

2

Revisão da Literatura

Neste capítulo serão apresentados os conceitos financeiros utilizados no desenvolvimento deste trabalho, a fim de efetuar a modelagem financeira necessária para abordar o problema de pesquisa. Primeiramente, será discutida a teoria da utilidade, abordando ideias essenciais discutidas ao longo deste estudo, como perfis de risco, valor esperado, equivalente certo e prêmio de risco. Em seguida, apresentar-se-á o conceito de *swap* e algumas de suas aplicações no setor elétrico. Um caso ilustrativo será apresentado, a fim de exemplificar a dinâmica de um *swap* de submercado. O foco da última seção está voltado para um tópico específico da teoria da negociação, a análise da Zona de Possível Acordo (ZOPA), cuja aplicação permitirá obter uma aproximação do valor final do contrato de *swap* estudado neste trabalho.

2.1.

Teoria da utilidade

A teoria da utilidade aplicada aos *swaps* de submercado é o tema central deste estudo, sendo fundamental apresentar seus aspectos essenciais. Primeiramente, é de crucial importância esclarecer que a teoria da utilidade a que se refere este trabalho é a baseada nos ensinamentos de von Neumann e Morgenstern (1947). Gauthier (1986) ensina que, segundo essa teoria, uma decisão é racional se, e somente se, ela maximiza a utilidade esperada do tomador de decisão.

Hull *et al.* (1973) desmembram o processo de tomada de decisão em três etapas: o tomador de decisão identifica as alternativas, usa seu julgamento para estimar suas possíveis consequências, e elege a melhor. A teoria da utilidade é aplicada na terceira e mais difícil etapa, em que o tomador de decisão deve escolher a melhor alternativa de forma racional. Em uma dada situação envolvendo fluxos de caixa incertos dentro do mundo corporativo há duas condições que devem ser satisfeitas para que se justifique a utilização da teoria da utilidade:

- O valor em jogo deve ser uma quantia significativamente grande para o investidor, ou seja, uma situação em que a perda comprometeria uma parcela grande de seus ativos;
- Há um grande número de consequências possíveis cujos resultados são complexos.

Os autores argumentam que se a primeira condição não for satisfeita, entende-se que a consequência, positiva ou negativa, é irrelevante para o tomador de decisão, em relação à riqueza que ele já detém. Esta condição também é defendida por Arrow (1971), que aponta que a teoria da utilidade sugere que tomadores de decisão são neutros aos risco quando o impacto da possível perda sobre sua riqueza é pequeno, deixando de sê-lo quando as consequências negativas da perda passam a impactar uma parcela significativa de sua riqueza no longo prazo.

Não obstante, se a segunda condição não for satisfeita, é mais prático para o tomador de decisão entender os detalhes de cada consequência e eleger uma alternativa sem recorrer à teoria da utilidade.

Segundo Fishburn (1968), a teoria da utilidade tem por objetivo auxiliar um tomador de decisão a determinar suas preferências diante de alternativas complexas. Segundo o autor, alguns dos motivos que dificultam a comparação entre preferências são a multidimensionalidade e a incerteza inerentes às situações em que se necessita tomar uma decisão. A teoria da utilidade permite transformar preferências em valores estruturados numericamente em ordem crescente de utilidade, de forma a permitir a identificação de uma solução ótima envolvendo preferências diante do risco.

Keeney e Raiffa (1993) apresentam a teoria da utilidade da seguinte forma: supondo uma loteria L gerando as consequências: $x_1, x_2, \dots, x_n$ cujas probabilidades são, respectivamente, $p_1, p_2, \dots, p_n$, e cujo resultado incerto é dado por $\tilde{x}$, tem-se que:

$$\bar{x} \equiv E(\tilde{x}) = \sum_{i=1}^n p_i x_i \quad (1)$$

A utilidade esperada da loteria L é:

$$E[u(\tilde{x})] = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) \quad (2)$$

