

Projeto de Graduação



09 de Agosto de 2011

PRECIFICAÇÃO DE DERIVATIVOS DE ENERGIA

Gustavo Pires de Carvalho

Rafael Fernandes de Bessa Antunes



www.ele.puc-rio.br



Precificação de Derivativos de Energia

Alunos: Gustavo Pires de Carvalho

Rafael Fernandes de Bessa Antunes

Orientador: Alexandre Street de Aguiar

Trabalho apresentado com requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Elétrica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo

As mudanças impostas pelo novo modelo do setor elétrico brasileiro implicaram, entre outras coisas, na criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Na CCEE, existe um tipo de contrato que é livremente negociado entre os agentes do mercado, os chamados contratos bilaterais. Esses contratos são indexados ao Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), que é altamente volátil. Essa volatilidade no preço somada aos desafios impostos pela competição nos segmentos da geração e comercialização do setor elétrico, faz com que se torne indispensável o uso de ferramentas analíticas de otimização que proporcionem um apoio à decisão que deverá ser tomada pelos diversos agentes, de forma a mitigarem seus riscos. O presente trabalho, portanto, estabelecerá os fundamentos necessários e uma metodologia para precificar contratos cujo preço é uma variável indexada ao PLD. Para isso, serão comparados Contratos do tipo Quantidade e Contratos do tipo Collar, de parâmetros (piso, teto e ágio), de forma que possam ser traçadas curvas de mesma "preferência" para as possíveis combinações dos parâmetros, que permitam estabelecer estratégias de negociação de comercializadores frente aos consumidores, levando-se em conta os riscos e oportunidades deste ambiente e o perfil de risco do comercializador (aversão, neutralidade ou propensão ao risco).

Palavras-Chave

Engenharia elétrica, decisão sob incerteza, derivativos, apoio à decisão, contratos de energia.

1. Introdução

No ano de 2001, durante o segundo mandato do então presidente Fernando Henrique Cardoso (1999-2002), o setor elétrico brasileiro sofreu uma grave crise de abastecimento. Tal acontecimento culminou em um plano de racionamento, de forma que não houvesse um colapso na oferta de energia elétrica em grande parte do território nacional. O racionamento, que foi o maior da história, fez com que o modelo do setor fosse repensado, e então, em 2004 definiu-se o novo marco regulatório do setor sustentado pelas Leis nº 10.847/04, 10.848/04 e pelo Decreto nº 5.163/04. O Decreto, entre outras coisas, alterou a metodologia de apuração dos limites de contratação, determinando que 100% do consumo dos Agentes de Distribuição e dos Consumidores livres (objeto desse estudo) esteja coberto em termos de energia e potência por intermédio de geração própria e contratos de compra de energia [1]. Além disso, entre as mudanças implicadas pelo novo modelo está a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), instituição criada para viabilizar as operações de compra e venda de energia elétrica e dar continuidade às atividades do antigo Mercado Atacadista de Energia (MAE).

A comercialização de energia elétrica é dada em dois ambientes, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), onde participam agentes de geração e distribuição, e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), foco desse trabalho, onde participam agentes de geração, comercialização, importadores e exportadores de energia e consumidores livres. A contratação no ACL é feita através da livre negociação entre os participantes, por meio de "Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Livre" (CCEAL), que são registrados na CCEE e, junto com os contratos do ACR, usados para a

contabilização das diferenças no mercado de curto prazo entre o contratado e o consumido. Muitos trabalhos abordam a negociação de energia por contratos, como [7, 11, 12, 13, 14].

As diferenças observadas, positivas ou negativas, são liquidadas ao Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), que tem como base o custo marginal de operação do sistema e é limitado por um preço mínimo e por um preço máximo permitidos pela ANEEL. Os valores de PLD são obtidos através do modelo NEWAVE, que é um modelo de otimização da operação do sistema utilizado pelo ONS e pela CCEE. O NEWAVE gera a função de custo futuro e 2000 cenários de PLD, divididos nos patamares pesado, médio e leve, para um horizonte de 60 meses (Para mais detalhes ver [1]). Tais valores de PLD, que são influenciados por questões meteorológicas, nível de armazenamento nos reservatórios, demanda de carga, critério de segurança de operação do sistema, política energética, etc, tem iguais probabilidades de ocorrência e serão utilizados nesse trabalho.

Dada a predominância de usinas hidrelétricas no parque de geração brasileiro e os fatores que influenciam o PLD, tal preço se verifica muito volátil (Ver Anexo [A] – “Histórico do PLD no Sudeste”) e os modelos matemáticos que o calculam têm por objetivo encontrar a solução ótima de equilíbrio entre o benefício presente do uso da água e o benefício futuro de seu armazenamento, medida em termos da economia esperada dos combustíveis das usinas térmicas. Como visto em [2], essa volatilidade faz com que o PLD não dê o sinal adequado de preços para a expansão da geração, uma vez que eles podem estar muito baixos por diversos anos e aumentar bruscamente para alguns meses, antes de voltarem para seus níveis “normais”, além do fato do PLD previsto pra um horizonte grande ser pouco confiável devido às incertezas envolvidas. Esse cenário faz com que seja atrativo para os Agentes o uso de Contratos de Longo Prazo a preço fixo, pois dessa forma reduz-se o risco da exposição ao PLD.

Será abordado aqui um tipo especial de contrato, os Contratos do tipo Collar [3]. Tais contratos são parametrizados por piso (floor [F]) e teto (cap [C]), que balizarão o preço do contrato, e por um ágio em cima do PLD. Dessa forma, esse modelo de contrato permite que o vendedor se proteja contra PLD's muito baixos e ao mesmo tempo limite a despesa do consumidor, garantindo que este não pagará mais do que C R\$/MWh, mesmo quando o PLD estiver acima deste patamar.

