

1 Revisão de Literatura: Estudos de volatilidade no mercado financeiro brasileiro

Pesquisas usando dados de alta frequência ou dados com informações financeiras intradiárias vêm sendo feitas no Brasil, principalmente usando informações sobre o mercado de ações. Com este tipo de dado foram realizados diversos estudos, em grande parte que estudam a volatilidade do retorno nos ativos financeiros. No caso de mercado de ações os estudos tratam sobre o melhor modelo de ajuste e acurácia de previsão. Já o mercado de futuros, mais especificamente o de *commodities*, os estudos têm sido feitos para entender as características de volatilidade do preço dos ativos, mas com dados de periodicidade predominantemente mensais ou semanais.

Moreira e Lemgruber (2004) investigaram o uso de dados de alta frequência na estimação da volatilidade diária e intradiária do IBOVESPA e no cálculo do valor em risco (VaR). Para isso usaram os modelos GARCH e EGARCH em conjunto com métodos determinísticos de filtragem de sazonalidade para a previsão da volatilidade e do VaR intradiários. Os autores compararam seus resultados com o método não paramétrico e no cálculo do VaR diário, dois métodos foram usados. O primeiro utiliza o desvio padrão amostral com janela móvel e o segundo usa alisamento exponencial. No cálculo do VaR diário, os dois métodos usados baseados em informações intradiárias apresentaram bom desempenho. Ao calcularem o VaR intradiário, seus resultados mostraram que a filtragem do padrão sazonal é indispensável à obtenção de resultados satisfatórios por meio dos modelos GARCH e EGARCH. A série utilizada pelos autores é o índice IBOVESPA, registrados a cada 15 minutos durante o período de 06/04/1998 a 19/07/2001 e utilizaram o retorno logarítmico para as estimações. Os autores também concluíram que o filtro de sazonalidade do intervalo intradiário é mais importante para melhorar os resultados das estimações do que o filtro referente ao dia da semana.

Carvalho et al. (2006) estimaram a volatilidade diária dos cinco ativos mais negociados na bolsa de valores de São Paulo. Os autores utilizaram dados intradiários e utilizaram o estimador de variância realizada. Os autores concluíram que os retornos diários padronizados pela volatilidade realizada são aproximadamente normais. Também concluíram que as log-volatilidades também apresentam distribuições bem próximas da normal. Em contraposição com a literatura corrente até então, não encontraram evidências de memória de longo prazo na série de volatilidade e um modelo de memória curta foi suficiente para os autores modelarem e preverem as séries diárias de volatilidade. Os modelos usados pelos autores foram o retorno logarítmico padronizado, EWMA, GARCH, EGARCH e GJR-GARCH.

Ceretta et al. (2011) investigaram como a especificação da distribuição influencia a performance da previsão da volatilidade em dados intradiários do Ibovespa, usando o modelo APARCH. As previsões dos autores foram realizadas supondo seis distribuições distintas: normal, normal assimétrica, *t-student*, *t-student* assimétrica, generalizada e generalizada assimétrica. Os resultados obtidos mostraram que o modelo com distribuição *t-student* assimétrica foi o que melhor se ajustou aos dados dentro da amostra, porém, na previsão fora da amostra, o modelo com distribuição normal apresentou melhor desempenho. Ceretta et al. (2011) encontraram também que uma modelagem feita a partir de uma série longa pode incorporar efeitos atípicos no modelo, viesando a previsão. Os autores apontam como uma possível solução realizar um ajuste do modelo utilizando uma série menor, com menos efeitos esporádicos, em que, segundo eles, a previsão poderia ter um comportamento mais aproximado ao habitual para a série, o que minimizaria o efeito de eventuais variações acentuadas. Outro fato destacado pelos autores é que o modelo que melhor se ajusta, nem sempre fornecerá a melhor previsão. Isto, conforme Ceretta et al. (2011), ressalta a importância da comparação entre os modelos estudados fora da amostra para encontrar o modelo que melhor prevê o comportamento futuro da série. A partir disso os autores sugerem que o contexto macroeconômico poderia influenciar tanto o ajuste quanto a previsão de uma série financeira.