Pindyck e Rubinfeld (2011) apresentam o primeiro conceito fundamental no estudo da utilidade: o valor esperado. O valor esperado é uma medida de tendência central, obtida através da média ponderada probabilística dos valores referentes ao sucesso e ao fracasso de uma loteria expresso da seguinte maneira:

$$E(X) = Pr_1 X_1 + Pr_2 X_2 \quad (3)$$

No caso de várias possibilidades distintas de ocorrência, temos que:

$$E(X) = Pr_1 X_1 + Pr_2 X_2 + \dots + Pr_n X_n \quad (4)$$

Em se tratando de distribuições contínuas, Keeney e Raiffa (1993) as descrevem como uma função f de densidade de probabilidade, de tal forma que o valor esperado é:

$$E(X) = \int x f(x) dx \quad (5)$$

Lembrando que:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1 \quad (6)$$

O segundo conceito essencial da teoria da utilidade é o equivalente certo. Clemen e Reilly (2001) descrevem o equivalente certo como a quantia em dinheiro que equivale a uma situação que envolve incerteza. Já Keeney e Raiffa (1993) definem o equivalente certo de uma loteria L , representado por $\hat{x}$, como a quantia $\hat{x}$ que torna o tomador de decisão indiferente entre a incerteza

da loteria L e a certeza do valor $\hat{x}$. Assim, o equivalente certo é expresso da seguinte maneira:

$$u(\hat{x}) = E[u(\tilde{x})], \quad \text{ou} \quad \hat{x} = u^{-1}Eu(\tilde{x}) \quad (7)$$

onde $\tilde{x}$ é uma variável aleatória.

Não obstante, a utilidade esperada da loteria é:

$$u(\hat{x}) = E[u(\tilde{x})] = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) \quad (8)$$

Keeney e Raiffa (1993) ressaltam que uma característica muito comum às funções utilidade é que elas costumam ser monótonas. Isso é verdadeiro especialmente quando as consequências envolvem valores monetários, pois um tomador de decisão, na maioria esmagadora das vezes, preferirá o resultado que lhe proporcione a maior quantia em dinheiro possível. Desta forma, é possível dizer que:

$$[x_1 > x_2] \Leftrightarrow [u(x_1) > u(x_2)] \quad (9)$$

Porém, não se trata de uma verdade universal. Suponha o tempo de resposta de uma ambulância. Quanto menor o tempo t , maior a utilidade, de forma que:

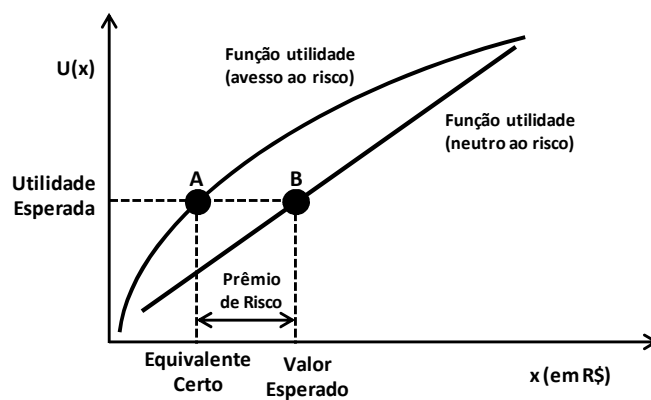
$$[t_1 > t_2] \Leftrightarrow [u(t_2) > u(t_1)] \quad (10)$$

Neste caso, a função é dita monótona decrescente.

Há também o caso das funções que simplesmente não são monótonas. É o caso da glicose no sangue. Quanto mais alta, melhor, mas apenas até atingir a normalidade. Após esse ponto, a utilidade do açúcar no sangue passa a cair,

pois esse se torna nocivo ao corpo. A importância por trás disso é que só é possível presumir que há um e somente um equivalente certo se a função for monótona (Keeney e Raiffa, 1993).

O valor do equivalente certo tende a variar entre tomadores de decisão, em função do perfil de risco. A teoria da utilidade divide os perfis de risco em três: avesso ao risco, propenso ao risco e neutro ao risco. Keeney e Raiffa (1993) ensinam que o formato da função utilidade é capaz de dizer muito a respeito do perfil de risco do tomador de decisão. A função utilidade de cada perfil terá uma curvatura específica, conforme demonstrada na figura a seguir:



Fonte: Clemen e Reilly (2001) e elaboração própria

Figura 1- Curvaturas da função utilidade

Na figura acima configuram duas funções utilidade, representando um perfil avesso ao risco e outro neutro ao risco¹. Observa-se que a função utilidade do tomador de decisão neutro ao risco é representada por uma reta, uma vez que seu equivalente certo sempre será igual ao valor esperado do jogo. Assim, para determinada utilidade esperada, o equivalente certo se encontra no ponto B.

