

## 5 Resultados

Este capítulo está dividido em quatro seções. A primeira apresenta as estatísticas descritivas extraídas a partir da análise da série dos PLDs resultantes das simulações efetuadas pelo modelo NEWAVE. Em seguida, os conceitos acerca da função utilidade são aplicados a fim de calcular o valor esperado, o equivalente certo e o prêmio de risco para ambas as partes envolvidas no *swap*, conforme metodologia apresentada no capítulo 4. Na terceira seção é elaborada uma discussão dos rumos que a negociação poderá tomar, presumindo a racionalidade dos agentes e simetria de informação, com o objetivo de estimar o valor final acordado do prêmio a ser pago.

### 5.1. Estatísticas Descritivas dos PLDs

A fim de contextualizar a operação de *swap* abordada neste estudo, esta seção apresentará as estatísticas descritivas das séries dos PLDs de 2015.

Esta seção dividir-se-á em três partes. Primeiramente serão apresentadas as estatísticas dos Submercado Nordeste, seguido das estatísticas do Submercado Sudeste/Centro-Oeste. A terceira parte as analisará conjuntamente, avaliando a exposição do mercado Nordeste em relação ao Submercado Sudeste.

#### 5.1.1. Submercado Nordeste

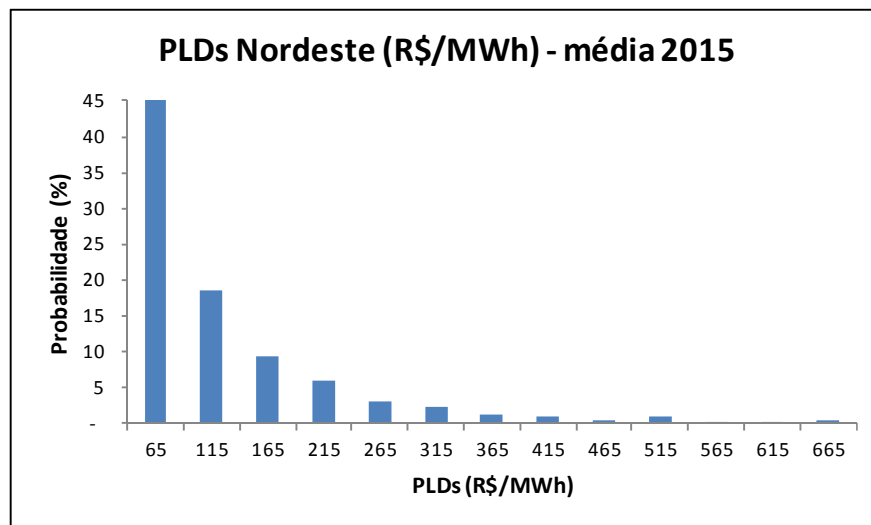
As medidas de tendência central e de dispersão relevantes da média dos PLDs do Submercado Nordeste para o ano 2015 encontram-se a seguir:

Tabela 4 – Estatísticas descritivas dos PLDs Submercado NE ano 2015

| <b>Submercado NE: Ano 2015</b> |        |
|--------------------------------|--------|
| Média                          | 91,73  |
| Mediana                        | 53,76  |
| Desvio padrão                  | 104,25 |
| Curtose                        | 6,91   |
| Assimetria                     | 2,42   |
| Mínimo                         | 12,20  |
| Máximo                         | 660,17 |

Fonte: NEWAVE e elaboração própria

Verifica-se que a média é superior à mediana, indicando uma assimetria à direita. O valor positivo da assimetria confirma esta constatação. A curtose é maior que zero, indicando uma distribuição leptocúrtica. O valor máximo encontrado para o PLD (melhor cenário possível para um vendedor de energia no Nordeste) é de R\$ 660,17. Em contrapartida, o valor mínimo (pior cenário para o vendedor de energia) é de R\$ 12,20.



Fonte: NEWAVE e elaboração própria

**Figura 8 - PLD Submercado NE ano 2015: probabilidades de ocorrência**

A maior concentração de cenários elaborados pelo NEWAVE encontra-se logo no primeiro bloco, dentro de uma faixa que vai de zero a 65 R\$/MWh. Daí em diante a probabilidade se reduz consideravelmente, criando uma cauda fina para a esquerda. Nota-se que quanto maior o valor, menor são as chances de ocorrência, chegando a zero.