Tendo em vista os desafios impostos pela competição nos segmentos da geração e comercialização do setor elétrico, e a liberdade de negociação no mercado de energia, se torna indispensável o uso de ferramentas analíticas de otimização que proporcionem um apoio à decisão que deverá ser tomada pelos diversos agentes.

Para os agentes do segmento de geração e comercialização, tais ferramentas devem ser capazes de apontar a estratégia ótima a ser seguida de forma a maximizar os lucros levando em conta as diversas percepções sobre os riscos envolvidos. Para esses agentes, as decisões de investimento e contratação de longo prazo representam os maiores desafios a serem enfrentados, envolvendo elevadas quantias de capital de agentes financiadores e investidores.

O objetivo principal desse trabalho, portanto, será estabelecer os fundamentos necessários e uma metodologia para precificar contratos cujo preço é uma variável indexada ao PLD. Além disso, será criada uma ferramenta de apoio à decisão para um agente comercializador durante a negociação dos parâmetros que compõe o preço do contrato (C, F, ágio). A partir de uma métrica de comparação com

os Contratos do tipo Quantidade, traçamos curvas de mesma “preferência” para as possíveis combinações dos parâmetros, de modo que possam ser estabelecidas estratégias de negociação de comercializadores frente aos consumidores, levando-se em conta os riscos e oportunidades deste ambiente e o perfil de risco do comercializador (aversão, neutralidade ou propensão ao risco).

O trabalho será organizado da seguinte maneira: Na seção 2 (Contratos de Energia) serão explicados o que são e como são feitos os Contratos do tipo Quantidade e Contratos do tipo Collar. Na terceira, “Modelagem do Perfil de Risco”, a incerteza na receita será abordada e o CVaR será explicado como métrica de avaliação do risco. Na quarta seção, “Metodologia de Análise”, será aplicada a metodologia proposta por esse trabalho a um estudo de caso, de modo a criar uma ferramenta de suporte à decisão para negociações em energia. Após, teremos a seção 5 (Conclusão), que focará nos resultados obtidos.

2. Contratos de Energia

Como já mencionado, a comercialização de energia no ambiente da CCEE se dá por meio de contratos entre os agentes. Estamos interessados em um tipo de contrato específico, os chamados “Contratos Bilaterais”. Esses contratos estabelecem as relações comerciais de compra e venda de energia elétrica oriundas da livre negociação entre as partes envolvidas, especificando-se preços (R\$/MWh), prazos e montantes de suprimento. Os contratos bilaterais são registrados na CCEE pela parte vendedora e são validados pela parte compradora, para que então possam ser considerados no processo de Contabilização e Liquidação Financeira Mensal. O vendedor declara os prazos de suprimento e os montantes contratados em MWh, não sendo necessário informar os preços negociados [1]. Tais contratos podem ser de curto ou longo prazo, onde considera-se que contratos de curto prazo são aqueles com até seis meses de vigência. Os contratos com duração maior que seis meses são, portanto, denominados contratos de longo prazo.

Os Contratos Bilaterais podem ser dados de duas maneiras: Casados ou Descasados. No caso de contratos casados, não há diferença entre os volumes negociados na ponta de compra e na ponta de venda, havendo somente uma diferença entre os preços realizados nas pontas, de forma que haja uma margem fixa sem risco de mercado. No caso dos contratos descasados, o preço é acordado em uma das pontas (podendo essa ser compra ou venda) e na ponta oposta corre-se o risco da exposição ao PLD [4]. Apesar da margem de lucro ser possivelmente maior, com esse tipo de operação fica-se exposto a um risco maior devido à volatilidade do PLD.

O presente trabalho fará referência a dois tipos de operações descasadas que serão doravante explicadas, sendo elas: Contratos do tipo Quantidade e Contratos do tipo Collar.

A. Contratos do tipo Quantidade

Como mencionado anteriormente, os Contratos do tipo Quantidade são um tipo de contrato bilateral. Esses contratos são normalmente estabelecidos entre duas partes, podendo ser tanto de compra como de venda. Nesse trabalho, o contrato será realizado na ponta da venda para uma comercializadora de energia. A receita no Contrato do tipo Quantidade é definida pela seguinte expressão:

$$R_{t,s} = P \cdot Q - \pi_{t,s} \cdot Q \quad (1)$$

Onde:

- $R_{t,s}$: Receita líquida da operação obtida no período t , para cada cenário simulado s ;
- P : Preço fixo de venda do contrato em R\$/MWh;
- Q : Quantidade de energia negociada no contrato em MWh;
- $\pi_{t,s}$: Preço de curto-prazo em R\$/MWh no período t , para cada cenário simulado s ;

Como pode-se observar, a equação de receita líquida é dada por duas parcelas. A primeira, $P \cdot Q$, representa o direito da comercializadora de receber pela venda no contrato. A segunda parcela, $\pi_{t,s} \cdot Q$, representa a obrigação da comercializadora de estar lastreada para negociar o montante de energia, de forma a estar de acordo com as regras de mercado impostas pela CCEE.

Vale a observação de que poderia ainda ser considerado um ágio no preço de curto-prazo, de forma que o preço $\pi_{t,s}$ seria neste caso o preço de curto-prazo em R\$/MWh no período t , para cada cenário simulado s , dado pela composição do PLD acrescido do ágio.