Junior e Pereira (2013) usaram dados intradiários com intervalo de tempo de 5, 15 e 30 minutos para as ações mais comercializadas do índice BOVESPA. Seu artigo analisou dois modelos para estimação e previsão da volatilidade realizada: o modelo autorregressivo heterogêneo de volatilidade realizada (HAR-RV) e o modelo de amostragem de dados mistos (MIDAS-RV). Os autores compararam previsões dentro e fora da amostra e encontraram melhores resultados com o modelo MIDAS-RV para previsões dentro da amostra. Para previsões fora da amostra não encontraram diferença estatisticamente significativa entre os modelos.

Por fim os autores acharam evidência de que o uso de volatilidade realizada induz a distribuições dos retornos padronizados próximas da normal.

Santos e Ziegelmann (2014) compararam diversos tipos de medidas de volatilidade e seus modelos de previsão, das famílias de modelos MIDAS-RV e HAR-RV. Realizaram comparações em termos da acurácia de previsão da volatilidade fora da amostra e usaram também uma combinação dos dois modelos. Para isso captaram dados intradiários do índice IBOVESPA e calcularam medidas de volatilidade como variância realizada, variação potência realizada e variação bi-potência realizada para serem usados como regressores em ambos os modelos. Para a estimação usaram um procedimento não paramétrico para mensurar separadamente a variação da trajetória contínua da amostra e a parte de salto descontínuo de processo de variação quadrático. Seus resultados em termos de erro quadrático médio sugerem que regressores envolvendo medidas de volatilidade que são robustos a saltos são melhores para previsão de volatilidade futura. Encontraram ainda que previsões baseadas nestes regressores não são estatisticamente diferentes daqueles baseados em variância realizada. Por fim, acharam que a performance de previsão das três abordagens são estatisticamente equivalentes.

Vicente et al. (2014) examinaram se investidores possuem percepções diferentes sobre a volatilidade diária de um ativo. Para isso, definiram a volatilidade percebida pelo investidor como a distribuição dos desvios-padrão dos retornos diários calculados de preços intradiários coletados aleatoriamente. Os autores encontraram que esta distribuição tem uma alto grau de dispersão, o que significa que diferentes investidores podem não compartilhar a mesma opinião a respeito da variabilidade do mesmo ativo. Entretanto, segundo Vicente et al. (2014) a volatilidade de preços de fechamento é geralmente menor que a mediana da volatilidade percebida pelo investidor, enquanto a volatilidade de preço de abertura é maior. Seus resultados indicaram que as volatilidades usando amostras diárias tradicionais de retornos diários podem não ser bons insumos de modelos financeiros, já que, conforme os autores, eles podem não capturar adequadamente o risco em que os investidores são expostos.

Ziegelmann, Borges e Caldeira (2014) exploraram diferentes estimadores de matriz de covariância, tanto a condicional quanto a incondicional, obtidas por dados intradiários. Tais medidas foram usadas para obter um portfólio de variância mínima. Os dados foram coletados de forma sincronizada e não sincronizada. Para fins de comparação os autores também usaram dados diários. Em seu trabalho também avaliaram as performances fora da amostra dos índices obtidos de um portfólio de 30 ações comercializadas na BMF&BOVESPA. Seus resultados mostraram que o estimador da matriz de variância condicional dos retornos usando o modelo escalar vt-VECH baseado em dados de alta frequência leva a melhoras substanciais de estimação, reduzindo o risco de portfólio, aumentando o retorno médio ajustado pelo risco e reduzindo o *turnover* financeiro.

Araujo e Montini (2015) propõem uma combinação da estimação de volatilidade dos modelos HAR-RV e MIDAS-RV para responder a seguinte questão: o tomador de decisão deveria selecionar a melhor projeção ou projetar o futuro por meio da combinação de múltiplas projeções? Seus resultados mostraram que o modelo HAR-RV apresentou melhor performance para a amostra de dados utilizada. Ao comparar as projeções individuais e métodos de combinação, a combinação de pesos iguais apresentou melhor performance.

Percebe-se na literatura consultada, que os estudos que têm como objeto o mercado de ações são em sua maioria bastante técnicos e preocupados em testar diversos métodos e modelos de estimação. A principal preocupação deste tipo de pesquisa é obter o melhor ajuste de modelo e a melhor previsão possível, usando os diversos métodos dispostos na literatura para comparar seus resultados. Outra questão de destaque é que na literatura empírica sobre mercado de ações, o assunto sobre a periodicidade dos dados, principalmente de dados intradiários é bastante difundida e objeto recorrente de análise. Já os estudos sobre preços e retorno de commodities possuem uma característica um pouco diferente.