### 5.1.2.

#### Submercado Sudeste/Centro-Oeste

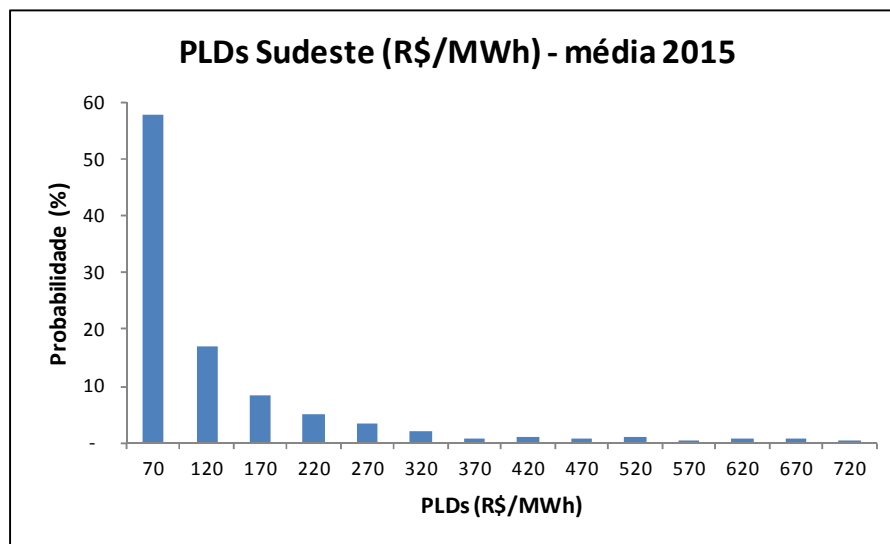
As medidas de tendência central e de dispersão relevantes da média dos PLDs do Submercado Nordeste para o ano 2015 encontram-se a seguir:

**Tabela 5 – Estatísticas descritivas dos PLDs Submercado SE/CO ano 2015**

| <i>Submercado SE/CO: Ano 2015</i> |        |
|-----------------------------------|--------|
| Média                             | 101,48 |
| Mediana                           | 55,59  |
| Desvio padrão                     | 125,57 |
| Curtose                           | 6,85   |
| Assimetria                        | 2,52   |
| Mínimo                            | 12,20  |
| Máximo                            | 716,22 |

*Fonte: NEWAVE e elaboração própria*

Verifica-se que a média é superior à mediana, indicando uma assimetria à direita. O valor positivo da assimetria confirma esta constatação. A curtose é maior que zero, indicando uma distribuição é leptocúrtica. O valor máximo encontrado para o PLD (pior cenário possível para um vendedor de energia no Nordeste que precisa comprar energia no Sudeste para cumprir obrigações contratuais) é de R\$ 716,22. Em contrapartida, o valor mínimo (melhor cenário para o vendedor de energia) é de R\$ 12,20.



*Fonte: NEWAVE e elaboração própria*

**Figura 9 - PLD Submercado SE/CO ano 2015: probabilidades de ocorrência**

Assim como constatado para a região Nordeste, a maior concentração de cenários elaborados pelo NEWAVE encontra-se logo no primeiro bloco, dentro de uma faixa que vai de zero a 70 R\$/MWh. Daí em diante a probabilidade se reduz consideravelmente, criando uma cauda fina para a esquerda.

### 5.1.3. Exposição NE versus SE/CO

Este item procura abordar a exposição que o gerador no Nordeste sofre quando o cliente se encontra no Sudeste. Será calculada a diferença dos dois PLDs para cada uma das duas mil séries, de forma que se subtraia o PLD NE série 1 do PLD SE/CO série 1 e assim por diante.

A avaliação desta exposição é importante porque assim é possível adquirir informações valiosas para a avaliação do risco, como o valor máximo que o gerador pode ganhar e perder, e a probabilidade de cada ocorrência. Os valores das diferenças foram truncados em duas casas decimais, a fim de considerar valores não superiores ou inferiores a um centavo como zero.