Por outro lado, percebe-se que a função utilidade do tomador de decisão avesso ao risco é côncava, significando que, para um mesmo grau de utilidade esperada, ele aceita um valor inferior em relação ao indivíduo neutro ao risco². Desta forma, o equivalente certo para o avesso ao risco seria o ponto A. A distância entre o ponto A e o ponto B, ou seja, o equivalente certo e o valor

¹ O perfil propenso ao risco pode ser deduzido, abordando de maneira análoga ao perfil avesso ao risco (KEENEY e RAIFFA, 1993).

² No caso do tomador de decisão propenso ao risco, a curvatura da função utilidade é convexa, e ele só aceita desistir do jogo por um valor acima do valor esperado.

esperado, respectivamente, é denominada prêmio de risco. Keeney e Raiffa (1993) o expressam o prêmio de risco da seguinte maneira:

$$RP(\tilde{x}) = \bar{x} - \hat{x} = E(\tilde{x}) - u^{-1} Eu(\tilde{x}) \quad (11)$$

onde:

$\bar{x}$ é o valor esperado do jogo

$\hat{x}$ é o equivalente certo

Pratt (1964) ensina que um tomador de decisão é mais avesso ao risco que outro se, e somente se, o seu equivalente certo for menor. Não obstante, seu prêmio de risco é sempre maior, e ele, em qualquer situação, está disposto a pagar um valor maior pelo seguro em qualquer situação.

Assim, um prêmio de risco positivo indica que um tomador de decisão é avesso ao risco, pois ele aceita menos que o valor esperado para evitar o jogo. Da mesma forma, um prêmio de risco negativo demonstra que há propensão ao risco, pois apenas uma quantia superior ao valor esperado o convenceria a abdicar do jogo. Há também uma terceira possibilidade, em que o prêmio de risco se iguala a zero, ou seja, o equivalente certo equivale ao valor esperado. Neste caso se diz que o tomador de decisão é neutro ao risco.

Há diferentes abordagens para se chegar a uma função utilidade que efetivamente represente as preferências do tomador de decisão. Uma das maneiras mais comumente aceitas envolve entrevistar o tomador de decisão, a fim de avaliar suas preferências em relação ao risco. Farquhar (1984) atenta para a dificuldade de se eleger uma função utilidade a partir dos dados provenientes de tais respostas, uma vez que são frequentes as incoerências encontradas nas respostas dadas na entrevista. Para superar o problema, o autor sugere que se aborde o problema de uma das seguintes formas:

- Encontrar um subconjunto de dados consistente através da harmonização de inconsistências;
- Adotar uma função utilidade parcialmente admissível, a fim de representar ao menos uma parcela significativa dos dados;
- Adotar uma função utilidade que incorpore erros aleatórios nas respostas;

- Adotar uma forma diversa de abordagem.

Pratt e Zeckhauser (1987) orientam a procura de uma função utilidade adequada através de um método simples envolvendo dois passos: i) estabelecimento de princípios normativos a fim de filtrar as possíveis classes de funções utilidade ii) selecionar a função utilidade, calibrando e encaixando os parâmetros. Essa abordagem concorda com o proposto por Keeney e Raiffa (1993), que sugerem um método que envolve encontrar a função utilidade que melhor representa o perfil específico do tomador de decisão, cujo primeiro passo é encontrar uma família paramétrica de funções utilidade que possuem as características mais relevantes, como a aversão ao risco. No caso do investidor avesso ao risco, sua função utilidade seria:

$$u(x) = -e^{-cx} \quad (12)$$

onde c é uma constante positiva.

Segundo Hauser e Urban (1979), quando o tomador de decisão se preocupa somente com a dispersão dos resultados ao invés de sua magnitude, diz-se que sua aversão ao risco é constante. Entretanto, Keeney e Raiffa (1993) argumentam que nem sempre um investidor é avesso ao risco na mesma intensidade em qualquer cenário. É possível que um investidor seja avesso ao risco de forma decrescente. Empiricamente, na medida em que uma pessoa se torna mais rica, mais condição ela terá de correr um risco específico, estando disposta a sacrificar um valor menor para evitar o jogo. Isto torna o prêmio de risco decrescente à medida que a riqueza aumenta. Neste caso, sugere-se que a função utilidade apropriada possa ser:

$$u(x) = -e^{-ax} + bx \quad (13)$$

onde a e b são constantes positivas.

