7 ESTRATÉGIAS DE OFERTA EM LEILÕES DE OPÇÕES: ESTUDO DE CASO APLICADO AO SISTEMA BRASILEIRO

Finalmente, com base na metodologia descrita ao longo dos capítulos anteriores, neste capítulo será apresentado um estudo de caso realista no Sistema Brasileiro para determinar a estratégia de oferta de uma térmica bicombustível com incerteza nos custos de operação devido à indisponibilidade de gás natural.

A modelagem da incerteza no suprimento de gás motivou o desenvolvimento de um outro procedimento, que será descrito a seguir.

7.1 Modelagem da incerteza no suprimento de combustível

7.1.1 Integração gas-eletricidade

Os modelos tradicionais de despacho hidro-térmico possuem uma representação detalhada do sistema elétrico (inclusive a rede de trasmissão elétrica), porém não consideram as restrições de infraestrutura no transporte e na produção de gás natural. Consequentemente, o despacho ótimo das termelétricas, do ponto de vista do sistema elétrico, pode ser inviável do ponto de vista do setor de gás quando considerando suas restrições de produção e transporte.

Por exemplo, em Janeiro de 2004 a região Nordeste do Brasil sofreu uma forte estiagem que levou a solicitação do despacho de toda capacidade de termoelétricas a gás natural da região (1200 MW). Entretanto, apenas 400 MW estavam disponíveis para gerar devido às restrições de transporte e de produção, as quais não são "vistas" pelo ONS.

Uma situação similar ocorreu no Sul do Brasil onde, devido à condição hidrológica desfavorável da região, foi solicitado um teste de despacho da

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

térmelétrica Uruguaiana[16] (600 MW) e a interconexão Brasil-Argentina[17] (2,200 MW). Como resultado, devido às restrições de gás no país vizinho, apenas 600MW de ambos os recursos estavam disponíveis.

No sudeste do Brasil a situação não é diferente. Estudos recentes [28][29] mostram que não existe capacidade de atender a totalidade da demanda caso as térmoelétricas venham a ser despachadas simultaneamente, evento factível em sistemas hidrotérmicos na ocorrência de uma situação hidrológica desfavorável. Neste contexto, a Petrobras anunciou em meados de 2005 a conversão de algumas de suas térmicas para bicombustível, que operariam a óleo diesel em uma situação de escassez de gás natural.

7.1.2 Modelagem do sistema de produção e transporte de gás

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

Para poder simular esta operação e calcular o custo deste despacho nesta dissertação, foi desenvolvido um modelo de fluxo em redes denominado SGAS. O modelo recebe os seguintes dados como entrada:

1. capacidade atual e futuras ampliações dos gasodutos;
2. projeção da oferta de gás;
3. projeção da demanda não-elétrica de gás;
4. cenários de despacho por térmica, oriundos de um modelo computacional de despacho hidrotérmico estocástico como o descrito no capítulo 5;

O produto deste modelo é a verificação para cada série hidrológica e etapa da simulação, se a térmica operou a óleo ou a gás natural. A Figura 7-1 apresenta o fluxo de dados do modelo SGAS. A área hachurada corresponde ao despacho estocástico hidrotérmico do sistema elétrico, realizado para uma configuração de oferta e demanda pré-estabelecida. O resultado de interesse nesta etapa é a geração elétrica (GWh) das térmicas a gás natural para cada série hidrológica e etapa da simulação (usualmente um mês). A partir destes resultados e usando a taxas de eficiência de cada máquina, é possível obter as projeções de gás natural

[16] A termelétrica Uruguaiana é suprida por gás natural proveniente da Argentina.

[17] A interconexão Brasil-Argentina é lastreada por térmelétricas ciclo-combinado localizadas na Argentina.

por usina. A área superior representa o despacho do setor de gás considerando, além dos cenarios de gás por térmica, uma projeção do consumo não-termelétrico (distribuidoras e refinarias) e representação da rede de gasodutos. Dado a representação do setor de gás e o consumo de gás para as termelétricas, o modelo SGAS minimiza o déficit de consumo de acordo com algum critério de prioridade para cada setor.