Assim sendo, as medidas de tendência central e de dispersão relevantes da média da exposição dos PLDs NE menos SE/CO para o ano 2015 encontram-se a seguir:

**Tabela 6 – Estatísticas descritivas dos PLDs Submercado NE vs. SE/CO ano 2015**

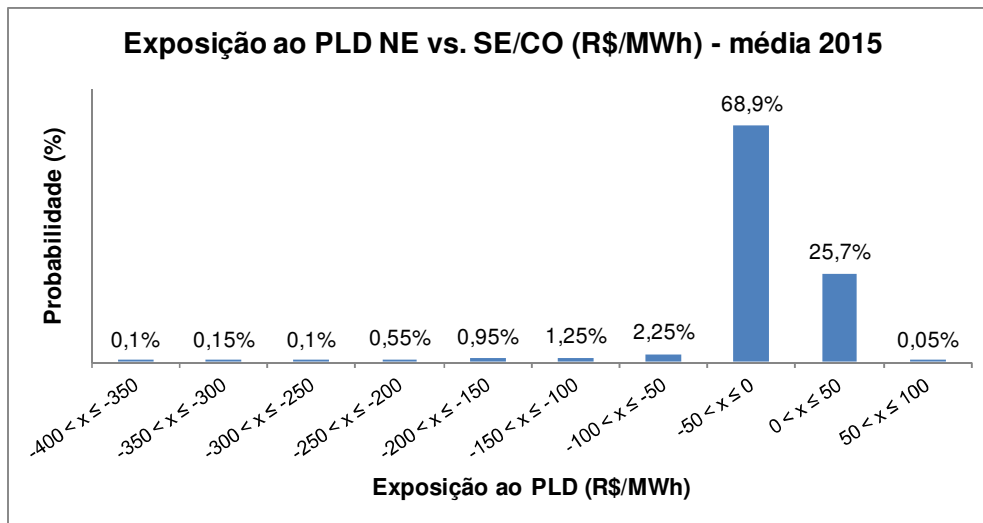
| Exposição NE vs SE/CO : Ano<br>2015 |          |
|-------------------------------------|----------|
| Média                               | (9,75)   |
| Mediana                             | (0,46)   |
| Desvio padrão                       | 34,94    |
| Curtose                             | 37,43    |
| Assimetria                          | (5,55)   |
| Mínimo                              | (389,35) |
| Máximo                              | 60,21    |

*Fonte: NEWAVE e elaboração própria*

Verifica-se que a média é inferior à mediana, indicando uma assimetria à esquerda. O valor negativo da assimetria confirma esta constatação. O valor da curtose é bastante superior a zero, o que indica que a distribuição é acentuadamente leptocúrtica. Isto indica que há uma maior concentração dos resultados numa região da curva de distribuição. O valor máximo, que equivale

ao valor mais positivo encontrado para a exposição do PLD (melhor cenário possível para um vendedor de energia no Nordeste) é de R\$ 60,21. Em contrapartida, o valor mínimo, ou seja, o valor mais negativo (pior cenário para o vendedor de energia) é de -R\$ 389,35.

O histograma abaixo detalha as características supracitadas:



Fonte: NEWAVE e elaboração própria

**Figura 10 - Exposição ao PLD Submercado NE vs. SE/CO – média 2015**

Avalia-se que há uma probabilidade de 68,9% do gerador no Nordeste perder entre menos de R\$ 50/MWh e não perder nem ganhar nada. Uma tabela com a contagem de cenários negativos, positivos e neutros (diferença igual a zero) foi elaborada a fim de ilustrar melhor a previsão:

**Tabela 7 – Cenários possíveis para o PLD 2015 NE vs. SE**

| Cenários Possíveis PLD NE - SE |          |         |
|--------------------------------|----------|---------|
|                                | Contagem | Prob(%) |
| Negativos                      | 1.354    | 68%     |
| Zero                           | 131      | 7%      |
| Positivos                      | 515      | 26%     |
| Total                          | 2.000    | 100%    |