1.1 Estudos empíricos sobre volatilidade para *commodities*.

Devido à forma de obtenção dos dados, os estudos que tratam a volatilidade do retorno de *commodities* feitos no Brasil usam dados geralmente semanais ou mensais. Estes estudos possuem preocupação principal em estudar a persistência de choques, assimetria da volatilidade e o efeito alavancagem. Como método, nos

estudos que têm como objeto retornos de *commodities* é comum encontrar modelos da família ARCH, sendo que não foram encontrados outros tipos de modelos como HAR-RV e MIDAS-RV na literatura consultada.

Silva et al. (2005) examinaram o processo de volatilidade dos retornos do café e da soja no Brasil usando dados mensais. Seus resultados seguem fortes sinais de persistência e assimetria na volatilidade de ambas as séries. Além disso, afirmam que seus resultados indicam que a implementação de políticas que criem e facilitem o acesso e estimulem a utilização de instrumentos de *hedging* baseados no mercado podem ser estratégias adequadas para tais setores lidarem com a persistência de choques e volatilidade pronunciadas para os retornos destas *commodities*.

Lima, Góis e Ulises (2007) modelaram a previsão com diferenciação inteira e fracionária, utilizando dados de preços futuros de *commodities* agrícolas. Os autores comparam as estimações de modelos ARMA e ARIMA com os resultados obtidos pelo modelo ARFIMA. Para avaliar o poder de previsão, os autores usaram o critério de erro quadrado médio e também estimaram o termo de diferenciação d para examinar as características de longo prazo das séries. Seus resultados indicaram que todas as séries de retornos de preços futuros são estacionárias. Encontraram ainda que os modelos ARFIMA mostraram melhor poder de previsão.

Silva (2008) analisou a volatilidade do retorno dos preços de boi gordo no Estado de São Paulo. O autor examinou a persistência dos choques e assimetrias na sua volatilidade usando os modelos ARCH e GARCH. Seus resultados mostraram reações de persistência e assimetria na volatilidade em que choques negativos e positivos têm impactos diferentes sobre a volatilidade dos retornos dos preços do boi gordo. Seus resultados foram corroborados pelos modelos EGARCH e TGARCH.

Teixeira et al. (2008) usou a família de modelos ARCH para analisar o comportamento do retorno do cacau, do boi gordo e do café. Seus resultados indicaram fortes sinais de persistência para as três *commodities* e que os choques levam um longo tempo para dissipar-se. Os autores ainda constataram que choques positivos e negativos têm efeitos diferentes sobre a volatilidade, então os mercados são assimétricos, e que o boi gordo e o cacau sofrem o efeito alavancagem.

Pereira et al. (2010) analisaram os retornos da soja, café e boi gordo. Para isso usaram modelos ARCH e calcularam o *Value-at-Risk* (*VaR*). Seus resultados indicaram que a variabilidade das três *commodities* possui dependência condicional e que existe grande persistência na resposta aos choques na variância. Observaram também que os retornos do café e soja tiveram assimetrias nos choques positivos e negativos, embora não encontraram o efeito alavancagem. As medidas dos *VaR* encontradas pelos autores mostraram maior potencial de perda para os produtores de café, seguidos pelos da soja e de boi gordo.

Bodra (2012) usou um modelo de volatilidade estocástica com saltos para estudar a dinâmica de preços do milho e da soja. Seus resultados mostraram que um modelo de volatilidade estocástica pode ser bem ajustado ao mercado de *commodities* agrícolas e que o processo de *jump diffusion* pode representar bem os saltos deste mercado. Os autores usaram um modelo de Monte Carlo de mínimos quadrados (LSM) para a precificação das opções que foram utilizadas para formular uma estratégia de *hedge* de uma posição física de milho e de soja, sendo que a eficiência dessa estratégia foi comparada com estratégias já disponíveis no mercado.

Freitas et al. (2015) analisaram a persistência, a alavancagem e a variância condicional dos retornos de *commodities* agropecuárias, usando o modelo APARCH. As séries estudadas pelos autores foram, o açúcar, a soja, o milho, o café, o algodão, o arroz, o trigo, o frango, o boi gordo e o bezerro. Os autores encontraram que não ocorreu alavancagem nas séries e que a variância condicional foi assimétrica nos retornos do etanol, do café, do algodão, do boi gordo e do bezerro. Acharam também que as volatilidades mais intensas, embora com convergência à sua média histórica, ocorreram nos retornos do açúcar, da soja, do café, do trigo, do frango e do boi gordo. As maiores volatilidades incondicionais encontradas pelos autores foram dos retornos do etanol, do frango, do algodão, da soja e do açúcar.

