

- Leilão de Energia Nova (LEN)
- Leilão de Energia de Reserva (LER)
- Leilão de Fonte Alternativa (LFA)
- Leilão Estruturantes (LE)

Conforme o Instituto Acende Brasil (2012), os LEEs foram criados para contratar energia gerada por usinas já construídas, em operação, cujos investimentos já foram amortizados e, portanto, possuem um custo mais baixo.

Os LEAs visam adequar a contratação de energia pelas distribuidoras, tratando eventuais desvios oriundos da diferença das previsões feitas pelas distribuidoras em leilões anteriores e o comportamento do seu mercado.

Os LENs têm como objetivo atender ao aumento de carga das distribuidoras e, nesse caso, são vendidas e contratadas energia de usinas que ainda serão construídas (novos projetos). Esse leilão pode ser de dois tipos: A-5: para usinas que entram em operação comercial em até cinco anos após o leilão e A-3: para usinas que entram em operação comercial em até três anos após o leilão.

O LER foi criado para elevar a segurança no fornecimento de energia Elétrica no SIN, com energia proveniente de usinas especialmente contratadas para esta finalidade, através de novos empreendimentos de geração ou de empreendimentos existentes. A energia de reserva é contabilizada e liquidada no mercado de curto prazo e operado pela CCEE.

O LFA foi instituído com o objetivo de atender ao crescimento do mercado no ambiente regulado e aumentar a participação de fontes renováveis como eólica, biomassa e energia proveniente de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) dentro da matriz energética brasileira.

Os LEs são destinados à compra de energia proveniente de projetos de geração indicados por resolução do CNPE e aprovados pelo Presidente da República. Essa modalidade é referente a empreendimentos que tenham prioridade de licitação e implantação, tendo em vista seu caráter estratégico e o interesse público nacional. Buscam assegurar a otimização do binômio modicidade tarifária e confiabilidade do sistema elétrico, bem como garantir o atendimento à demanda nacional de energia elétrica levando em conta o planejamento de longo, médio e custo prazo. O Brasil, desde 2005, já realizou 3 leilões nessa modalidade, sendo: Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, localizada no estado de Rondônia, Usina

Hidrelétrica de Belo Monte, localizada no estado do Pará e a Usina Hidrelétrica de Jirau localizada no estado de Rondônia.

Dentro desse novo modelo o comércio de energia elétrica tornou-se mais dinâmico e os leilões de energia extremamente importantes para o mecanismo de comercialização e o seu bom funcionamento.

A Tabela 1 demonstra a quantidade de leilões realizados no Brasil desde 2005, de acordo com sua modalidade.

TABELA 1 – QUANTIDADE DE LEILÕES NO BRASIL

Leilões	Quantidade	Preço Médio (R\$/MWh)
LEE	12	121
LEA	17	121
LEN	17	120
LER	5	121
LFA	2	135
LE	3	76

FONTE: CCEE (2015)

Em 11 de janeiro de 2013 foi publicada através da Lei nº 12.783 (Brasil, 2003), e estabelece que as concessões de geração de energia hidrelétrica poderão ser prorrogadas, pelo prazo de até 30 (trinta) anos, de forma a assegurar a continuidade, a eficiência da prestação do serviço e a modicidade tarifária.

2.3.2 Leilões de energia nova

O novo marco regulatório do SEB definiu dois ambientes de contratação de energia, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL).

Fazem parte do ACR ou mercado regulado todas as empresas concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica do SIN. São obrigadas a participar dos leilões aquelas com mais de 500 GWh/ano de mercado de consumo. Para as distribuidoras menores a participação é facultativa, uma vez que podem continuar a ser atendidas pela sua supridora tradicional.

Nesse ambiente as empresas geradoras de energia elétrica (vendedores) e as empresas distribuidoras de energia elétrica (compradores) precisam se submeter a leilões de compra e venda de energia elétrica. Esses leilões podem ser para reconstrução de usinas existentes ou de usinas provenientes de novos empreendimentos de geração.

O ACL ou mercado livre é o segmento do setor elétrico no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica por meio de contratos bilaterais com condições, preços e volumes livremente negociados entre geradores, comercializadores, importadores e exportadores de energia e consumidores livres convencionais, entre eles segmentos industriais eletro-intensivos, além de grandes plantas industriais, como a automobilística, alimentícia, siderúrgica e química.

As distribuidoras de energia que atuam particularmente no ACR, ao passo que os comercializadores, consumidores livres e especiais atuam no ACL. Uma parcela da demanda do consumidor livre pode ser suprida no ACR (consumidores parcialmente livres). Dependendo do tipo de fonte, os geradores podem optar pelo ambiente de comercialização, se livre ou regulado.

A principal vantagem neste ambiente é a possibilidade de negociar produtos customizados com prazos, volumes e preços da energia elétrica negociados livremente, ou através de processos licitatórios, se envolver empresa geradora estatal.

No ACR os leilões são regulados pela ANEEL e promovidos pela CCEE. Por meio deles, busca-se o menor preço possível da energia elétrica que será repassada ao público consumidor.

O critério de menor tarifa é utilizado para definir os vencedores de um leilão, que serão aqueles que ofertarem energia elétrica pelo menor preço por MW/hora para atendimento da demanda prevista pelas distribuidoras.

Dessa forma, segundo MME (2015), os leilões são divididos de acordo com o tipo de empreendimento, se novo ou existente. Os chamados leilões de energia existente são destinados a atender as distribuidoras no ano subsequente ao da contratação a partir de energia proveniente de empreendimentos em operação e denominados A-1, nos quais A é considerado o ano previsto para o início dos suprimentos. Os chamados leilões de energia nova destinam-se a contratação de energia proveniente de projetos que poderão fornecer energia em 3 ou 5 anos a

partir da contratação, são denominados A-3 ou A-5, nos quais A é considerado o ano previsto para o início dos suprimentos.

Essa segmentação A-1, A-3 e A-5 é necessária porque os custos de capital dos empreendimentos existentes não são comparáveis aos de empreendimentos novos, ainda a serem amortizados.

Os contratos resultantes dos leilões podem ser, por quantidade ou por disponibilidade. Por quantidade preveem o fornecimento de um montante fixo de energia a um determinado preço, essa modalidade é geralmente utilizada para a contratação de energia hidráulica. Por disponibilidade, por sua vez, são destinados a contratação de usinas termoeletricas e preveem uma remuneração fixa ao agente gerador, independente do que for efetivamente gerado. Nesses contratos a parcela fixa é destinada a cobertura dos custos fixos para disponibilização da usina ao sistema, que pode ou não ser despachada por conta das condições do SIN. Quando são despachadas as distribuidoras devem pagar os custos variáveis relativos ao uso do combustível. O objetivo dos contratos por disponibilidade é garantir a segurança do sistema hidrotérmico. Caso as condições hidrológicas sejam desfavoráveis, como em períodos excessivamente secos, essas usinas podem ser solicitadas a despachar sua energia, reduzindo o risco do déficit de oferta do sistema como um todo. Ao contrário, quando as condições hidrológicas são favoráveis, essas usinas são deixadas em estado de espera.

A contratação de energia nos leilões de energia é definida com base no preço unitário pelo qual cada empreendedor de geração está disposto a supri-la no futuro (ANEEL, 2015). Esse valor é exatamente o preço estipulado nos contratos por quantidade.

Para as usinas comercializadas na modalidade por disponibilidade, no entanto, não é tão simples definir o preço de lance nos leilões, pois o preço por megawatt-hora gerado depende do fator de carga da usina operada (a sua taxa de utilização).

Para contornar este problema, criou-se o Índice de Custo-Benefício (ICB), que computa o custo unitário esperado da energia comercializada na modalidade por disponibilidade, levando-se em conta:

- A configuração do parque gerador vigente;
- Os cenários hidrológicos;

- O Custo Variável Unitário (CVU), declarado pelo empreendedor no processo de habilitação técnica, e sua trajetória futura com base em projeções dos indicadores utilizados para indexar o CVU;
- O padrão sazonal de produção de energia esperado do empreendimento;
- O custo fixo ou Receita Fixa (RF) da usina definida pelo lance do empreendedor nos leilões de energia;
- A projeção da carga.

O ICB é composto pelo Custo de Operação (COP) leva em conta o CVU declarado pelo empreendedor no processo de habilitação técnica e sua variação futura com base na projeção do indexador do CVU, assim como o fator de carga esperado da usina, que depende dos seguintes fatores: configuração do sistema, cenários hidrológicos e CVU das demais usinas.

O Custo Econômico de Curto Prazo (CEC) é dado pela diferença entre a produção de energia esperada da usina em cada período e sua GF. O CEC pode ser positivo (custo adicional) ou negativo (um benefício adicional). O CEC varia em função: da quantidade que se espera que seja produzida pela usina em cada período; e do preço esperado do mercado de curto prazo da CCEE, o Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) em cada período. Assim, usinas que tendem a ser acionadas mais intensamente nos períodos em que o PLD é elevado tendem a apresentar um CEC positivo, pois tendem a comprar energia na CCEE nos períodos em que o PLD é baixo, e a vender excedente de energia na CCEE nos períodos em que o PLD é elevado.

O ICB é utilizado nos leilões de energia para converter os lances de receita fixa submetidos pelos empreendedores, permitindo assim a comparação dos lances entre empreendimentos a serem contratados na modalidade por disponibilidade que apresentam diferentes combinações de receita fixa e custo variável unitário, assim como entre os demais empreendimentos contratados na modalidade por quantidade (EPE, 2013).

Conforme o Instituto Acende Brasil (2012), a sistemática empregada nos leilões de energia nova consiste em duas fases e cada fase composta de duas etapas. O fluxograma da Figura 2 procura descrever resumidamente as etapas e cada uma das fases do leilão de energia nova.

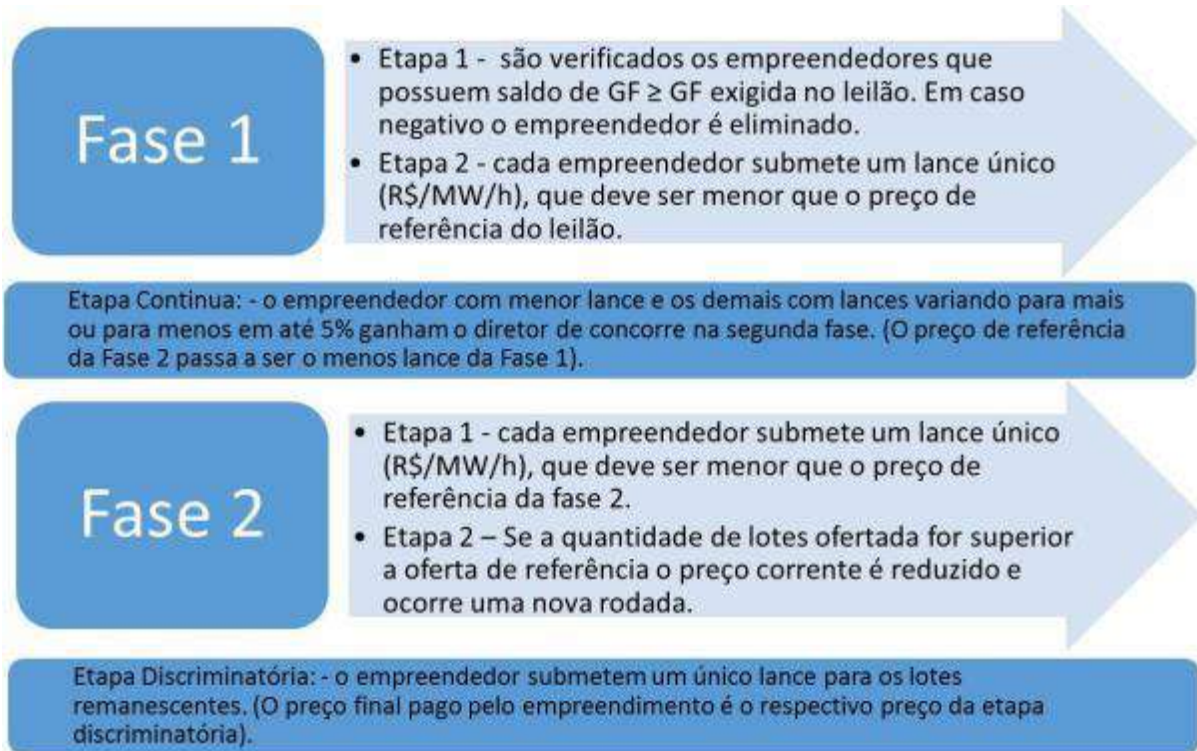


FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DA SISTEMÁTICA DOS LEILÕES
 FONTE: O Autor (2015)

Na primeira fase do leilão, empreendedores disputam entre si o direito de participar da segunda fase com os aproveitamentos hidroelétricos cadastrados pela EPE. Esses são aproveitamentos hidroelétricos com potência superior a 50 megawatts inventariados pela EPE.

Embora esses empreendimentos hidroelétricos recebam outorga de concessão destinada à produção independente de energia, o que permite que o concessionário comercialize a energia livremente, os editais de cada leilão, geralmente, condicionam a outorga a venda de um percentual mínimo da energia do empreendimento na segunda fase do leilão.

Para balizar os seus lances no leilão, os proponentes interessados em construir e operar esses empreendimentos hidroelétricos podem analisar previamente os Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica, Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e correspondente Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), e a Licença Prévia Ambiental, previamente obtidos sob a coordenação da EPE.

Na segunda fase, empreendedores, cada um com seu próprio empreendimento, competem entre si por contratos de comercialização de energia de longo prazo. Além dos projetos cadastrados pela EPE, participam da segunda fase

outros projetos de geração cadastrados e habilitados pela EPE por iniciativa própria de empreendedores, tais como PCHs, centrais hidrelétricas com potência inferior 50 megawatts, termelétricas e parques eólicos.

Os empreendimentos de geração usualmente disputam entre si contratos de comercialização de energia em dois grandes blocos: os empreendimentos a serem comercializados na modalidade por quantidade e os empreendimentos a serem comercializados na modalidade por disponibilidade.

O critério adotado para definir a quantidade a ser contratada em cada modalidade tem variado de leilão a leilão, mas, geralmente, tem levado em conta a quantidade total ofertada em cada modalidade e um ou mais parâmetros definidos pelo MME que são desconhecidos pelos participantes do leilão.

A disputa na segunda fase continua até que a quantidade de energia ofertada atinja a quantidade demandada, isto é, a quantidade requerida para atender ao crescimento da carga prevista pelas distribuidoras, conforme informado ao MME por meio das declarações de necessidades de contratação de cada distribuidora. Mesmo que a quantidade de energia a ser contratada com base nas declarações de necessidades de contratação seja superior à energia total ofertada no leilão, a quantidade demandada é reduzida para forçar a concorrência entre os empreendedores de geração.

Todos os empreendimentos cadastrados para participar do leilão precisam obter habilitação técnica da EPE. A habilitação é condicionada a apresentação da licença prévia do órgão ambiental responsável e, no caso de hidrelétricas, da declaração de reserva de disponibilidade hídrica concedida pela Agência Nacional das Águas (ANA).

Com base em informações submetidas no processo de habilitação, estabelece-se a GF de cada empreendimento, parâmetro que servirá de lastro para a comercialização de energia no leilão e, no caso dos empreendimentos cuja energia é comercializada na modalidade por disponibilidade, para determinar o COP e o CEC, parâmetros requeridos para computar o índice de custo benefício de cada empreendimento que, por sua vez, é o parâmetro utilizado para seleção dos lotes vencedores na modalidade, por disponibilidade, na segunda fase do leilão.

Os leilões de energia nova são realizados por meio de sistema computacional, via Internet, e são operacionalizados pela CCEE.

Na etapa inicial cada proponente insere no sistema computacional um único lance de preço ao qual está disposto a vender a energia proveniente do respectivo empreendimento hidrelétrico.

O lance de preço precisa ser igual ou inferior ao preço de referência, isto é, o preço teto permitido para o respectivo empreendimento, expresso em reais por megawatt-hora (R\$/MWh).

Encerrado o tempo para inserção de lances, o sistema identifica o menor lance.

Se a diferença entre o menor lance e o segundo menor lance for superior a cinco por cento, a primeira fase para este empreendimento está encerrada e o empreendedor com o menor lance recebe o direito de disputar a segunda fase do leilão com o respectivo empreendimento hidrelétrico.

Se a diferença entre o menor lance e o segundo menor lance for inferior a cinco por cento do menor lance, os dois empreendedores com os menores lances disputam a segunda etapa da primeira fase, denominada etapa contínua, para definir quem terá o direito de concorrer na segunda fase com o empreendimento hidrelétrico.

Na etapa contínua, os dois empreendedores com menores preços de lance na etapa inicial podem inserir novos lances de preço, desde que sejam iguais ou inferiores ao preço corrente, isto é, o menor preço de lance inserido no sistema. O sistema informa continuamente aos dois proponentes o preço corrente. A concorrência continua até que transcorra um período de tempo, previamente divulgado, em que não haja inserção de novo lance por nenhum dos dois proponentes.

Encerrada a etapa contínua, o proponente com o menor lance recebe o direito de concorrer com o empreendimento hidrelétrico na segunda fase. Em caso de empate, o vencedor será definido por sorteio.

O preço de referência destes empreendimentos para a segunda fase passa a ser o menor valor entre o menor preço de lance da primeira fase e o preço de referência estabelecido para a energia comercializada na modalidade por quantidade na segunda fase.

Encerrada a primeira fase cada um dos empreendedores precisa definir o montante de energia que será ofertado na segunda fase do leilão, respeitando o

limite mínimo requerido no edital que precisa ser direcionado ao Ambiente de Contratação Regulada.

Na Segunda Fase, os diversos empreendimentos competem entre si para atender a demanda de energia em duas etapas: etapa uniforme e etapa discriminatória.

