

## 4 LEILÕES DE OPÇÃO COMO MECANISMO PARA EXPANDIR A OFERTA

No capítulo anterior, foi visto que os contratos de energia são mecanismos de proteção contra a volatilidade do preço spot. Neste capítulo, discute-se a utilização de leilões de contratos de opção como mecanismo para garantir a expansão da oferta.

### 4.1 Garantindo a Segurança no Suprimento

No Brasil, o decreto 5.163 estabeleceu que 100% da demanda devem ser contratados através de leilões, o que significa que deve haver um contrato de energia para cada kWh consumido e que esta obrigação se aplica tanto para as distribuidoras quanto para os consumidores livres.

Adicionalmente, o “novo” modelo estabelece a adoção de leilões de contratos como mecanismo principal de contratação de nova capacidade. Estes contratos, apesar de serem instrumentos financeiros, têm que estar respaldados por garantias físicas. Esta garantia pode ser respaldada por geração própria ou por geração de uma terceira parte que, em contrapartida, deve estar respaldada por geração física.

Com estas novas premissas, o novo marco regulatório brasileiro induz a expansão do sistema através da necessidade de contratação. Em outras palavras, tendo em vista a obrigação de respaldo físico, a necessidade de assinar novos contratos para cobrir o crescimento da demanda passa a ser a peça chave para a entrada de nova capacidade no sistema. Além disso, os contratos providenciam uma receita estável de longo prazo para o gerador, o que é fundamental para o financiamento do projeto.

Conseqüentemente, com o sistema 100% contratado e com os contratos respaldados por garantias físicas, a confiabilidade do sistema está assegurada.

Desta maneira, um primeiro tópico a ser analisado é justamente como medir a energia que um gerador “garante” ao sistema. Isto é discutido a seguir.

#### **4.1.1 Respaldo de Contratos**

No Brasil cada gerador recebe um certificado de garantia física de energia (MWh/ano), que correspondente à sua capacidade de produção de energia em base sustentável [47]. Este certificado é também a quantidade máxima de energia que pode ser vendida em um contrato. No caso das térmicas, esta garantia física poderia ser calculada pela capacidade instalada descontada das taxas de parada por falhas e para manutenção (também conhecido como capacidade disponível). Entretanto, térmicas com diferentes custos operativos, por terem diferentes frequências de despacho, contribuem de maneira diferente para a confiabilidade do sistema.

Por exemplo, imagine que uma termelétrica  $T_1$  possua um custo baixo e, por conseguinte quase sempre é despacha. Agora imagine uma termelétrica  $T_2$  com a mesma capacidade que a  $T_1$ , porém com um custo variável elevado, o que faz com que ela só gere em períodos de preços *spot* altos. Embora as duas geradoras possuam a mesma capacidade de geração, a usina  $T_1$  acrescenta mais energia ao sistema que a usina  $T_2$  por estar operando durante um maior período. Conseqüentemente, além da disponibilidade<sup>8</sup> da usina, a garantia física de uma termelétrica depende do seu custo de operação e de sua inflexibilidade (geração mínima). A Figura 4-1 ilustra a relação entre o lastro e a geração mínima para uma preço de exercício de 100 R\$/MWh, e a relação entre o lastro e o preço de exercício para uma térmica totalmente flexível.

---

<sup>8</sup> O certificado de energia assegurada exige contrato de suprimento firme de combustível.