A aversão a risco, $r(x)$, é expressa da seguinte forma:

$$r(x) = \frac{a^2 e^{-ax}}{ae^{-ax} + b} \quad (14)$$

Percebe-se que quanto maior o valor de x , mais próximo de zero fica a aversão ao risco, provando que um investidor cuja função utilidade seja a sugerida tem uma aversão decrescente ao risco.

2.2. Swaps

Os primeiros contratos de *swap* foram negociados nos anos 80, criando um mercado de vital importância no mercado de derivativos (Hull, 2012). Os *swaps* são um acordo bilateral entre partes que desejam trocar uma obrigação por outra. Hull (2012) ressalta que, ao contrário de contratos a termo, em que a troca de fluxos de caixa ocorre uma única vez numa data pré-determinada, os contratos de *swap* geralmente apresentam várias trocas, cada uma ocorrendo numa data diferente.

No mercado de energia elétrica, os *swaps* são utilizados em diferentes situações. Mayo (2011) elenca três espécies distintas de *swaps*, sendo elas: o *swap* calendário, o *swap* de patamar de carga, e o *swap* de Submercado.

O *swap* calendário permite a troca de janelas de entrega de energia. Por exemplo: dois agentes geradores possuem compromissos de entregar 50 MWh médios para seus respectivos clientes. Porém, o gerador A tem que entregar a energia durante o primeiro semestre do ano. Já o gerador B tem o compromisso de entregar durante o segundo semestre do ano. Se, por qualquer motivo, esses acreditarem que o período de entrega do outro é mais conveniente, eles podem fazer um *swap* calendário, passando o gerador B a entregar a energia para o cliente de A no primeiro semestre, enquanto o gerador A passa a entregar a energia para o cliente de B no segundo semestre. Cabe ressaltar que nesta transação não há fluxo de recursos financeiros, mas de energia gerada.

O *swap* de patamar de carga possibilita aos agentes geradores trocar o horário em que a energia será entregue. O Brasil adota três patamares de carga diferentes: leve (baixo consumo), médio, e pesado (horários de pico). Assim, é possível efetuar a troca com uma contraparte cuja geração esteja sobrando no horário desejado. Como é de se esperar, os valores por patamar diferem, de forma que, nos horários de pico, a energia é mais cara. A fim de igualar os

valores transacionados entre as partes, negociam-se volumes diferentes de energia.

O *swap* de Submercado é bastante útil quando um gerador encontra seu cliente em um Submercado diferente. Quando isso ocorre, quem vende a energia fica exposto a um risco específico, denominado risco de Submercado. Nos Estados Unidos há 140 regiões conhecidas como área de controle (Hull, 2012). A demanda é atendida primeiramente dentro dessa área de controle, sendo a geração excedente vendida às outras áreas, limitada às restrições de transmissão.

No Brasil as restrições de transmissão exigem uma abordagem diferente: para cumprir o acordado com o cliente situado no outro Submercado, o gerador tem que vender sua energia dentro de sua região e comprar o mesmo volume no Submercado do cliente. Caso o valor de seu Submercado seja inferior ao do cliente, ele perderá dinheiro, pois estará comprando a energia a um preço superior ao que ele vendeu.

2.2.1.

Caso ilustrativo de *swap* de submercado

Sendo o *swap* de submercado o foco deste trabalho, julga-se conveniente apresentar um exemplo a fim de ilustrar melhor sua dinâmica.

Um agente gerador de energia está situado na região Nordeste. Ele fecha um contrato de fornecimento de 100 MW/mês ao longo de 2015 com um consumidor livre no Sudeste. Segundo a Convenção de Comercialização de Energia Elétrica vigente no Brasil³, o gerador deverá vender a energia no subsistema Nordeste, o que lhe renderá um saldo credor em reais. Concomitantemente, ele deverá comprar a energia prometida no Submercado Sudeste/Centro-Oeste, a fim de honrar sua obrigação. Assim, o gerador fica exposto ao risco de Submercado, pois pode acabar vendendo energia mais barata no Nordeste do que irá comprar no Sudeste.

É imperativo ressaltar que a parte compradora jamais fica exposta, estando o risco inteiramente associado à parte vendedora (CCEE, 2012). A Tabela 2 ilustra a situação exposta:

³ A Convenção de Comercialização de Energia Elétrica foi instituída pela Resolução Normativa ANEEL nº 109/2004, cujas regras foram aprovadas pela Resolução Normativa ANEEL nº 385/2009 e elaboradas pela CCEE. A regra em questão se refere ao Módulo 5 (Excedente Financeiro) das regras de comercialização da CCEE.