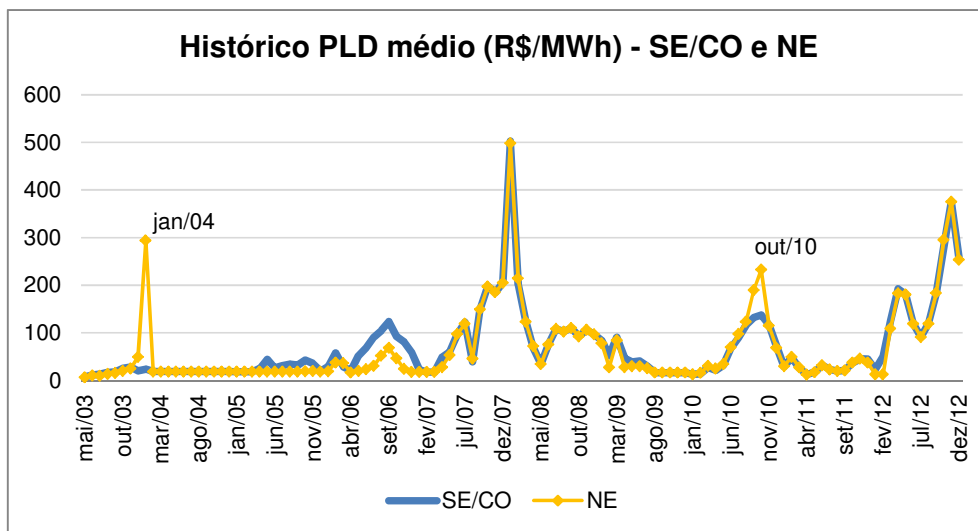
Fonte: NEWAVE e elaboração própria

É interessante observar que, dentre as duas mil séries produzidas pelo NEWAVE para 2015, apenas 26% dos cenários possíveis produzem um PLD maior no Nordeste. Por outro lado, o gerador do Nordeste teria 68% de chance

de se beneficiar de um *swap* com o Sudeste, enquanto que o gerador do Sudeste teria menos de 27%.

Assim, é possível constatar que, diante dos cenários elaborados pelo NEWAVE para 2015, é provável que, no ano em questão, o gerador no Nordeste se beneficiará mais de uma operação com *swaps*.

Não obstante, o *swap* é importante para o gerador no Sudeste, uma vez que o PLD possui um comportamento capaz de surpreender, fato este que pode ser conferido no gráfico abaixo:



Fonte: CCEE

**Figura 11 - Histórico PLD médio (R\$/MWh) – SE/CO e NE**

Os meses de janeiro de 2004 e outubro de 2010 apresentaram PLDs muito mais altos no Nordeste do que no Sudeste. As diferenças constatadas entre os Submercados nesses meses foram, respectivamente, de R\$ 270,41 e R\$ 94,70. Isto se deveu ao baixíssimo volume dos reservatórios que abastecem a região Nordeste.

Assim, observa-se que o *swap* é interessante para ambas as partes, embora, a princípio, seja mais atraente para o gerador no Nordeste fazê-lo para o ano de 2015.

## 5.2.

### Aplicação da Função Utilidade

Esta seção está organizada da seguinte forma: no primeiro item, a função utilidade que será aplicada é eleita, e sua escolha é justificada. Em seguida, equivalente certo e o valor esperado são calculados a partir dessa função utilidade. Uma análise de sensibilidade dos parâmetros  $a$  e  $b$  é feita, a fim de explicitar seu impacto nos valores do equivalente certo. O próximo item mostra o cálculo do prêmio de risco. Outra análise de sensibilidade é apresentada, desta vez avaliando o impacto dos parâmetros  $a$  e  $b$  no prêmio de risco. Fechando a seção, os cálculos elaborados nos três primeiros itens são replicados, desta vez sob a ótica de um gerador situado no Sudeste, que será a contraparte no *swap*.

#### 5.2.1.

##### Seleção da função utilidade

A primeira tarefa constitui em selecionar uma função utilidade que represente adequadamente o perfil do tomador de decisão. Este estudo foca um agente gerador de energia situado no Submercado Nordeste que possui um contrato de entrega de energia com um cliente no Sudeste. O agente gerador tem por objetivo anular o risco de Submercado inerente a esta transação, e, para tanto, busca fazer um *swap* de Submercado.