A Etapa Uniforme consiste de um leilão reverso (de preços decrescentes) realizado em rodadas em que todos os empreendimentos participam simultaneamente. O sistema divulga o preço corrente e cada empreendedor insere lance declarando o número de lotes de energia que está disposto a ofertar a este preço. Nos últimos leilões de energia nova as regras do edital exigem que o vendedor opte por uma opção, ofertar a totalidade de lotes na primeira rodada ao preço corrente, ou retirar todos os lotes do leilão.

Transcorrido o tempo para inserção de lance, o sistema verifica se a quantidade total de lotes ofertada na rodada é superior à oferta de referência. A oferta de referência equivale à quantidade demandada somada a um percentual de oferta que é arbitrado pelo Ministério de Minas e Energia, mas que não é divulgado aos participantes do leilão.

Se a quantidade de lotes ofertada na rodada for superior à oferta de referência, o preço corrente é reduzido e se inicia uma nova rodada para recebimento de lances de quantidade de lotes.

Se a quantidade de lotes ofertada na rodada for igual ou inferior a oferta de referência, a etapa uniforme é encerrada e todos os lotes ofertados na última rodada passam a concorrer na etapa discriminatória.

Na etapa discriminatória os empreendedores submetem um único lance de preço de venda para os lotes remanescentes na última rodada da etapa uniforme. O preço de lance precisa ser igual ou inferior ao preço corrente da última rodada.

No caso dos empreendimentos a serem comercializados na modalidade por disponibilidade, o lance de preço é inserido na forma de receita fixa e convertido pelo sistema ao índice de custo benefício.

Transcorrido o prazo para inserção de lance, o sistema determina os lances vencedores. O montante a ser contratado em cada modalidade é atendido por ordem de menor preço. Em caso de empate, o desempate é realizado pela ordem crescente do montante ofertado e, caso persista o empate, o desempate será definido por sorteio.

O preço pago a cada empreendimento equivale ao seu respectivo preço de lance submetido na etapa discriminatória.

São estabelecidos Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) para cada um dos empreendedores de geração vencedores no leilão com todas as distribuidoras compradoras no leilão, na proporção de suas respectivas demandas.

De acordo com a CCEE (2015), na Figura 3 estão representados os resultados dos últimos leilões de energia no Brasil, de 2005 a 2014. No gráfico estão contidos tanto os leilões de energia nova quanto os leilões estruturantes, leilões de fontes alternativas e leilões de energia de reserva. A fonte termelétrica engloba as termelétricas convencionais, gás natural, carvão e óleo e também as termelétricas alternativas, bagaço de cana, gás de processo, entre outros. Nesse gráfico ficam expressos os montantes de energia assegurada negociada em (MWmédio).

Dessa forma nesse gráfico é possível observar que os montantes negociados em (MWmédio) de LEN é muito mais expressivo no Brasil quando comprados aos montantes de LER ou LEE.

Quando comparamos as fontes de energia percebemos o evidente destaque para Hidroelétrica ao longo de todo o período. De 2005 até 2008 tivemos uma expressiva quantidade de energia assegurada através de termoelétricas e a partir de 2008 até 2014 o cenário apresenta uma grande redução com relação a termoelétrica e início de contratação através de eólicas se mantendo constantes até 2014.

Na Figura 4 estão representados os preços médios praticados nos últimos leilões em (R\$/MWh) e, dessa forma, pode-se reparar uma variação significativa dos preços, embora distribuída ao longo de quase 10 anos.

Os LEN possuem seus preços variando entre 81 R\$/MWh e 144 R\$/MWh, enquanto que os LER apresentam a maior variação ao longo do tempo entre 59 R\$/MWh e 179 R\$/MWh.

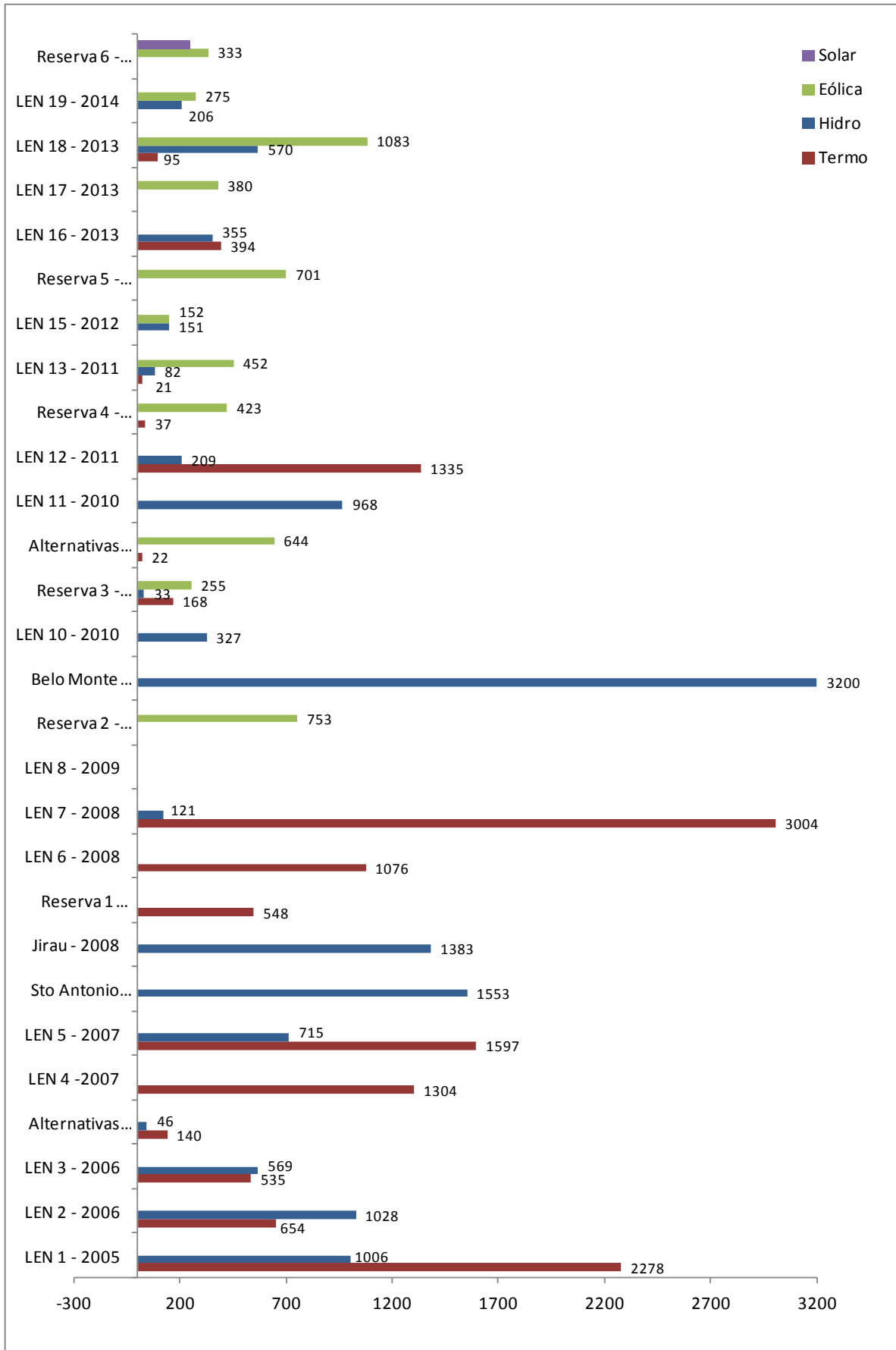


FIGURA 3 – RESULTADO DOS LEILÕES DE ENERGIA NO BRASIL DE 2005 A 2014
 FONTE: CCEE, adaptado de LACTEC; PSR (2013).

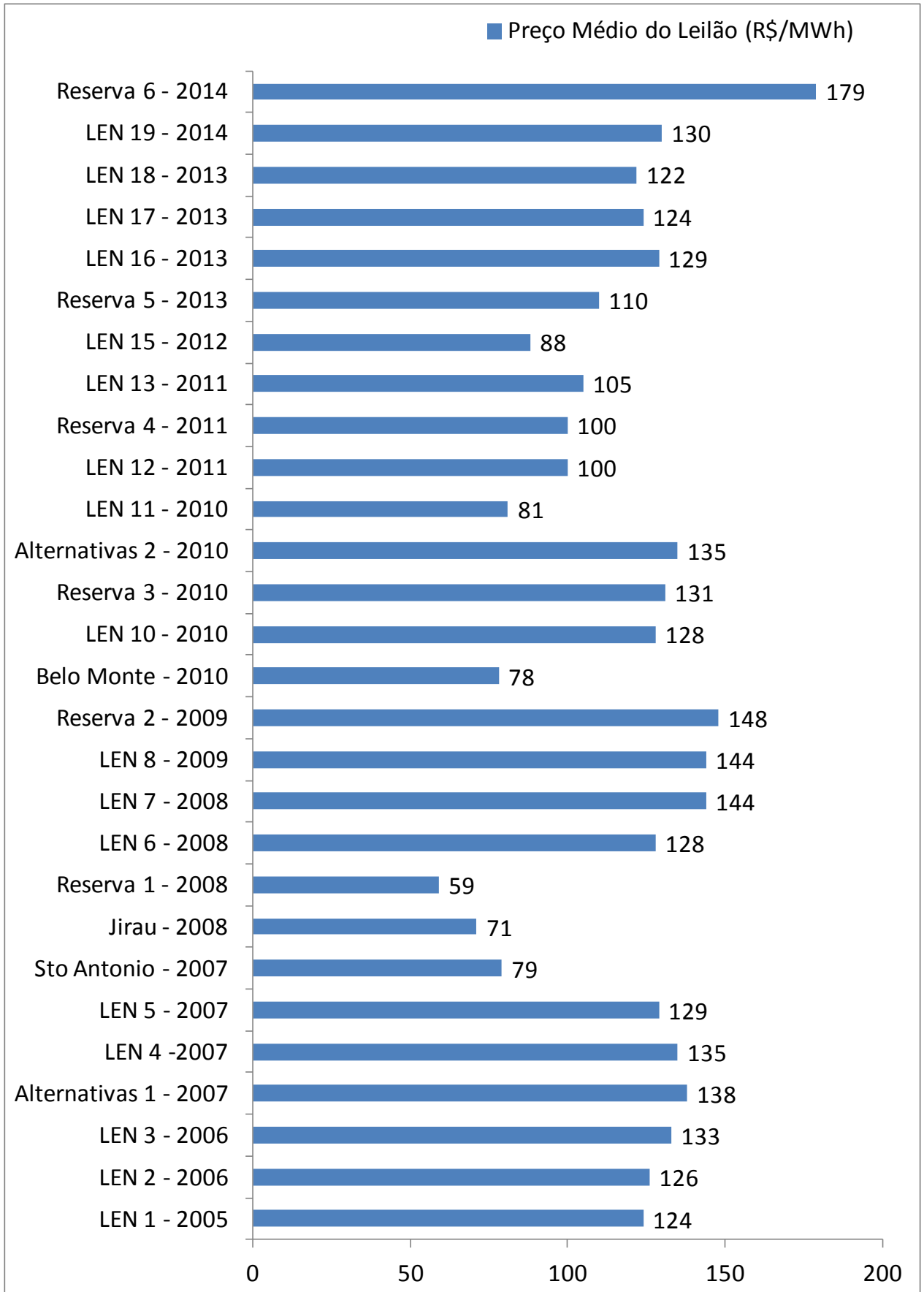


FIGURA 4 – RESULTADO DOS PREÇOS MÉDIOS DOS LEILÕES
 FONTE: CCEE, adaptado de LACTEC; PSR (2013)

2.4 LEILÕES MULTIATRIBUTOS

Leilões multiatributos, leilões multiobjetos, leilões multiprodutos ou ainda leilões multi-questões podem ser considerados sinônimos entre si e são termos usados por diversos autores como, por exemplo, Konstantin Staschus, Martin Bichler ou Arie Segev.

Staschus, K. *et al.*, (1991) aborda de forma interessante e define leilões multiatributos como um mecanismo para quantificação e avaliação de benefícios para o consumidor. Os autores consideram ainda como atributos, a capacidade, despachabilidade, localização, flexibilidade, diversidade de preços para as diversas fontes de energia.

No Brasil, uma proposta para incorporação de atributos aos leilões de energia foi apresentada no projeto de PD-6491-0279/2012 - Aperfeiçoamento do processo de contratação da expansão do parque gerador (LACTEC; PSR, 2013). A metodologia considera diversas externalidades das fontes de geração de energia. Conforme este conceito, para se atingir um plano de expansão mais próximo do ótimo global é necessário acrescentar aos leilões atuais uma avaliação dos atributos dos projetos candidatos (BEZERRA, B. *et al.*, 2014; e XXIII SNTPEE, 2015).

Alguns possíveis atributos que podem ser considerados são os seguintes:

- Atendimento à ponta: se refere à capacidade de atendimento à ponta de cada fonte e das restrições de operações de cada usina. No Brasil, as hidrelétricas são responsáveis pela produção da carga ao longo das horas do dia e, inclusive, nos horários de ponta na maioria das vezes.
- Despachabilidade: equivale a quanto de potência despachável uma usina possui, ou seja, quanto de capacidade essa usina tem disponível em casos adversos. Atribuída, principalmente, às térmicas que são solicitadas a operar em casos adversos.
- Variabilidade de custos de geração: consiste, basicamente, na incerteza das despesas de um determinado projeto.
- Custos de disponibilização da infraestrutura de transmissão: ocorrem de acordo com as restrições impostas pelas condições operacionais da rede elétrica.
- Perdas de Energia: considerando as perdas no transporte da energia através das redes elétricas.

- Custos adicionais de geração devido a restrições elétricas: limites de operações das redes de transmissão, entre outras restrições que possam incorrer em aumento de custos.

Os atributos podem ser considerados na sistema do leilão de duas formas, sendo a primeira de forma explícita, através da realização de leilões paralelos por tipo de fontes ou por região, por exemplo, ou de forma implícita, através da consideração do valor do atributo ao preço ofertado no leilão. Assim, os leilões podem ser estruturados de três formas (BEZERRA. *et al.*, 2014):

1. Leilão por atributo: o vetor de atributos é considerado para a precificação das ofertas no decorrer do leilão, com a finalidade de estabelecer os candidatos mais competitivos. Cada candidato oferece seus atributos, que são considerados pelo leiloeiro como atributos pré-calculados.
2. Leilão por custo de atributo: introduz-se um percentual de redução de custo (ou abatimento), no atributo referente ao projeto. Nesse leilão, o leiloeiro define o custo equivalente a cada atributo de cada fonte.
3. Leilão segregado por atributos: os leilões são separados para valor de cada atributo (ou conjunto de atributos), e acontecem em paralelo. Para esse caso o leiloeiro define o montante contratado em cada leilão e o preço de abertura do leilão.

Para o caso de um leilão por atributo, os atributos são utilizados para precificar as ofertas, com a finalidade de selecionar os candidatos mais competitivos durante o leilão. São chamados de atributos pré-calculados pelo leiloeiro como, por exemplo, COP, CEC, e ICB e atributos ofertados como RF.

Dessa forma, como o leiloeiro desconhece o custo real de cada projeto, o melhor plano é o que consiste em minimizar o somatório dos custos do projeto, ou seja, dos custos do investimento. A rigor, cada projeto candidato dentro de um leilão deve possuir um custo de investimento e um vetor de atributos composto de atributos pré-calculados e ofertados.

Para o caso do leilão por custo de atributo, tal como no caso anterior, usa-se os mesmos atributos para precificar as ofertas, todos os candidatos disputam para atender um único montante de energia e o leilão é único. A diferença é que nesse caso aplica-se um “abatimento” reduzindo o custo de forma implícita do valor do ICB

para determinados ofertantes, ficando assim mais competitivo. Nesse caso o subsistema que receberá o abatimento no custo pode ser escolhido, por exemplo, por: despachabilidade, tipo de fonte, localização, entre outros.

Em um leilão segregado por atributo, os atributos são utilizados para selecionar os candidatos em diferentes leilões e tem como vantagem leilões ocorrendo em paralelo e à aderência dos resultados aos parâmetros planejados antes do leilão, de acordo com a expectativa do planejador.

Os atributos segregadores podem ser considerados como, por exemplo, diferentes tipos de fontes, ou externalidades, como a flexibilidade ou não de uma determinada fonte, ou ainda a região das diferentes fontes. É de acordo com esse atributo que será definido, por exemplo, em qual leilão o ofertante participará, e nesse caso trata-se de uma variável categórica.

É interessante observar que em meio a vários tipos e modalidades de leilões, cada qual com suas próprias particularidades, ao incorporar atributos aos leilões é possível a realização simultânea de vários certames elevando-se a probabilidade de conseguir maiores resultados econômicos e encontrar alternativas mais vantajosas.

Cabe observar, ainda, que a incorporação de atributos nos leilões de energia é bastante recente. Na realidade, o país prescinde de novas propostas de simulação de leilões de forma à auxiliar o planejador na tomada de decisões. A metodologia proposta por Bezerra *et al.* (2014) traz essa possibilidade agregada a um *software* denominado SIML, capaz de simular sistematicamente leilões de energia considerando os atributos dos projetos candidatos. Esse simulador pode ser usado pelo planejador para tomadas de decisão e, pelos ofertantes, na investigação sobre probabilidades de sucesso nos certames. Como o *software* desenvolvido utiliza Simulação Monte Carlo para sortear o atributo ofertado, no caso a RF de cada ofertante, desconhecida do leiloeiro, apresenta-se a seguir brevemente esta técnica.

2.5 SIMULAÇÃO MONTE-CARLO

A simulação de Monte Carlo é uma técnica de amostragem estatística que tem sido aplicado a um vasto número de problemas científicos (ECKHARDT, 1987). Permite considerar o risco em análises quantitativas e tomadas de decisão e é

usada por profissionais de uma grande variedade de áreas, como finanças, energia, petróleo e gás, seguros, transportes e meio ambiente.

A análise de risco faz parte de toda decisão. A simulação de Monte Carlo permite ver todos os resultados possíveis de suas decisões e fornece uma variedade de resultados possíveis e as probabilidades de ocorrências desses resultados de acordo com a ação escolhida (HAMMERSLEY e HANDSCOMB, 1964). Ela apresenta as possibilidades extremas e os resultados das decisões nos cenários mais ousados e nos cenários mais conservadores, contemplando todas as possíveis consequências das decisões mais prováveis.