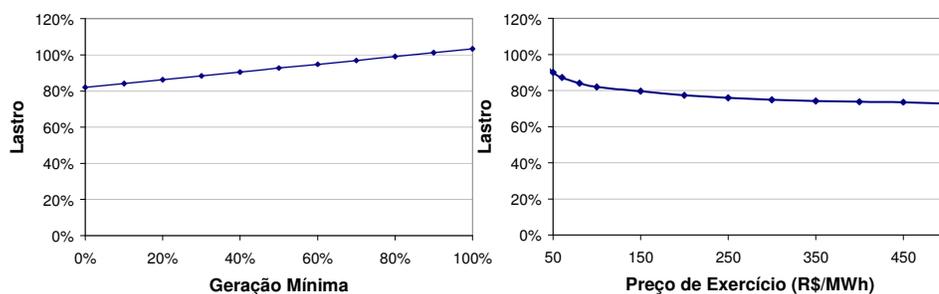


Figura 4-1 - Lastro x Geração Mínima e Lastro x Preço de Exercício

Sendo assim, o respaldo dos contratos é obtido em termos de energia assegurada, que é calculada através da ponderação da efetiva produção da usina<sup>9</sup> pelo valor econômico no tempo (correspondente ao custo marginal de operação mensal), operando inserida no sistema interligado brasileiro<sup>10</sup>. A metodologia para o seu cálculo foi definida pela Portaria MME n° 303, de 18/11/2004, de acordo com os critérios de confiabilidade de suprimento do país, o qual considera uma probabilidade de déficit de energia por ano de no máximo 5%. Em outras palavras, a energia assegurada de um gerador é a parcela de energia que este fornece a um sistema que atende a totalidade da demanda com 95% de confiabilidade.

Finalmente, ao exigir que toda a demanda esteja contratada, ou seja, que exista energia assegurada para todos os consumidores, criou-se um mecanismo pelo qual se garante o atendimento do sistema com 95% de confiabilidade.

#### 4.1.2 Leilões de Contratos a Termo e Contratos de Opção

A modalidade de contratação mais utilizada no setor elétrico no Brasil e no mundo é o contrato a termo, ou “forward”. Neste tipo de contrato, o vendedor se responsabiliza pelos riscos de mercado associados à venda de energia. O leilão de contratos a termo de longo prazo tem sido bastante utilizado no Brasil como

<sup>9</sup> No caso das hidroelétricas, a energia assegurada é proporcional a energia firme [16] da usina - máxima energia gerada durante o período crítico. No Brasil o período crítico considerado é o de 1951 a 1956.

<sup>10</sup> O certificado de energia assegurada de uma usina também pode ser interpretado como o montante de contrato que leva à igualdade entre o valor monetário das diferenças compradas e vendidas pela usina no mercado de curto prazo [47]

mecanismo de gerenciamento de risco de mercado entre os agentes e foi analisado em detalhes em [51].

Como será visto a seguir, os leilões de contratos de opção foram introduzidos mais recentemente no Setor Elétrico e foram a principal novidade em termos de “modelo de contratação” no “novo modelo” do Setor Elétrico Brasileiro. Desta forma, este tipo de contrato forma o tema central desta dissertação e será analisado nas próximas seções.

## **4.2 Leilões de Opção de Energia Elétrica: visão geral**

Os leilões de opções de energia elétrica como mecanismos de expansão da oferta foram recentemente propostos e têm sido amplamente discutidos na literatura [39][40][41][57], motivados, como visto no Capítulo 3, pela possibilidade de transferência do benefício da compra de energia “barata” para o consumidor.

Como visto anteriormente, em um contrato de opção devem ser definidos o preço de exercício, o prêmio de risco e o montante contratado. Estes autores defendem a realização de leilões onde o preço de exercício é fixado pelo regulador e são ofertados apenas o prêmio e a quantidade a ser contratada. Outros propõem leilões onde os três parâmetros são ofertados. Estes dois tipos de leilões serão discutidos a seguir.

### **4.2.1 Leilões com oferta de prêmio e quantidade**

Arriaga [57] propõe que a demanda das distribuidoras deva estar contratada através de leilões de opções com garantia física, onde o preço de exercício é fixado, visando que as ofertas sejam unicamente no binômio preço-quantidade. O autor argumenta que se os geradores também pudessem ofertar o preço de exercício, as ofertas seriam difíceis de ser comparadas.

Neste mecanismo o preço de exercício deveria ser regulado pelas autoridades competentes, que definiriam um valor único visando padronizar os contratos oferecidos no leilão. O cálculo deste parâmetro é discutido em [57][41]

### 4.2.2 Comparação das ofertas em leilões com ofertas de prêmio e quantidade

Em um leilão com *strike* fixo, cada agente oferece apenas a quantidade a ser contratada e o preço. Neste caso, a comparação entre as ofertas é simples e imediata: as ofertas são ordenadas a partir do menor preço e aceitas até que o montante total ofertado seja igual à quantidade requerida. A Figura 4-2 exemplifica o resultado de um leilão prêmio-quantidade cuja demanda é de 230 MW médios. Verifica-se que os geradores que ofertaram a cima de 112 R\$/MWh não tiveram suas energias contratadas.

