

3

Precificação

3.1

Métodos de Precificação

Há três razões principais pelas quais o mercado precisa precificar os contratos de derivativos climáticos. O primeiro é para pôr preço: determinar um *strike* para um *swap* ou um prêmio apropriado para a opção antes da negociação. O segundo é que, uma vez que os contratos foram negociados, é importante saber o valor corrente destes e como estes vão evoluir. A razão final é que reguladores externos e internos sempre necessitam monitorar o risco que uma organização está enfrentando em determinado momento. Como destaca Jewson, 2005, o clima é altamente desconectado com o mercado financeiro, conseqüentemente, a performance do derivativo de clima não é influenciada por este.

Um obstáculo que ainda existe neste segmento é a falta de um modelo de precificação amplamente aceito no mercado, acarretando certa dificuldade na introdução e popularização dos derivativos de clima nas negociações. Segundo Dischel, 1998b, o modelo de Black-Scholes, padrão para a transação de derivativos de *commodities* e ações, não é adequado para os derivativos de clima, simplesmente porque este modelo pressupõe a existência de um mercado líquido nos contratos, ou seja, a existência de um ativo objeto negociável. Em outras palavras deriva o preço do derivativo do preço de uma “mercadoria” existente. Este pré-requisito obviamente não é cumprido no caso dos derivativos de clima. A precificação destes requer um banco de dados histórico de uma variável relacionada ao clima, como a temperatura e a aplicação de métodos estatísticos para ajustar a função de distribuição aos dados.

O preço de um derivativo de clima não contém apenas o componente do “valor justo” relacionado aos índices utilizados para a sua mensuração, inclui também um prêmio para compensar a outra parte dos riscos incorridos nessa troca. Qualquer preço diferente entre o preço justo e o preço de mercado reflete o prêmio do risco demandado pelos participantes do mercado para assumir o risco do contrato.

Muitos derivativos climáticos são negociados bem antes do início do contrato e, conjuntamente, há bastantes previsões que podem indicar qual será provavelmente o clima durante o período do contrato. Neste caso apenas observações históricas dos dados são levadas em consideração. No entanto, para definir os valores dos contratos, várias decisões devem ser tomadas, como o número de anos de dados históricos a serem usados, quais tendências remover, quando extrapolar as tendências e qual modelo estatístico para ajuste dos dados.

É bem comum que os derivativos sejam precificados imediatamente antes ou durante o período do contrato. Como expõe Jewson e Caballero, 2003, há duas razões principais para isso, primeiro que os derivativos climáticos são comercializados nessa oportunidade por razões econômicas de *hedge* ou por pura especulação. A segunda é que as companhias que compram derivativos sempre necessitam ajustar o valor do derivativo durante o período em progresso.

Todos os derivativos de clima são cotados com base no *strike* do índice. Este capítulo descreve de forma sucinta os métodos usados pela indústria para estabelecer a expectativa do índice estabelecido. Destaca-se que o *strike* é calculado com base nos dados históricos, na probabilidade de eventos meteorológicos futuros e nas forças de demanda e oferta do mercado.

3.1.1

Tipos de precificação

Alguns agentes do mercado incorporaram elementos da perspectiva atuarial para precificar os derivativos climáticos, como a determinação da média da temperatura ou de um índice, a determinação da volatilidade dos parâmetros e a determinação do prêmio de risco. O que eles fazem basicamente é modelar o clima, especialmente a temperatura. Devido à temperatura seguir um processo de reversão temporal a média, o que acontecerá no futuro pode ser a média do que aconteceu no passado, ou pelo menos, os dados passados podem ser um excelente previsor do clima futuro para esses períodos de tempo, como explica Garcia e Sturzenegger, 2001

O método o mais simples para fixar o preço das opções de clima é o método de *burning cost*. A análise *burn* é baseada na simples idéia de avaliar a performance do contrato nos anos anteriores. É um bom primeiro passo na

precificação de quase todos os contratos. De acordo com este, o retorno histórico da transação para o ano é determinado para um período específico. No caso de um *swap* o *fair strike* é definido como o *strike* que gera o *pay-off* esperado de zero. A média mais um múltiplo do desvio padrão, historicamente determinado dos retornos, é usado para calcular o prêmio. Entretanto, este método falha ao não dar a devida consideração para as tendências dinâmicas do clima.