A empresa Palisade (2015) afirma que essa técnica foi usada, inicialmente, pelos cientistas que trabalharam na bomba atômica, e foi chamada de Monte Carlo, como referência à cidade do Mônaco e seus cassinos, “cujo aspecto aleatório de suas roletas está intimamente ligado ao método” (NASSER, 2012).

A variação natural de muitos processos industriais é realmente aleatória. Embora as distribuições de muitos processos possam assumir uma variedade de formas, muitas variáveis observadas possuem uma distribuição de frequências que é, aproximadamente, uma distribuição de probabilidade Normal, também chamada como curva do sino ou distribuição Gaussiana, uma das mais importantes da estatística. Essa distribuição é simétrica e representa muitos fenômenos naturais.

A função densidade de probabilidade da distribuição normal com média μ e variância σ^2 é definida pela Equação (1).

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \quad -\infty < x < \infty, \sigma > 0 \quad (1)$$

O gráfico da Figura 5 apresenta uma curva da distribuição Normal com média $\mu = 0$ e desvio padrão $\sigma = 1$, também denominada Normal Padrão.

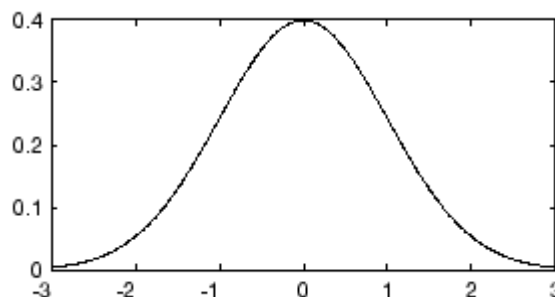


FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO NORMAL
FONTE: O AUTOR

A simulação de Monte Carlo efetua uma análise de risco através da construção de modelos de possíveis resultados, substituindo com uma distribuição de probabilidade toda variável com incerteza. Em seguida, calcula-se os resultados, repetidamente, cada vez com outro conjunto de valores aleatórios gerados por funções de probabilidades. Dependendo do número de incertezas e dos intervalos especificados para elas, uma simulação de Monte Carlo pode ter milhares ou dezenas de milhares de recálculos.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo apresenta os materiais e o método adotados na simulação e análise de leilões de energia multiprodutos considerando os atributos das fontes geradoras.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Software Simulação de Leilões SIML

Nesse trabalho foi usado para execução das simulações e análise estatística dos resultados, além do *software* Excel, o *software* SIML para simulação da sistemática de leilões, desenvolvido em C# no PD-6491-0279/2012 - Aperfeiçoamento do processo de contratação da expansão do parque gerador (LACTEC; PSR, 2013).

Este *software* emprega uma metodologia e critérios analíticos para a simulação de leilões de energia nova e energia de reserva no Brasil permitindo uma análise matemática dos resultados e viabilizando uma eficiente tomada de decisão nas contratações de energia efetiva e possível materialização posterior.

O *software* SIML pode ser utilizado tanto pelo leiloeiro quanto pelos candidatos ofertantes.

A priori, as simulações no *software* permitem considerar as externalidades que podem ser associadas às várias fontes de energia, assim como a apropriação quanto a soluções alternativas e novas tecnologias fora do cenário do planejamento de expansão. O imediato estabelecimento de possíveis correções de rumos evita prejuízos futuros aos consumidores, tanto em termos financeiros quanto em relação à segurança e efetiva materialização do suprimento.

O *software* apresenta uso e funcionamento bastante simples, após a instalação e autenticação do *software*, pode ser iniciado o aplicativo. A Figura 6 demonstra barra de ferramentas ativa, de forma clara e simples onde todos os dados de entrada devem ser inseridos.



FIGURA 6 – BARRA DE FERRAMENTAS ATIVA
 FONTE: SOFTWARE SIML

Depois de rodado o leilão a extração dos dados também ocorre de forma simples onde o *software*, apresenta uma tela final com um relatório simplificado conforme Figura 7 e a possibilidade de um relatório completo podendo ser exportado em excel.

Relatório Geral					
Leilões Simultâneos:	1	Demanda Total Inicial	100		
Total de Ofertantes:	1	Número de Iterações:	4		
Leilão					
Simulacao	Nome	Preço Inicial	Preço final	Demanda Inicial	Demanda final
1	teste lei	R\$ 1,00	R\$ 1,00	100,00	100,00
Ofertantes do teste lei					
Nome	Status Final	Garantia física	Receita Fixa		
sul 1	Venceu	100,00	R\$ 1,00		
Sorteio Monte Carlo					
Nome	Probabilidade de Sucesso				
Exibir Relatório Completo					Imprimir

FIGURA 7 - TELA DO RELATÓRIO SIMPLIFICADO
 FONTE: SOFTWARE SIML

Para mais informações sobre o software, consultar BEZERRA, B. et al., 2014; e XXIII SNPTEE, 2015.

3.2 MÉTODO

Para simular e analisar uma proposta de aperfeiçoamento para os leilões de energia nova e de reserva no Brasil, de forma a atender às diretrizes de política energética e incorporar aos leilões atuais externalidades das várias fontes de energia, é proposto aqui um método dividido em 4 etapas, representadas conforme a Figura 8.

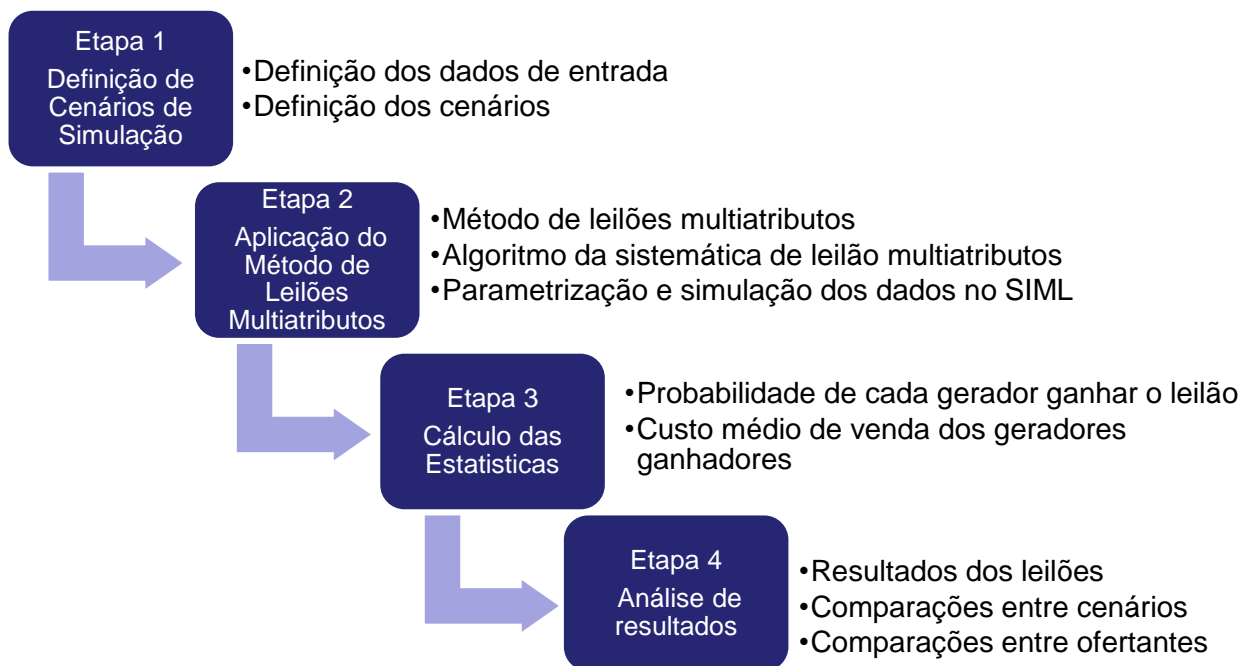


FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA PROPOSTA
 FONTE: O autor (2015)

Na etapa 1 definem-se os dados de entrada para os projetos e os cenários dos leilões que serão simulados e analisados. A etapa 2 consiste na aplicação e simulação dos cenários no simulador SIML. Na etapa 3, com os resultados do simulador, é possível gerar cálculos estatísticos com relação ao comportamento dos ofertantes e, na etapa posterior, a análise dos resultados para tomada de decisões e possíveis aperfeiçoamentos no planejamento. As etapas são explicitadas em detalhe a partir da próxima seção.

3.2.1 Etapa 1 – Definição dos cenários de simulação

3.2.1.1 Definição dos dados de entrada

Nessa etapa é necessário definir os dados de entrada do projeto e os respectivos cenários. Para simulação do leilão no simulador SIML é necessário o entendimento dos dados de entrada considerados pelo leiloeiro e pelos ofertantes candidatos.

São considerados dados de entrada para o leiloeiro:

- Atributos segregadores
- Atributos pré-calculados
- Demanda do leilão
- Preço de abertura do leilão
- Decremento do preço
- Máximo sobre preço

Para os ofertantes são considerados:

- Receita fixa
- GF ofertada
- Média e desvio padrão das RF

Para cada projeto candidato, o leiloeiro recebe como dados de entrada as seguintes informações:

- Quantidade máxima de energia (garantia física) que pode ser ofertada por cada agente E_i , valores em MW médio;
- Distribuição de probabilidade dos atributos $\{O_1 \dots O_m\}$ que serão ofertados nos leilões, caracterizada pela média $\{\mu_1 \dots \mu_m\}$ e pelo desvio padrão $\{\sigma_1 \dots \sigma_m\}$, valores em R\$/MWh;
- Vetor de $(M - m)$ atributos pré-calculados $\{\lambda_1 \dots \lambda_{M-m}\}$, valores em R\$/MWh.

Cada projeto candidato deve ter um vetor de atributos composto de atributos segregadores que podem ser considerados como, por exemplo, diferentes tipos de fontes, ou externalidades de uma determinada fonte, ou ainda a região de

localização de diferentes fontes como variável categórica. Ainda os tributos pré-calculados pelo leiloeiro como, COP, CEC, RF, ICB, como variável de custo buscando minimizar o custo total do projeto.

Assim, cada ofertante possui os seguintes dados de entrada:

- Máximo sobrepreço de cada leilão, $\{H_n\}$ e seus valores são representados em R\$/MWh;
- Preço de abertura de cada leilão, $\{\pi_1, \dots, \pi_n\}$ e seus valores são representados em R\$/MWh;
- Decremento do preço em cada iteração, θ que ocorre a cada leilão valor em R\$/MWh;
- Demanda de cada leilão, $\{D_1, \dots, D_n\}$ e seus valores em MW médio.

O Índice Custo Benefício – ICB se dá pela composição da RF com o somatório dos valores dos atributos considerados, λ 's, sendo estes pré-calculados pelo leiloeiro.

A média e desvio padrão da RF são usados somente para os casos onde se pretende variar a RF dentro de um intervalo através da simulação de Monte Carlo.

Para os atributos pré-calculados temos o ICB, composto pela Receita Fixa RF, a GF, e o CVU, o CEC e o COP.

Para o cálculo do ICB dos empreendimentos de geração de energia é usado um método tradicional da engenharia econômica chamado razão incremental Custo/Benefício para priorização de projetos de investimento. Uma vez determinado o valor do ICB para cada projeto, a decisão de investimento segue o critério do menor para o maior valor de ICB. Assim, o ICB (R\$/MWh) de cada empreendimento de geração é definido como a razão entre o seu custo total e o seu benefício energético, podendo ser calculado em base anual ou mensal.

A parcela da Receita Fixa RF representa a receita requerida pelo investidor de maneira a garantir o custo total de implantação física do empreendimento, incluindo todos os custos como por exemplo: custos socioambientais, juros durante a construção, além de todos os custos fixos referentes a operação e manutenção da usina, tais como o custo de combustível, associado ao nível de inflexibilidade operativa, o custo de conexão a rede básica e tarifas de uso do sistema de

transmissão e distribuição. Dessa forma, a parcela referente à RF não é conhecida inicialmente do leiloeiro.

A parcela referente ao valor esperado do custo de operação COP (R\$/ano) é calculada antes do leilão pela EPE em função do nível de inflexibilidade no despacho da usina, do CVU calculado e do custo variável de operação e manutenção, declarado pelo empreendedor antes do leilão, os quais determinam sua condição de despacho em função dos custos marginais de operação. Trata-se de uma variável divulgada pela EPE e, portanto, conhecida do leiloeiro no momento do leilão.

O valor esperado do custo econômico de curto prazo CEC (R\$/ano) também é calculado antes do leilão pela EPE resultante das diferenças mensais entre o despacho efetivo da usina e sua GF, também é função do nível de inflexibilidade no despacho da usina declarado pelo empreendedor. Trata-se de uma variável divulgada pela EPE e, portanto, conhecida do leiloeiro no momento do leilão.

A GF (MWmédio) do empreendimento de geração também é função do nível de inflexibilidade no despacho da usina e do seu CVU conforme declarado pelo empreendedor. Trata-se de uma variável conhecida do leiloeiro no momento do leilão.

Custo variável unitário CVU (R\$/MWh), composto por duas parcelas sendo: custo do combustível e demais custos variáveis, serve de base para o cálculo da GF do COP e do CEC, é fornecido pelo empreendedor e calculado pela EPE. Trata-se de uma variável conhecida do leiloeiro no momento do leilão.

Demanda do leilão (MWmédio) é o montante de energia a ser comercializado no leilão para atendimento de projetos estratégicos, de interesse público ou ainda para atender a demanda nacional de energia. Trata-se de um valor conhecido do leiloeiro.

Preço de Abertura do Leilão (R\$/MWh) é o máximo sobre preço para início do leilão, também chamado de preço teto do leilão.

Decremento do Preço (R\$/MWh) é o valor a ser reduzido a cada rodada (iteração) do leilão.

Máximo Sobrepreço (R\$/MWh) é o máximo preço que um leilão deve atingir em relação aos demais leilões que acontecem paralelamente.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados de entrada para a simulação dos leilões de energia.

TABELA 2 – DADOS DE ENTRADA DO LEILÃO

Dados do Leiloeiro	Dados dos Candidatos Ofertantes
Atributos segregadores (A)	Atributos pré-calculados (λ)
Demanda(s) do(s) leilões (D)	Receita fixa (RF)
Preço de abertura dos leilões (π)	Garantia física ofertada (GF)
Decremento do preço (δ)	Média (μ) e desvio padrão (σ) da RF para a Simulação Monte Carlo

FONTE: O autor (2015)

3.2.1.2 Definição de cenários

Dando sequência a essa etapa, e de posse de todos os dados de entrada descritos acima, na fase de inicialização podemos considerar e construir cenários variados e típicos leilão para posterior análise.

Nesse trabalho para simulação dos leilões foram construídos três cenários de simulação, a saber:

1. Cenário (a) – leilão único não segregado. Nesse cenário não é considerado nenhum tipo de atributo, todos os participantes competem entre si para atender a demanda solicitada e não existe sobre preço que possa diferenciar os ofertantes. É importante ressaltar que nesse cenário a RF não é conhecida do leiloeiro e é sorteada através de simulações de Monte Carlo, de acordo com uma média e um desvio padrão estabelecido para cada simulação a partir de uma distribuição de probabilidade.
2. Cenário (b) – leilão conjunto com atributo segregador. Nesse caso é considerado como atributo segregador o custo do atributo, tal como no caso anterior, usa-se os mesmos atributos para precificar as ofertas, todos os candidatos disputam para atender um único montante de energia e o leilão é único. A diferença é que nesse caso aplica-se um “abatimento”

reduzindo o custo de forma implícita do valor do ICB para determinados ofertantes, ficando esses mais competitivos. Nesse caso o subsistema que receberá o abatimento no custo pode ser escolhido, por exemplo, por: despachabilidade, tipo de fonte, localização, entre outros.

3. Cenário (c) – leilão segregado. Em um leilão segregado os atributos são utilizados para selecionar os candidatos em diferentes leilões e tem como vantagem leilões ocorrendo em paralelo. Os atributos segregadores podem ser considerados como, por exemplo, diferentes tipos de fontes, ou externalidades, como a flexibilidade ou não de uma determinada fonte, ou ainda a região das diferentes fontes. É de acordo com esse atributo que será definido, por exemplo, em qual leilão o ofertante participará, e nesse caso trata-se de uma variável categórica.

3.2.2 Etapa 2 – Aplicação do método de leilões multiatributos

Nesta etapa é aplicado o método proposto em Bezerra, *et al.* (2014) para leilão multiatributo, cujo algoritmo foi usado para criação das simulações da dissertação e está contido e implementado no *software* SIML.

Na próxima seção apresenta-se um detalhamento sobre o algoritmo da sistema de leilões multiatributos.

3.2.2.1 Algoritmo da sistemática de leilões multiatributos

Considera-se aqui que o leiloeiro já está de posse dos dados de entrada e com os cenários definidos para a simulação.

A Figura 9 mostra o fluxograma da inicialização do leilão. Deve-se ressaltar que os dados de entrada são informados pelo leiloeiro que necessita estimar os valores dos atributos $\{A_1, \dots, A_m\}$ onde cada ofertante oferece $\{m\}$ atributos e representados pelos vetores de atributos pré-calculados $\{\lambda_1 \dots \lambda_{M-m}\}$ e o vetor de atributos ofertados $\{\mu_1 \dots \mu_m\}$.