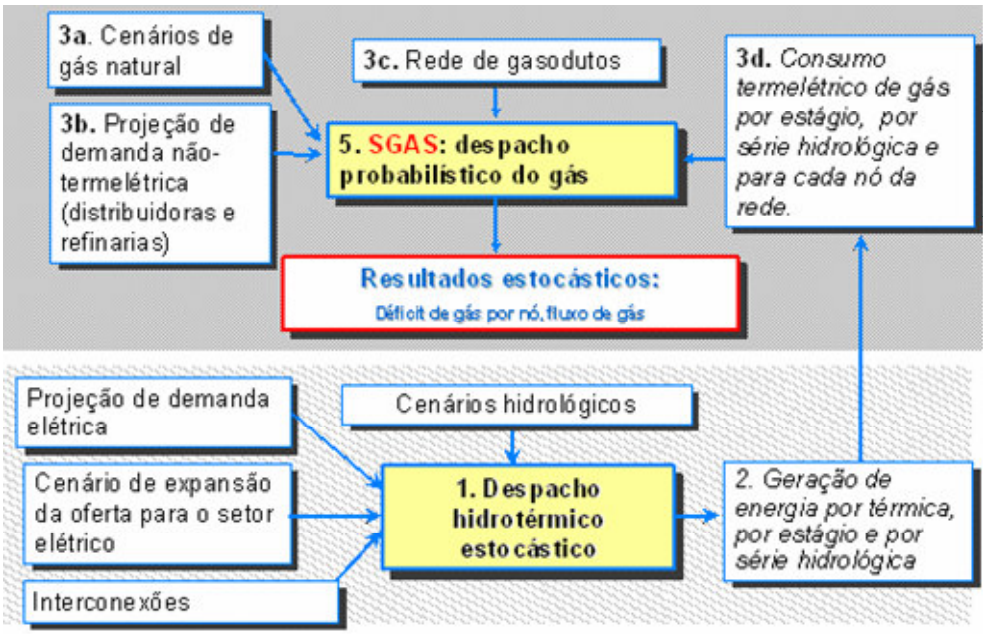

Figura 7-1 – Fluxo de Informações SGAS

O Anexo B apresenta o detalhamento do modelo SGAS.

7.2 Estudo de Caso para o Leilão de Energia Nova de 2005

No dia 16 dezembro de 2005 foi realizado o primeiro leilão para contratação de energia nova, conforme os moldes da nova regulação do setor elétrico. Foi um leilão multi-produto, onde foram ofertados simultaneamente contratos com duração de 15 anos iniciando em 2008, 2009 e 2010. Os geradores participantes totalizaram uma oferta de cerca de 6,000 MW médios para cobrir uma demanda em torno de 4,000 MW médios. Dentre os ofertantes candidatos, cerca de 60% são novos projetos hidroelétricos, sendo a diferença proveniente de térmicas a gás, carvão, óleo diesel e biomassa.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

O desenho do leilão seguiu um esquema "pay as bid" iterativo e foi dividido em 3 fases, seguindo um conjunto de procedimentos classificatórios onde: (i) os investidores competem pela concessão das novas hidroelétricas, (ii) define-se a data de entrada de cada projeto candidato (2008, 2009, 2010) e (iii) contrata-se as ofertas mais competitivas para cada ano.

A empresa Petrobras participou deste leilão com sete termoelétricas a gás natural, totalizando uma capacidade instalada de 2,700 MW e um consumo de gás de 14 MMm^3/dia. O estudo de caso desta tese será realizado para a térmica Eletrobolt. A Tabela 7-1 apresenta as características consideradas para esta térmica. Foi assumido que a térmica Eletrobolt necessitaria de uma receita fixa de 150 milhões de Reais por ano para cobrir suas despesas fixas.

Capacidade (MW)	Custo Gás Natural (R$/MWh)	Custo Óleo Diesel (R$/MWh)	Receita Mínima (Millhão R$/ano)
380	62,34	450,00	150

Tabela 7-1 – Características da térmica T_1

7.2.1 Descrição do estudo de caso

Para o estudo de caso deste capítulo, o procedimento da Figrura 7.1 foi aplicado a partir de uma configuração de oferta x demanda de eletricidade de gás do sistema brasileiro para o período 2008 a 2022[18]. A simulação do sistema elétrico foi realizada como modelo computacional SDDP, conforme descrito no capítulo 5, e para uma amostra de duzentos cenários hidrológicos.