Conforme identificado na revisão de literatura, os trabalhos sobre a mercado de derivativos de *commodities* usam predominantemente dados semanais e mensais, sendo que dados de alta frequência com periodicidade intradiária não foi feito até então para a economia brasileira. Conforme Moreira e Lemgruber (2004) a utilização de dados intradiários melhor o ajuste do modelo e a previsibilidade da série estudada, já que estes dados incorporam mais informações sobre a microestrutura do mercado financeiro. E segundo Vicente et

al. (2014) os dados diários e consequentemente dados semanais e mensais, não capturam todo o risco e incerteza que o agente econômico está exposto ao lidar com instrumentos financeiros. Com isso, justifica-se um estudo que use dados com informações intradiárias para estudar o mercado de *commodities*, sendo que assim contribuições sobre a existência ou não de alavancagem financeira, pode ser feitas, já que os estudos feitos até então, não utilizaram esta periodicidade dos dados.

Tabela 1: Resumo dos estudos de volatilidade no mercado financeiro brasileiro.

Autores	Objeto	Periodicidade	Método
Moreira e Lemgruber (2004)	IBOVESPA	15 min e 1 dia	GARCH, EGARCH
Carvalho et al. (2006)	Top 5 empresas IBOVESPA	15 min	EWMA, GARCH, EGARCH, GJR-GARCH, log retorno padronizado APARCH
Ceretta et al. (2011)	IBOVESPA	15 min	
Junior e Pereira (2013)	Top 5 empresas IBOVESPA	5, 15 e 30 min	HAR-RV e MIDAS-RV
Morais et al. (2014)	Top 2 BMF&BOVESPA	5 min	GARCH, EGARCH, CGARCH e TGARCH
Santos e Ziegelmann (2014)	IBOVESPA	15 min	HAR, MIDAS e combinação HAR-MIDAS
Vicente et al. (2014)	84 empresas da BMF&BOVESPA	Amostragem aleatória de preços em um intervalo	Análise exploratória da Volatilidade Realizada
Ziegelmann, Borges e Caldeira (2014)	Índice de 30 ações BMF&BOVESPA	5 a 120 min	Covariância realizada, vt_VECH escalar e MRK
Araujo e Montini (2015)	IBOVESPA	5 min	HAR_RV, MIDAS-RV e combinação HAR-MIDAS
Silva et al. (2005)	café e soja	mensal	GARCH, EGARCH e TARCH
Lima, Góis e Ulises (2007)	Açúcar, café, boi gordo, milho e soja	???	ARMA, ARIMA e ARFIMA; Arch e GARCH
Silva (2008)	boi gordo	diária	ARCH, GARCH, EGARCH e TGARCH
Teixeira et al. (2008)	cacau, café e boi gordo	diária	GARCH, EGARCH, TARCH
Pereira et al. (2010)	Soja, café e boi gordo	semanal	EGARCH, TGARCH e GARCH-M
Bodra (2012)	milho e soja	mensal	Volatilidade estocástica e saltos
Freitas et al. (2015)	Açúcar, soja, milho, café, algodão, arroz, trigo, frango, boi gordo e bezerro	semanal	APARCH