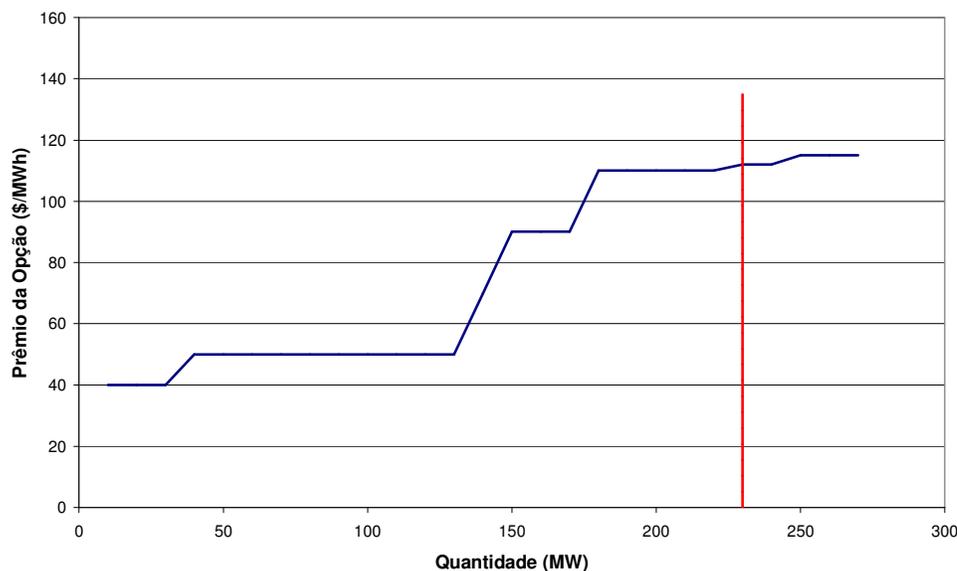


Figura 4-2 – Comparação entre ofertas nos leilões prêmio-quantidade

O preço do gerador marginal (112 \$/MWh) seria um *proxy* para o preço da confiabilidade do sistema, que é o prêmio a ser pago para todos os geradores aceitos.

### 4.2.3 Estratégia de oferta (prêmio de Risco) em Leilões com Strike Fixo

Similarmente aos contratos a termo, um aspecto importante em contratos de opção consiste na sua precificação. No caso particular de leilões de opção com *strike* fixo, a precificação do prêmio de risco dos contratos de opção de venda, normalmente é feita através da receita que o gerador renuncia ao assinar estes

contratos. Como a geradora que assina este contrato limita a sua receita no *spot* ao preço de exercício, este custo de oportunidade pode ser calculado pelo valor esperado da diferença entre o preço *spot* e o *strike* (ou “payoff” [61] da opção), durante o período de exercício da opção[36][22], matematicamente:

$$P = E \left[ \int_{p>s} (p - s) dt \right] + \left( I - E \left[ \int_{p<s} p dt \right] \right) \quad (4-1)$$

Onde  $p$  é o preço *spot*,  $s$  é o *strike* e  $I$  é o custo (fixo) de implantação e investimento. O segundo termo da expressão só é adicionado pelos novos empreendimentos, onde o valor esperado do *spot* por si só não remunera os custos de implantação e investimento.

#### 4.2.4 Leilões com oferta de *strike*, prêmio e quantidade

Uma possibilidade alternativa para o desenho de leilões de contratos de opções consiste em permitir aos participantes ofertar, adicionalmente ao prêmio e quantidade, o preço de exercício da opção. Este foi o desenho escolhido e implementado no leilão (pioneiro) ocorrido no Brasil em Dezembro de 2005 e é o foco principal desta dissertação.

Embora este tipo de leilão ofereça muita flexibilidade aos ofertantes, existe uma importante dificuldade para comparar as diversas ofertas dos agentes. Isto ocorre porque o valor do *strike* está intrinsicamente relacionado à volatilidade do retorno do contrato. Quanto maior o valor do *strike* menor a probabilidade de se exercer a opção, tornando distribuidora e o gerador mais sujeitos à volatilidade do *spot*.