Foi considerada nesta dissertação a premissa de que os problemas relativos à infraestrutura de transporte e produção de gás natural estariam *sanados* a partir de 2010. Em outras palavras, a partir de 2011 haveria disponibilidade de gás natural *suficiente* para atender a totalidade da demanda, não necessitando que os geradores utilizem o combustível alternativo. Portanto, até o ano de 2010, a disponibilidade de gás para térmicas é o resultado do modelo SGAS.

[18] A razão para começar em 2008 deve-se ao fato que os contratos do leilão de energia nova de Dezembro de 2005 são para entrega a partir de 2008.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

Assim, baseado na disponibilidade de gás para usina Eletrobolt, o procedimento metodológico descrito nos capitulos anteriores 5 e 6 foi aplicado de forma a obter a estratégia de oferta (prêmio e strike) no leilão de contratos por disponibilidade que minimize seu ICB considerando seu perfil de risco.

7.3 Resultados

Baseado nas metodologias, procedimentos anteriormente descritos, nesta seção são apresentados e discutidos a estratégia de oferta da Eletrobolt em três situações distintas: (a) considerando que a térmica é neutra em relação ao risco, ou seja, que buscará minimizar o ICB garantindo uma remuneração média para a usina; (b) considerando que a térmica é avessa em relação ao risco, ou seja, que buscará minimizar o ICB garantindo uma remuneração para a usina sujeito às restrições de risco; (c) considerando que a térmica possui a chance de fazer "redeclaração" de custo variável na operação real. A alternativa (c) é analisada para os dois perfils de risco da usina.

7.3.1 Caso neutro a risco

Caso o agente fosse neutro com relação a risco, ou seja, calculasse o prêmio de risco segundo a expressão (6-2), o preço de exercício que minimizaria o índice custo benefício seria de 120 R$/MWh. A Figura 7-2 apresenta a variação do ICB com o preço de exercício. O prêmio de risco neste caso seria de 147 milhões de reais por ano (2% menor que a receita mínima) e o ICB 83,77 R$/MWh. A Tabela 7-2 apresenta as parcelas que compõe o ICB.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

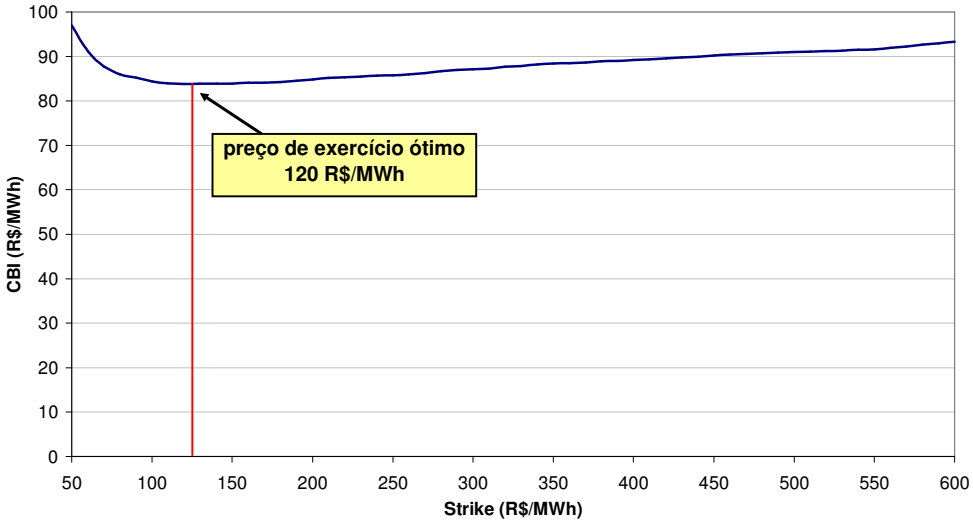

Figura 7-2 – Preço de exercício ótimo – térmica neutra a risco

Strike (R$/MWh)	120
Lastro (%)	73%
Eco (R$/MWh)	13.72
Ece (R$/MWh)	3.33
Prêmio (milhões R$)	147.46
ICB (R$/MWh)	**83.77**