A principal vantagem da análise *burn* é ser simples e baseada em poucas pressuposições. A desvantagem é que não temos idéia das probabilidades dos eventos mais extremos do que aqueles que ocorreram durante o período histórico de dados que foi considerado, logo estimar a função de densidade cumulativa é um pouco irreal, salienta Jewson *et al*, 2005. Percebe-se então que a análise *burn* não é o método mais eficaz para estimar o *pay-off* e a distribuição deste. Isso se reflete numa insignificância na precificação e sobre os ganhos e perdas nos contratos de clima, mesmo em períodos longos de dados.

Outra abordagem é a precificação pela modelagem do índice, nesta podemos a princípio usar a modelagem estatística para qualquer estágio do processo de derivativo climático. Modelar a distribuição do índice pode parecer simples; no entanto, para obter um bom resultado, devemos saber a distribuição que se ajusta aos valores históricos dos índices, e assim, estimar os parâmetros da distribuição com um alto grau de precisão. No entanto temos poucos dados para estimar os parâmetros desta distribuição. Como resultado há um grande perigo de ajustarmos uma distribuição que não seja parecida com a não conhecida distribuição real.

Após estimada a distribuição, procede-se com a combinação com a estrutura do *pay-off* para calcular a distribuição dos rendimentos financeiros do contrato e as estatísticas como o valor esperado e o desvio padrão do *pay-off*, além da probabilidade deste alcançar o *strike* e o limite. Dada a distribuição do índice, é possível derivar uma expressão matemática para a distribuição do *pay-off* de todos os tipos de contrato.

3.1.2

Precificação usando modelagem diária

Enquanto muitos estudos têm previsto a média diária da temperatura (DAT, daily average temperature) da qual o índice é derivado, alguns pesquisadores têm investigado a possibilidade de prever diretamente os índices de CDD e HDD acumulados, como explica Davis, 2001. Conceitualmente, ambos os métodos devem gerar resultados semelhantes, pois são originados dos mesmos dados. No entanto a previsão direta do índice necessita de uma base longa de dados para aumentar o poder da previsão, dos testes estatísticos, e verificar possíveis tendências da temperatura.

O uso de temperaturas diárias para a precificação dos derivativos climáticos possuem várias vantagens e desvantagens com relação a usar modelos de contratos estabelecidos em índices.

As vantagens potenciais incluem:

- Uso mais completo do histórico de dados disponíveis;
- Representação mais precisa da distribuição do índice;
- Extrapolação mais precisa de extremos;
- Estimativas mais precisas da precificação durante o contrato;
- Uso consistente de um modelo para todos os contratos de uma localidade;
- Fácil incorporação de previsões meteorológicas no algoritmo de precificação.

A maior desvantagem de se usar modelos de temperatura diária é a complexidade adicionada. Pois os modelos diários são significativamente mais complexos do que os modelos baseados em índices.

Os modelos diários normalmente apresentam maior precisão do que os modelos de *burn* e de índice, como salienta Jewson *et al*, 2005. A questão é quão perto a precisão atual está da real. A atual pode ser medida pelo ajuste do modelo a sua saída. Já a precisão real pode ser parte acessada usando um processo de validação, mas só será totalmente mensurada usando um teste fora da amostra nos dados reais, o que é bem difícil pela presença de tendências.

O modelo diário captura a distribuição da variável climática diária sendo menos restrito, como resultado é possível chegar mais perto da distribuição real do índice. Estes permitem uma melhor representação das correlações entre

temperaturas passadas e futuras do que os modelos por índice, e podem potencialmente aumentar a precisão dos modelos durante o contrato. Uma vez que um bom modelo diário foi conseguido para uma região em particular, este pode ser utilizado para todos os contratos dessa locação, independente do tipo de índice ou da duração.

3.2

Índices de Temperatura

Na escolha do índice do ativo objeto para um contrato de clima devemos primeiramente responder as seguintes perguntas. Qual a medida do clima deve ser usada? Qual operação deve ser utilizada no índice? Qual a periodicidade do índice? As respostas para estas questões dependem da natureza da exposição climática de cada setor ou companhia.