Suponha por exemplo que no instante  $t$  o gerador  $T_1$  queira vender uma opção de compra para a distribuidora  $D_1$  com vencimento em  $t + 1$ , e que neste instante os preços *spot* estejam sujeitos à distribuição da Figura 2-13. Suponha também que esta usina é existente. Sendo assim, pela expressão (4-1), o prêmio de risco de um gerador neutro com relação a risco seria equivalente ao valor esperado da diferença entre o preço *spot* e o preço de exercício (ou “payoff” da opção). A Tabela 4-1 mostra como seria o prêmio de risco e a volatilidade do

pagamento da distribuidora<sup>11</sup> para opções com três diferentes preços de exercício: zero (representando um contrato a termo), 40 R\$/MWh e 200 R\$/MWh.

Strike (R\$/MWh)	Prêmio (R\$/MWh)	Volatilidade <sup>12</sup> (R\$/MWh)
0	95	0
40	85	13
200	64	27

Tabela 4-1 – Características das opções

Por construção, para os três tipos de contratos o valor esperado do pagamento da distribuidora é igual ao valor esperado do preço *spot* (95 R\$/MWh). Entretanto, quanto maior o preço de exercício maior a volatilidade do pagamento da distribuidora, pois ele está mais vulnerável às oscilações do preço no curto prazo. Dado que este tipo de leilão é importante conceitualmente na expansão da oferta de energia no Brasil, surge então a seguinte questão: como comparar contratos com diferentes strikes?

#### **4.2.5 Comparação das ofertas no caso do Brasil: o Índice Custo Benefício**

No modelo brasileiro, diferente da abordagem sugerida por Oren [38] e por Arriaga [57], o *strike* da opção é utilizado como custo declarado para fins de operação do sistema<sup>13</sup>. A distribuidora que assina este contrato tem como custo adicional, além do prêmio da opção, as despesas referentes à operação da usina e às transações no mercado de curto prazo.

Desta forma, o critério utilizado para a comparação das diferentes ofertas de *strike* e prêmio dos geradores foi a definição de um Índice Custo Benefício (ICB) (R\$/MWh), que é definido como a razão entre o custo global da usina (\$) e o seu benefício energético (MWh) adicionado ao sistema. Em outras palavras, ele

<sup>11</sup> Por simplificação, considerou-se  $T_1$  com custo de operação nulo.

<sup>12</sup> Desvio padrão da receita do gerador no mercado *spot*

<sup>13</sup> No caso de Oren e Arriaga, o *strike* da opção não precisa estar “conectado” à operação física do sistema.

representa o “custo” daquela opção de contratação sob a ótica do consumidor final.

Segue a expressão para o seu cálculo:

$$ICB_k = \frac{P_k + E_{co}(g_k, s_k) + E_{ce}(g_k, s_k)}{EA(g_k, s_k)} \quad (4-2)$$

onde:

$ICB_k$	Índice Custo Benefício do participante $k$ (\$/MWh)
$EA$	Energia Assegurada do participante $k$ (MWh)
$P_k$	Prêmio de risco do participante $k$ (\$)
$s_k$	Strike do participante $k$ (\$/MWh)
$\underline{g}_k$	Geração mínima do participante $k$ (MWh)
$E_{co}$	Valor esperado do custo operativo (\$)
$E_{ce}$	Valor esperado do custo econômico de curto prazo (\$)

No denominador da expressão (4-2) encontra-se o benefício energético da usina termelétrica, que corresponde legalmente à sua Garantia Física ou Energia Assegurada (EA), Conforme visto na seção 4.1.1, esta parcela é uma função do custo operativo e da inflexibilidade da usina.

O numerador da expressão (4-2) corresponde ao custo global do empreendimento, que é composto por: prêmio da opção (oferta do agente), valor esperado do custo de operação da usina (calculado pelo Governo mas dependente da oferta do agente de custo variável) e valor esperado do custo econômico das transações no curto prazo (calculado pelo Governo mas dependente da oferta do agente de custo variável). Estas duas últimas parcelas indicam os custos esperados “sob o ponto de vista do comprador” a serem incorridos com o reembolso do custo operativo da térmica e com as compras e vendas no mercado de curto prazo. Em outras palavras, o ICB procura fornecer o real custo daquela energia sob a ótica do consumidor final, fornecendo um “proxy” do dispêndio financeiro do consumidor naquela opção de contratação.