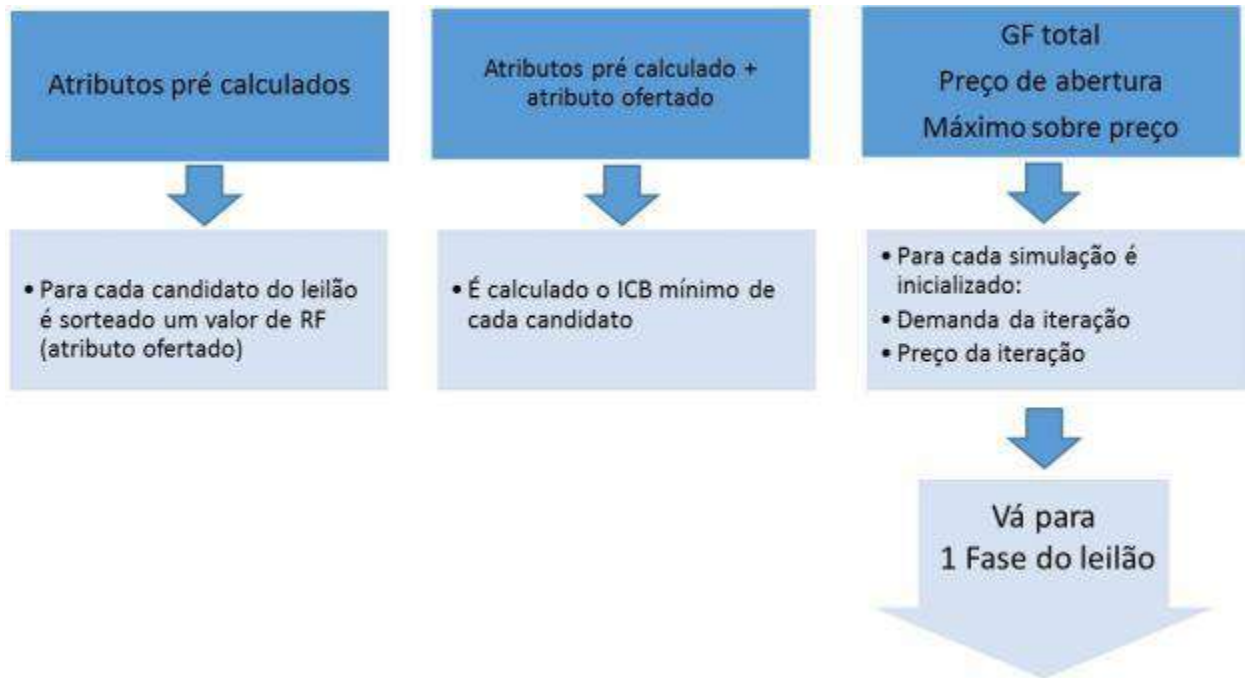


FIGURA 9 – INICIALIZAÇÃO DOS LEILÕES
 FONTE: O autor (2015)

As simulações podem ser divididas em 2 fases. De posse dos atributos pré-calculados somados aos atributos ofertados e o valor da RF como dado inicial ou sorteada através de Simulação de monte Carlo, pode ser determinado o valor do ICB mínimo de cada candidato. Nesse caso, usado para a precificação das ofertas com o objetivo de selecionar os candidatos mais competitivos. Em um leilão segregado por atributos, o vetor atributos serve, ainda, para separar os ofertantes em leilões distintos.

Nesse momento, também, é definido o valor da GF total e o preço de abertura do leilão. É importante colocar que esse método não demonstra os cálculos dos atributos, porém teve como base as teorias e métricas apresentadas e discutidas na metodologia proposta (LACTEC; PSR, 2013).

Cabe reforçar que um leilão segregado por atributos podem ser complementares, ou seja, podem correr em paralelo.

Após a inicialização, tem-se na Figura 10 o fluxograma da primeira fase do leilão, onde se busca atender à demanda do leiloeiro.



FIGURA 10 – PRIMEIRA FASE DO LEILÃO
 FONTE: O autor (2015)

Na primeira iteração do leilão, $k = 1$, para cada candidato i é analisado o ICB que deve ser menor que o preço de referência do leilão π_n^k eliminando os ofertantes cujo $ICBi$ seja maior que o preço de referência dado pela Equação 2.

$$\pi_n^k \geq ICBi \quad (2)$$

Onde:

π_n^k = Preço da iteração k para o leilão n (R\$/MWh)

$ICBi$ = ICB para o candidato i (R\$/MWh)

Em seguida, é testada a soma das garantias físicas dos candidatos QT_n^k que não pode ser menor que a demanda de atendimento D_n^k dado pela Equação 3.

$$QT_n^k = D_n^k \quad (3)$$

Onde:

QT_n^k = Somatório das GF dos candidatos na iteração k para o leilão n (MWmédio)

D_n^k = GF total desejada na iteração k para o leilão n (MWmédio)

Se o ofertante atender os dois primeiros critérios de seleção, a saber, ICB menor que preço de referência e soma das garantias físicas maior ou igual à demanda inicial, é efetuado o decréscimo do preço de referência estipulado pelo leiloeiro e o leilão passa para a segunda iteração $k = 2$. Dessa forma, o leilão segue e o decréscimo do preço vai ocorrendo a cada iteração.

Em caso negativo, se a soma das garantias físicas for menor que a demanda de atendimento inicial de acordo com a Equação 4.

$$QT_n^k < D_n^k \quad (4)$$

Onde:

QT_n^k = Somatório das GF dos candidatos na iteração k para o leilão n (MWmédio)

D_n^k = Demanda da iteração k para o leilão n (MWmédio)

Para cada leilão n , onde é válida a Equação 4, é calculado $g_{i,n}^*$ como sendo o índice da soma das garantias físicas dos ofertantes não selecionados no leilão n , e essa diferença residual da GF deve ser alocada proporcionalmente.

Dessa forma o preço aumenta através da Equação 5 que representa o candidato i com maior preço dentro dos candidatos não selecionados

$$\pi_n = P g_{i,n}^* \quad (5)$$

Onde:

π_n = Preço do leilão n (R\$/MWh)

$P g_{i,n}^*$ = Maior preço na iteração k para o leilão n dentre os candidatos não selecionados (R\$/MWh)

Com o aumento do preço, os candidatos não selecionados na iteração anterior retornam ao leilão.

Novamente é testada a Equação 4 e feita a verificação do ICB e da GF e dessa forma o leilão passa para a fase 2.

O leilão segue para a fase 2, conforme demonstrado, esquematicamente, na Figura 11.



FIGURA 11 – SEGUNDA FASE DO LEILÃO
FONTE: O autor (2015)

Nesta segunda fase do leilão, como primeiro critério, temos a análise do máximo sobre preço H_n que o leilão segregado n pode ter com relação ao preço de referência do leilão π_R de acordo com a Equação 6.

$$\pi_n = p_R^k \leq H_n \quad (6)$$

Onde:

π_n = Preço para o leilão n (R\$/MWh)

π_R^k = Preço de referência na iteração k para o leilão n (R\$/MWh)

H_n = Máximo sobre preço para o leilão n

Após testado o máximo sobre preço, se a diferença entre o preço da iteração e o preço de referência for maior que o máximo sobre preço, o leilão deve ser parado e concluído. Em caso negativo, deve ser calculado j^* , que é o índice do

leilão segregado com maior desvio positivo entre o preço obtido na iteração π_n^k e o preço de referência π_R^k , de acordo com a Equação 7.

$$j^* = \pi_n^k - \pi_R^k \quad (7)$$

Onde:

j^* = Índice do leilão segregado com maior desvio

π_n^k = Preço da iteração k para o leilão n (R\$/MWh)

π_R^k = Preço de referência na iteração k para o leilão n (R\$/MWh)

Em caso de empate entre mais de um ofertante, deve ser usado o critério de desempate I, no qual devem-se seguir as seguintes premissas na ordem do primeiro para o último:

1. Ofertante de menor garantia física QT_n^k
2. Ofertante com maior preço π_n^k
3. O primeiro dentre os leilões

Após o desempate podemos obter o preço residual $\pi_{j^*}^k$ subtraindo do decremento do preço θ de acordo com a Equação 8.

$$\pi_{j^*}^k = \pi_{j^*}^{k-1} - \theta \quad (8)$$

Onde:

$\pi_{j^*}^k$ = Preço residual (R\$/MWh)

θ = Decremento de preço de cada leilão (R\$/MWh)

Nesse momento, o leilão volta de acordo com a fase 1, onde para cada candidato i é analisado o ICB que deve ser menor que o preço de referência do leilão π_n^k eliminando os ofertantes cujo $ICBi$ seja maior que o preço de referência.

Ainda de conforme foi descrito na fase 1, é testado a soma das garantias físicas dos candidatos QT_n^k , que não pode ser menor que a demanda de atendimento D_n^k . Em caso negativo, se a soma das garantias físicas for menor que a

demanda de atendimento, obt-em-se a demanda residual δ^k de acordo com a Equação 9.

$$\delta^k = QT_{j^*}^{k-1} - QT_{j^*}^k \quad (9)$$

Onde:

δ^k = Demanda na iteração k

$QT_{j^*}^k$ = GF residual (MWmédio)

Nesse momento, deve ser calculado l^* , que é o índice do leilão segregado com menor desvio positivo entre o preço obtido na iteração π_n^k e o preço de referência π_R^k de acordo com a Equação 10.

$$l^* = \pi_n^{k-1} - \pi_R^{k-1} \quad (10)$$

Onde:

l^* = Índice do leilão segregado com maior desvio

π_R^k = Preço de referência do leilão (R\$/MWh)

Em caso de empate entre mais de um ofertante, deve ser usado o critério de desempate II, o qual deve seguir as seguintes premissas na ordem do primeiro para o último:

1. Ofertante de menor preço π_n^k
2. Ofertante de maior garantia física QT_n^k
3. O primeiro dentre os leilões

Após o desempate, a demanda residual é realocada para os outros leilões segregados. Dessa forma, haverá aumento no preço dos ofertantes selecionados que receberão a demanda residual, nesse caso de forma a minimizar uma soma ponderada dos custos finais para o consumidor.

Pode-se simular o resultado dos leilões através do sorteio por Monte Carlo dos valores dos atributos ofertantes $\{O_1 \dots O_m\}$, que são definidos como sendo as RF dos candidatos. Na etapa de sorteio da receita fixa e cálculo das ofertas mínimas, é sorteado para cada ofertante a sua receita fixa e se calcula o ICB mínimo do

candidato, que deriva do somatório dos valores dos atributos pré-calculados e da receita fixa sorteada. O ICB mínimo não é de conhecimento do leiloeiro.

Com isso é possível testar, analisar e discutir o comportamento e o impacto de diferentes regras de segregação dos atributos, ou seja, dos valores do vetor atributos $\{A_1 \dots A_m\}$ na expansão do sistema. Deve-se, dessa forma, encontrar os seguintes resultados:

- Preço final de cada leilão, valores em R\$/MWh;
- Demanda atendida de cada leilão, valores em MW médio;
- Preço de referência do leilão, valor em R\$/MWh;
- Montante vendido por cada ofertante, em MW médio;
- Mix de oferta de energia nova resultante do leilão, em MW médio;

3.2.2.2 Parametrização dos dados no software SIML

Nessa etapa é necessário, para cada cenário, configurar no simulador os dados de entrada e categorias de acordo com as especificações de cada cenário definida na etapa Etapa 1. O *software* apresenta os resultados de forma breve e simples.

Deve-se preparar um cenário de cada vez, carregar os dados de entrada, especificar os atributos segregadores, se for o caso, e simular primeiro com a RF sem variação e, na sequência, variar RF e a quantidade de simulações definindo a parametrização no sistema através dos sorteio da RF por Monte Carlo podendo variar de 100 a 1000 simulações.

A mesma parametrização de entrada de dados e simulação foi usada para o os três cenários, variando apenas o número de simulações.

Para o Cenário (a), leilão único não segregado, foram feitas simulações sem sorteio da RF e com sorteio da RF, nessa ordem.

Para o Cenário (b), leilão conjunto com atributo segregador, no momento da parametrização dos dados de entrada no sistema levou-se em consideração o atributo segregador que, nesse caso, foi considerado a despachabilidade que leva em consideração a soma das potências das termelétricas consideradas nesse leilão. Para esse caso, em específico, foi considerado de forma pressuposta, subtraindo-se do valor do atributo ICB.

Após a redução dos valores dos ICB's, os dados de entradas foram carregados no *software* simulador.

No Cenário (c), leilão segredo, foram considerados, de forma simultânea, atributo segregador e leilões correndo em paralelo. Dessa forma, foi considerado o atributo despachabilidade para as térmicas e aplicada a mesma redução ao valor do atributo ICB. Como atributo segregador, foi estipulado o tipo de fonte considerando contração de demandas diferente entre as fontes ou regiões.

Após a redução dos valores dos ICB's, foi feita a parametrização do atributo segregador com relação à fonte ou região. Para cada caso os dados de entradas foram carregados no *software* simulador.

Também foram feitas simulações sem sorteio da RF e com sorteio da RF, nessa ordem para o Cenário (b) e (c).

3.2.3 Etapa 3 – Cálculo das Estatísticas

Depois de concluída a simulação, e de posse dos resultados extraídos do simulador, pode ser iniciado o cálculo estatístico dos resultados.

A Figura 12 foi extraída do relatório completo do SIML demonstra como ocorre à saída dos dados. Com base nesses dados, é possível iniciar os cálculos estatísticos.

Simulacac	Nome Leil	Preco Abe	Preco Ate	Max Sobre	Demanda	Decremer	Demanda	Nome Ofc	ICB	Garantia F	Contratad	Demanda	Nome Ofc	ICB	Garantia F	Contratad
0	leilao_1.1	106	106	0	900	1	900	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	False	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	False
1	leilao_1.1	106	105	0	900	1	1476,8	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
2	leilao_1.1	106	104	0	900	1	1476,8	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
3	leilao_1.1	106	103	0	900	1	1476,8	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
4	leilao_1.1	106	102	0	900	1	1476,8	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
5	leilao_1.1	106	101	0	900	1	1476,8	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
6	leilao_1.1	106	100	0	900	1	1038,4	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
7	leilao_1.1	106	99	0	900	1	974,3	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
8	leilao_1.1	106	98	0	900	1	902,2	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
9	leilao_1.1	106	98,92807	0	900	1	384,6	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
10	leilao_1.1	106	98,92807	0	900	1	900	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
11	leilao_1.1	106	98,92807	0	900	1	900	IBIRAPUIT	73,96511	9,6	True	9,6	CERRO CH	94,11153	3,3	True
Simulacao: 1																
0	leilao_1.1	106	106	0	900	1	900	IBIRAPUIT	105,7098	9,6	False	9,6	CERRO CH	106	3,3	False
1	leilao_1.1	106	105	0	900	1	1476,8	IBIRAPUIT	105,7098	9,6	True	9,6	CERRO CH	106	3,3	True
2	leilao_1.1	106	106	0	900	1	0	IBIRAPUIT	105,7098	9,6	True	5,850488	CERRO CH	106	3,3	True
3	leilao_1.1	106	106	0	900	1	900	IBIRAPUIT	105,7098	9,6	True	5,850488	CERRO CH	106	3,3	True
4	leilao_1.1	106	106	0	900	1	900	IBIRAPUIT	105,7098	9,6	True	5,850488	CERRO CH	106	3,3	True
Simulacao: 2																
0	leilao_1.1	106	106	0	900	1	900	IBIRAPUIT	77,0064	9,6	False	9,6	CERRO CH	77,6864	3,3	False
1	leilao_1.1	106	105	0	900	1	1476,8	IBIRAPUIT	77,0064	9,6	True	9,6	CERRO CH	77,6864	3,3	True
2	leilao_1.1	106	104	0	900	1	1476,8	IBIRAPUIT	77,0064	9,6	True	9,6	CERRO CH	77,6864	3,3	True

FIGURA 12 – DADOS PARCIAIS DE SAÍDA DO SIML
 FONTE: O autor (2015).

É possível calcular a probabilidade de sucesso de cada ofertante de acordo com a Equação 12.

$$P_i = \frac{N_i}{N_{Ti}} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

P_i = Probabilidade de sucesso de cada candidato no leilão, em %

N_i = Número de leilões ganhos pelo candidato i

N_{Ti} = Número total de leilões que o candidato i participou

Da mesma forma, pode ser calculado o preço médio final dos leilões que o candidato ganhou conforme a Equação 13.

$$C_i = \sum_{h=1}^H \frac{C_{ih}}{N_{Ti}} \quad (13)$$

Onde:

C_i = Custo médio final dos leilões em que o candidato i venceu, em R\$/MWh

h = Indexa os leilões vencidos pelo candidato i onde $h = \{1, \dots, N_i \leq N\}$

N_{Ti} = Número total de leilões que o candidato i participou

Todos os dados podem ser comparados entre si, e ainda fracionados por fonte, região ou qualquer outra comparação necessária. Dessa forma, de posse dos resultados sugeridos, novos cenários retornando a Etapa 1 do método para novas simulações e posterior tomada de decisões, se for o caso.

3.2.4 Etapa 4 – Análise dos Resultados

Nessa etapa, com todos os cálculos estatísticos é gerada uma análise dos resultados, podendo ser comparado os cenários entre si e/ou o comportamento de determinado ofertante entre os cenários.

Várias são as possibilidades de análises comparativas de sucesso entre os cenários como, por exemplo, o comportamento dos valores como ICB, GF, preço final, entre outras.

Nessa etapa da metodologia proposta nessa dissertação é importante reforçar que várias perguntas podem ser esclarecidas, uma vez conhecidos os resultados para cada cenário, como por exemplo:

- Os cenários possuem resultados semelhantes? Dessa forma podendo analisar as vantagens e desvantagens entre os cenários.
- As probabilidades de sucesso dos candidatos é a mesma independente do cenário? Essa etapa garante a análise individual do candidato podendo-se testar suas probabilidades de sucesso ou não em cada cenário.
- Existe variação significativa do ICB conforme varia o número de simulações?
- Como se comportam as probabilidades de sucesso os ofertantes conforme varia o número de simulações?
- As probabilidades de sucesso dos ofertantes são as mesmas quando se altera o preço de referência do leilão.

Esclarecidas as respostas é possível ponderar se vale a pena ou não manter determinados ofertantes ou determinadas segregações no leilão, possibilitando outras alternativas e novos cenários.