Pode-se dizer que o melhor índice de clima é aquele que replica a exposição ao risco que se deseja assegurar. Uma vez que o índice foi escolhido, um termo de operação necessita ser introduzido para agregar a exposição climática no período de interesse, pois há diversas maneiras de medir o clima num espaço de tempo. A maioria dos contratos negociados atualmente são relacionados com base na temperatura. A razão disso está em dois pontos: a abundância de dados históricos e a demanda inicial que vieram dos usuários finais com exposição a temperatura.

O fato de que os dados do tempo são completamente independentes dos bens ou dos mercados financeiros, distingue este dos outros derivativos financeiros. Tipicamente, um índice é criado com base nos dados e cotado no mercado de ações, tendo a função de descrever continuamente os dados sobre um período de tempo. As variáveis do clima podem quantificar objetivamente, mas não podem ser negociadas ou armazenadas. No entanto o contrato entre o vendedor do risco (por exemplo uma companhia de energia que enfrenta um risco climático) e do comprador (como um banco) está sempre estabelecido em unidades monetárias.

Os derivativos de clima são estruturados no mercado financeiro como *swaps*, *puts(floors)*, *calls(caps)* e *collars* baseados em índices climáticos. Os índices de referência mais utilizados são os relacionados com a temperatura, como

os *Heating Degres Days* (HDD) e os *Cooling Degres Days* (CDD), pois estes estão diretamente relacionados com vendas e lucros das companhias de energia.

3.2.1

Índices de Grau Dia

Os índices de graus dia (DD) são originários do setor de energia, e foram desenvolvidos para uma boa correlação da demanda com a necessidade de aquecimento e refrigeração.

No inverno, os HDD são usados para medir a demanda por aquecimento, sendo também uma medida de quão frio está o clima. A definição utilizada no mercado de clima é que o número de HDD z_i num dia i é definido como:

$$\begin{aligned} z_i &= \max(T_0 - T_i, 0) \\ &= (T_0 - T_i, 0)^+ \end{aligned}$$

Onde T_i é a média da temperatura no dia i e T_0 é a temperatura de base, que será explicada mais adiante.

O índice HDD x que reflete um período de dias N_d , é normalmente definido como a soma dos HDD de todos os dias desse período.

$$x = \sum_{i=1}^{N_d} z_i$$

Os CDDs são usados no verão para medir a demanda de energia para refrigeração, é uma medida de quão quente o clima está. Embora o aquecimento possa ser feito por outras fontes energéticas além de energia elétrica, como óleo e gás, a refrigeração é quase invariavelmente feita por energia elétrica. Por isso os CDD são mais relevantes para o setor.

O número de CDD z_i num dia particular é definido como:

$$\begin{aligned} z_i &= \max(T_i - T_0, 0) \\ &= (T_i - T_0, 0)^+ \end{aligned}$$

Assim como para os HDDs, o índice para o período é definido como a soma dos CDDs para todos os dias do período:

$$x = \sum_{i=1}^{N_d} z_i$$

Deve-se notar que nunca os CDD, nem os HDD, serão negativos.

O índice climático comumente transacionado na CME para os verões dos Estados Unidos e da Europa é o CDD cumulativo mensal ou trimestral, que demonstra se a estação foi mais quente ou mais frio que o normal. Índice este que será utilizado para o estudo do caso brasileiro, devido a pequena frequência de temperaturas baixas na região analisada e a forte influência do consumo para arrefecimento na demanda de energia no verão.

Nos Estados unidos onde a temperatura é medida em Fahrenheit, a temperatura de base é normalmente tomada como 65°F (18,33°C), enquanto que em outros países, onde a temperatura é medida em Celcius, a temperatura base utilizada é 18°C (64,4°F). Atualmente esta temperatura é utilizada como referência devido partir-se do pressuposto que a cada grau de temperatura abaixo de 18°C os consumidores vão usar mais energia para aquecer suas casas, e para cada grau acima deste nível, a população vai consumir mais energia para refrigerar suas residências. Entretanto, mesmo 18°C sendo o padrão no mercado, existem diferentes sensibilidades regionais em relação a temperatura, por exemplo, um residente de Salvador-BA pode ver 18°C como perto do ponto de aquecimento, enquanto que um cidadão de Porto Alegre pode considerar a temperatura agradável.