Nota-se que, assim como a energia assegurada, o  $E_{co}$  e o  $E_{ce}$  são funções da inflexibilidade e do *strike* da usina. O cálculo destas duas parcelas é feito a partir das seguintes expressões:

$$E_{co}(\underline{g}, s) = \frac{1}{T} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^N (g_{ij} - \underline{g}) \cdot s \quad (4-3)$$

$$E_{ce}(\underline{g}, s) = \frac{1}{T} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^N \pi_{dij} \cdot EA(\underline{g}, s) - \frac{1}{T} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^N \pi_{dij} \cdot g_{ij} \quad (4-4)$$

Onde,

$$g_{ij} = \begin{cases} \bar{g} \Rightarrow \pi_{dij} \geq s \\ \underline{g} \Rightarrow \pi_{dij} < s \end{cases}$$

$EA$	Energia Assegurada ( $MWh$ )
$\pi_{dij}$	Preço <i>spot</i> na etapa $i$ e série hidrológica $j$ ( $\$/MWh$ )
$g_{ij}$	Geração da usina na etapa $i$ e série hidrológica $j$ ( $MWh$ )
$s_i$	<i>Strike</i> da usina ( $\$/MWh$ )
$\underline{g}$	Geração mínima da usina ( $MWh$ )
$T$	Número de etapas
$N$	Número de séries hidrológicas

Analisando a expressão (4-3) percebe-se que o aumento do *strike*  $s$ , apesar de elevar o produto  $(g_{ij} - \underline{g}) \cdot s$ , pode diminuir o  $E_{co}$  devido ao despacho em menos séries da usina. Já o aumento da geração mínima sempre implica na diminuição do  $E_{co}$ , tendo em vista que a distribuidora só paga pela diferença entre a geração efetiva e a geração mínima. Nesta dissertação analisaremos somente o impacto do *strike* no ICB e, portanto, consideraremos que a geração mínima da usina é nula. O Figura 4-3 mostra uma curva típica de valor esperado de custo operativo em função do *strike* para uma térmica totalmente flexível.

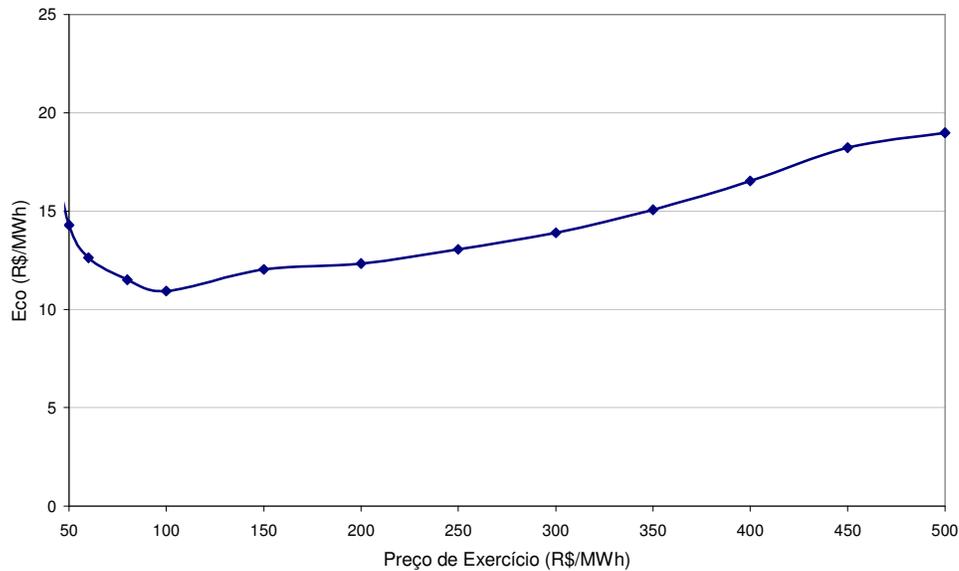


Figura 4-3 – Valor esperado do custo operativo x preço de exercício

As parcelas  $EA$ ,  $E_{co}$  e  $E_{ce}$  são calculadas antes do leilão pelo Governo (MME), mediante a declaração do *strike* e inflexibilidade dos agentes. Com isso, a oferta dos geradores no leilão se reduzem ao prêmio  $P$  (R\$/ano) e à quantidade (MWh/ano), que podem ser facilmente comparadas segunda a metodologia descrita na seção 4.2.2.