B. Contratos do tipo Collar

Da mesma forma que os Contratos do tipo Quantidade, os Contratos do tipo Collar também são contratos bilaterais descasados. A diferença principal entre ambos é o fato de que no caso de Contratos do tipo Collar não existe um preço fixo, mas uma composição de três parâmetros. São eles: um preço mínimo denominado piso (floor [F]), um preço máximo denominado teto (cap [C]) e um preço corrente que é igual ao PLD acrescido de um ágio, percentual ou fixo, para o caso do PLD ser maior que o piso e menor que o teto. Podemos entender esses contratos como sendo a composição da venda de uma opção de compra ("Call Option") de preço de exercício C R\$/MWh e da compra de uma opção de venda ("Put Option") de preço de exercício F R\$/MWh. A receita no Contrato do tipo Collar é definida pela seguinte expressão:

$$R_{t,s} = P_{t,s} \cdot Q - \pi_{t,s} \cdot Q \quad (2)$$

Onde:

- $R_{t,s}$: Receita líquida da operação obtida no período t , para cada cenário simulado s ;
- $P_{t,s}$: Preço de venda do contrato em R\$/MWh, balizado por Floor e Cap;
- Q : Quantidade de energia negociada no contrato em MWh;

- $\pi_{t,s}$: Preço de curto-prazo em R\$/MWh no período t , para cada cenário simulado s ;

Dado que:

$$P_{t,s} = \begin{cases} C, & \text{se } \pi_{t,s} \geq C \\ F, & \text{se } \pi_{t,s} < F \\ \pi_{t,s} \cdot (1 + a), & \text{cc} \end{cases} \quad (3)$$

Diferentemente do Contrato do tipo Quantidade, no Contrato do tipo Collar o preço $P_{t,s}$ é variável e depende dos parâmetros do contrato. Como visto acima, $P_{t,s}$ assume um valor máximo de C caso o PLD for maior que esse valor, o que é bom para a parte compradora do contrato pois o protege de cenários de preço alto. Caso o PLD seja menor que um valor mínimo acordado F , o preço $P_{t,s}$ assume esse valor F , o que é bom para a parte vendedora do contrato pois o garante uma receita líquida mínima em cenários de preço baixo. Caso o PLD se encontre entre esses valores de C e F , o preço $P_{t,s}$ assume o valor do PLD acrescido de um ágio, podendo esse ser fixo ou percentual.

3. Modelagem do Perfil de Risco

Como visto anteriormente, o PLD é altamente volátil. Sua volatilidade faz com que haja pouca estabilidade na expectativa de receita das partes vendedora e compradora dos contratos indexados a esse preço, de modo que se torna necessária a gerência do risco atrelado a essa volatilidade. Sabendo da existência dessa incerteza, que é modelada por cenários equiprováveis de PLD oriundos do NEWAVE, deve-se definir os perfis de risco dos agentes envolvidos na operação, bem como uma métrica de avaliação de risco. Tais perfis de risco são caracterizados pela Função de Utilidade dos agentes [5]. A Função de Utilidade levará em conta todo o conjunto de cenários possíveis de receita e atribuirá a cada um desses cenários uma utilidade. Portanto, o agente tomará sua decisão baseado na idéia da maximização da utilidade esperada das receitas.

A. CVaR

Como visto em [7], o modelo de utilidade esperada implica uma subjetividade inerente do agente que o utiliza, de forma que se faz necessária a busca por uma medida que controle a distribuição dos resultados de forma mais eficiente. O objetivo agora, portanto, não será maximizar a utilidade esperada vista pelo agente, mas sim, o valor esperado das receitas utilizando uma métrica de risco.

Uma das métricas de risco muito utilizada no mercado é o VaR (Value at Risk). Criado pelo J.P. Morgan Chase, o VaR é definido como a pior perda esperada, para um dado horizonte de tempo, que não será excedida para um certo nível de confiança de $100(1-\alpha)\%$ [7]. Ou seja, o quantil da distribuição que representa as maiores perdas. No entanto, o VaR falha na captura de eventos extremos, nos levando à utilização de outra métrica, o CVaR.

O CVaR (também conhecido como Expected Shortfall [9]) é definido como a média dos $100(1-\alpha)\%$ piores (maiores) cenários de perdas financeiras, porém, será definido neste trabalho como um funcional de valor para as distribuições das receitas líquidas das comercializadoras. Portanto, o CVaR será definido aqui como a média dos $100(1-\alpha)\%$ piores (menores) cenários de receita líquida.

A figura abaixo ilustra o CVaR e o VaR para uma distribuição contínua de receita.

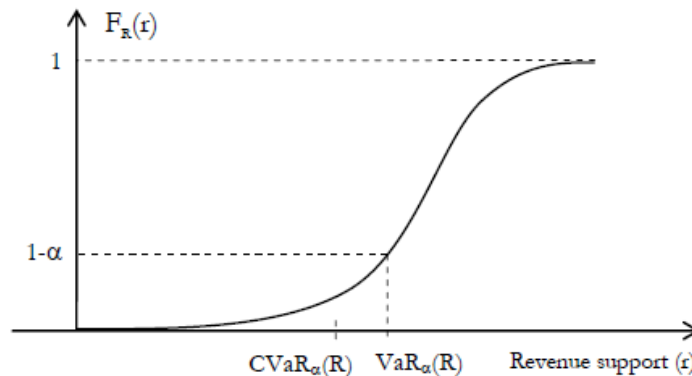


Figura 4 – CVaR e VaR redefinidos para uma densidade de probabilidade de receita.

