

MI411 SÉRIES TEMPORAIS

Prova 3 / Questao 4

Adriel Wesley Nascimento Melo

Campinas, 2024

O presente trabalho foi realizado utilizando a série de preços da ação VALE3, pertencente à mineradora multinacional brasileira Vale S.A., uma das maiores operadoras de logística do país. A série utilizada para análise corresponde ao logaritmo dos retornos no período de 03/01/2005 a 04/11/2024, totalizando aproximadamente 5176 observações. Foram identificados valores faltantes na série, os quais foram substituídos por 0.

Tabela 1: Estatística descritiva dos log-retornos VALE3

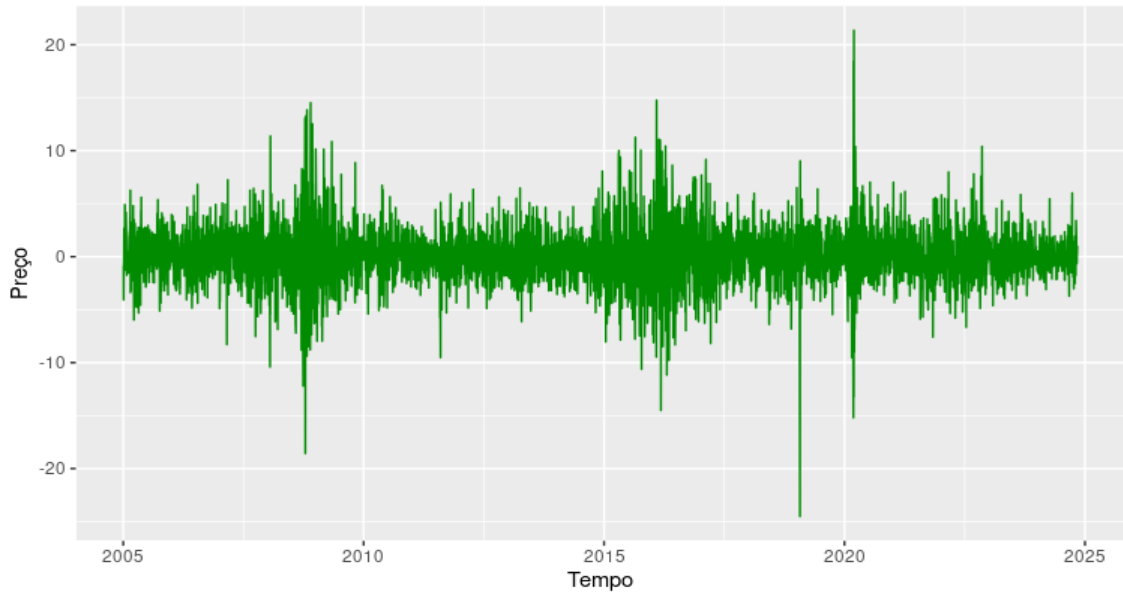
Estatística	Valor
Média	0,0748
DP	2,5365
Variância	6,4338
Curtose	6,6978
Assimetria	0,1304
Máximo	21,3578
Mínimo	-24,5236
Observações	5176

Fonte: Elaboração própria

A partir da Tabela 1, observa-se que os retornos apresentam curtose elevada (maior que 3), indicando que a série possui caudas pesadas. Essa característica é típica de séries financeiras, nas quais eventos extremos, como fortes altas ou baixas, ocorrem com maior frequência do que o esperado em distribuições normais. Além disso, a série apresenta baixa assimetria e média próxima de zero.

A presença de caudas pesadas impacta diretamente na escolha da distribuição mais adequada para modelar os retornos. Na Figura 1, observa-se a série de log-retornos da VALE3. A análise gráfica dos retornos diários evidencia períodos de maior volatilidade, intercalados com momentos de relativa estabilidade. Também são notáveis valores discrepantes, como o menor retorno registrado, de -24,52%, ocorrido devido ao rompimento da barragem de rejeitos da companhia em Brumadinho (MG). Este evento extremo resultou em uma queda acentuada no valor das ações da VALE3.