Há controvérsias na utilização de 18°C para todas as localidades, no entanto, por se tratar de apenas um nível que será subtraído das médias diárias, a modificação desta temperatura não afetará os modelos de previsão. A definição de uma temperatura de base para cada região é válida, entretanto a utilização de temperaturas diferentes de 18°C nos contratos está fora dos padrões do mercado financeiro.

3.3

Contratos

Os derivativos de clima nada mais são do que contratos financeiros, que oferecem uma compensação se um evento climático não ocorrer de maneira favorável aos negócios da empresa. São uma alternativa simples e econômica em relação às apólices de seguro, pois não requerem uma demonstração de perdas, oferecem proteção contra incertezas em relação a climas anormais e seus custos dependem apenas da probabilidade de um impacto adverso e da duração do contrato. Um contrato de derivativo padronizado é definido pelos seguintes atributos:

- Período do contrato, data de início e fim
- Estação de medida
- A variável climática, medida na estação e no período do contrato
- Um índice que agrega a variável climática no período do contrato
- Uma função *pay-off*, que converte o índice no fluxo de caixa
- Um prêmio pago pelo comprador ao vendedor no início do contrato, em determinados casos.

A empresa pode entrar num contrato de derivativo climático com um banco ou agente do mercado financeiro. O contrato estipula que em certa data uma parte vai pagar a outra uma quantia que será inteiramente determinada por medidas do clima. Desse modo, a companhia suaviza seus rendimentos de ano a ano, criando uma situação confortável de estabilidade financeira.

Como são contratos financeiros entre duas partes, os valores do contrato são baseados em mudanças nas condições específicas de clima. Os derivativos incluem *calls*, *puts*, *collars*, *swaps* e contratos futuros. Atualmente os derivativos climáticos podem ser negociados, trocados (como contratos ou opções de futuros), ou podem participar de contratos bilaterais entre duas partes nos mercados com maior liquidez.

3.3.1

Tipos de derivativos

No mercado de temperatura, os tipos mais comuns de contratos são opções de *puts* e *calls*, sendo os *swaps* e *collars* negociados em menor quantidade. Os *puts* são contratos que compensam o comprador se o índice climático estiver abaixo de determinado nível. Já os *calls* são acordos que realizam a compensação se a variável climática estiver acima de determinado nível. Ambos os contratos envolvem um prêmio a ser pago antecipadamente e possibilitam que os rendimentos estejam assegurados em períodos desfavoráveis.

Os contratos de *calls* e *puts* são opções que fornecem o direito, mas não a obrigação de entrar numa posição de preço específico, tanto em períodos curtos como nos longos de contratos. No mercado de energia os *puts* são usualmente adquiridos por produtores de energia elétrica, enquanto que os *calls* por distribuidores.

Os *swaps* são contratos entre duas partes que concordam em trocar seus riscos, o que propicia um fluxo de caixa mais estável quando as condições de clima são instáveis. Resumidamente, uma parte concorda em pagar a outra um rendimento proporcional pré-estabelecido se o índice climático estiver acima do nível *strike*; enquanto a outra realiza o pagamento se a variável estiver abaixo deste, ou seja, estes contratos oferecem uma remuneração em eventos onde a média de temperatura diária está abaixo (*floor*) ou acima (*cap*) do *strike*, ponto de acordo onde o pagamento é engatilhado. Desse modo o comprador está adquirindo proteção contra perdas referentes a climas mais amenos que o esperado e vendendo proteção para climas mais severos. Como exemplo, se o CDD atual for maior que o *strike* o comprador vai realizar pagamentos ao negociador, caso contrário o negociador é quem vai pagar ao comprador por suas possíveis perdas, geralmente não existindo o valor do prêmio neste tipo de contrato.

Com relação aos contratos de *collars*, estes são similares a um *swap* no que tange a proteção contra condições adversas do tempo. A diferença é que os pagamentos das partes e para as partes ocorrem acima de um pré-determinado nível e abaixo de outro nível (há dois pontos de *strike*). Este permite que o índice flutue numa amplitude normal de condições climáticas, protegendo apenas contra situações mais extremas.