Dadas as propriedades do CVaR, sabe-se que em situações cujas probabilidades dos cenários são conhecidas seu uso é adequado [10]. Como já mencionado anteriormente, os cenários de preço são equiprováveis, tornando então prático o uso dessa medida como medida de risco no presente trabalho.

4. Metodologia de Análise

Uma vez conhecidas as formas de negociação de energia no mercado brasileiro e as características dos agentes e dos contratos, bem como as variáveis que os influenciam, podemos desenvolver uma metodologia de análise de forma a direcionar o processo de tomada de decisão de compra e venda de energia elétrica. Para isso, utiliza-se do fato de que ambas as partes envolvidas no contrato tem interesse em maximizar sua receita, tornando interessante o uso do Contrato do tipo Collar. Como mencionado, o Contrato do tipo Collar, composto de três parâmetros (C , F , ágio), faz com que a parte vendedora no contrato se proteja contra PLD's muito baixos, de forma a receber no mínimo F R\$/MWh e a parte compradora no contrato se proteja contra PLD's muito altos, de forma a pagar no máximo C R\$/MWh. Uma vez arbitrado um piso no contrato, foi calculado então o teto que deixa o agente vendedor indiferente ao Contrato do tipo Quantidade de preço P conhecido. Fazendo isso, são obtidas curvas de mesma preferência envolvendo os parâmetros do contrato, de forma que possam ser estabelecidas estratégias de negociação de comercializadores frente aos consumidores. A figura abaixo mostra o comportamento do lucro em função do PLD para os dois tipos de contratos.

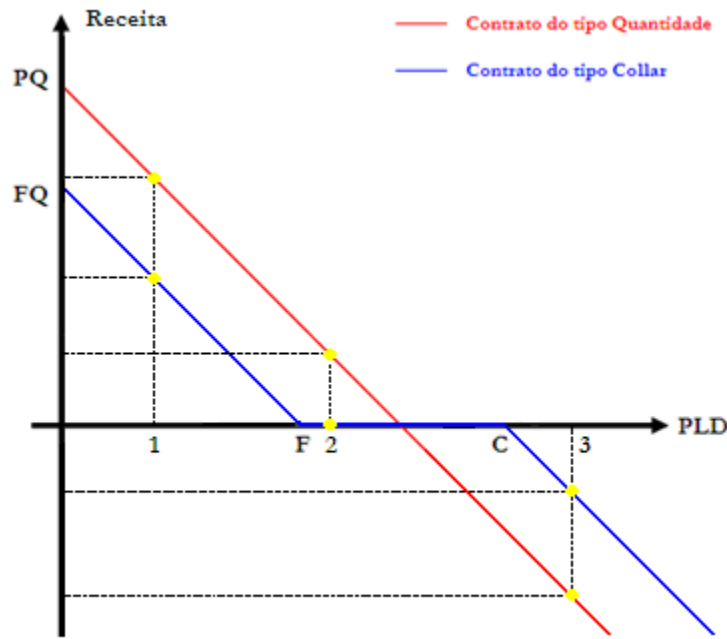


Figura 5 – Comportamento do lucro em função do PLD para os dois tipos de contrato.

Como pode ser observado na figura anterior, no Contrato do tipo Quantidade o lucro irá decrescendo de PQ (uma vez que o PLD nesse ponto é igual a zero) linearmente conforme o PLD for aumentando (ver equação (1)). No caso do Contrato do tipo Collar, observa-se uma função linear por partes que decresce de FQ (uma vez que o PLD nesse ponto é igual a zero), porém, na região em que o PLD se encontra entre Floor e Cap, a receita se mantém constante e igual a zero, pois considerou-se o ágio igual a zero (ver equação (2)). Para valores de PLD maiores que Cap, a função de receita continua decrescente.

Tendo como base a figura, supõe-se um valor de P igual a 100 R\$/MWh, F igual a 60 R\$/MWh, C igual a 120 R\$/MWh, λ igual a 0,5 e Q igual a 730 MWh. Observando os cenários 1, 2 e 3, obtém-se a seguinte tabela:

| Cenário | PLD | Receita Quantidade | Receita Collar |
|---------|------------|--------------------|----------------|
| 1 | R\$ 50,00 | R\$ 36.500,00 | R\$ 7.300,00 |
| 2 | R\$ 70,00 | R\$ 21.900,00 | R\$ 0,00 |
| 3 | R\$ 140,00 | R\$ -29.200,00 | R\$ -14.600,00 |

Tabela 1 – Comparação dos resultados para três tipos de cenários.

Pode-se observar que em cenários de PLD baixo a receita do Contrato do tipo Collar é menor do que a receita do Contrato do tipo Quantidade, no entanto, quando o PLD está elevado o prejuízo incorrido no uso desse tipo de contrato é menor. A metodologia será portanto, encontrar os valores de C e F de modo que se torne indiferente o uso dos dois contratos do ponto de vista do risco.

As 2000 séries de PLD geradas pelo software NEWAVE são obtidas para o período de duração do contrato. De posse desses cenários, calcula-se para os dois tipos de contrato (Contrato do tipo Collar e Contrato do tipo Quantidade) as receitas por cenário e por mês de estudo através das equações (1) e (2).

Após obtidos esses valores, calcula-se o VPL (Valor Presente Líquido) das receitas para os meses de estudo para os dois tipos de contratos (Contrato do tipo Quantidade e Contrato do tipo Collar). Utilizando-se dos valores de VPL, é feita a média dos 5% piores casos (100 casos, uma vez que são 2000 séries de preço). Essa média em questão configura o CVaR.