**Tabela 1 – Diagrama da exposição contratual da venda de 100 MWh do gerador
Submercado NE para cliente Submercado SE/CO sem swap**

	Submercado NE	Submercado SE/CO	Saldo
PLD (R\$)	150,00	200,00	-
Exposição do Consumidor Livre	$(\text{Contrato}_{\text{NE}} - \text{Consumo}_{\text{NE}}) \times \text{PLD}_{\text{NE}}$ $(0-0) \times 150 = 0$	$(\text{Contrato}_{\text{SE}} - \text{Consumo}_{\text{SE}}) \times \text{PLD}_{\text{SE}}$ $(100-100) \times 200 = 0$	0
Exposição do Gerador	$(\text{Geração}_{\text{NE}} - \text{Contrato}_{\text{NE}}) \times \text{PLD}_{\text{NE}}$ $(100-0) \times 150 = 15.000$	$(\text{Geração}_{\text{SE}} - \text{Contrato}_{\text{SE}}) \times \text{PLD}_{\text{SE}}$ $(0-100) \times 200 = -20.000$	-5.000

Fonte: CCEE e elaboração própria

A fim de anular esta exposição, o vendedor de energia procura algum gerador que esteja localizado dentro do Submercado SE/CO e que tenha que honrar um compromisso idêntico de entrega no subsistema Nordeste. Uma vez identificadas, as partes poderão firmar um *swap* de Submercado, em que cada um, ao invés de comprar a energia fora de sua área, comprará em sua própria região, de forma que um honre o compromisso do outro. Assim, a exposição ao risco de Submercado de ambas as partes será anulada. A Tabela 3 a seguir demonstra esta situação.

**Tabela 2– Diagrama da exposição contratual da venda de 100 MWh do gerador
Submercado NE para cliente Submercado SE/CO com swap**

	Submercado NE	Submercado SE/CO	Saldo
PLD (R\$)	150,00	200,00	-
Exposição do Gerador	$(\text{Contrato}_{\text{NE}} - \text{Consumo}_{\text{NE}}) \times \text{PLD}_{\text{NE}}$ $(100-0) \times 150 = 15.000$	$(\text{Contrato}_{\text{SE}} - \text{Consumo}_{\text{SE}}) \times \text{PLD}_{\text{SE}}$ $(0-100) \times 200 = -20.000$	-5.000
Swap	$(\text{Geração}_{\text{NE}} - \text{Contrato}_{\text{NE}}) \times \text{PLD}_{\text{NE}}$ $(0-100) \times 150 = -15.000$	$(\text{Geração}_{\text{SE}} - \text{Contrato}_{\text{SE}}) \times \text{PLD}_{\text{SE}}$ $(100-0) \times 200 = 20.000$	5.000

Fonte: CCEE e elaboração própria

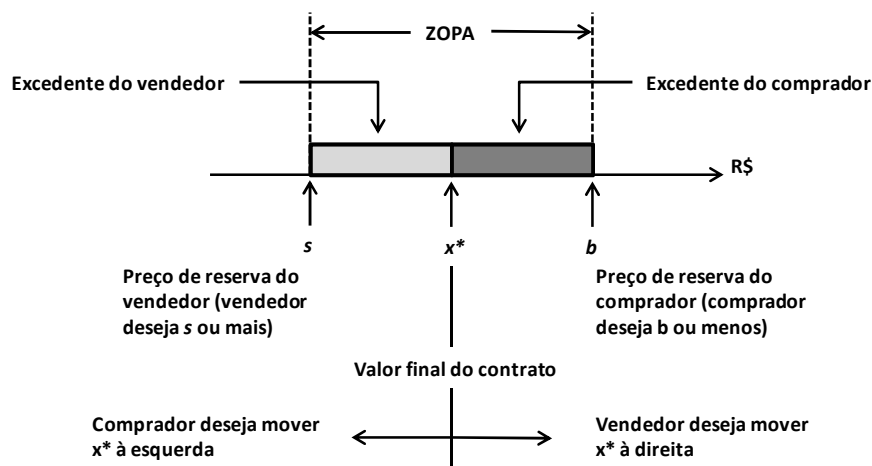
Observa-se que o *swap* permitiu anular a exposição, e o gerador no Nordeste ficaria isento do prejuízo caso este cenário se concretizasse. Por outro

lado, o gerador no Sudeste anularia o ganho auferido pela exposição. Entretanto, Hull (2012) argumenta que é justamente essa a dinâmica de um *hedge*, que, se por um lado protege dos riscos, também tem a capacidade de anular os ganhos.