Nestes contratos, o *tick* corresponde a um valor monetário atrelado a um DD. A quantidade, ou o tamanho do *tick*, são definidos para determinar o nível de retorno e os rendimentos de cada participante. O nível *strike* é o termo chave do contrato, pois determina o número de DD de referência para que cada opção possa ser exercida, dependendo da quantidade de cobertura que a empresa necessita. No caso de uma *put*, o valor de *strike* para o período relevante deve estar abaixo do número total de DD real, a fim de trazer um lucro a partir da opção, visto que um valor de *strike* acima do número total de DD reais é alvo para a opção de compra.

Definir o *fair strike* é definir um *strike* no qual nenhuma parte ganha nem perde se o contrato for negociado várias vezes. No entanto o *strike* ótimo não é necessariamente o nível apropriado no qual o *swap* é negociado. Se o contrato for negociado no mercado primário e uma parte for um *hedger* e a outra um especulador, é de se esperar que o *strike* seja ajustado em favor do especulador para compensar este por assumir o risco climático. Conforme Zeng, 2000, o método simples de calcular essa variação é um percentual do desvio padrão do índice do derivativo. Como exemplo, o *strike* pode ser definido como a média mais 20% do desvio padrão do índice. O uso de frações do desvio padrão é apenas uma das maneiras de adicionar o *risk loading*. O desvio padrão da distribuição do *pay-off* será o desvio padrão da distribuição do índice multiplicado pelo *tick*.

Para opções o prêmio ótimo, ou preço justo é usualmente definido como o preço onde o lucro esperado seja zero, ou seja, o prêmio será igual ao *pay-off* esperado. Assim como no *swap*, o prêmio ótimo das opções não será o mais adequado e praticado na comercialização. O vendedor da opção provavelmente espera uma recompensa por assumir o risco, assim o prêmio será provavelmente maior do que o *pay-off* esperado por causa do *risk loading*. Igualmente, uma maneira de quantificar o *risk loading* é pela fração do desvio padrão do *pay-off* do contrato.

Como o *pay-off* dos derivativos climáticos dependem do índice do clima, e não da quantia financeira perdida devido ao tempo, provavelmente o *pay-off* não compensará exatamente pelo dinheiro perdido. O potencial desta diferença é conhecido como risco de base. Em geral o risco de base é menor quando a perda financeira é altamente correlacionada com o clima e quando os contratos possuem estrutura, tamanho e locação ótimas.

3.3.2

Pay-off dos Derivativos

O contrato é financeiramente acertado usando-se o valor do índice previsto como entrada para a função de *pay-off*. Esta função define precisamente quem deve pagar quanto a quem no final do contrato. Qualquer função pode ser usada, mas na prática uma pequena quantidade de estruturas mais simples são utilizadas. Nós iremos considerar as funções de *pay-off* para cada estrutura pela visão do comprador do contrato, que é dito possuir a posição “longa”. O vendedor do contrato, que possui a posição “curta”, vai ter exatamente a função oposta.

No caso dos *swaps* o *pay-off*, p , é dado por:

$$p(x) = \left\{ \begin{array}{l} -L_s \longrightarrow x < L_1 \\ D(x - K) \longrightarrow L_1 \leq x \leq L_2 \\ L_s \longrightarrow x > L_2 \end{array} \right\}$$

Onde x é o índice, D é o *tick*, K é o *strike*, L_s é o limite expresso na ocorrência dos termos e L_1 e L_2 são os limites superiores e inferiores expressos em unidades do índice.

É comum estabelecer limites de financeiros para todos os tipos de contratos em termos de valores correntes ao invés de índices. Logo a relação entre L_s e L_1 é dada por:

$$L_s = D(K - L_1)$$

E entre L_s e L_2 por:

$$L_s = D(L_2 - K)$$

Também é possível estruturar os *swaps* sem os limites financeiros. O *pay-off* seria uma função linear do índice dado por:

$$p(x) = D(x - K)$$

Pode ser escrito resumidamente como:

$$p(x) = \max(-L_s, \min(D(x - K), L_s)),$$

ou

$$p(x) = \min(L_s, \max(D(x - K), -L_s)),$$

ou

$$p(x) = \text{median}(-L_s, D(x - K), L_s)$$

A maioria dos contratos de *swap* são sem custo, ou seja, não há nenhum prêmio, as perdas ou os ganhos são iguais ao *pay-off*. Quando um contrato de *swap* for negociado sem prêmio, o *strike* deve ser estabelecido num nível onde o *pay-off* esperado seja perto de zero, possivelmente ajustado para compensar o risco que a outra parte está assumindo.