Uma vez de posse dos CVaR's de cada contrato, faz-se uma combinação convexa entre o CVaR do Contrato do tipo Quantidade e o valor esperado do lucro (média dos VPL's) desse mesmo contrato, segundo a equação abaixo:

$$\lambda \cdot CVaR_{\alpha}(R_t(x))_q + (1 - \lambda) \cdot E(R_t(x))_q \quad (4)$$

Onde $CVaR_{\alpha}(R_t(x))_q$ é o CVaR do Contrato do tipo Quantidade e $E(R_t(x))_q$ é o valor esperado da receita desse contrato, para todos os cenários. O parâmetro λ dessa combinação convexa funciona como um "ponderador de risco" que varia de zero a um, ou seja, quanto maior for esse parâmetro maior será a parcela referente ao CVaR o que indica uma preocupação maior com a perda, explicitando aversão maior ao risco.

Arbitra-se então um piso F qualquer e para esse valor de piso será encontrado um teto C, de forma que para o mesmo λ a combinação convexa do CVaR do Contrato tipo Collar com o valor esperado do lucro desse mesmo contrato seja igual ao valor encontrado para o Contrato do tipo Quantidade, segundo a equação (4). A equação final fica então:

$$\lambda \cdot CVaR_{\alpha}(R_t(x))_q + (1 - \lambda) \cdot E(R_t(x))_q = \lambda \cdot CVaR_{\alpha}(R_t(x))_c + (1 - \lambda) \cdot E(R_t(x))_c \quad (5)$$

Onde $CVaR_{\alpha}(R_t(x))_c$ é o CVaR do Contrato do tipo Collar e $E(R_t(x))_c$ é o valor esperado do lucro desse contrato, para todos os cenários.

Com o intuito de testar a metodologia proposta foi realizado um estudo de caso tendo como base o DECK do NEWAVE de Janeiro de 2011 obtido através do site <http://www.ccee.org.br>. Foi considerado um contrato de seis meses de duração com volume contratado de 1 MW médio (730 MWh).

As distribuições de PLD foram estudadas de maneira a encontrar valores de preço fixo para o Contrato do tipo Quantidade pertinentes aos cenários esperados. Tais distribuições são como se segue:

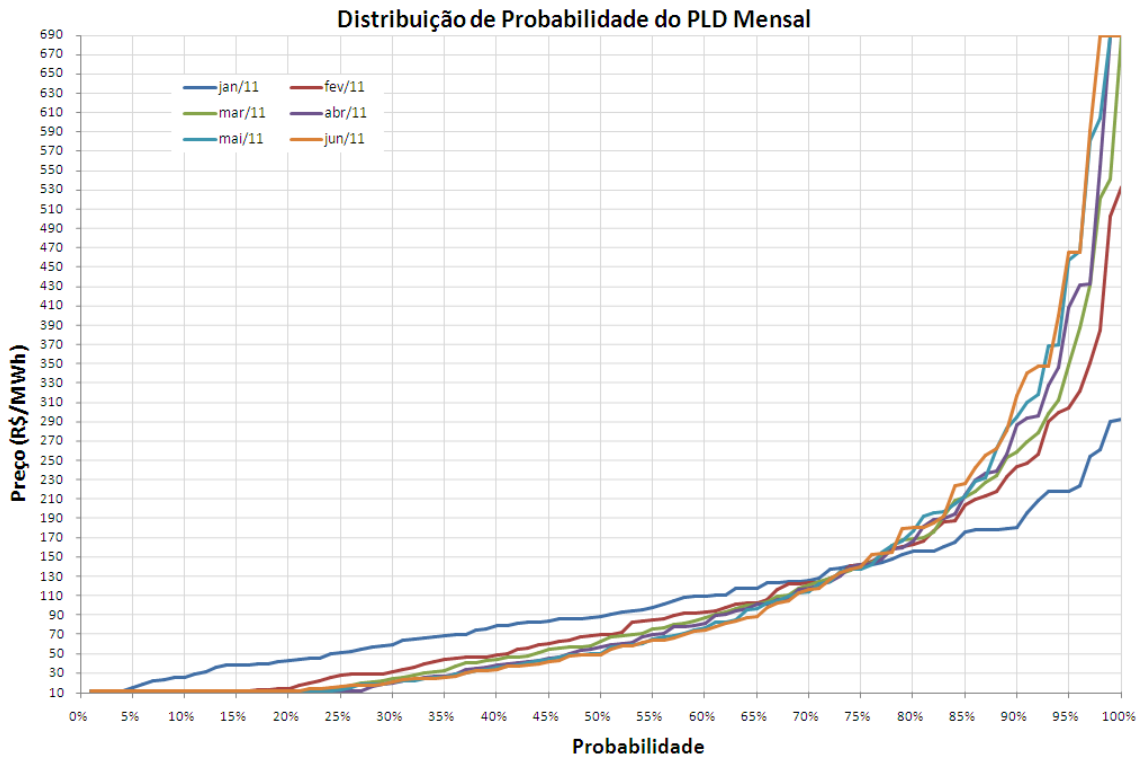


Figura 6 – Distribuições de PLD.