Tabela 7-2 – Resultado (neutro a risco)

Definindo-se o preço de exercício e o prêmio da térmica, vamos analisar o comportamento de suas receitas ao longo do período do contrato. Para tal, cada série de receitas foi trazida a valor presente[19] (VP), conforme observado na Figura 7-3. Por construção, o valor esperado desta distribuição (877 milhões) é igual ao valor presente de um fluxo de recebimentos anuais de 150 milhões R$ - receita mínima requerida pela usina. Entretanto, existe uma probabilidade de 43% de se ter valores menores que o valor esperado, podendo ser inferiores a 537 milhões de reais (40% menor que a receita mínima requerida) com 5% de probabilidade.

[19] Foi utilizada uma taxa de desconto de 15%

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

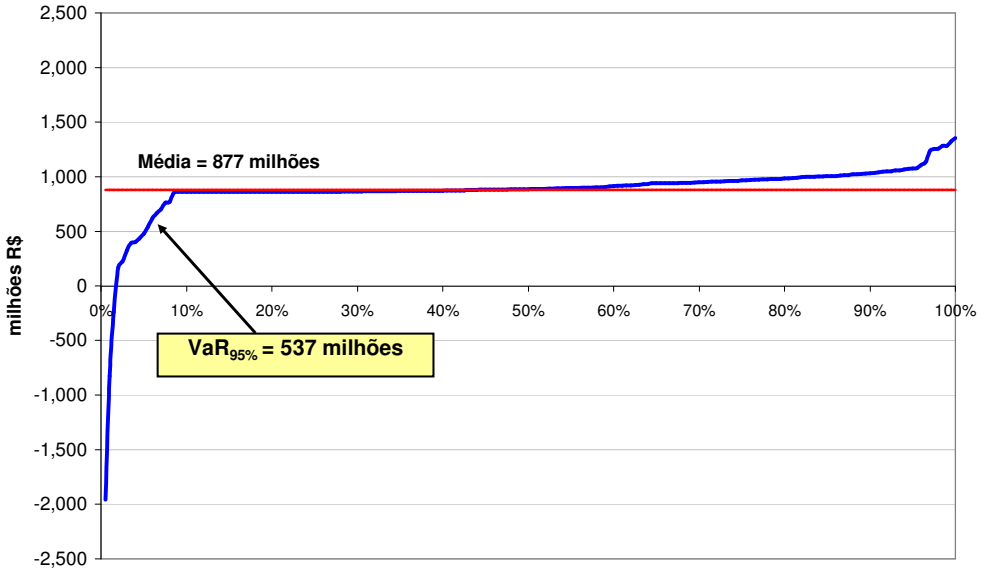

Figura 7-3 – Distribuição do valor presente das receitas (neutro a risco)

A Figura 7-4 apresenta uma comparação entre a receita líquida média e a receita equivalente à série cujo VP possue 95% de probabilidade de ser excedido (*série #153*). Percebe-se uma grande diferença durante o primeiro triênio, período onde foram consideradas as restrições de gás natural. Na *série #153,* devido a estas restrições, a térmica chega a ter um prejuízo de R$ 441 milhões.[20]

[20] Em 2009, Eletrobolt despacha durante 5,236 horas utilizando óleo diesel. Como o prêmio de risco é R$ 147 milhões, a receita resultante é 147 + 5,236*(120-450) = 441.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