Nesse momento, o planejador de posse dos critérios analisados através da metodologia pode tomar decisões e assegurar a segurança da expansão e a materialização dos projetos de energia alinhado com as políticas energéticas do país.

4 ESTUDO DE CASO

Nesse capítulo foram realizados dois estudos de caso escolhidos com base nos leilões já realizados no Brasil. Para seleção dos ofertantes foi considerado em cada estudo de caso apenas os ofertantes ganhadores dos leilões reais (pois somente é disponibilizada as informações do resultado dos leilões dos ofertantes ganhadores), de posse dos dados dos ofertantes ganhadores geramos um novo leilão entre eles considerando os atributos e analisando o novo comportamento para cada caso distinto.

Os valores de demanda e outras entradas foram considerados de forma *ad hoc*.

Para a aplicação da metodologia proposta nesta dissertação, foram desenvolvidos dois estudos de caso, apresentados nas próximas seções. O primeiro estudo de caso é baseado no Leilão A-3 de Energia Nova do Sistema Elétrico Brasileiro, ocorrido em 17 de agosto de 2011, considerando os 50 ofertantes de geração de energia em sua maioria fonte eólica (EOL), quatro ofertantes com fonte biomassa (BIO) e dois ofertantes com fonte a gás natural (GN). Por sua vez, o segundo estudo de caso 2 foi baseado no leilão ocorrido em 13 de dezembro de 2013, Leilão A-5 de Energia Nova, considerando-se os 97 ofertantes com fonte EOL.

Ressalta-se que os casos foram construídos de forma *ad hoc*, com base nos resultados extraídos dos leilões citados acima para potência, GF, ICB, Receita Fixa, COP+CEC e desvio padrão da RF.

4.1 ESTUDO DE CASO 1

Introduzir cada um dos estudos de caso com um ou dois parágrafos contando a historinha do leilão.

Para o Caso 1 foram testados três cenários conforme segue:

- Cenário (a) – leilão único não segregado. Nesse cenário não é considerado nenhum tipo de atributo, todos os participantes competem entre si para atender a demanda solicitada e não existe sobrepreço que possa diferenciar

os ofertantes. Para o cenário (a), a RF de cada ofertante foi estabelecida de forma *ad hoc*, com base nos dados do leilão A-3/2011 brasileiro estabelecida de forma provisória. Ainda é importante colocar que nesse cenário a RF não é conhecida do leiloeiro e é sorteada através de simulações de Monte Carlo que podem variar de 100 a 1000, de acordo com um desvio padrão estabelecido para esse cenário em 20R\$/MW/h.

- Cenário (b) – leilão conjunto com atributo segregador. Nesse cenário é considerado o atributo segregador, conforme segue: Leilão segregado por despachabilidade implícita, que representa a quantificação da potência das usinas termelétricas disponíveis para o sistema, onde se classificam os ofertantes de acordo com sua flexibilidade e, nesse caso, foi subtraído o valor de 15R\$/MW/h do atributo ICB dos ofertantes considerados térmicas a gás natural. Os demais ofertantes permaneceram com o ICB inicial. Cabe aqui um comentário sobre o cálculo da despachabilidade. Este atributo de entrada deve quantificar a potência de usinas termelétricas disponíveis para o sistema. Para a valoração do atributo despachabilidade deve-se resolver um problema de expansão ótimo e determinar o custo marginal de expansão, o que foge ao escopo desta dissertação. Para mais detalhes consultar (LACTEC; PSR, 2013).
- Cenário (c) – leilão segregado, onde têm-se leilões em paralelo, que podem ser distintos pelo atributo segregador e, ainda, pode ser considerada a troca da GF dos candidatos entre os leilões em paralelo. Nesse cenário o leilão ocorre de forma segregada por despachabilidade atribuída às térmicas de gás natural, de forma implícita. Foi subtraído o valor de 15R\$/MW/h do atributo ICB dos ofertantes considerados térmicas a gás natural.

De forma complementar, nesse cenário têm-se leilões em paralelo, nos quais o objetivo é contratar 900 MWmédios no total, sendo que 400 MWmédios de térmicas a gás natural e 500 MWmédios dos demais ofertantes.

Para o leilão, nos três cenários, foi considerada a demanda total a ser contratada de 900 MWmédios e a soma das garantias físicas dos 50 ofertantes de 1.476,8 MWmédios. Preço de abertura, o valor de R\$106,00/MWh e um decremento

de preço no valor de R\$1,00/MWh. Os dados do leilão para os três cenários estão representados na Tabela 3.

TABELA 3 – RESUMO DOS DADOS DO LEILÃO CASO 1

Leiloeiro Atributos segregadores (A)	Candidatos Atributos pré-calculados (λ)
Demandas dos leilões (D) – 900MW	Receita fixa (RF)
Preço de abertura dos leilões (π) – R\$106,00/MW/h	Garantia física ofertada (GF) – 1.746,8MW
Decremento do preço (δ) – R\$1,00/MW/h	Média (μ) e desvio padrão (σ) – 20 das RF

FONTE: O autor (2015)

Para os três cenários, o leilão inicia com o preço corrente igual ao preço de abertura e a demanda total do leilão deve ser garantida em todos os cenários. A RF pode ser fixa, sem simulações, em leilão único ou sorteada através de simulação Monte Carlo, dados a média e o desvio padrão. Nesse caso, RF é sorteada e pode-se variar o número de simulações de Monte Carlo para o sorteio da RF dentro do sistema. Para o Caso 1, as simulações variaram entre 100 e 1000 para cada cenário.

Nesse estudo (Caso 1) foram considerados 50 ofertantes selecionados do leilão A-3 de 2011 distribuídos da seguinte forma: em sua maioria EOL, quatro ofertantes com fonte BIO e dois ofertantes com fonte a Gás Natural GN distribuídos conforme a Tabela 4.

Destacado em negrito na Tabela 4, os dois ofertantes com fontes a GN que sofrem redução do valor do ICB no cenário (b) e (c) no valor de 15R\$/MWh.

TABELA 4 – LISTA DE OFERTANTES DO LEILÃO – CASO 1

Empreendimento	UF	Fonte	Potência (MW)	GF (MWm)	ICB (R\$/MWh)	Receita Fixa (R\$/MWh)	COP+CEC R\$/MWh	DP da RF (R\$/MWh)
AMETISTA	BA	EOL	28,8	13,9	98,53	102	-3,00	20
BAIXADA FLUMINENSE	RJ	GN	530,0	430,2	104,75	52	52,53	20
BORGO	BA	EOL	19,2	9,7	98,53	101	-2,20	20
CAETITÉ	BA	EOL	28,8	14,7	98,53	101	-2,37	20
CATAVENTOS PARACURU 1	CE	EOL	30,0	14,2	102,97	107	-4,20	20
CERRO CHATO IV	RS	EOL	10,0	3,3	97,17	98	-0,83	20

CERRO CHATO V	RS	EOL	12,0	4	96,85	98	-1,15	20
CERRO CHATO VI	RS	EOL	30,0	9,3	96,39	98	-1,61	20
CERRO DOSTRINDADE	RS	EOL	8,0	2,8	97,32	98	-0,68	20
CHUI I	RS	EOL	24,0	10,2	102,55	104	-1,45	20
CHUI II	RS	EOL	22,0	8,9	102,89	104	-1,11	20
CHUI IV	RS	EOL	22,0	8,8	102,91	105	-1,59	20
CHUI V	RS	EOL	30,0	12,5	103,78	105	-0,72	20
DELTA DO PARNAÍBA	PI	EOL	28,8	15	100,13	104	-4,28	20
DOURADOS	BA	EOL	28,8	13,2	98,53	101	-2,34	20
EMILIANA	BA	EOL	27,2	12,7	98,51	100	-1,23	20
ESPIGÃO	BA	EOL	9,6	5	98,53	102	-3,54	20
IACO	MS	BIO	30,0	12,8	101,99	104	-2,06	20
IBIRAPUITÃ I	RS	EOL	30,0	9,6	96,49	98	-1,5	20
JOANA	BA	EOL	25,6	12,2	98,5	100	-1,30	20
MARANHÃO III	MA	GN	499,2	470,7	101,9	83	18,73	20
MARON	BA	EOL	28,8	15,4	98,53	101	-2,79	20
MINUANO I	RS	EOL	22,0	9,4	101,34	102	-0,66	20
MINUANO II	RS	EOL	24,0	10,1	100,62	102	-1,38	20
MODELO I	RN	EOL	28,8	15,9	98,52	100	-1,49	20
MODELO II	RN	EOL	24,0	12,4	98,53	100	-1,76	20
PARANAPANEMA	SP	BIO	60,0	24,7	101,49	102	-0,59	20
PASSA TEMPO	MS	BIO	67,8	24,2	103,29	107	-3,69	20
PAU FERRO	PE	EOL	30,0	14,9	98,54	103	-4,11	20
PEDRA DO GERÔNIMO	PE	EOL	30,0	12,4	98,56	103	-4,20	20
PELOURINHO	BA	EOL	22,4	11,8	98,53	101	-2,70	20
PILÕES	BA	EOL	28,8	15,5	98,53	100	-1,56	20
PORTO DAS BARCAS	PI	EOL	28,8	14,8	100,16	105	-4,94	20
PORTO SALGADO	PI	EOL	18,0	9,1	100,17	105	-4,81	20
SANTO ANTONIO DE PÁDUA	CE	EOL	16,1	8,2	104,23	108	-3,67	20
SÃO CRISTOVÃO	CE	EOL	29,9	14,2	103,79	108	-4,11	20
SÃO JORGE	CE	EOL	27,6	13,2	103,98	108	-3,92	20

SERRA DO ESPINHAÇO	BA	EOL	17,6	8,9	98,53	100	-1,16	20
TACAICÓ	PE	EOL	18,0	8,8	98,55	103	-4,69	20
VALE DO TIJUCO II	MG	BIO	40,0	30	102,3	102	0,00	20
VERACE I	RS	EOL	20,0	8,5	98,5	99	-0,50	20
VERACE II	RS	EOL	20,0	8,3	98,64	99	-0,36	20
VERACE III	RS	EOL	26,0	11	98,19	99	-0,81	20
VERACE IV	RS	EOL	30,0	13,1	97,74	99	-1,26	20
VERACE IX	RS	EOL	30,0	12,7	98,21	99	-0,79	20
VERACE V	RS	EOL	30,0	12,4	98,21	99	-0,79	20
VERACE VI	RS	EOL	18,0	7,6	98,47	99	-0,53	20
VERACE VII	RS	EOL	30,0	12,7	97,86	99	-1,14	20
VERACE VIII	RS	EOL	26,0	10,8	98,19	99	-0,81	20
VERACE X	RS	EOL	28,0	12,1	98,43	99	-0,57	20

FONTE: O autor (2015)

4.1.1 Cenário (a) - Leilão único não segregado

Esse caso, leilão único não segregado, apresenta resultados muito similares aos resultados do leilão real, de acordo com o modelo vigente, que leva em consideração, basicamente, o preço final, desconsiderando, nesse momento, qualquer tipo de atributo.

Nesse leilão, sem a simulação de Monte Carlo, foram obtidas nove iterações, conforme representado na Tabela 5.

Para cada iteração ocorre o decremento de preço atribuído nos dados de entrada com o valor de R\$1,00.

TABELA 5 – DADOS DE SAÍDA DO LEILÃO

Iteração	Preço Abertura (R\$/MW/h)	Preço Atendido (R\$/MW/h)	Demanda Inicial (MW/h)	Decremento Preço (R\$/MW/h)	Demanda Atendida (MW/h)
1	106	106	900	1	900
2	106	105	900	1	1476,8
3	106	104	900	1	1476,8

4	106	103	900	1	1038,4
5	106	102	900	1	974,3
6	106	101	900	1	902,2
7	106	101,99	900	1	384,6
8	106	101,99	900	1	900
9	106	101,99	900	1	900

FONTE: O autor (2015)

Para as iterações de 1 a 6, ocorreu o decremento de preço variando de R\$ 106,00 MW/h. Para iteração 1, até R\$101,00 MW/h. Para iteração 6 e a demanda do leilão foi testada e atendida até a iteração 6 com 902,2MW/h e a saída de 10 ofertantes, conforme demonstra a Tabela 6.

Para os 10 ofertantes excluídos até a iteração 6 a soma da GF foi de 574,6MW/h permanecendo no leilão 40 ofertantes com a GF ofertada de 902,2 MW/h.

TABELA 6– OFERTANTES PERDEDORES

Ofertante	GF (MW/h)	ICB (R\$/MW/h)
CATAVENTOS PARACURU 1	14,2	102,97
CHUI I	10,2	102,55
CHUI II	8,9	102,89
CHUI IV	8,8	102,91
CHUI V	12,5	103,78
SANTO ANTONIO DE PÁDUA	8,2	104,23
SÃO CRISTOVÃO	14,2	103,79
SÃO JORGE	13,2	103,98
PASSA TEMPO	24,2	103,28
BAIXADA FLUMINENSE	430,2	104,75
VALE DO TIJUCO II	30	102,3
Total GF	574,6	

FONTE: O autor (2015)

Na iteração 7, para o preço atendido de R\$100,00MW/h saem do leilão mais 4 ofertantes, totalizando 36 ofertantes efetivos e uma GF ofertada de 384,6MW/h. Dessa forma não garantindo a demanda do leilão inicial de 900MW/h.

Com isso, dentro dos critérios de desempate, o simulador retorna para o ofertante de maior preço e menor GF, nesse caso R\$191,99MW/h, voltando com 10 ofertantes excluídos e 30 ofertantes efetivos garantindo o atendimento a demanda inicial do leilão. Nessa etapa os ofertantes não selecionados na iteração 7 retornam com a GF repartida proporcionalmente conforme a Tabela 7.

TABELA 7 – GARANTIA FÍSICA REPARTIDA PROPORCIONALMENTE

Ofertante	ICB (R\$/MW/h)	GF (MW/h)	GF Vendida (MW/h)
IACO	101,98	12,8	12,74
MINUANO I	101,34	9,4	9,36
MARANHÃO III	101,89	470,7	468,7
PARANAPANEMA	101,49	24,7	24,6
Total GF		517,6	515,4

FONTE: O autor (2015)

Dessa forma o leilão se encerra na iteração 9 com o preço final de R\$101,99MW/h e GF ofertada de 900MW/h, através de 30 ofertantes de acordo com a Tabela 8.

TABELA 8 – OFERTANTES GANHADORES DO LEILÃO

Ofertante	GF (MW/h)	ICB (R\$/MW/h)
IBIRAPUITÃ I	9,6	96,49
CERRO CHATO IV	3,3	97,17
CERRO CHATO V	4	96,85
CERRO CHATO VI	9,3	96,39
DELTA DO PARNAÍBA	15	100,13
PORTO DAS BARCAS	14,8	100,16
PORTO SALGADO	9,1	100,16
EMILIANA	12,7	98,51
JOANA	12,2	98,49
MODELO I	15,9	98,51
MODELO II	12,4	98,53
PAU FERRO	14,9	98,54
PEDRA DO GERÔNIMO	12,4	98,56

TACAICÓ	8,8	98,55
IACO	12,7	101,98
MINUANO I	9,3	101,34
MINUANO II	10,1	100,62
MARANHÃO III	468,7	101,89
AMETISTA	13,9	98,53
BORGO	9,7	98,52
Ofertante	GF (MW/h)	ICB (R\$/MW/h)
CAETITÉ	14,7	98,52
DOURADOS	13,2	98,53
ESPIGÃO	5	98,53
MARON	15,4	98,52
PELOURINHO	11,8	98,53
PILÕES	15,5	98,53
SERRA DO ESPINHAÇO	8,9	98,53
CERRO DO TRINDADE	2,8	97,32
PARANAPANEMA	24,6	101,49
VERACE I	8,5	98,5
VERACE II	8,3	98,64
VERACE III	11	98,19
VERACE IV	13,1	97,74
VERACE IX	12,7	98,21
VERACE V	12,4	98,21
VERACE VI	7,6	98,47
VERACE VII	12,7	97,86
VERACE VIII	10,8	98,19
VERACE X	12,1	98,43
Total GF	900	

FONTE: O autor (2015)

Ainda no cenário (a) com a simulação de Monte Carlo variando de 100 a 1000 simulações foi possível obter a probabilidade de sucesso dos ganhadores.

De acordo com a Tabela 9 realizando 100 sorteios da RF através de Simulação de Monte Carlo com um desvio padrão de 20R\$/MW/h, segue a

probabilidade de sucesso dos ofertantes. Os demais ofertantes não apresentados na obtiveram uma probabilidade de sucesso de 100%.

TABELA 9 – PROBABILIDADE DE SUCESSO

Probabilidades de Sucesso	
CATAVENTOS PARACURU 1	42%
CHUI I	68%
CHUI II	48%
CHUI IV	47%
CHUI V	42%
SANTO ANTONIO DE PÃNDUA	42%
SÃO CRISTOVÃO	42%
SÃO JORGE	42%
PASSA TEMPO	42%
BAIXADA FLUMINENSE	42%
VALE DO TIJUCO II	81%

FONTE: O autor (2015)

4.1.2 Cenário (b) – Leilão conjunto com atributo segregador

Nesse caso, leilão conjunto com atributo segregador, foi considerado o atributo despachabilidade que considera a soma da potência das termelétricas consideradas nesse leilão. Para esse caso foi considerado, de forma pressuposta, subtraindo-se dos valores dos ICB's das térmicas, definido em R\$15MW/h.

Nesse leilão, sem a simulação de Monte Carlo, foram obtidas quinze iterações conforme representado na Tabela 10.

