

9

Conclusões e trabalhos futuros

Esta tese tratou da análise dos processos estocásticos dos preços das commodities. Existem duas linhas de pesquisas que abordam o tema. Os modelos estruturais ou de equilíbrio abordam a evolução temporal dos preços como consequência do equilíbrio entre a oferta e a demanda do produto. A outra linha de pesquisa aborda o tema, a partir das observações das séries históricas de preços. Este é o contexto desta pesquisa. O capítulo 2 apresenta vários artigos diretamente e indiretamente relacionados ao tema. O capítulo 3 é dedicado à derivação dos modelos. Usou-se o Teorema Fundamental de Finanças, ou seja, a utilização da condição de não arbitragem. Para a derivação foi utilizada a transformada de Duffie e Kan (1996) que é aplicável aos processos estocásticos afins com saltos. Desta forma foi possível alcançar todos os modelos de modo mais abrangente. O modelo de Schwartz e Smith (2000) é obtido como uma decorrência imediata quando se faz o uso deste procedimento. Os capítulos 4 e 5 apresentam uma síntese dos filtros de Kalman e partículas, respectivamente. Os capítulos 6 e 7 detiveram-se na análise empírica dos dados usando os modelos derivados no capítulo 3. O capítulo 8 analisa as implicações da pesquisa nos processos decisórios de curto e longo prazos. Abaixo sintetizamos os principais resultados empíricos alcançados:

a) A análise do processo de filtragem (capítulo 6) mostrou que o erro cometido no FP é um pouco superior àquele do FK, tanto para condições artificiais, como para os dados reais de mercado. No entanto os erros do FP permaneceram dentro de limites aceitáveis, podendo-se inferir que na prática são equivalentes ao erro do FK.

b) A magnitude do erro cometido no FP pode ser controlada através do número de partículas. A redução do erro com o aumento do número de partículas implica no aumento do tempo computacional despendido. Portanto, há que se observar uma relação de custo computacional com o benefício de um menor erro.

c) O número de partículas utilizado nesta pesquisa foi de duzentos. Para o processo de filtragem com 2000 dados, um ciclo completo demandou 26 segundos de tempo computacional. Para o processo de filtragem/estimação de parâmetros, o tempo despendido é função do tamanho painel, ou seja, depende do número de contratos e do número de dados em cada contrato. O tempo para cada iteração (que envolve um ciclo completo de filtragem) variou de 35 a 60 segundos. Portanto, sob estas condições, o FP mostrou-se uma metodologia viável para uso na prática. Evidentemente que o emprego de algoritmos para estimação dos parâmetros mais eficientes reduziriam tais tempos.

d) As vantagens do FP são: (i) é aplicável a modelos não lineares e/ou não Gaussianos; (ii) é paralelizável e não requer inversão matricial; (iii) o algoritmo é relativamente fácil de implementar; (iv) sob condições gerais torna-se assintoticamente ótimo à medida que o número de partículas aumenta. A principal desvantagem é o tempo requerido no processo de filtragem.

e) A análise empírica realizada no capítulo 6 evidenciou que tanto o FK como o FP mostraram-se muito sensíveis aos valores dos desvios padrões dos ruídos das observações (matriz \mathbf{H} na eq. (44)).

f) Os resultados obtidos na estimação dos parâmetros, em ambiente Gaussiano, usando a metodologia do FP; quando comparados àqueles usando o FK, mostraram-se coerentes entre si. Ambos os resultados estão consistentes com trabalhos empíricos da literatura que usualmente emprega o FK.

g) Os painéis A e D, que são comparáveis, pois encerram a mesma janela de observação e o mesmo número de contratos; apresentaram resultados consistentes usando o FK. O mesmo pode ser dito sobre o FP. Nota-se que a introdução de contratos de maturações ligeiramente maiores produziu pouca alteração nos resultados.

h) Tanto no FK como no FP, observa-se que os painéis que contêm contratos de mais curta maturação apresentam maiores valores para o coeficiente de reversão e para a volatilidade de curto prazo.

i) Apesar dos painéis A e C não serem absolutamente comparáveis, tanto no FK como no FP, as estruturas a termo das volatilidades, oriundas do Modelo Básico, apresentaram melhores resultados para o painel A. O painel C que é de mais longa maturação tem pior ajuste. O mesmo pode ser dito com relação a estrutura a termo dos preços.

j) As previsões fora da amostra realizadas, através do Modelo Básico, mostraram-se coerentes por ambas metodologias.

k) O Modelo Primeira Extensão, que considera reversão à média para os preços de equilíbrio, apresentou fraco desempenho. Os parâmetros de preço de risco de mercado apresentaram-se fora dos intervalos usuais de variação. A média de longo prazo do preço do petróleo nem sempre se mostrou coerente com os dados empíricos. Há evidências na literatura que a investigação do processo de reversão para os preços de equilíbrio requer longas séries históricas, bem superiores aos horizontes usados nesta pesquisa. Resta ainda a análise a ser realizada para outras commodities.

l) O Modelo Segunda Extensão mostra que a inclusão de saltos no modelo reduz substancialmente a volatilidade de curto prazo. Mais especificamente, no painel C ainda observa-se a redução do coeficiente de reversão.