Foram escolhidos valores de preço de contrato fixo P entre 20 e 180 R\$/MWh, pelo fato desses preços se encontrarem numa faixa de grande probabilidade de ocorrência. Foi executada a metodologia de cálculo para esses valores, variando de 10 em 10 R\$/MWh, com um ágio de 15 R\$/MWh, utilizando um parâmetro λ de 50%. Esse parâmetro foi escolhido pois incorre em pesos iguais para cada parcela da equação, pois é esperado que esse comportamento seja de um agente neutro a risco. Espera-se que para λ 's menores a inclinação da curva diminua, ao passo que para λ 's maiores, espera-se que a inclinação aumente. Foram obtidas as seguintes curvas:

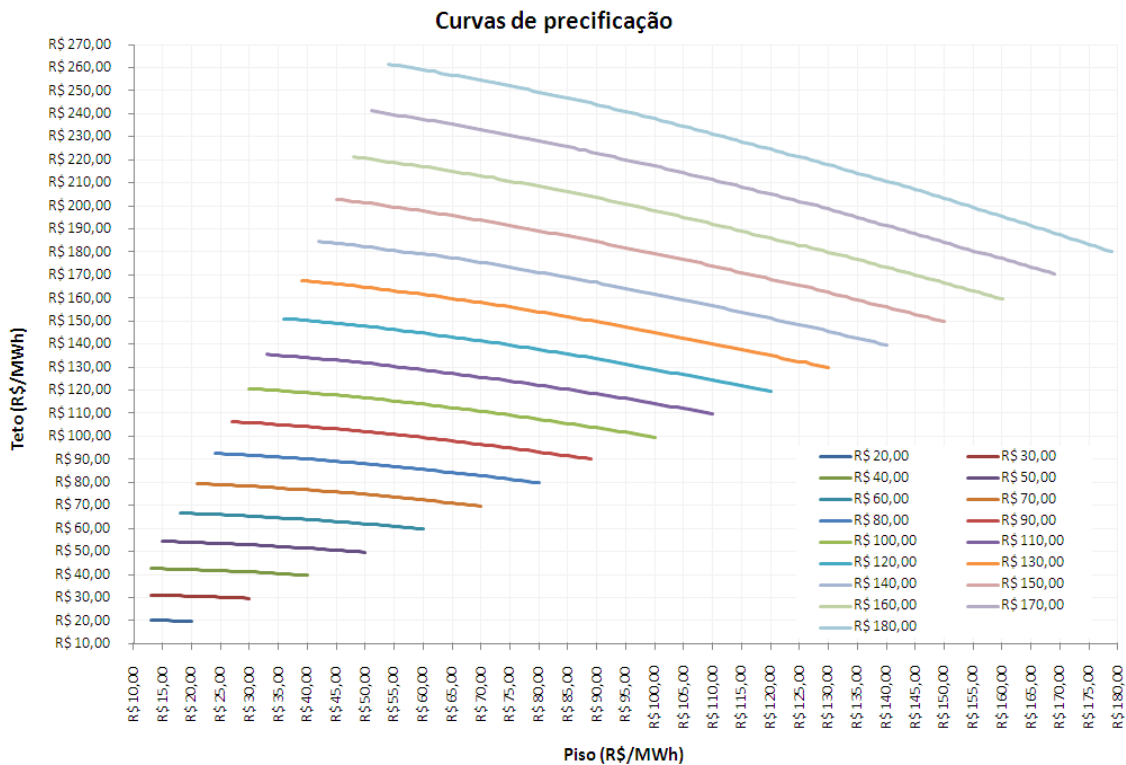


Figura 7 – Curvas de precificação do Contrato tipo Collar.

Como pode-se observar, as curvas não são exatamente lineares, porém são muito próximas desse resultado, o que de fato mostra que a idéia de um agente neutro possuir curvas de indiferença lineares se mostra coerente.

Para testar a sensibilidade do parâmetro λ , foi utilizado agora um valor de P igual a 130 R\$/MWh. A razão da escolha desse valor se deve ao fato de que ele é comumente aplicado aos contratos no mercado e está próximo do centro das curvas de distribuição do PLD. O gráfico a seguir mostra os resultados para esse teste de sensibilidade em questão.