TABELA 10– DADOS DE SAÍDA DO LEILÃO – CENÁRIO (B)

Iterações	Preço Abertura (R\$/MWh)	Preço (R\$/MWh)	Max sobrepreço	Demanda Inicial (MWh)	Decremento Preço (R\$/MWh)	Demanda Atendida (MWh)
1	106	106	15	400	1	400
2	106	105	15	400	1	900,9
3	106	104	15	400	1	900,9
4	106	103	15	400	1	470,7

5	106	102	15	400	1	470,7
6	106	101	15	400	1	470,7
7	106	101,897	15	400	1	0
8	106	101,897	15	400	1	400
9	106	101,897	15	400	1	400
10	106	101,897	15	400	1	400
11	106	101,897	15	400	1	400
12	106	101,897	15	400	1	400
13	106	101,897	15	400	1	400
14	106	101,897	15	400	1	400
15	106	101,897	15	400	1	400

FONTE: O autor (2015)

Esse leilão fechou com um preço final de R\$101,89 MW/h e apenas duas térmicas, Baixada Fluminense e Maranhão III, venceram esse leilão.

TABELA 11 – GARANTIA FÍSICA VENDIDA

Térmicas	GF (MW/h)	GF Vendida (R\$/MWh)
MARANHÃO III	470,7	470,7
BAIXADA FLUMINENSE	430,2	429,3
Total GF	900,9	900

FONTE: O autor (2015)

A Tabela 11 apresenta o valor da GF repartida proporcionalmente entre as térmicas vencedoras do leilão.

Para o caso da simulação de Monte Carlo, nesse cenário, considerando um desvio padrão de R\$20,00MW/h para obtenção da RF, fica expresso na Tabela 12 as probabilidades de sucesso das duas térmicas ganhadoras do leilão em 100 sorteios da RF.

TABELA 12 – PROBABILIDADE DE SUCESSO DOS VENCEDORES

Probabilidades de Sucesso	
MARANHÃO III	100%

BAIXADA FLUMINENSE

98%

FONTE: O autor (2015)

4.1.3 Cenário (c) – Leilão segregado

Nesse caso, leilão segregado, trata-se de uma proposta de projeto onde se considera o atributo segregador e leilões simultâneos ocorrendo em paralelo, possibilitando a troca de GF entre ofertantes dos diferentes leilões paralelos.

Nesse cenário temos como atributo segregador o tipo de fonte de energia, onde a estratégia é contratar 900MW/h como demanda total do leilão, porém segregada em 400MW/h de fontes térmicas e 500MW/h de outras fontes.

Também está sendo considerado, simultaneamente, o atributo despachabilidade. Tal como o cenário (b), de forma pressuposta será subtraído do ICB das térmicas R\$15,00MW/h.

Nesse leilão, sem a simulação de Monte Carlo, foram obtidas onze iterações conforme representado na Tabela 13.

TABELA 13 – DADOS DE SAÍDA DO LEILÃO

Iteração	Preço Abertura (R\$/MW/h)	Preço Atendido (R\$/MW/h)	Máx sobre preço	Demanda Inicial (MW/h)	Decremento Preço (R\$/MW/h)	Demanda Atendida (MW/h)
1	106	106	15	400	1	400
2	106	105	15	400	1	900,9
3	106	104	15	400	1	900,9
4	106	103	15	400	1	470,7
5	106	102	15	400	1	470,7
6	106	102	15	400	1	470,7
7	106	101	15	400	1	470,7
8	106	102,97	15	400	1	0
9	106	102,97	15	400	1	400
10	106	102,97	15	400	1	400
11	106	104,75	15	400	1	430,31

FONTE: O autor (2015)

Esse leilão fecha com um preço final de R\$104,75 MW/h e da mesma forma do cenário (b), as térmicas Baixada Fluminense e Maranhão III venceram esse

leilão. Porém, com diferença no montante da GF vendida conforme representado na Tabela 14.

Dessa forma, a térmica Baixada Fluminense não foi tão eficiente na venda, porém, a parcela das térmicas ficou acima da estratégia inicial de compra para essa fonte.

TABELA 14 – GARANTIA FÍSICA VENDIDA – TÉRMICAS

Ofertante	GF (MW/h)	GF Vendida (R\$/MW/h)
MARANHÃO III	470,7	400
BAIXADA FLUMINENSE	430,2	30,3
Total GF	900,9	430,3

FONTE: O autor (2015)

Entre as outras fontes, oito fontes eólicas foram excluídas do leilão. Esse tipo de leilão segregado por fonte ocorrendo em paralelo proporciona a transferência de demandas entre os leilões através do mecanismo de transferência proporcional da GF entre os ofertantes. Apesar das térmicas terem aumentado sua parcela de venda, a demanda inicial do leilão foi atendida em 900MW/h.

Para o caso da simulação de Monte Carlo nesse cenário, considerando um desvio padrão de R\$20,00MW/h para obtenção da RF, ficam expressas na Tabela 15 as probabilidades de sucesso das duas térmicas ganhadoras do leilão em 100 sorteios da RF.

TABELA 15 – PROBABILIDADE DE SUCESSO DOS GANHADORES

Probabilidades de Sucesso	
MARANHÃO III	100%
BAIXADA FLUMINENSE	33%

FONTE: O autor (2015)

Quando analisamos os três cenários do Caso 1 em paralelo, podemos comparar o preço final de cada cenário, para este estudo de caso conforme indicados na Tabela 16, o preço varia apenas para o cenário (c), saindo do patamar

de 101 R\$/MW/h para 104,75 R\$/MW/h demonstrando assim com relação ao preço médio final mais vantajoso os cenários (a) e (b).

Com esses preços finais, no cenário (a) são contratados 39 ofertantes e nos cenários (b) e (C) dois ofertantes garantindo a demanda do leilão em 900MW/h.

TABELA 16– PREÇO FINAL DOS CENÁRIOS

Resultado	Cenário (a)		Cenário (b)		Cenário (c)	
	Preço (R\$/MW/h)	Demanda (MW/h)	Preço (R\$/MW/h)	Demanda (MW/h)	Preço (R\$/MW/h)	Demanda (MW/h)
Inicial	106	900	106	900	106	900
Final	101,99	900	101,89	900	104,75	900

FONTE: O autor (2015)

Para os casos de sorteio da RF, foram consideradas, para cada cenário, simulações que variaram de 100 a 1000 sorteios para verificação do comportamento da probabilidade de sucesso dos ofertantes e uma possível variação do ICB. Com o intuito de investigar possíveis distorções, conforme variam para mais ou para menos o número de simulações, foi construída uma comparação entre os cenários do caso 1 para verificar o comportamento das probabilidades de sucesso dos ofertantes e da variação do ICB.

Nesse caso, de acordo com a Tabela 17, a variação para mais ou para menos da probabilidade de sucesso dos ofertantes não ultrapassa a 3% simulando de 100 a 100 vezes. Demonstrando assim que com relação as probabilidades de sucesso dos ganhadores os três cenários possuem as mesmas vantagens.

TABELA 17 - PROBABILIDADE DE SUCESSO DOS OFERTANTES NOS CENÁRIO

	Simulações								
	Cenário A			Cenário B			Cenário c		
	100	500	1000	100	500	1000	100	500	1000
AMETISTA	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
BAIXADA FLUMINENSE	42%	40%	44%	98%	97%	98%	33%	34%	27%
BORGO	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
CAETITÃ	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
CATAVENTOS PARACURU 1	42%	40%	45%	16%	22%	19%	33%	33%	33%
CERRO CHATO IV	100%	100%	100%	20%	25%	22%	100%	100%	100%
CERRO CHATO V	100%	100%	100%	20%	25%	22%	100%	100%	100%

CERRO CHATO VI	100%	100%	100%	20%	25%	22%	100%	100%	100%
CERRO DOS TRINDADE	100%	100%	100%	20%	25%	22%	100%	99%	100%
CHUI I	68%	66%	67%	16%	23%	20%	33%	34%	33%
CHUI II	48%	45%	49%	16%	22%	20%	33%	34%	33%
CHUI IV	47%	44%	49%	16%	22%	20%	33%	33%	35%
CHUI V	42%	40%	44%	16%	22%	19%	33%	33%	33%
DELTA DO PARNAÍBA	100%	100%	100%	19%	24%	21%	33%	35%	33%
DOURADOS	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
EMILIANA	100%	100%	100%	19%	25%	21%	100%	100%	100%
ESPIGÃO	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
IACO	100%	100%	100%	18%	24%	21%	33%	35%	34%
IBIRAPUITÃ I	100%	100%	100%	20%	25%	22%	100%	100%	100%
JOANA	100%	100%	100%	19%	25%	21%	100%	100%	100%
MARANHÃO III	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%
MARON	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
MINUANO I	100%	100%	100%	19%	24%	21%	33%	34%	33%
MINUANO II	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
MODELO I	100%	100%	100%	19%	25%	21%	100%	100%	100%
MODELO I	100%	100%	100%	19%	25%	21%	100%	100%	100%
PARANAPANEMA	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
PASSA TEMPO	42%	40%	44%	16%	22%	19%	33%	33%	33%
PAU FERRO	100%	100%	100%	19%	25%	21%	99%	100%	100%
PEDRA DO GERÂNIO	100%	100%	100%	19%	24%	21%	99%	100%	100%
PELOURINHO	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
PILÃRES	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
PORTO DAS BARCAS	100%	100%	100%	19%	24%	21%	33%	34%	35%
PORTO SALGADO	100%	100%	100%	19%	24%	21%	33%	35%	34%
SÃO CRISTOVÃO	42%	40%	44%	16%	22%	19%	33%	35%	33%
SÃO JORGE	42%	40%	44%	16%	22%	19%	33%	34%	33%
SANTO ANTONIO DE PÁDUA	42%	40%	44%	16%	22%	19%	33%	34%	33%
SERRA DO ESPINHÃO	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
TACAICÃ	100%	100%	100%	19%	24%	21%	99%	100%	100%
VALE DO TIJUCO II	81%	83%	80%	16%	24%	21%	33%	33%	33%
VERACE I	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
VERACE II	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
VERACE III	100%	100%	100%	19%	25%	22%	100%	99%	100%
VERACE IV	100%	100%	100%	20%	25%	22%	100%	99%	100%
VERACE IX	100%	100%	100%	19%	25%	22%	100%	99%	100%
VERACE V	100%	100%	100%	19%	25%	22%	100%	99%	100%
VERACE VI	100%	100%	100%	19%	24%	21%	100%	99%	100%
VERACE VII	100%	100%	100%	20%	25%	22%	100%	99%	100%
VERACE VIII	100%	100%	100%	124%	43%	22%	100%	99%	100%
VERACE X	100%	100%	100%	122%	43%	22%	100%	99%	100%

FONTE: O autor (2015)

Ainda de acordo com Tabela 18, a variação para mais ou para menos do ICB dos ofertantes não ultrapassa a 2R\$/MW/h simulando de 100 a 100 vezes.

Dessa forma para esse estudo de caso não existe variações significativas do ICB.

TABELA 18 – CUSTO MÉDIO DOS OFERTANTES NOS CENÁRIOS

	Simulações								
	Cenário (a)			Cenário (b)			Cenário (c)		
AMETISTA	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,7	94,9	94,7	94,8
BAIXADA FLUMINENSE	96,0	96,6	97,4	85,1	88,2	86,6	98,0	98,3	98,4
BORGO	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,7	94,9	94,7	94,8
CAETITÉ	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,7	94,9	94,7	94,8
CATAVENTOS PARACURU 1	94,9	95,5	96,3	93,9	96,4	95,5	97,2	97,3	97,5
CERRO CHATO IV	91,1	91,7	92,8	90,0	92,8	91,7	94,1	93,8	93,9
CERRO CHATO V	90,9	91,5	92,6	89,8	92,6	91,5	93,9	93,6	93,7
CERRO CHATO VI	90,6	91,2	92,3	89,4	92,3	91,2	93,6	93,3	93,4
CERRO DOS TRINDADE	91,2	91,8	93,0	90,1	93,0	91,8	94,2	93,9	94,0
CHUI I	94,7	95,2	96,0	93,7	96,2	95,3	97,0	97,1	97,2
CHUI II	94,9	95,5	96,2	93,9	96,4	95,5	97,2	97,3	97,4
CHUI IV	94,9	95,5	96,2	93,9	96,4	95,5	97,2	97,3	97,4
CHUI V	95,4	96,0	96,7	94,4	96,9	96,0	97,6	97,8	97,9
DELTA DO PARNAÍBA	93,2	93,7	94,6	92,1	94,8	93,7	95,8	95,7	95,8
DOURADOS	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,7	94,9	94,7	94,8
EMILIANA	92,1	92,6	93,6	91,0	93,7	92,6	94,9	94,7	94,8
ESPIGÃO	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,6	94,9	94,7	94,8
IACO	94,4	94,9	95,8	93,3	95,9	94,9	96,7	96,8	96,9
IBIRAPUITÃ I	90,7	91,3	92,4	89,5	92,4	91,2	93,7	93,3	93,5
JOANA	92,1	92,6	93,6	91,0	93,7	92,6	94,9	94,7	94,8
MARANHÃO III	94,3	94,8	95,8	81,6	85,0	83,6	96,8	96,8	96,9
MARON	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,6	94,9	94,7	94,8
MINUANO I	94,0	94,5	95,4	92,9	95,5	94,5	96,4	96,4	96,5
MINUANO II	93,5	94,0	95,0	92,4	95,1	94,1	96,0	96,0	96,1
MODELO I	92,1	92,6	93,7	91,0	93,7	92,6	94,9	94,7	94,8
MODELO II	92,1	92,7	93,7	91,0	93,7	92,6	94,9	94,7	94,8
PARANAPANEMA	94,0	94,6	95,5	93,0	95,6	94,6	96,5	96,5	96,6
PASSA TEMPO	95,1	95,7	96,5	94,1	96,6	95,7	97,4	97,5	97,6
PAU FERRO	92,1	92,7	93,7	91,0	93,7	92,6	94,9	94,7	94,8
PEDRA DO GERÔNIMO	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,6	94,9	94,8	94,9
PELOURINHO	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,6	94,9	94,7	94,8
PILÕES	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,6	94,9	94,7	94,8
PORTO DAS BARCAS	93,2	93,8	94,7	92,1	94,8	93,7	95,8	95,7	95,9
PORTO SALGADO	93,2	93,7	94,7	92,1	94,8	93,7	95,8	95,7	95,9

SANTO ANTONIO DE PÁDUA	95,7	96,3	97,0	94,7	97,1	96,3	97,6	97,8	97,9
SÃO CRISTOVÃO	95,4	96,0	96,8	94,4	96,9	96,0	97,7	97,9	98,0
SÃO JORGE	95,5	96,1	96,9	94,5	97,0	96,1	97,8	98,0	98,1
SERRA DO ESPINHAÇO	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,6	94,9	94,7	94,8
TACAICÓ	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,6	94,9	94,8	94,8
VALE DO TIJUCO II	94,5	95,1	96,0	93,5	96,1	95,1	96,9	96,9	97,0
VERACE I	92,1	92,7	93,7	91,0	93,8	92,6	94,9	94,7	94,7
VERACE II	92,2	92,8	93,8	91,1	93,9	92,7	95,0	94,8	94,8
VERACE III	91,8	92,4	93,5	90,8	93,5	92,4	94,7	94,5	94,5
VERACE IV	91,5	92,1	93,2	90,4	93,2	92,1	94,4	94,2	94,2
VERACE IX	91,9	92,5	93,5	90,8	93,6	92,4	94,7	94,5	94,6
VERACE V	91,9	92,5	93,5	90,8	93,6	92,4	94,7	94,5	94,6
VERACE VI	92,0	92,6	93,7	91,0	93,7	92,6	94,9	94,7	94,7
VERACE VII	91,6	92,2	93,3	90,5	93,3	92,1	94,5	94,3	94,3
VERACE VIII	91,5	92,4	93,5	90,8	93,5	92,3	94,7	94,5	94,6
VERACE X	91,6	92,6	93,6	90,9	93,7	92,5	94,9	94,6	94,7

FONTE: O autor (2015)

A Figura 13 representa, graficamente, o comportamento do ICB do ofertante Ibiraputã 1 no cenário (a) ao longo das 500 simulações de Monte Carlo.

A Figura 14 representa, graficamente, o comportamento do ICB do ofertante Ibiraputã 1 no cenário (a) ao longo das 100 simulações.

Ainda ficou demonstrado no estudo de caso, e após analisar as diversas simulações realizadas, que é possível perceber comprando o cenário (b) leilão conjunto ao cenário (c) leilão segregado que existe equivalência entre os vencedores de um leilão conjunto e um leilão segregado, porém a probabilidade de vencer o leilão assim como suas GF se apresentam diferentes se comparados os dois cenários.