#### 4.2.6 Propriedades do ICB

A expressão (4-2) possui duas importantes propriedades.

*Propriedade 1:*

O ICB não varia com o preço de exercício nem com a inflexibilidade da usina quando se oferta como prêmio de risco o valor esperado da receita líquida no mercado de curto prazo, ou seja,  $P = E[\pi_d \cdot g] - E[s \cdot g]$ .

*Demonstração 1:*

Substituindo-se as expressões (4-3) e (4-4) em (4-2) obtém-se:

$$ICB = \frac{P}{EA} + \frac{E[s \cdot g] + E[\pi_d EA] - E[\pi_d g]}{EA} \quad (4-5)$$

Substituindo-se o prêmio de risco obtém-se:

$$ICB = \frac{E[\pi_d g] - E[s \cdot g]}{EA} + \frac{E[s \cdot g] + E[\pi_d EA] - E[\pi_d g]}{EA} \quad (4-6)$$

Como a EA não é variável aleatória, rearranjando os termos temos:

$$ICB = \frac{E[\pi_d EA]}{EA} = \frac{EA \cdot E[\pi_d]}{EA} = E[\pi_d] \quad (4-7)$$

Esta propriedade significa que, uma térmica que em valor esperado está indiferente em se contratar ou não, representa um custo para o consumidor igual ao valor esperado do preço *spot*. Em outras palavras, em valor esperado, seria indiferente para o consumidor contratar esta térmica ou comprar energia no mercado de curto prazo.

*Propriedade 2:*

*A razão entre o valor esperado do custo econômico e a energia assegurada não varia com o preço de exercício.*

*Demonstração 2:*

Por simplificação esta demonstração será feita apenas para uma etapa. Segue a expressão desta razão:

$$\frac{\sum_N \pi_{dj} \cdot EA - \sum_N \pi_{dj} \cdot g_j}{EA} = \sum_N \pi_{dj} - \frac{\sum_N \pi_{dj} \cdot g_j}{EA} \quad (4-8)$$

Substituindo-se a expressão da EA obtém-se:

$$\sum_N \pi_{dj} - \frac{\sum_N \pi_{dj} \cdot g_j}{\sum_N \pi_{dj} \cdot g_j} = \sum_N \pi_{dj} - \sum_N \pi_{dj} \cdot (1 - \varphi_j) = \sum_N \pi_{dj} \cdot \varphi_j \quad (4-9)$$

$$\frac{\sum_N \pi_{dj} \cdot (1 - \varphi_j)}{\sum_N \pi_{dj} \cdot g_j}$$

Onde:

$\varphi_j$  Déficit de energia na série  $j$  (% da demanda)

Como a expressão (4-9) não depende da geração da térmica, por indução, também não depende do preço de exercício.

#### **4.2.7 Estratégia de ofertas em leilões de opções com oferta de prêmio, strike e quantidade**

Como visto anteriormente, nesta modalidade de leilão o gerador oferta tanto o prêmio de risco como o strike da opção. O prêmio de risco é a receita fixa que o gerador recebe durante a vigência do contrato e deve ser suficiente para cobrir os custos fixos do projeto e deve remunerar os custos de investimento do empreendedor. Um critério amplamente utilizado para tal é a taxa interna de retorno (TIR), ou seja, dado os custos supramencionados, calcula-se a receita fixa tal que a TIR do projeto seja, por exemplo, 15%.

Como os geradores têm a flexibilidade de ofertar além do prêmio da opção o *strike*, o qual não precisa necessariamente ser o custo “real” de operação da usina, pode haver um descompasso entre o custo de operação (preço de exercício) declarado no leilão para o cálculo das parcelas que compõe o ICB e custo de operação “real” da usina. Adicionalmente, caso haja restrições de fornecimento de combustível, o custo do combustível substituto pode ser superior ao custo declarado como *strike* e haver um prejuízo. Desta forma, todos estes aspectos precisam ser considerados na elaboração da estratégia de oferta, que deve ter com objetivo final determinar o binômio strike e prêmio que maximize a competitividade do projeto no leilão e que minimize os riscos.

O próximo capítulo introduz a metodologia para a definição desta estratégia de oferta.