O perfil de risco é fundamental para determinar o formato que a curva deverá possuir. O termo *hedger* (Hull, 2012) é utilizado para tipificar este tipo de investidor, ou seja, possuidor de um perfil que utiliza o mercado de derivativos para reduzir o risco de oscilações de preços futuras que podem vir a prejudicar seus negócios. Compreende-se que um agente gerador que procura um *swap* para fazer um *hedge*, está procurando se proteger do risco, de forma que é natural inferir que ele seja avesso ao risco. Keeney e Raiffa (1993) determinam que um tomador de decisão é avesso ao risco se, e somente se, sua função utilidade for côncava. Assim, a concavidade é a primeira premissa no que diz respeito à função utilidade a ser escolhida.

Em seguida, é necessário determinar se a função é monótona. Visto que o benefício de se fazer o *swap* é medido através do lucro que se obterá com a troca de obrigações, entende-se que quanto mais, melhor. Assim, um lucro maior será sempre preferível a um lucro menor. Segundo Keeney e Raiffa (1993), quando a quantia monetária é tida como uma medida apropriada de avaliação de consequências possíveis, praticamente todos os tomadores de decisão

preferirão uma quantia maior a uma quantia menor, de forma que é perfeitamente razoável assumir que a função utilidade nestes casos seja monótona. Seguindo este raciocínio, determina-se que a função a ser escolhida deverá ser monótona. Ademais, a função deverá ser monótona crescente, pois quanto maior o lucro, maior deverá ser a utilidade.

Outra consideração a ser feita é se a função utilidade deverá ser constante ou decrescente. Conforme visto no referencial teórico, Keeney e Raiffa (1993) entendem que quanto maior o lucro, menor o prêmio de risco. Os autores justificam, alegando que quanto maior a riqueza de um tomador de decisão, maior é a sua capacidade financeira de arcar com um risco específico, e menor é a sua tendência a evitar a loteria. Destarte, julga-se adequado determinar que a função utilidade do caso em pauta deverá representar uma aversão a risco decrescente.

Até o momento definiu-se que a função utilidade deverá ser monótona, côncava, crescente e representar uma aversão decrescente ao risco. Há várias funções que atenderiam a este critério. Pratt (1964) destacou a aplicabilidade da eq. (12). Na medida em que  $x$  aumenta, a função se aproxima da assíntota  $x=0$ , perdendo o seu aspecto côncavo e vai se parecendo cada vez mais como uma linha horizontal, mas sem chegar a adquirir a característica linear em ponto algum. Isto é particularmente conveniente, uma vez que se busca representar utilidades crescentes que tendem a um ponto ótimo, mas sem jamais atingi-lo.

Porém, esta função carece de uma propriedade importante para a análise, que é a aversão decrescente ao risco. Keeney e Raiffa (1993) apresentam a eq. (13), função que segue a linha de raciocínio de Pratt (1964), mas que possui um segundo termo, introduzindo a característica adicional procurada.

A função, além de satisfazer os atributos desejados a fim de solucionar o caso em tela, possui dois parâmetros interessantes que favorecem a análise de sensibilidade no que diz respeito à aversão a risco (parâmetro  $a$ ) e a tendência à neutralidade a risco (parâmetro  $b$ ). Essas características serão exploradas de forma mais aprofundada na seção seguinte.

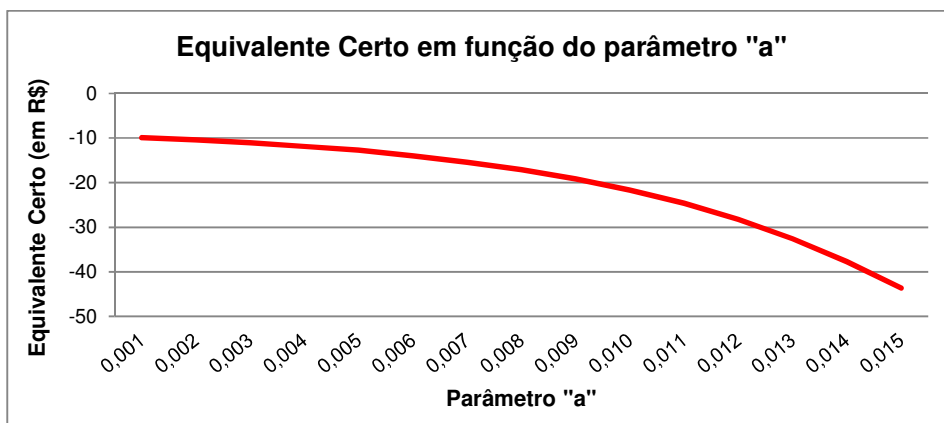
### **5.2.2. Cálculo e Valor Esperado do Equivalente Certo**

Conforme detalhado no capítulo 4, os valores do PLD foram aplicados à função eleita como de melhor representatividade do perfil de risco de ambas as partes.