Fonte: Elaboração dos autores

Referências

- ARAUJO, A. C. DE; MONTINI, A. DE Á. Estimação da volatilidade percebida futura por meio de combinação de projeções. **Anais**, 2015. Disponível em: <http://bdpi.usp.br/single.php?_id=002723087>. Acesso em: 12/12/2016.
- BODRA, R. A. Modelo de volatilidade estocástica com saltos aplicado a commodities agrícolas., 2012. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/10374>>. Acesso em: 29/12/2016.
- CARVALHO, M. C.; FREIRE, M. A. S.; MEDEIROS, M. C.; SOUZA, L. R. Modeling and Forecasting the Volatility of Brazilian Asset Returns: a Realized Variance Approach. **Brazilian Review of Finance**, v. 4, n. 1, p. 55–77, 2006. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbfin/article/view/1155>>. Acesso em: 12/12/2016.
- CERETTA, P. S.; BARBA, F. G. DE; VIEIRA, K. M.; CASARIN, F. Intraday volatility forecasting: analysis of alternative distributions. **Brazilian Review of Finance**, v. 9, n. 2, p. 209–226, 2011. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbfin/article/view/2586>>. Acesso em: 12/12/2016.
- FREITAS, C. A. DE; SÁFADI, T.; FREITAS, C. A. DE; SÁFADI, T. Volatilidade dos Retornos de Commodities Agropecuárias Brasileiras: um teste utilizando o modelo APARCH. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 2, p. 211–228, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-20032015000200211&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 29/12/2016.
- JUNIOR, M. V. W.; PEREIRA, P. L. V. Modeling and Forecasting of Realized Volatility: Evidence from Brazil. **Brazilian Review of Econometrics**, v. 31, n. 2, p. 315–337, 2013. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bre/article/view/4056>>. Acesso em: 12/12/2016.
- LIMA, R. C.; GÓIS, M. R.; ULISES, C. Previsão de preços futuros de Commodities agrícolas com diferenciações inteira e fracionária, e erros heteroscedásticos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, n. 3, p. 621–644, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-20032007000300004&lng=en&nrm=iso&tlng=es>. Acesso em: 29/12/2016.
- MORAIS, O.; VAL, F. DE F.; PINTO, A. C. F.; KL, M. C.; MACELLY. Estimating the Volatility of Brazilian Equities using Garch-Type Models and High-Frequency Volatility Measures. **Global Journal of Management And Business Research**, v. 14, n. 5, 2014. Disponível em: <<http://journalofbusiness.org/index.php/GJMBR/article/view/1520>>. Acesso em: 12/12/2016.
- MOREIRA, J. M. DE S.; LEMGRUBER, E. F. O uso de dados de alta frequência na estimação da volatilidade e do valor em risco para o IBOVESPA. **Revista Brasileira de Economia**, v. 58, n. 1, p. 100–120, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-71402004000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 12/12/2016.
- PEREIRA, V. DA F.; LIMA, J. E. DE; BRAGA, M. J.; MENDONÇA, T. G. DE. Volatilidade condicional dos retornos de commodities agropecuárias brasileiras seguidos pela soja e pelo boi gordo. **Revista de Economia**, v. 36, n. 3, 2010. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/economia/article/view/14058>>. Acesso em: 29/12/2016.
- SANTOS, D. G.; ZIEGELMANN, F. A. Volatility Forecasting via MIDAS, HAR and their Combination: An Empirical Comparative Study for IBOVESPA. **Journal of Forecasting**, v. 33, n. 4, p. 284–299, 2014. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/for.2287/abstract>>. Acesso em: 12/12/2016.
- SILVA, C. A. G. DA. **ANÁLISE DA VOLATILIDADE DOS PREÇOS DE BOI GORDO NO ESTADO DE SÃO PAULO: UMA APLICAÇÃO DOS MODELOS GARCH**. 46th Congress, July 20–23, 2008, Rio Branco, Acre, Brasil, Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2008.
- SILVA, W. S. DA; SÁFADI, T.; JÚNIOR, C.; DE, L. G. Uma análise empírica da volatilidade do retorno de commodities agrícolas utilizando modelos ARCH: os casos do café e da soja. **Revista de Economia e**

Sociologia Rural, v. 43, n. 1, p. 119–134, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-20032005000100007&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 29/12/2016.

TEIXEIRA, G. DA S.; MAIA, S. F.; FIGUEIREDO, N. M.; PEREIRA, E. S.; PINTO, P. A. L. D. A. **Dinâmica Da Volatilidade Do Retorno Das Principais Commodities Brasileiras: Uma Abordagem Dos Modelos Arch**. 46th Congress, July 20-23, 2008, Rio Branco, Acre, Brasil, Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2008.

VICENTE, J. V. M.; ARAUJO, G. S.; CASTRO, P. B. F. DE; TAVARES, F. N. Assessing Day-to-Day Volatility: Does the Trading Time Matter? **Brazilian Review of Finance**, v. 12, n. 1, p. 41–66, 2014. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbfin/article/view/13483>>. Acesso em: 12/12/2016.

ZIEGELMANN, F. A.; BORGES, B.; CALDEIRA, J. F. Selection of Minimum Variance Portfolio Using Intraday Data: An Empirical Comparison Among Different Realized Measures for BM&FBovespa Data. **Brazilian Review of Econometrics**, v. 35, n. 1, p. 23–46, 2014. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/bre/article/view/21453>>. Acesso em: 12/12/2016.