m) A comparação dos modelos com e sem saltos (Modelo Básico *versus* Modelo Segunda Extensão com distribuição normal) mostrou desempenho próximos quando foi usado o painel A. A mesma comparação, usando o painel C, evidencia que a introdução dos saltos reduz os erros apresentados na estrutura a termo. Este resultado é sugestivo de que mesmo se tratando de longo prazo (que é o caso de análise de investimentos em projetos) o modelo de dois fatores apresenta melhor ajuste quando é especificado com saltos. Já para o curto prazo (que é o caso da análise de *hedge*) a inclusão ou não de saltos tem pouca influência nos resultados. Ainda mais, observando os resultados das estimações para os painéis A e C nota-se que μ_v^* , σ_v e π são maiores no painel A. Este fato é explicado pela natureza mais volátil dos contratos contidos em A (painel de mais curta maturidade).

n) O Modelo Segunda Extensão, com distribuição exponencial para os saltos, provocou os mesmos efeitos no coeficiente de reversão e na volatilidade de curto prazo, a exemplo do que ocorreu considerando a distribuição normal para os saltos.

o) Neste mesmo modelo, comparando os dois tipos de distribuições para os saltos, nota-se que a distribuição normal apresentou menores erros na estrutura a termo dos preços, tanto para o painel A como para o C, evidenciando melhor ajuste.

p) Comparando o Modelo Segunda Extensão (com distribuição exponencial) com o Modelo Básico (sem saltos), nota-se que para o painel C, os resultados do modelo com saltos são melhores. Novamente este fato é sugestivo de que no longo prazo os modelos de dois fatores com saltos retratam melhor os dados empíricos.

q) O Modelo Terceira Extensão, que usa processo de reversão para os preços de equilíbrio, apresentou fraco desempenho a exemplo do Modelo Primeira Extensão. Notadamente a reversão, para o preço de equilíbrio, somente consegue ser capturada em longas séries históricas de preços.

Alguns trabalhos podem prosseguir nesta linha de pesquisa avançando no tema. A seguir estão alguns tópicos que podem ser pesquisados:

a) Sob o ponto de vista do FP a pesquisa analisou apenas a utilização do filtro de partículas mais simples. Existem algoritmos mais poderosos que podem ter sua viabilidade investigada.

b) Mesmo trabalhando com o algoritmo do FP desta pesquisa, alguns aspectos podem ser analisados mais detidamente como é o caso do efeito do tamanho efetivo da amostra na reprodução das distribuições *a posteriori* das variáveis de estado. Outro aspecto que pode ser investigado é o número de amostragens com reposição que é realizado. Nesta pesquisa trabalhou-se com uma única amostragem para o conjunto de partículas.

c) Outros aspectos que podem ser investigados mais a longo prazo, estão relacionados ao uso do FP como algoritmo paralelizável usando várias rotinas de otimização simultaneamente, buscando melhor eficiência computacional.

d) Além do FP outras metodologias podem ser utilizadas para o cálculo da distribuição posterior, como é o caso dos algoritmos MCCM.

e) Sob o ponto de vista dos modelos para as commodities, vale à pena investigar os modelos de três fatores propostos por Schwartz e Smith (2000). Particularmente de interesse são os modelos em que o terceiro fator está relacionado ao preço de equilíbrio de longo prazo. Como foi visto, os contratos de mais longa maturação têm maior dificuldade de serem acomodados no modelo de dois fatores. A vantagem de trabalhar com este enfoque é que o ambiente permanece Gaussiano e o FK pode ser usado sem restrições.

f) Ainda podem ser pesquisados modelos em que o termo de difusão de curto prazo varia no tempo como é o caso da volatilidade GARCH ou volatilidade estocástica. O FP deverá ser útil nestes casos.

g) Outra componente do processo estocástico que merece atenção é o coeficiente de reversão. Como foi notado, este parâmetro é bem significativo o que pode ser interpretado como que a reversão dos preços, no curto prazo, é um fato estilizado das commodities. Entretanto, o coeficiente de reversão parece não ser constante. Nota-se que variando a janela de observação em um painel, o coeficiente de reversão em cada uma será diferente. Uma proposta de coeficiente de reversão estocástico pode melhorar o desempenho dos modelos.

h) Alguns trabalhos mais imediatos podem ser realizados: (i) análise da completção dos painéis usando o FK e o FP; (ii) análise do tamanho do salto como função do preço, conforme sugerido por Das (1998) que analisou o processo da taxa de juros; (iii) análise do conteúdo informacional contido nas curvas de preços futuros do petróleo usando o modelo com saltos e considerando o cenário de preço extremamente elevado para esta commodity nos últimos meses; (iv) extensão desta pesquisa a dados empíricos de outras commodities.

A maior contribuição desta pesquisa foi a de analisar a viabilidade de uma metodologia alternativa para estimar variáveis não observáveis para os casos em que o filtro de Kalman não é recomendável. Os modelos não Gaussianos e não lineares são freqüentes em Finanças. A utilização do filtro de Kalman fica limitada a um conjunto de modelos que preenchem os seus requisitos. O filtro de partículas é uma metodologia computacionalmente mais intensa, porém dispensa as condições requeridas pelo filtro de Kalman. Os resultados obtidos foram praticamente equivalentes àqueles do filtro de Kalman. Esta pesquisa contribui com a possibilidade de análise de modelos mais complexos. Isto vem ao encontro da evolução das idéias em Finanças, pois gradativamente os modelos têm-se tornados mais sofisticados, incluindo componentes que pretendem explicar melhor os fenômenos observados no mundo real. Certamente o filtro de partículas poderá prestar uma grande contribuição em Finanças. A econometria de séries financeiras tem evoluído rapidamente e o filtro de partículas é um novo ramo que deverá fazer parte desta disciplina.