O valor esperado foi calculado a partir da média aritmética da exposição ao PLD, gerando um resultado em -9,75. Entende-se que se o equivalente certo for inferior a este valor, o investidor é avesso ao risco.

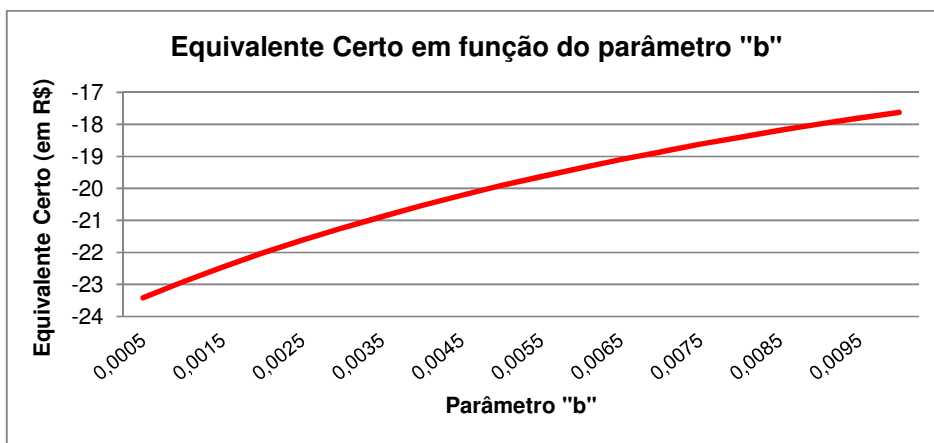
Assim, o próximo passo constituiu-se no cálculo do equivalente certo. Para tanto, a eq. (13) foi utilizada. A princípio, atribuiu-se aos parâmetros  $a$  e  $b$ , respectivamente, os valores 0,005 e 0,001.

Os gráficos a seguir demonstram a análise de sensibilidade desses parâmetros:



Fonte: elaboração própria

**Figura 12 - Análise de sensibilidade em função do parâmetro a**



Fonte: elaboração própria

**Figura 13 - Análise de sensibilidade em função do parâmetro b**

Observa-se que quanto maior o parâmetro  $a$ , maior é sua aversão ao risco, pois seu equivalente certo diminui. Por outro lado, quanto maior o parâmetro  $b$ , mais o investidor tende a ser neutro ao risco.

Como as séries no PLD possuem uma probabilidade igual de ocorrência, foi calculada a média aritmética dos valores obtidos através da aplicação da fórmula em cada uma das duas mil séries.

Desta forma, a partir da aplicação da eq. (13):

$$-e^{-ax} + bx = -1,083154 \dots \quad (18)$$

Utilizando a função atingir meta do Excel para resolver para  $x$  e arredondando em duas casas decimais, foi obtido o valor de -13,48. Segundo o exposto nas eqs. (7) e (8), este valor corresponde ao equivalente certo.

O investidor é avesso ao risco quando seu equivalente certo é inferior ao valor esperado da loteria, ou seja, ele paga para evitar o risco (Keeney e Raiffa, 1993). O item a seguir calcula o valor do desse prêmio.

### 5.2.3. Prêmio de Risco

Segundo Keeney e Raiffa (1993), o prêmio de risco é o valor esperado menos o equivalente certo. Aplicando a eq. (11), temos que:

$$RP(\tilde{x}) = -9,75 - (-13,48) \quad (19)$$

Desta forma, o prêmio de risco é igual a R\$ 3,73/MWh. Isto é dizer que o agente gerador no Nordeste estaria disposto a pagar este valor para evitar o risco inerente à exposição ao Submercado SE/CO. Observa-se também que o risco é positivo. Isso é importante ressaltar porque um tomador de decisão é avesso ao risco se, e somente se, seu prêmio de risco for positivo para uma loteria justa (Keeney e Raiffa, 1993).