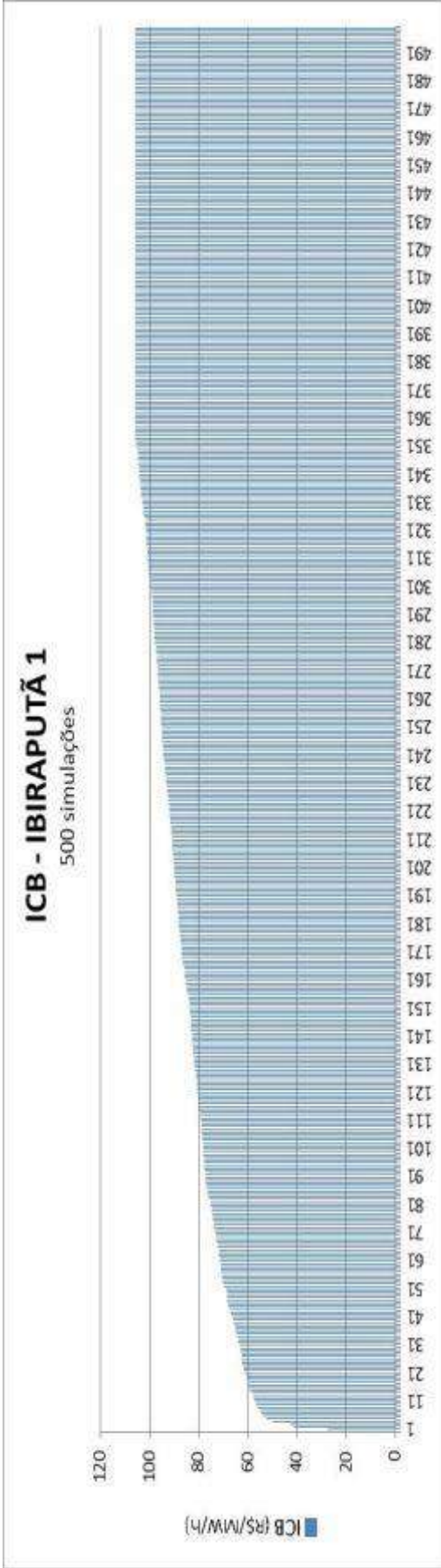


FIGURA 13 – ICB OFERTANTE IBIRAPUTÃ 1 – 500 SIMULAÇÕES
FONTE: O autor (2015)

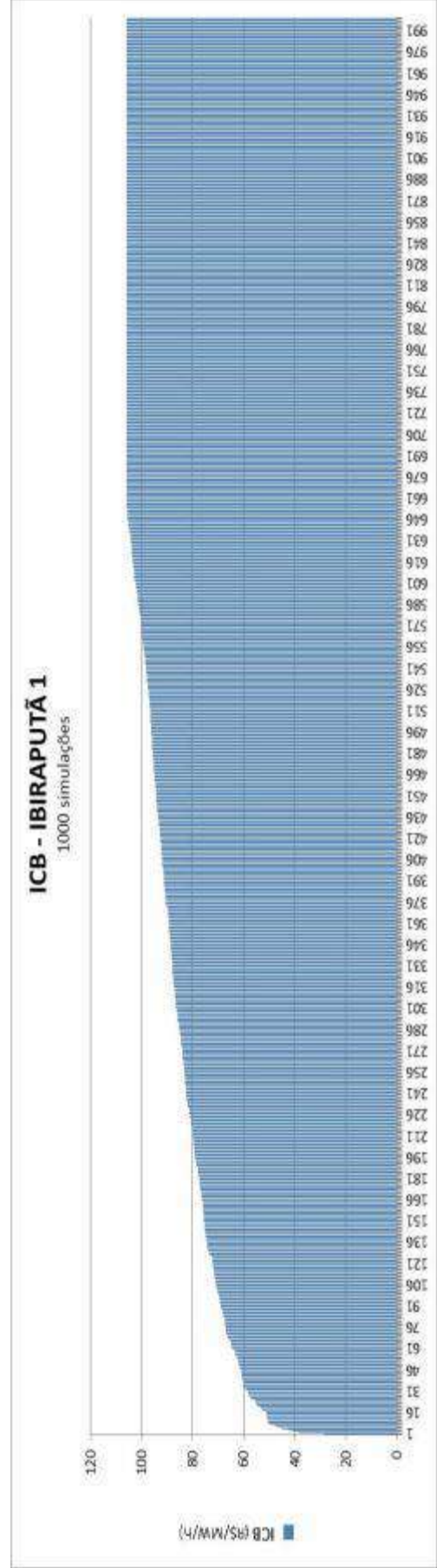


FIGURA 14 – ICB OFERTANTE IBIRAPUTÃ 1 – 1000 SIMULAÇÕES
FONTE: O autor (2015)

4.2 ESTUDO DE CASO 2

Para o Caso 2 também foram testados três cenários conforme segue:

- Cenário (a) – leilão único não segregado. Nesse cenário a RF de cada ofertante foi estabelecida de forma *ad hoc* com base nos dados do leilão A-5/2013 brasileiro estabelecida de forma provisória. Ainda é importante colocar que, nesse cenário, a RF não é conhecida do leiloeiro e é sorteada através de simulações de Monte Carlo. Para esse cenário foram simuladas 100 vezes de acordo com um desvio padrão estabelecido para esse cenário em 20R\$/MW/h.
- Cenário (b) – leilão conjunto com atributo segregador. Nesse cenário é considerado o atributo segregador, conforme segue: Leilão segregado por custo de transmissão implícita e, nesse caso, foi subtraído o valor de 10R\$/MW/h do atributo ICB dos ofertantes considerados eólicas da região sul. Os demais ofertantes permaneceram com o ICB inicial. Cabe aqui um comentário sobre o cálculo do custo de transmissão. Para a valoração das externalidades associadas ao sistema de transporte de energia elétrica deve-se realizar a modelagem da rede de transmissão de energia do sistema considerado, o que foge ao escopo desta dissertação. Mais detalhes podem ser obtidos em (LACTEC; PSR, 2014)
- Cenário (c) – leilão segregado, no qual têm-se leilões em paralelo que podem ser distintos pelo atributo segregador e, ainda, pode ser considerada a troca da GF dos candidatos entre os leilões em paralelo.

Nesse cenário, o leilão ocorre de forma segregada por despachabilidade atribuída às eólicas da região sul, de forma implícita. Foi subtraído o valor de 10R\$/MW/h do atributo ICB dos ofertantes considerados eólicas da região sul.

De forma complementar, nesse cenário têm-se leilões em paralelo onde o objetivo é contratar 800MWMédios no total, sendo que 50MWMédios das eólicas do sul e 750MWMédios dos demais ofertantes.

Para o leilão, nos três cenários, também foi considerada a demanda total a ser contratada de 800MW médios e a soma das garantias físicas dos 97 ofertantes de 1.083,4MW médios. Preço de abertura, o valor de R\$140,00/MW/h e um decréscimo de preço no valor de R\$1,00/MW/h. Os dados do leilão para os três cenários estão representados na Tabela 19 a seguir:

TABELA 19 – RESUMO DOS DADOS DO LEILÃO – CASO 2

Leiloeiro	Candidatos
Atributos segregadores (A)	Atributos pré-calculados (λ)
Demandas dos leilões (D) – 800MW	Receita fixa (RF)
Preço de abertura dos leilões (π) – R\$140,00/MW/h	Garantia física ofertada (GF) – 1.083,4MW
Decréscimo do preço (δ) – R\$1,00/MW/h	Média (μ) e desvio padrão (σ) – 20 das RF

FONTE: O autor (2015)

Para os três cenários o leilão inicia com o preço corrente igual ao preço de abertura e a demanda total do leilão deve ser garantida em todos os cenários. A RF pode ser fixa, sem simulações, em leilão único ou sorteada através de simulação Monte Carlo, dada à média e o desvio padrão. No Caso 1, para os três cenários a RF foi sorteada e dessa forma variou-se o número de simulações de Monte Carlo entre 100 e 1000 simulações. Para o Caso 2 foram feitas 100 simulações para cada cenário.

Nesse estudo (Caso 2) os 97 ofertantes estão distribuídos em sua totalidade em fonte EOL, conforme Tabela 20.

Destacado em negrito na Tabela 20 os ofertantes da região sul que sofrem redução do valor do ICB no cenário (b) e (c) no valor de 10R\$/MW/h

TABELA 20 – LISTA DE OFERTANTES DO LEILÃO – CASO 2

Empreendimento	UF	Fonte	Potência (MW)	GF (MWm)	ICB (R\$/MWh)	Receita Fixa (R\$/MWh)	COP+CEC R\$/MWh	DP da Receita Fixa (R\$/MWh)
Arara Azul	RN	EOL	27,5	10,7	121,3	124	-2,57	10
Bentevi	RN	EOL	15	5,7	121,3	124	-2,65	10
Ouro Verde I	RN	EOL	27,5	10,7	121,3	124	-2,84	10
Ouro Verde II	RN	EOL	30	11,2	121,3	124	-3,10	10
Ouro Verde III	RN	EOL	25	9,4	121,3	124	-2,45	10
Aura Mangueira IV	RS	EOL	22	9,7	119,48	122	-2,14	10
Aura Mangueira VI	RS	EOL	28	12,3	119,48	122	-2,39	10

Aura Mangueira XI	RS	EOL	10	4,3	119,48	122	-2,77	10
Aura Mangueira XIII	RS	EOL	14	6	119,49	122	-2,21	10
Aura Mangueira XII	RS	EOL	16	6,9	119,48	122	-2,43	10
Aura Mangueira XV	RS	EOL	18	7,9	119,48	122	-2,23	10
Aura Mangueira XVII	RS	EOL	14	5,8	119,48	122	-2,77	10
Aura Mirim IV	RS	EOL	14	6	119,5	121	-1,99	10
Aura Mirim VI	RS	EOL	8	3,4	119,48	122	-2,69	10
Aura Mirim VIII	RS	EOL	8	3,3	119,48	123	-3,22	10
Banda de Couro	BA	EOL	29,7	12,9	121,8	126	-4,04	10
Baraúnas II	BA	EOL	21,6	7,8	119,99	125	-5,08	10
Bons Ventos Cacimbas 2	CE	EOL	25,2	9,8	121,58	125	-3,05	10
Bons Ventos Cacimbas 3	CE	EOL	14,7	6	121,58	124	-2,76	10
Bons Ventos Cacimbas 4	CE	EOL	10,5	4,3	121,58	123	-1,74	10
Bons Ventos Cacimbas 5	CE	EOL	23,1	9,6	121,58	124	-2,55	10
Bons Ventos Cacimbas 7	CE	EOL	16,8	6,5	121,58	125	-3,62	10
Itaguaçu da Bahia	BA	EOL	28	14	120,02	124	-3,97	10
Ventos de Santa Luiza	BA	EOL	28	14,2	120,01	124	-4,40	10
Ventos de Santa Madalena	BA	EOL	28	14,7	120,01	124	-4,32	10
Ventos de Santa Marcella	BA	EOL	28	13,6	120,02	124	-3,81	10
Ventos de Santa Vera	BA	EOL	28	15,2	120,02	124	-4,01	10
Ventos de Santo Antonio	BA	EOL	28	16,1	120,01	124	-4,03	10
Ventos de São Bento	BA	EOL	28	14,4	120,01	124	-4,33	10
Ventos de São Cirilo	BA	EOL	28	14,7	120,02	124	-4,06	10
Ventos de São João	BA	EOL	28	15	120,01	124	-4,37	10
Ventos de São Rafael	BA	EOL	28	13,8	120,02	124	-4,12	10
Assuruá I	BA	EOL	30	11,5	118,8	125	-6,33	10
Assuruá VI	BA	EOL	30	13,8	118,76	124	-5,67	10
Capoeiras I	BA	EOL	26	11,5	118,8	125	-5,86	10
Capoeiras II	BA	EOL	30	13,9	118,76	125	-5,75	10
Curral de Pedras III	BA	EOL	30	13,2	118,78	125	-5,95	10
Curral de Pedras IV	BA	EOL	20	8,9	118,78	125	-5,85	10
RN	UEE	EOL	30	11,3	108,9	113	-4,36	10
RN	UEE	EOL	30	11,9	108,9	114	-4,78	10
RN	UEE	EOL	30	12,4	108,9	114	-4,73	10
Casa Nova II	BA	EOL	28	7,1	118,95	129	-10,13	10
Casa Nova III	BA	EOL	24	5,5	118,95	129	-10,09	10
Pedra Cheirosa	CE	EOL	26	13,6	117,4	125	-7,39	10
Pedra Cheirosa II	CE	EOL	24	12,5	117,39	125	-7,90	10
Umburanas 1	BA	EOL	27	14,5	117,77	120	-2,06	10
Umburanas 10	BA	EOL	21	10,7	117,77	120	-2,10	10
Umburanas 11	BA	EOL	15	7,4	117,77	121	-3,08	10
Umburanas 12	BA	EOL	22,8	12	117,77	120	-2,38	10
Umburanas 13	BA	EOL	18,9	10,3	117,77	120	-2,16	10
Umburanas 14	BA	EOL	24,9	12,2	119,75	121	-1,55	10
Umburanas 15	BA	EOL	18,9	9,6	119,75	121	-1,66	10

Umburanas 16	BA	EOL	27	14,1	119,75	122	-1,85	10
Umburanas 18	BA	EOL	8,1	4,4	119,75	121	-0,89	10
Umburanas 2	BA	EOL	27	14,3	117,77	120	-2,03	10
Umburanas 3	BA	EOL	18,9	10,1	118,76	121	-2,16	10
Umburanas 4	BA	EOL	18,9	9,9	119,75	121	-1,71	10
Umburanas5	BA	EOL	18,9	9,5	119,75	122	-1,85	10
Umburanas 6	BA	EOL	21,6	11,6	118,76	120	-1,51	10
Umburanas 7	BA	EOL	24,3	11,7	119,75	122	-1,77	10
Umburanas 8	BA	EOL	24,3	12,8	117,77	119	-1,66	10
Umburanas 9	BA	EOL	18	8,8	119,75	122	-2,20	10
Aventura I	RN	EOL	26	10,5	108,9	113	-3,89	10
Cabeço Vermelho	RN	EOL	30	15	119,72	122	-2,25	10
Cabeço Vermelho II	RN	EOL	20	9	120,72	125	-4,60	10
Tamanduá Mirim II	BA	EOL	24	8	119,7	123	-3,42	10
Catanduba II	RN	EOL	30	13,3	121,8	125	-3,21	10
Catanduba II	RN	EOL	30	12,1	121,8	125	-3,30	10
Porto do Delta	PI	EOL	30,004	12,7	117,46	123	-5,30	10
Testa Branca I	PI	EOL	30	14,8	117,5	122	-4,82	10
Santa Rosa	CE	EOL	20	8,4	121,1	127	-5,86	10
Uirapuru	CE	EOL	28	12,6	121,1	127	-5,62	10
Ventos de Angelim	CE	EOL	24	10,3	121,1	126	-5,25	10
Ventos de Santo Augusto I	PI	EOL	16	8,2	120,47	125	-5,02	10
Ventos de Santo Augusto II	PI	EOL	30	15,7	120,48	126	-5,15	10
Ventos de Santo Augusto VI	PI	EOL	30	16,4	120,47	126	-5,21	10
Ventos de Santo Augusto VII	PI	EOL	16	8,4	120,48	126	-5,47	10
Ventos de Santo Augusto VIII	PI	EOL	16	8,8	120,47	126	-5,62	10
Ventos de Santo Estevão I	PE	EOL	30	16,5	120,48	127	-7,00	10
Ventos de Santo EstevãoII	PE	EOL	30	15,4	121,49	129	-7,17	10
Ventos de Santo Estevão III	PE	EOL	30	15,6	120,48	128	-7,07	10
Ventos de Santo Estevão IV	PE	EOL	30	14,8	120,47	128	-7,28	10
Serra do Mel I	RN	EOL	28	13	121,09	122	-1,38	10
Serra do Mel II	RN	EOL	28	12,8	121,09	123	-1,86	10
Serra do Mel III	RN	EOL	28	12,5	121,09	123	-1,85	10
União dos Ventos 15	RN	EOL	30	13,4	115	117	-2,35	10
União dos Ventos 16	RN	EOL	30	12,7	115	118	-2,80	10
Ventos da Bahia II	BA	EOL	30	13,1	117,74	120	-1,88	10
Ventos da Bahia IV	BA	EOL	12	5,5	117,74	120	-2,34	10
Ventos da Bahia VIII	BA	EOL	30	13,3	117,74	119	-1,64	10
União dos Ventos 12	RN	EOL	27,2	14,2	115	117	-2,00	10
União dos Ventos 13	RN	EOL	20,4	10,7	115	116	-1,49	10
União dos Ventos 14	RN	EOL	22,1	11,9	115	116	-1,46	10
Vila Amazonas V	RN	EOL	30	14,8	120,36	122	-1,57	10
Vila Pará I	RN	EOL	30	14,2	119,13	121	-1,41	10
Vila Pará II	RN	EOL	30	14	120,38	122	-1,76	10
Vila Pará III	RN	EOL	30	13,9	120,37	122	-1,57	10

FONTE: O autor (2015)

4.2.1 Cenário (a) – Leilão único não segregado

Nesse leilão, sem a simulação de Monte Carlo foram obtidos vinte e três iterações. Para cada iteração ocorre o decremento de preço atribuído nos dados de entrada com o valor de R\$1,00.

Esse leilão fechou com um preço final de R\$120,71 MW/h abaixo de acordo com a Tabela 21 segue a lista dos 20 ofertantes perdedores.

TABELA 21 - OFERTANTES PERDEDORES

Ofertantes	GF (MWm)	ICB (R\$/MWh)
Serra do Mel I	13	121,09
Serra do Mel II	12,8	121,09
Serra do Mel III	12,5	121,09
Santa Rosa	8,4	121,1
Uirapuru	12,6	121,1
Ventos de Angelim	10,3	121,1
Arara Azul	10,7	121,3
Bentevi	5,7	121,3
Ouro Verde I	10,7	121,3
Ouro Verde II	11,2	121,3
Ouro Verde III	9,4	121,3
Ventos de Santo Estevão II	15,4	121,49
Bons Ventos Cacimbas 2	9,8	121,58
Bons Ventos Cacimbas 3	6	121,58
Bons Ventos Cacimbas 4	4,3	121,58
Bons Ventos Cacimbas 5	9,6	121,58
Bons Ventos Cacimbas 7	6,5	121,58
Banda de Couro	12,9	121,8

Catanduba I	13,3	121,8
Catanduba II	12,1	121,8
Total GF	207,2	

FONTE: O autor (2015)

Para o caso da simulação de Monte Carlo, nesse cenário, considerando um desvio padrão de R\$10,00MW/h para obtenção da RF, fica expresso, na Tabela 22 as probabilidades de sucesso dos ofertantes perdedores em 100 simulações da receita fixa. Os demais ofertantes ficaram com 98% ou mais chances de ganhar o leilão.

TABELA 22– PROBABILIDADE DE SUCESSO DOS OFERTANTES

Probabilidade de Sucesso	
Cabeço Vermelho	78%
Serra do Mel I	51%
Serra do Mel II	51%
Serra do Mel III	51%
SANTA ROSA	48%
UIRAPURU	48%
Ventos de Angelim	48%
ARARA AZUL	28%
BENTEVI	28%
OURO VERDE I	28%
OURO VERDE II	28%
OURO VERDE III	28%
CATANDUBA I	13%
CATANDUBA II	13%
Ventos de Santo Estevão II	13%
Banda de Couro	12%
BONS VENTOS CACIMBAS 2	12%
BONS VENTOS CACIMBAS 3	12%

BONS VENTOS CACIMBAS 4	12%
BONS VENTOS CACIMBAS 5	12%
BONS VENTOS CACIMBAS 7	12%

FONTE: O AUTOR (2015)

4.2.2 Cenário (b) – Leilão conjunto com atributo segregador

Nesse caso, leilão conjunto com atributo segregador foi considerado o atributo custo de transmissão e foi considerado, de forma pressuposta, subtraindo-se dos valores dos ICB's das fontes eólicas da região sul , definido em R\$10MW/h.