Figura 1: Retornos diários da VALE3 (03/01/2005 a 04/11/2024)

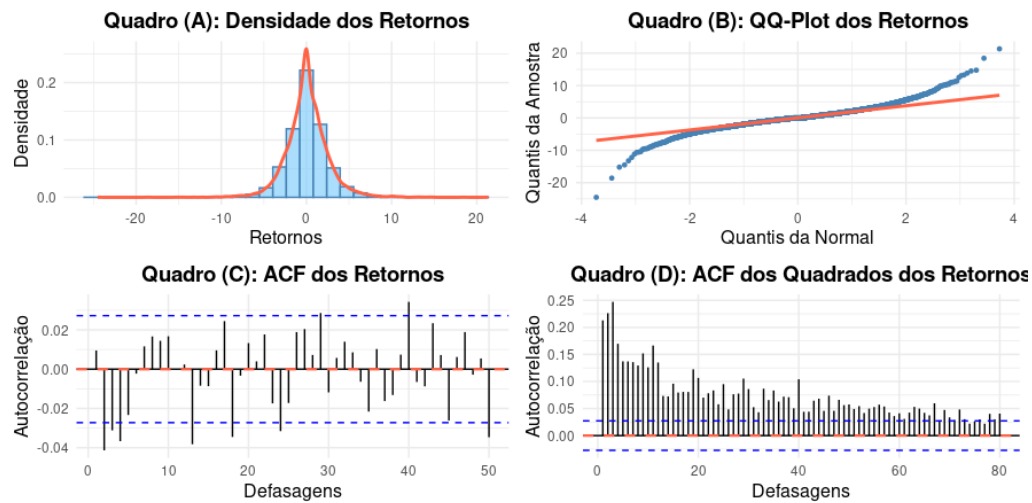


Fonte: Elaboração própria.

A Figura 2 apresenta algumas características da série de retornos da VALE3. O Quadro (A) exibe o histograma, o Quadro (B) mostra o gráfico de probabilidade normal, enquanto os Quadros (C) e (D) apresentam as funções de autocorrelação (ACF) dos retornos e dos retornos ao quadrado, respectivamente.

O comportamento de caudas pesadas é evidente no Quadro (B), onde o gráfico de probabilidade normal revela que, para valores extremos dos quantis teóricos, os quantis empíricos se afastam da linha esperada, assumindo uma distribuição $N(0, 1)$.

Figura 2: Características dos retornos da VALE3



Fonte:

Elaboração própria.

O Quadro (D) da Figura 2 apresenta a função de autocorrelação (ACF) dos retornos ao quadrado, evidenciando uma correlação serial persistente em várias defasagens. Essa evidência sugere que a variância condicional da série precisa ser modelada adequadamente. Com isso, foi ajustado um modelo GARCH para os retornos, considerando diferentes distribuições: normal, t-Student e GED.

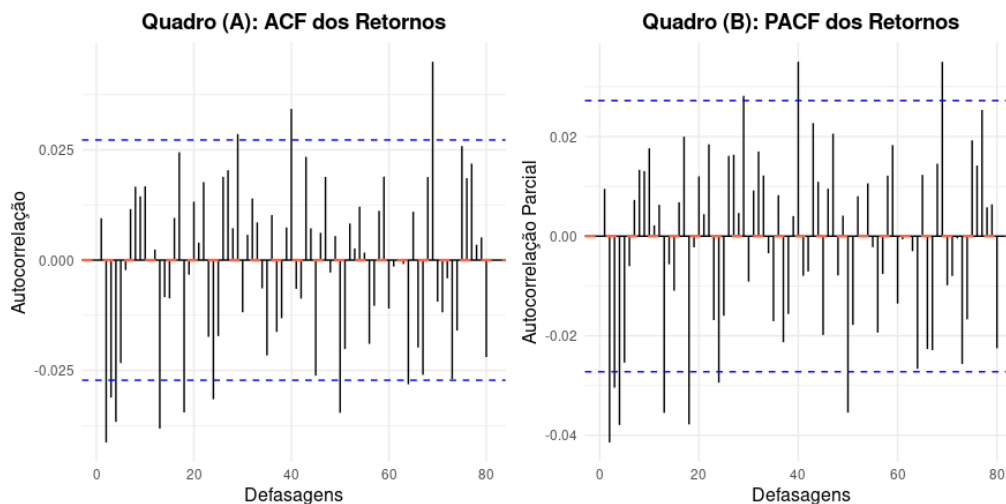
Inicialmente, a análise das funções ACF e PACF dos retornos, mostradas na Figura 3, indicou que um modelo AR(4) seria adequado para fins explicativos. Após o ajuste, os coeficientes estimados, apresentados na Tabela 2, mostraram que ϕ_1 não foi significativo. A análise das funções ACF e PACF dos resíduos, mostrada também na Figura 3, revelou autocorrelações significativas, indicando que o modelo AR(4) não capturou adequadamente a estrutura de correlação dos dados.