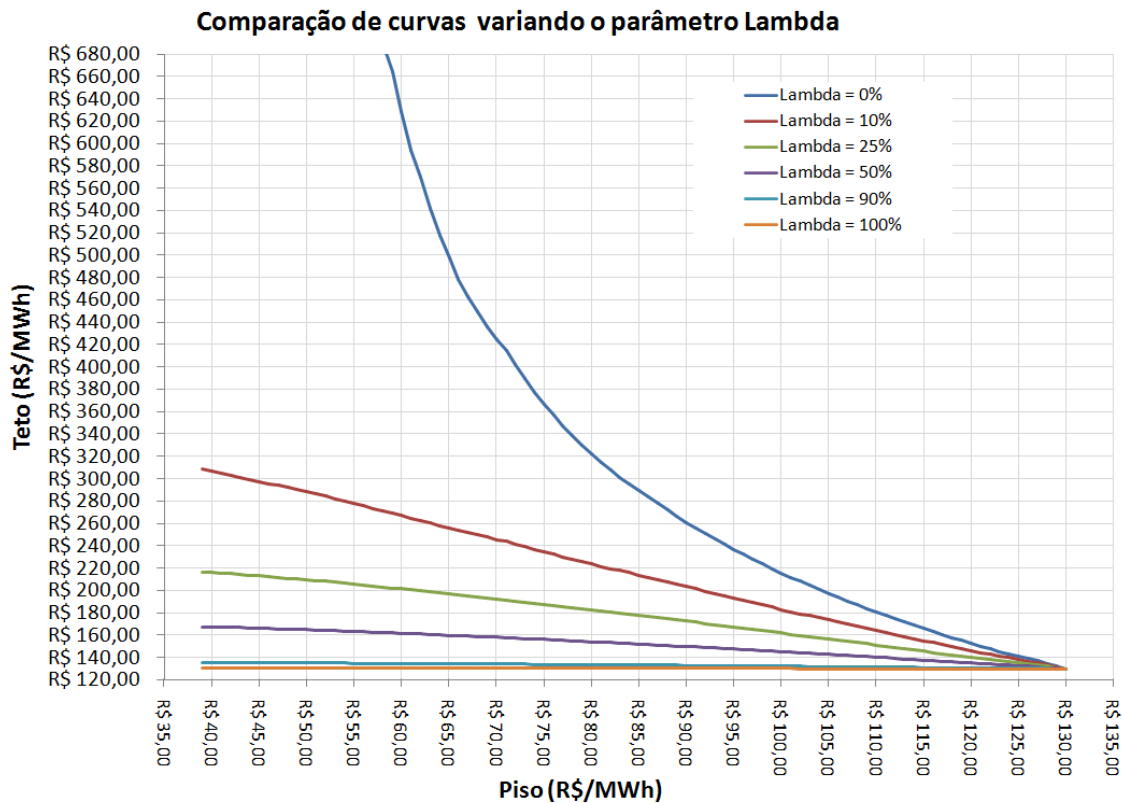


Figura 8 – Teste de sensibilidade do parâmetro λ .

Como podemos observar, o resultado ficou de acordo com o esperado. Conforme o parâmetro λ diminui a inclinação das curvas aumenta, ou seja, a propensão ao risco do agente aumenta. Por exemplo, para λ igual a 100% a parcela referente ao CVaR é a única considerada, o que implica num comportamento totalmente conservador (avesso ao risco). Nota-se então, que para agentes com esse tipo de perfil esse tipo de contrato não é adequado, uma vez que os valores de teto ficam muito próximos de 130 R\$/MWh, deixando margem para que esse agente possa receber abaixo do valor P em um cenário de preço baixo. Supondo que nesse caso o agente escolha utilizar o piso mínimo dessa curva que é igual a 39 R\$/MWh, nesse caso o teto seria de 130,53 R\$/MWh, isso deixaria o agente exposto a um lucro menor em um cenário de PLD baixo e poucos ganhos em um cenário de PLD alto em comparação com um contrato do tipo quantidade com P igual a 130 R\$/MWh garantido para todos os cenários de PLD.

Nota-se que para o caso em que o parâmetro λ é igual a 0% a curva tem um comportamento totalmente oposto, ou seja, os valores do teto sobem demais para os valores mais baixos do piso. Nesse caso, fica evidente uma propensão a tomar risco elevada por parte do agente vendedor, ou seja, apesar de estar exposto a um lucro menor em casos de PLD baixo, o teto pode compensar num caso de alta de PLD.

É fácil de perceber que o comportamento de um agente vendedor é oposto ao de um agente comprador, ou seja, a tendência do agente de venda seria sempre diminuir o valor do parâmetro λ ao passo que a tendência do comprador seria aumentar esse valor. Dessa forma, a parte interessada deve procurar um λ que atenda aos seus interesses sem que a negociação se torne inviável.

Outra sensibilidade estudada foi a variação de ágio no Contrato do tipo Collar. Foram feitos testes comparando o mesmo Contrato do tipo Quantidade com P igual a 130 R\$/MWh e parâmetro λ igual a 50%. Segue abaixo a figura que retrata as curvas obtidas:

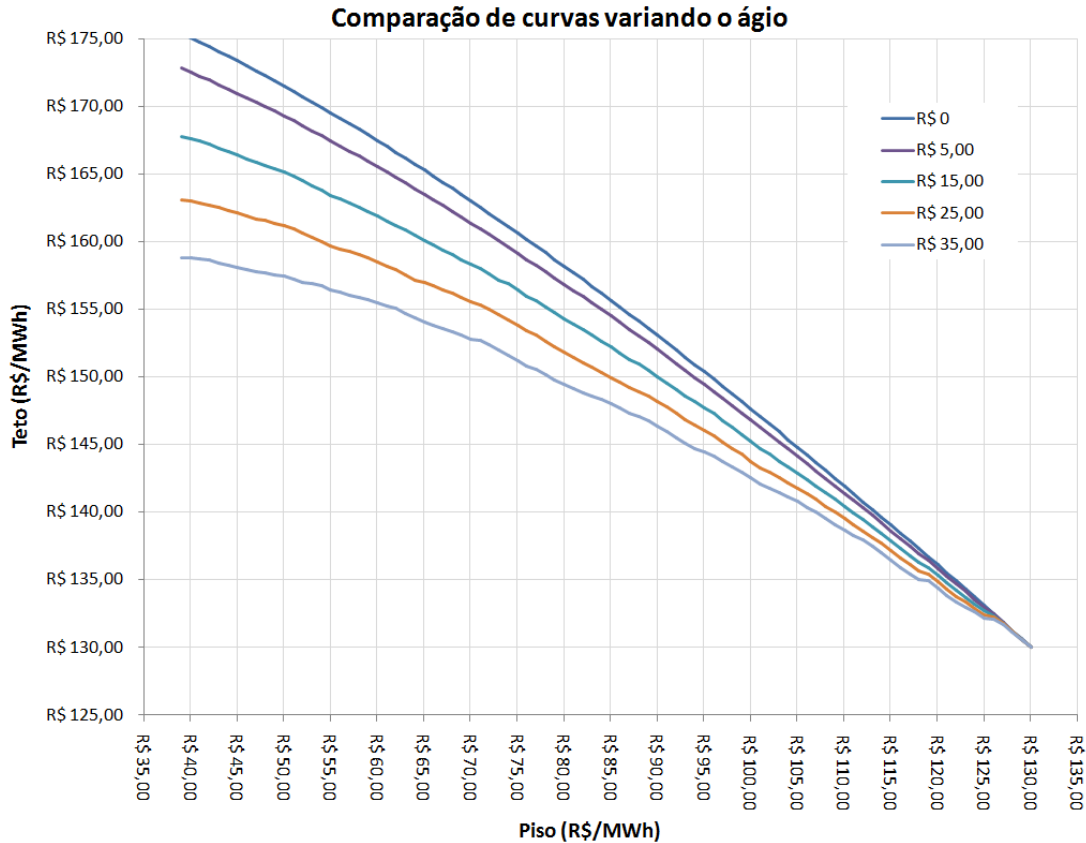


Figura 9 – Teste de sensibilidade do ágio.

O gráfico demonstra que para um mesmo valor de piso, o teto diminui conforme o ágio aumenta. Esse comportamento é explicado pelo crescimento no lucro proporcionado pelo aumento do ágio, sendo que para alguns casos esse mesmo aumento pode gerar uma redução do CVaR. Assim sendo, para que a equação (5) se mantenha é necessário que ocorra uma diminuição no teto. Espera-se também que esse efeito do ágio seja acentuado com a diminuição do parâmetro λ , pois quanto maior for o peso do valor esperado do lucro no Contrato do tipo Collar maior será a influência do ágio no cálculo do teto.

5. Conclusão

Dadas as incertezas no ato da contratação de energia a que estão sujeitos os agentes envolvidos, foi proposta uma metodologia que tem por objetivo mitigar os riscos desses agentes. Para isso, foi levado em conta os perfis de risco das partes envolvidas, bem como uma métrica de risco que auxiliasse a tomada de decisão. Foram abordados os Contratos do tipo Collar, de parâmetros (piso, teto e ágio) e em consequência sua comparação aos Contratos do tipo Quantidade de preço fixo P. Obtiveram-se então curvas de mesma preferência para as combinações desses parâmetros que possibilitassem ao agente comercializador ter uma ferramenta de apoio à decisão que o auxiliasse na

negociação do contrato. Pode-se observar, através do estudo de caso, que a metodologia proposta apresentou resultados bastante consistentes com o esperado.

6. Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer aos nossos familiares e amigos por terem nos apoiado ao longo de nossa trajetória na graduação. Sem eles nada seria possível. Agradecemos também em especial ao Professor Alexandre Street, cuja ajuda foi fundamental para a concepção deste trabalho.

7. Referências

- [1] Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), "Visão Geral das Operações na CCEE", 2011. Disponível online em: <http://www.ccee.org.br/>
- [2] STREET, A. ; BARROSO, L. A. ; GRANVILLE, S. ; PEREIRA, M. V. ; "Offering Strategies and Simulation of Multi Item Dynamic Auctions of Energy Contracts." Accepted for publication in IEEE Transactions on Power Systems, January 2011.
- [3] T. Wang, K. Rocha, "Operações Estruturadas com uso de Derivativos". Disponível online em: <http://www..ead.fea.usp.br/>
- [4] L. Lima, L. Brandão, A. Figueiredo, "Otimização de Carteiras de Contratos de Energia Elétrica Através da Medida Ômega", Revista Brasileira de Finanças, Vol. 8, No. 1, 2010, 45 – 67.
- [5] David G. Luenberger, "Investment Science", Oxford University Press, United States of America, 1997
- [6] J. Von Neumann, O. Morgenstern, "Theory of Games and Economic Behavior", Princeton University Press, Princeton, United States of America, 1947.
- [7] A. Street, "Equivalente Certo e Medidas de Risco em Decisões de Comercialização de Energia Elétrica", Rio de Janeiro, Brasil, Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, 2008.
- [8] P. Jorion, "Value at Risk – The New Benchmark for Managing Financial Risk", McGraw-Hill, United States of America, 2006.
- [9] C. Acerbi, D. Tasche, "Expected Shortfall: A Natural Coherent Alternative to Value at Risk", Economic Notes by Banca Monte dei Paschi di Siena SpA, Vol. 31, No. 2, 2002, 379 – 388.
- [10] A. Street, "On the Conditional Value-at-Risk Probability-dependent Utility Function", Theory and Decision Journal, 2009.
- [11] A. Street, "Estratégia de Oferta de Geradoras em Leilões de Contratação de Energia", Rio de Janeiro, Brasil, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, 2004.
- [12] F. Porrua, "Metodologia para precificação e análise do risco de contratação entre submercados no setor elétrico brasileiro", Rio Grande do Sul, Brasil, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- [13] STREET, A. ; BARROSO, L. A. ; GRANVILLE, S. ; PEREIRA, M. V. ; "Bidding strategy under uncertainty for risk-averse generator companies in a long-term forward contract auction." In:

Power & Energy Society General Meeting, 2009., 2009, Calgary. Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE. Calgary, Alberta, Canada. : IEEE, 2009. p. 1-8.

- [14] STREET, A. ; VEIGA FILHO, A. ; BARROSO, L. A. ; PEREIRA, M. V. ; GRANVILLE, S. . “Estratégias de Atuação de Agentes Geradores sob Incerteza em Leilões de Contratos de Energia Elétrica”. In: XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2005, Curitiba. Anais do XVIII SNPTEE, 2005.

6. Anexos

(A) Histórico do PLD no Sudeste