A precificação de um *swap* sem custo antes da negociação consiste na determinação do *strike*. Uma vez que o *swap* já tenha sido negociado a precificação consiste no cálculo da distribuição dos possíveis rendimentos e dos aspectos específicos desta distribuição, como explica Cão e Wei, 2000. Os contratos OTC são usualmente negociados com limites financeiros enquanto que os contratos da CME não possuem estes limites.

Com relação ao *pay-off*, p , de uma *call*, este é dado por:

$$p(x) = \left\{ \begin{array}{l} 0 \longrightarrow x < K \\ D(x - k) \longrightarrow K \leq x \leq L \\ L_s \longrightarrow x > L \end{array} \right\}$$

Onde L_s e L estão relacionados por:

$$L_s = D(K - L)$$

Também pode ser escrito como:

$$p(x) = \min(L_s, \max(D(x - K), 0)),$$

ou

$$p(x) = \max(0, \min(D(x - K), L_s)),$$

ou

$$p(x) = \text{median}(0, D(x - K), L_s)$$

No início do contrato, o comprador paga um prêmio ao vendedor, e no final o vendedor paga ao comprador o *pay-off* dependendo do valor do índice. O valor pago será proporcional ao valor atingido pelo índice que exceder o *strike*. Novamente pode ou não haver um limite para o pagamento financeiro.

Como salienta Jewson, 2005, o *strike* é tipicamente estabelecido entre 0 e 1 desvio padrão acima do índice estimado esperado e o limite em cerca de 2 desvios padrão, ou no valor mais extremo alcançado pelo índice historicamente. O lucro total obtido pelo comprador da opção será o *pay-off* menos o prêmio.

A precificação de um *call* consiste na determinação do prêmio. Uma vez que a *call* já tenha sido negociada, a precificação consiste no cálculo da distribuição dos possíveis rendimentos e os aspectos específicos desta distribuição.

Para uma *put* o *pay-off*, p , é dado por:

$$p(x) = \left\{ \begin{array}{l} L_s \longrightarrow x < L \\ D(K - x) \longrightarrow L \leq x \leq K \\ 0 \longrightarrow x > K \end{array} \right\}$$

Onde L_s e L estão relacionados por:

$$L_s = D(K - L)$$

Também pode ser escrito como:

$$p(x) = \min(L_s, \max(D(K - x), 0)),$$

ou

$$p(x) = \max(0, \min(D(K - x), L_s)),$$

ou

$$p(x) = \text{median}(L_s, D(K - x), 0)$$

Para o comprador, uma *put* tem a função econômica de providenciar uma proteção contra baixos valores do índice. No início do contrato o comprador paga um prêmio ao vendedor e ao final do contrato recebe o *pay-off* dependendo do valor do índice. A operação se realiza como de uma *call*.

Um *collar* consiste na combinação de um *call* e um *put*, usualmente com diferentes *strikes* mas com o mesmo *tick*. O *pay-off*, p , de uma *call* é dado por:

$$p(x) = \left\{ \begin{array}{l} -L_s \longrightarrow x < L_1 \\ D(x - K_1) \longrightarrow L_1 \leq x < K_1 \\ 0 \longrightarrow K_1 \leq x < K_2 \\ D(x - K_2) \longrightarrow K_2 \leq x \leq L_2 \\ L_s \longrightarrow x > L_2 \end{array} \right\}$$

Onde L_s e L_1 estão relacionados por:

$$L_s = D(L_1 - K_1)$$

E L_s e L_2 estão relacionados por:

$$L_s = D(L_2 - K_2)$$

Também pode ser escrito como:

$$p(x) = \max(-L_s, \min(D(x - K_1), \max(0, \min(D(x - K_2), L_s))))),$$

Um *collar* oferece proteção contra altos valores do índice e valores abaixo de certo limite. Os *collars* são normalmente sem custos, como os *swaps*.