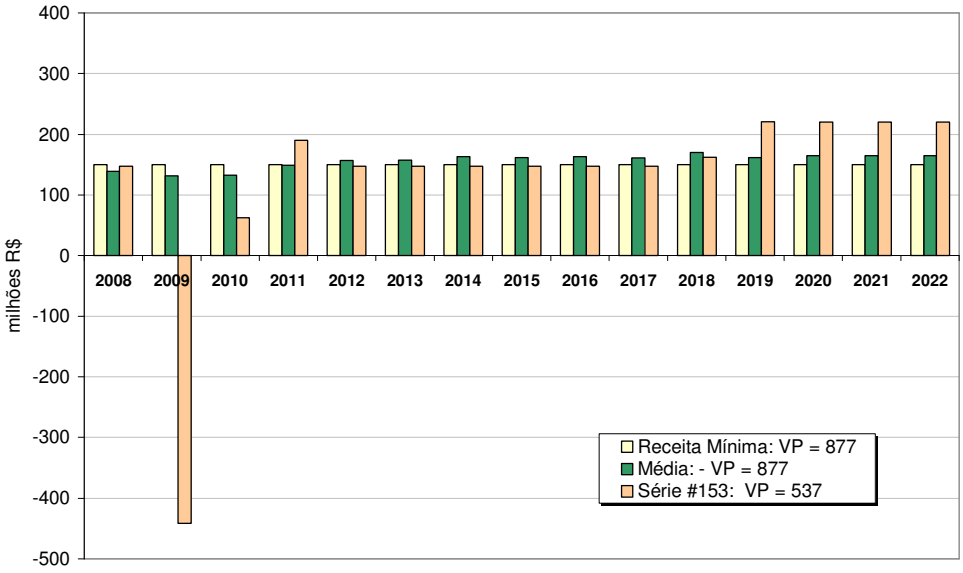

Figura 7-4 – Receita líquida total durante o contrato

7.3.2 Caso avesso a risco

Para mitigar a exposição ao risco, foi adicionada uma restrição de VaR de 95%. Neste caso, para o mesmo preço de exercício de 120 R$/MWh, o prêmio de risco seria de R$ 208 milhões (39% superior à receita mínima). A Figura 7-5 mostra como ficaria a distribuição do VP para este caso.

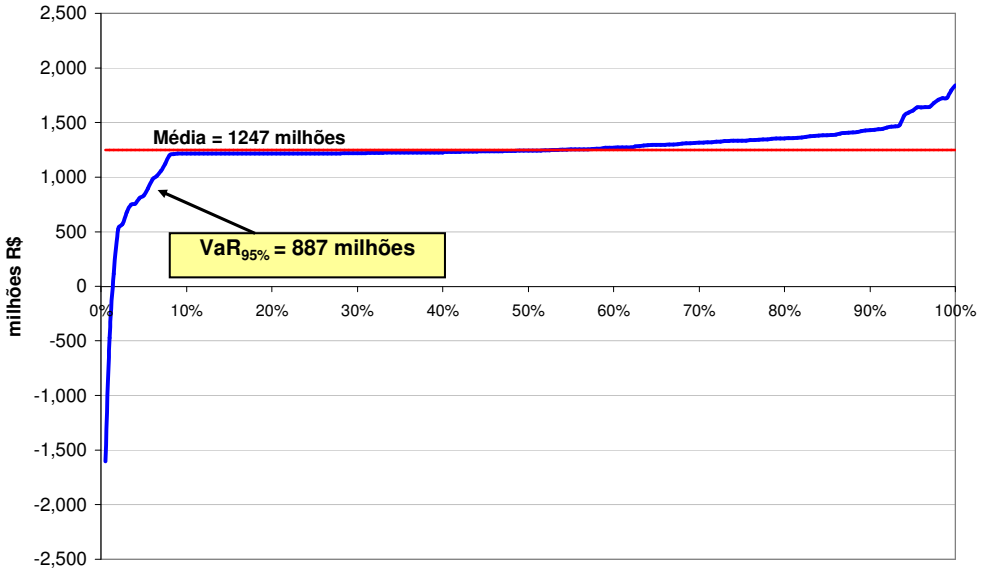

Figura 7-5 - Distribuição do valor presente das receitas (avesso a risco)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

A Figura 7-6 compara as receitas equivalentes à série cujo VP possue 95% de probabilidade de ser excedido (*série #153*) para os casos neutro e avesso a risco.