Assim sendo, neste cenário, o *swap* não teria beneficiado o gerador no Sudeste. Não obstante, um cenário em que o preço do PLD do Submercado Sudeste fosse inferior ao do Nordeste inverteria a situação, anulando o ganho potencial do gerador situado no Nordeste e o transferindo para o gerador no Sudeste.

2.3. Zona de Possível Acordo (ZOPA)

Uma negociação pode tomar diversos rumos e produz resultados em função de diversos fatores-chave. Raiffa (2007) ensina que, em negociações distributivas⁴, a melhor estimativa do valor final do contrato é a média dos preços de reserva, contanto que esta esteja dentro da chamada Zona de Possível Acordo (ZOPA), conforme ilustrado na figura a seguir.



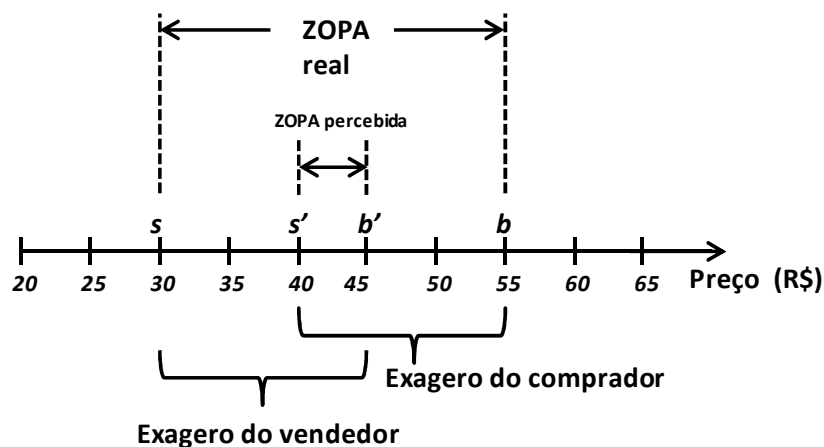
Fonte: Raiffa, 2007

Figura 2– A geometria da negociação distributiva

⁴ Negociações distributivas são aquelas cujo objeto é a divisão de um único bem (Raiffa, 2007, p. 97).

O vendedor tem um preço de reserva, s , que representa o menor valor a que ele estaria disposto a fechar o negócio. Qualquer valor inferior a s é tido como pior do que não fechar o contrato, de forma que se $s > x^*$, então o vendedor desistirá do negócio. Da mesma forma, o comprador tem um preço de reserva, b , que representa o maior valor a que ele estaria disposto a aceitar, sendo que se $b < x^*$, é preferível declinar a oferta. O intervalo entre o preço de reserva do vendedor e o do comprador é denominada de Zona de Possível Acordo – ZOPA (Raiffa, 2007). As propostas de ambas as partes estarão sempre nesse intervalo, sendo que o comprador procurará trazer suas propostas mais à esquerda e o vendedor fará o oposto.

Essa teoria consoa com um jogo específico dentro do âmbito da Teoria dos Jogos, chamada de jogo de localização na praia. A análise deste tipo específico prescreve que o único equilíbrio de Nash existente entre dois concorrentes que se localizam nas extremidades de uma determinada área e desejam absorver a maior parcela possível daquela área entre eles é o centro (Pindyck e Rubinfeld, 2011).



Fonte: Raiffa, 2007

Figura 3– ZOPA existente vs. ZOPA percebida

Não obstante, há casos em que ambas as partes exageram quando abrem seus preços de reserva. Neste caso, Raiffa (2007) observa que testes simulados comprovaram que em um terço dos casos as partes não chegaram a um acordo, mesmo quando havia uma ZOPA. A figura acima demonstra que o comprador, optou por exagerar seu preço de reserva b , divulgando b' . O vendedor optou pela mesma estratégia. Devido à distorção da realidade, o resultado é uma zona de possível negociação muito mais estreita, o que reduz de forma substancial a chance das partes chegarem a um acordo. Assim, entende-se que tentar dissimular o preço de reserva é uma estratégia ineficiente no processo negocial.