### 5.2.4. Cálculos da Contraparte no Submercado Sudeste

Uma vez efetuados os cálculos para obtenção do equivalente certo e do prêmio de risco, é interessante fazer o mesmo para a sua contraparte no

Sudeste, a fim de produzir informações adicionais que permita explorar o rumo que a negociação entre essas partes tomara.

O primeiro passo foi ajustar a exposição ao PLD para o ponto de vista de um gerador na região Sudeste. Para tanto, bastou efetuar o seguinte cálculo para cada uma das duas mil séries:

$$\text{Exposição PLD} = \text{PLD}_{SE/CO} - \text{PLD}_{NE} \quad (20)$$

Um agente gerador situado na região Sudeste com um contrato de venda com um consumidor na região Nordeste deverá vender sua energia produzida no Submercado Sudeste/Centro-Oeste e comprá-la no Submercado Nordeste. Assim como sua contraparte do *swap* no Nordeste, ele estará exposto ao risco de Submercado.

Seguindo a mesma metodologia de cálculo descrita em 5.3.3 e 5.3.4, o valor esperado, o equivalente certo, e o prêmio de risco resultaram conforme demonstrado nas equações a seguir:

$$\bar{x} \equiv E(\tilde{x}) = \sum_{i=1}^n p_i x_i = 9,75 \quad (21)$$

$$u(\hat{x}) = E[u(\tilde{x})] = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) = -0,9536 \dots \therefore \hat{x} \approx 7,84 \quad (22)$$

$$RP(\tilde{x}) = \bar{x} - \hat{x} = 9,75 - 7,84 = 1,91 \quad (23)$$

É importante esclarecer que o fato de que seu equivalente certo é positivo não implica propensão ao risco. Ao contrário: o agente gerador no Sudeste é avesso ao risco, uma vez que seu prêmio de risco é positivo e que seu equivalente certo é inferior ao valor esperado.

### 5.3. Negociação entre os Agentes Geradores

Visto que as probabilidades de ocorrência de um PLD maior são muito superiores e presumindo perfis de risco idênticos entre as partes, entende-se que é maior o interesse do gerador situado no Nordeste em fazer o *swap*. Isso ficou evidenciado ao se comparar o equivalente certo das partes: -13,48 do gerador NE versus 7,84 do gerador SE.

Interpretam-se essas informações da seguinte maneira: o gerador no Nordeste está disposto a pagar R\$ 13,48/MWh para evitar a exposição às variações dos PLDs entre Submercados. Já o gerador no Sudeste apenas evitaria tal exposição se recebesse pelo menos R\$ 7,84/MWh. Isso é dizer que, enquanto o gerador no Nordeste paga para fazer um *swap*, o gerador no Sudeste somente aceitará fazê-lo se receber um prêmio de sua contraparte. Assim, para o gerador no Nordeste, a faixa de negociação do prêmio pago ao gerador no Sudeste ficará entre R\$ 7,84 e R\$ 13,48/MWh.

Tendo isso em vista, é próprio indagar até quanto o gerador situado na região Nordeste deve pagar de prêmio pelo *swap*. Caso o prêmio seja muito alto, o benefício de se anular a exposição ao risco de Submercado pode não justificar o preço pago por ele. Assim, faz-se necessário quantificar o valor máximo que um gerador no Nordeste deve estar disposto a pagar pelo *swap*, presumindo sua racionalidade econômica e levando-se em consideração a análise apresentada na seção anterior. Esta situação se caracteriza por um jogo em que as partes negociam o valor do prêmio, buscando para si uma contratação mais atraente.