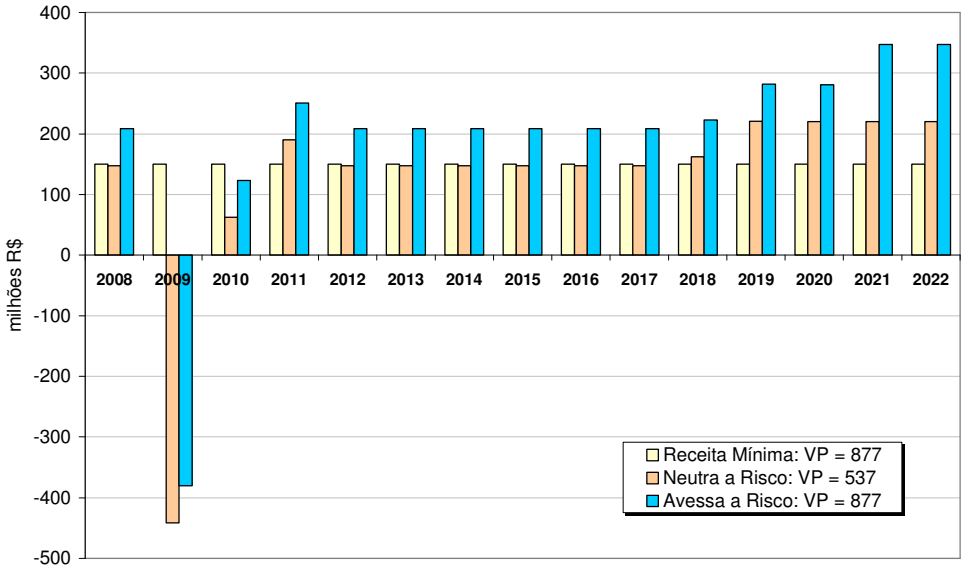

Figura 7-6 – Comparação das receitas – *série #153*

Com a oferta de preço de exercício igual a 120 R$/MWh e o prêmio igual à R$ 208 milhões, o ICB resultate é de 111 R$/MWh. Entretanto, resolvendo o problema de minimização com restrição de VaR, obtêm-se um preço de exercício ótimo de 230 R$/MWh. A Figura 7-7 – apresenta a curva ICB x strike.

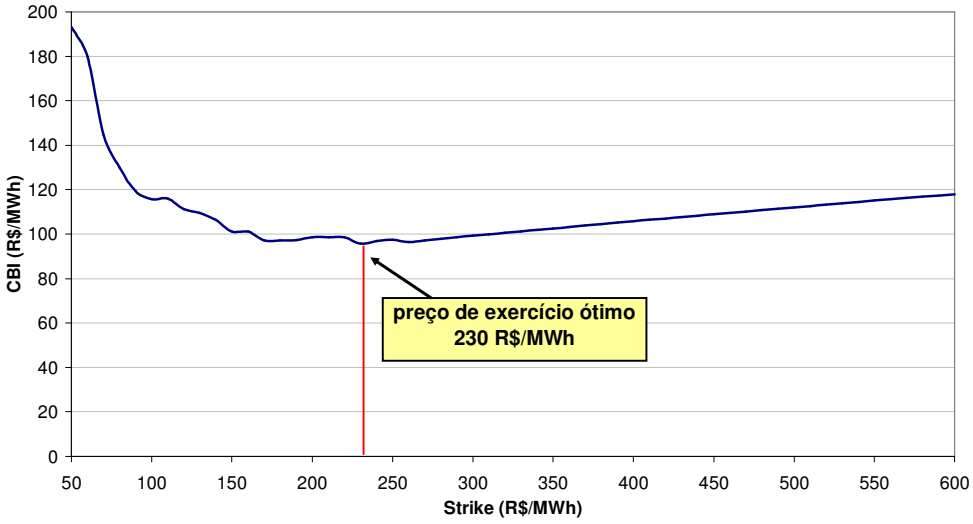

Figura 7-7 – Preço de exercício ótimo – térmica avessa a risco

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

Strike (R$/MWh)	230
Lastro (%)	68%
Eco (R$/MWh)	18.59
Ece (R$/MWh)	3.33
Prêmio (milhões R$)	152.97
ICB (R$/MWh)	**95.65**