Nesse leilão, sem a simulação de Monte Carlo, foram obtidos vinte e três iterações. Para cada iteração ocorre o decremento de preço atribuído nos dados de entrada com o valor de R\$1,00.

Esse leilão fechou com um preço final de R\$120,71 MW/h abaixo. De acordo com a Tabela 23 segue a lista dos 20 ofertantes perdedores.

TABELA 23 - OFERTANTES PERDEDORES

Ofertantes	GF (MWm)	ICB (R\$/MWh)
Serra do Mel I	13	121,09
Serra do Mel II	12,8	121,09
Serra do Mel III	12,5	121,09
Santa Rosa	8,4	121,1
Uirapuru	12,6	121,1
Ventos de Angelim	10,3	121,1
Arara Azul	10,7	121,3
Bentevi	5,7	121,3
Ouro Verde I	10,7	121,3
Ouro Verde II	11,2	121,3
Ouro Verde III	9,4	121,3
Ventos de Santo Estevão II	15,4	121,49
Bons Ventos Cacimbas 2	9,8	121,58
Bons Ventos Cacimbas 3	6	121,58

Bons Ventos Cacimbas 4	4,3	121,58
Bons Ventos Cacimbas 5	9,6	121,58
Bons Ventos Cacimbas 7	6,5	121,58
Banda de Couro	12,9	121,8
Catanduba I	13,3	121,8
Catanduba II	12,1	121,8
Total GF	207,2	

FONTE: O AUTOR (2015)

Para o caso da simulação de Monte Carlo, nesse cenário, considerando um desvio padrão de R\$10,00MW/h para obtenção da RF, ficam expressas, na Tabela 24, as probabilidades de sucesso dos ofertantes perdedores em 100 simulações da receita fixa. Os demais ofertantes ficaram com 99% ou mais chances de ganhar o leilão.

TABELA 24 – PROBABILIDADE DE SUCESSO DOS OFERTANTES

Probabilidade de Sucesso	
Cabeço Vermelho	34%
Serra do Mel I	34%
Serra do Mel II	34%
Serra do Mel III	34%
SANTA ROSA	34%
UIRAPURU	26%
Ventos de Angelim	26%
ARARA AZUL	26%
BENTEVI	26%
OURO VERDE I	26%
OURO VERDE II	26%
OURO VERDE III	25%
CATANDUBA I	25%
CATANDUBA II	51%
Ventos de Santo estevão II	51%
Banda de Couro	51%
BONS VENTOS CACIMBAS 2	25%
BONS VENTOS CACIMBAS 3	51%

BONS VENTOS CACIMBAS 4	51%
BONS VENTOS CACIMBAS 5	51%
BONS VENTOS CACIMBAS 7	26%

FONTE: O autor (2015)

4.2.3 Cenário (c) – Leilão segregado

Nesse caso, leilão segregado, trata-se de uma proposta de projeto onde se considera o atributo segregador e leilões simultâneos ocorrendo em paralelo, possibilitando a troca de GF entre ofertantes dos diferentes leilões paralelos.

Nesse cenário, temos como atributo segregador o custo de transmissão, onde a estratégia é contratar 800MW/h como demanda total do leilão, porém, segregada com 50MWMédios das eólicas do sul e 750MWMédios dos demais ofertantes.

Tal como o cenário (b), de forma pressuposta, será subtraído do ICB eólicas do sul em R\$10,00MW/h.

Nesse leilão, sem a simulação de Monte Carlo, foram obtidas vinte e cinco iterações. Esse leilão fechou com um preço final de R\$120,71 MW/h abaixo. De acordo com a Tabela 25 segue a lista dos 20 ofertantes perdedores.

TABELA 25 - OFERTANTES PERDEDORES

Ofertantes	GF (MWm)	ICB (R\$/MWh)
Serra do Mel I	13	121,09
Serra do Mel II	12,8	121,09
Serra do Mel III	12,5	121,09
Santa Rosa	8,4	121,1
Uirapuru	12,6	121,1
Ventos de Angelim	10,3	121,1
Arara Azul	10,7	121,3
Bentevi	5,7	121,3
Ouro Verde I	10,7	121,3
Ouro Verde II	11,2	121,3

Ouro Verde III	9,4	121,3
Ventos de Santo Estevão II	15,4	121,49
Bons Ventos Cacimbas 2	9,8	121,58
Bons Ventos Cacimbas 3	6	121,58
Bons Ventos Cacimbas 4	4,3	121,58
Bons Ventos Cacimbas 5	9,6	121,58
Bons Ventos Cacimbas 7	6,5	121,58
Banda de Couro	12,9	121,8
Catanduba I	13,3	121,8
Catanduba II	12,1	121,8
Total GF	207,2	

FONTE: O autor (2015)

Para o caso da simulação de Monte Carlo, nesse cenário, considerando um desvio padrão de R\$10,00MW/h para obtenção da RF, ficam expressas, na Tabela 26, as probabilidades de sucesso dos ofertantes perdedores em 100 simulações da receita fixa. Os demais ofertantes ficaram com 99% ou mais chances de ganhar o leilão.

TABELA 26 – PROBABILIDADE DE SUCESSO DOS OFERTANTES

Probabilidade de Sucesso	
Cabeço Vermelho	73%
Serra do Mel I	30%
Serra do Mel II	30%
Serra do Mel III	30%
SANTA ROSA	29%
UIRAPURU	29%
Ventos de Angelim	29%
ARARA AZUL	29%
BENTIVI	29%
OURO VERDE I	29%
OURO VERDE II	29%
OURO VERDE III	29%
CATANDUBA I	16%

CATANDUBA II	16%
Ventos de Santo estevão II	16%
Banda de Couro	16%
BONS VENTOS CACIMBAS 2	16%
BONS VENTOS CACIMBAS 3	16%
BONS VENTOS CACIMBAS 4	16%
BONS VENTOS CACIMBAS 5	16%
BONS VENTOS CACIMBAS 7	16%

FONTE: O autor (2015)

Quando analisamos os três cenários do Caso 2 em paralelo, podemos comparar o preço final do leilão que, nesse caso, se apresenta o mesmo independente do cenário conforme Tabela 27. Ou seja, nenhum cenário se demonstra mais vantajoso com relação ao preço médio final.

Com esses preços finais, no cenário (a) e (b) e (c) são contratados 76 ofertantes para o cenário, garantindo a demanda do leilão em 800MW/h.

TABELA 27 – PREÇO FINAL DO LEILÃO – CASO 2

Resultados	Eólicas SUL		Demais Ofertantes	
	Demanda (MWm)	ICB (R\$/MW/h)	Demanda (MWm)	ICB (R\$/MW/h)
Inicial	50	140	750	140
Final	50	120,71	750	120,71

FONTE: O autor (2015)

Para os casos de sorteio da RF, foram consideradas, para cada cenário, simulações com até 100 sorteios para verificação do comportamento da probabilidade de sucesso dos ofertantes e uma possível variação do ICB. Com o intuito de investigar possíveis distorções, conforme variam para mais ou para menos o número de simulações. Nesse caso, a variação para mais ou para menos da probabilidade de sucesso dos ofertantes não foi significativa. Demonstrando assim que com relação as probabilidades de sucesso dos ganhadores nos três cenários possuem as mesmas vantagens.

5 CONCLUSÕES

O Brasil pratica a comercialização de energia através de leilões desde 2004 e, dessa forma, procura definir e implantar a expansão do parque gerador devidamente alinhada às políticas energéticas estabelecidas no país.

Esse período de onze anos demonstrou-se suficiente para evidenciar que o modelo pode ser melhorado. Foram acrescentados regras e critérios para ajustes, porém ainda existem contestações ao planejamento feito pelo governo federal com relação ao atendimento às diretrizes da matriz energética do país.

Os leilões realizados nesse período levam em conta apenas a modicidade tarifária, o que em linhas gerais compromete o planejamento em detrimento de outras premissas que não são consideradas, tais como a localização das fontes geradoras, o seu tipo ou outras externalidades como, por exemplo, a capacidade de atender a demanda de ponta, os custos de transmissão, entre outros.

Esta dissertação analisou uma alternativa para suprir essa necessidade de incluir atributos aos leilões de energia, capazes de garantir uma melhor eficiência ao planejador. A metodologia emprega simulação de Monte Carlo que possibilita testar cenários de segregação dos atributos e calcular a probabilidade de um ofertante vencer o leilão, possibilitando, inclusive, sob a ótica do ofertante, avaliar seu possível desempenho em um determinado leilão.

Foi possível retirar algumas conclusões do estudo de caso empregado. Após analisar as diversas simulações realizadas, é possível concluir que o número de simulações Monte Carlo não impacta na probabilidade dos candidatos vencerem ou não um certame, considerando variações de cem a mil leilões simultâneos no caso simulado. Adicionalmente, também não apresentam variações consideráveis os preços finais dos leilões. Desse modo, pode-se empregar um valor mínimo de simulações reduzindo assim o tempo para a tomada de decisão.

É possível perceber, também, comparando os cenários (b) e (c), que existe equivalência entre os vencedores de um leilão conjunto e um leilão segregado, porém a probabilidade dos vencedores de ganhar o leilão assim como suas GF se apresentam diferentes se comparados os dois cenários.

Essas características, em linhas, gerais ressaltam a importância da análise e inclusão dos atributos enquanto valores capazes de impactar decisivamente nos

resultados finais de um leilão de energia e, por sua vez, no planejamento de expansão da matriz energética do país.

A metodologia comprova, com base nos resultados testados, estar baseada em critérios analíticos capazes de complementar de forma sistemática o mecanismo de leilões de energia no Brasil.

Por fim, vale ressaltar que esse trabalho testou e analisou os resultados do *software* SIML, porém os valores dos atributos foram estimados de *ad hoc* com base em leilões já realizados.

Para trabalhos futuros sugere-se aprofundar o estudo do cálculo dos atributos de entrada para as simulações dos leilões, tais como a valoração da despachabilidade e o custo de transmissão de energia, buscando-se também avaliar o impacto destas estimativas nos resultados dos certames.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Alexandre Street. **Estratégia de Oferta de Geradoras em Leilões de Contratação de Energia**. 2004. Dissertação de Mestrado (Departamento de Engenharia Elétrica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, 2004.

ARAUJO, J. L. R. H.; COSTA, A. M. A.; CORREIA, T.; MELO, E. Energy contracting in Brazil and electricity prices. **International Journal of Energy Sector Management**, v. 2, n. 1, p. 36-51, 2008.

BARROSO, Luiz Augusto et al. **Seis anos de leilões de energia nova no Brasil: lições aprendidas e sugestões de aprimoramento**. In: XXI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Florianópolis, 2011.

BARROSO, L. A. **Esquemas Competitivos em Sistemas Hidrotérmicos: comportamento estratégico de agentes geradores em ambiente de mercado**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2000.

BARROSO, Luiz Augusto et al. **Auctions of contracts and energy call options to ensure supply adequacy in the second stage of the Brazilian power sector reform**. In: IEEE Power Engineering Society General Meeting, New Jersey, 2006.

BEZERRA, B. et al. **Leilões multiproduto considerando os atributos das fontes de expansão: uma proposta para o Setor Elétrico Brasileiro**. In: XIII Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, 2014, Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu: XIII SEPOPE, 2014.

BEZERRA, B. V. **Estratégia de oferta em leilões de opções de energia elétrica**. 2006. 116 p. Dissertação de Mestrado (Dept. de Engenharia Elétrica), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, 2006.

BEZERRA, B. et al. **A Eficiência do ICB como indicador do resultado correto do leilão de contratos por disponibilidade**. In: XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife-PE, 2009. p. 8.

BRASIL. Lei nº 10.438. **Presidência da República**, Brasília, DF, 16 abr. 2002a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm>. Acesso em: 05 ago. 2015.

BRASIL. Decreto nº 5.562. **Presidência da República**, Brasília, DF, 08 mar. 2002b. Disponível em: <http://www.gabinetecivil.go.gov.br/pagina_decretos.php?id=1317>. Acesso em: 05 ago. 2015.

BRASIL. Decreto nº 5.163. **Presidência da República**, Brasília, DF, 30 jul. 2004a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM>. Acesso em: 05 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 10.848. **Presidência da República**, Brasília, DF, 15 mar. 2004b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/10.848.htm>. Acesso em: 05 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 8.631. **Presidência da República**, Brasília, DF, 4 mar. 1993. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L8631.htm>. Acesso em: 05 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 9.074. **Presidência da República**, Brasília, DF, 7 jul. 1995. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9074cons.htm>. Acesso em: 05 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 9.427. **Presidência da República**, Brasília, DF, 26 dez. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9427cons.htm>. Acesso em: 05 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 9.648. **Presidência da República**, Brasília, DF, 27 maio 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9648cons.htm>. Acesso em: 05 ago. 2015.

BRASIL. Lei nº 12.783. **Presidência da República**, Brasília, DF, 11 janeiro 2013. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20112014/2013/lei/L12783.htm>. Acesso em: 05 ago. 2015.

CCEE. Leilões. Disponível em: <http://www.ccee.org.br/portal/faces/oquefazemos_menu_lateral/leiloes>. Acesso em: 05 ago. 2015.

CEZARIO, P. A. **Análise de leilões no setor elétrico: energia e transmissão**. 2007. 116 p. Dissertação de Mestrado (Setor de Engenharia) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2007.

CORREIA, T. B.; MELO, E.; COSTA, A. M. Análise e avaliação teórica dos leilões de compra de energia elétrica proveniente de empreendimentos existentes no Brasil. **Revista Economia**, v. 7, n. 3, p. 509-529, 2006.

DUTRA, J.; MENEZES, F. Lessons from the Electricity Auctions in Brazil. **The Electricity Journal**, v. 18, n. 10, p. 11-21, 2005.

EPE. **Índice Custo Benefício (ICB) de Empreendimentos de Geração**. Leilões de Compra de Energia Elétrica Proveniente de Novos Empreendimentos de Geração: Metodologia de Cálculo. Relatório EPE-DEE-RE-102/2008-r5, 02 de setembro de 2013.

ECKHARDT, Roger. **Stan Ulam, John Von Neumann, and the Monte Carlo Method**. Los Alamos Science. Special Issue, No. 15, 1987. Disponível em: http://www-star.st-and.ac.uk/~kw25/teaching/mcrt/MC_history_3.pdf. Acesso em: 11 ago. 2015.

FIANI, R. **Uma aplicação de jogos de informação incompleta: leilões**. 2012.

Disponível em:

<<http://www.comissaodepesquisa.net/pt/download/baixar/cursoregulacaoeticaspr ofedgardapereira1>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

Hammersley, J. M.; Handscomb; D. C. **Monte Carlo Methods**. Methuen & Co., London, 1964.

Instituto Acende Brasil. **Leilões no Setor Elétrico Brasileiro: Análises e Recomendações**. White Paper 7. São Paulo, 52 p., 2012.

KLEMPERER, P. Auction theory: A guide to the literature. **Journal of Economic Surveys**, v. 13, n. 3, p. 227-286, 1999.

LACTEC; PSR. **Projeto PD-6491-0279/2012 - Aperfeiçoamento do processo de contratação da expansão do parque gerador**. Relatório técnico nº 1, Curitiba, 2013.

LACTEC; PSR. **Projeto PD-6491-0279/2012 - Aperfeiçoamento do processo de contratação da expansão do parque gerador**. Relatório técnico nº 4, Curitiba, 2014.

MAGALHAES, G. S. C. **Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente de Contratação Livre: Uma Análise Regulatório – Institucional a Partir dos Contratos de Compra e Venda de Energia Elétrica**. São Paulo: USP, 2009.

MAURER, L.; BARROSO, L. **Electricity Auctions: Na Overview of Efficient Practices**. Washington, D.C.: The World Bank, 2011.

MEDEIROS, L.; DETZEL, D.; COELHO, M.; BEZERRA, B.; CARVALHO, M.; ROSENBLATT, J.; PEREIRA, M.V. **Simulação de Leilões Multiprodutos Considerando os Atributos das Fontes de Expansão**. In: XXIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu-PR, 2015.

MME. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

NASSER, Rafael Barbosa. **McCloud Service Framework: Arcabouço para desenvolvimento de serviços baseados na Simulação de Monte Carlo na Cloud**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Informática. PUC-Rio, 2012.

ONS. Disponível em:

<http://www.ons.org.br/institucional_linguas/relacionamentos.aspx>. Acesso em: 05 ago. 2015.

ONS. **Desafios e Propostas de Aperfeiçoamento dos Processos de Expansão da Geração e Transmissão**. Rio de Janeiro, 2012.

PALIDASE. **Simulação de Monte Carlo**. Disponível em: <http://www.palisade-br.com/risk/monte_carlo_simulation.asp>. Acesso em: 05 ago. 2015.

REGO, E. E. **Proposta de aperfeiçoamento da metodologia dos leilões de comercialização de energia elétrica no ambiente regulado**: aspectos conceituais, metodológicos e suas aplicações. 2012. 248 p. Tese de Doutorado em Ciências (Setor de Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

STASCHUS, K.; DAVIDSON, J.; GROSS, G. A multi-attribute evaluation framework for electric resource acquisition in California. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 13, n. 2, p. 73-80, 1991.

VANZAN, Danielle Mendes. **O fenômeno da maldição do vencedor em leilões: um estudo experimental**. 2004. Dissertação de Mestrado (Curso de Administração) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

VANZAN, M, D.; AVILA, M. G. The winner's curse in common value auctions: an experimental study on the Brazilian environment. **Revista Economia & Gestão**, Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica, v. 8, n. 16, p. 9-29, 2008.