Em primeiro lugar, é necessário relembrar alguns aspectos das partes envolvidas. Destaca-se que:

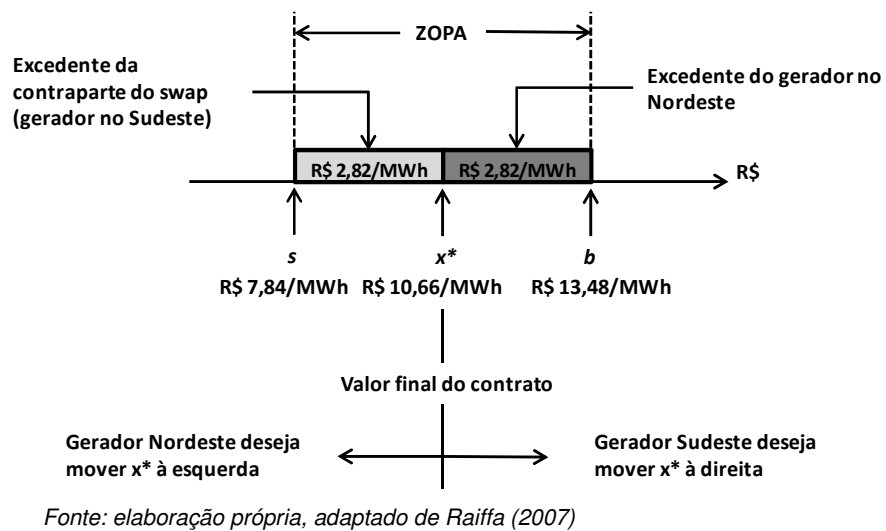
- Ambas as partes são avessas a risco, e procuram fazer um *swap* de Submercado para anular esta exposição.
- Ambos possuem o mesmo grau de aversão a risco, de forma que a mesma função utilidade foi aplicada para calcular o prêmio de risco de cada parte.
- O valor que cada agente gerador está disposto a pagar é o equivalente certo. No caso do agente gerador no Nordeste, a

importância de se fazer o *swap* o torna disposto a pagar R\$ 13,48/MWh para fazê-lo. Já no caso do agente gerador no Sudeste, o *swap* apenas é interessante se sua contraparte pagar pelo menos R\$ 7,84/MWh. Ao contrário, a exposição ao risco torna-se mais vantajosa, mesmo existindo aversão ao risco. Isso porque o valor esperado é positivo, enquanto o do gerador no Nordeste, negativo.

Algumas premissas são necessárias para determinar o tipo de negociação que ocorrerá. Em primeiro lugar, ambos os agentes são racionais e buscam a maximização do lucro. Desconsiderar-se-ão disputas por poder, questões pessoais, ou quaisquer outros fatores capazes de produzir um viés na negociação, uma vez que, embora façam parte da realidade cotidiana das empresas, fogem da proposta deste trabalho.

A segunda premissa a ser considerada é que ambas as partes conhecem o equivalente certo uma da outra, ou seja, há capacidade intelectual e simetria de informação mútua. É seguro presumir isso, uma vez que as informações acerca do PLD são amplamente divulgadas pela CCEE, e que os cálculos ora desenvolvidos para se chegar ao equivalente certo são de fácil compreensão, especialmente se for levado em conta o alto grau de instrução exigido de qualquer corpo técnico que se proponha a fazer um *swap* de Submercado.

No âmbito da teoria dos jogos, o jogo de localização na praia conclui 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). De forma análoga, ao se aplicar esse jogo à negociação em questão, podemos identificar os dois concorrentes como os geradores no Nordeste e no Sudeste. A área que eles disputam é a ZOPA. O gerador Nordeste encontra-se numa ponta, em que ele está disposto a pagar até R\$ 13,48/MWh para fazer o *swap*, mas, evidentemente, gostaria de pagar um prêmio menor, se possível. O gerador Sudeste encontra-se na ponta oposta da ZOPA, estando disposto a fazer o *swap* somente se receber, pelo menos, R\$ 7,84/MWh. Assim, dado que ambos agentes são racionais e visam unicamente maximizar o lucro dessa negociação, os sucessivos lances tenderão a convergir para o único equilíbrio de Nash existente neste tipo de negociação, que é o centro. A área que está sendo disputada é a faixa que vai de 7,84 a 13,48. O centro desta faixa ficaria em R\$ 10,66/MWh.



**Figura 14 - Zona de possível acordo entre as partes**

Desta forma, a estimativa sugere que o valor final da negociação do *swap* em questão ficaria acordado no pagamento, por parte do gerador no Nordeste, de R\$ 10,66/MWh para o gerador no Sudeste.