Tabela 7-3 – Resultado (avesso a risco)

7.3.3 Resultados considerando redeclaração de custo

Considerando a possibilidade de redeclarar o custo de operação abaixo do preço de exercício, a térmica pode se aproveitar de situações onde existe disponibilidade de gás natural. Para simular essa operação, assumiu-se a premissa de que a térmica declararia um custo variável igual ao custo do gás natural (62.34 R$/MWh) sempre que houvesse disponibilidade de combustível. A Figura 7-8 compara o VP da receita com *caso base* (sem redeclaração), para o preço de exercício 230 R$/MWh. Para facilitar a comparação, as séries foram ordenadas do menor para o maior valor segundo o *caso base*.

Percebe-se que a receita "extra" com a redeclaração pode elevar em até 28% o valor presente da receita líquida. O valor esperado do VP é R$ 1065 milhões, cerca de 5% maior que o caso base (R$ 1010 milhões) e o VaR não foi alterado. Isto ocorre devido ao aumento não ocorrer na "cauda" inferior da distribuição, ou seja, influencia no valor esperado, mas não no VaR. Consequentemente a otimização do ICB é apenas afetada no caso neutro com relação ao risco. O preço de exercício neste caso passa para 260 R$/MWh e o prêmio de risco para 118 R$/MWh (cerca de 20% menor que a receita mínima requerida), resultando em um ICB de 81.01 R$/MWh (3% menor que *caso base*). A **Tabela 7-4** apresenta o resumo dos quatro casos apresentados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA

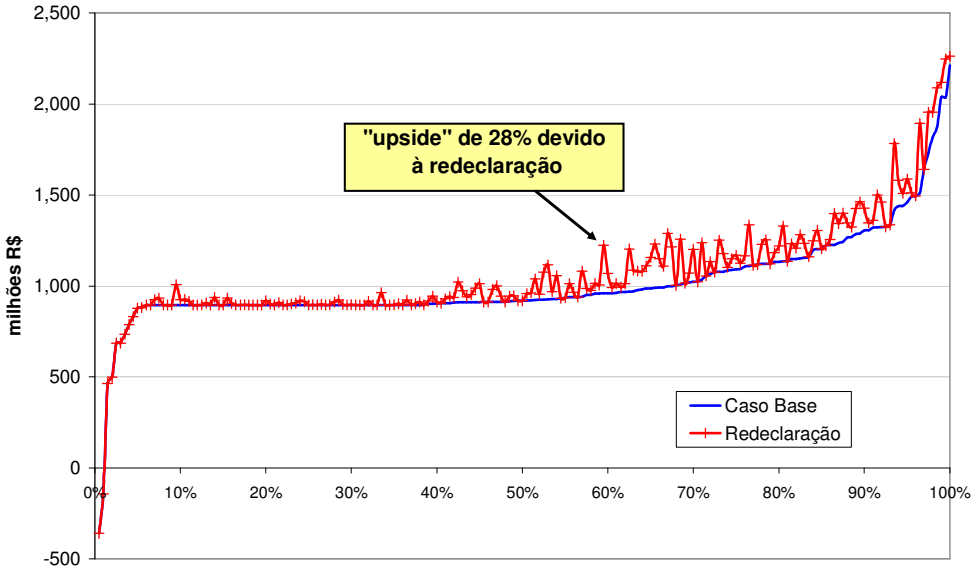

Figura 7-8 - Distribuição do valor presente das receitas (redeclaração)

	Caso Base		Redeclaracão	
	Neutro a Risco	**Avesso a Risco**	**Neutro a Risco**	**Avesso a Risco**
Strike (R$/MWh)	120	230	260	230
Lastro (%)	73%	68%	67%	68%
Eco (R$/MWh)	13.72	18.59	19.72	18.59
Ece (R$/MWh)	3.33	3.33	3.33	3.33
Prêmio (milhões R$)	147.46	152.97	118.50	152.97
ICB (R$/MWh)	**83.77**	**95.65**	**81.01**	**95.65**

Tabela 7-4 – Resumo dos resultados

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0410258/CA