Tabela 2: Resultados do modelo ajustado AR(4)

Coeficiente	Estimatação	DP	Estatística t	Pr(> t)
ϕ_1	0,007	0,014	0,5377	0.591
ϕ_2	-0,043	0,014	-3,0759	0.002
ϕ_3	-0,030	0,014	-2,169	0.030
ϕ_4	-0,038	0,014	-2,7315	0.006
intercepto	0,075	0,032	2,3494	0.018

Fonte: Elaboração própria.

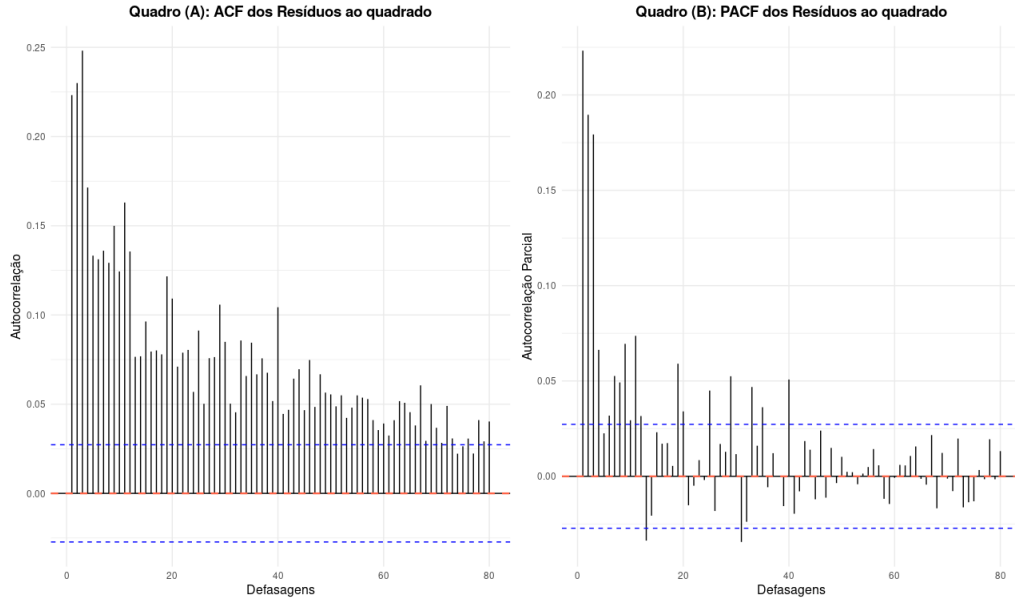
Figura 3: ACF e PACF dos resíduos do modelo AR(4)



Fonte: Elaboração própria.

Adicionalmente, a Figura 4 apresenta a ACF e a PACF dos resíduos ao quadrado, evidenciando a persistência da autocorrelação e a necessidade de modelar a variância condicional.

Figura 4: ACF e PACF dos resíduos ao quadrado do modelo AR(4)



Fonte: Elaboração própria.

Com base na persistência das correlações nos resíduos ao quadrado, foi ajustado um modelo GARCH(1,1) com distribuição t-Student para os resíduos utilizando. O pacote rugarch, desenvolvido por Ghalanos (2014), foi utilizado para ajustar modelos GARCH univariados. Os resultados desse modelo estão apresentados na Tabela 3, com todos os coeficientes significativos ao nível de 5%, e os critérios de informação indicando um bom ajuste do modelo. Os critérios foram AIC= 4,4094, Shibata=4,4094 e H-Q=4,411. Substituindo os valores na fórmula da variância incondicional:

$$\text{Var}(a_t) = \frac{0.063553}{1 - (0.056993 + 0.933839)}$$

$$\text{Var}(a_t) = \frac{0.063553}{1 - 0.990832}$$

$$\text{Var}(a_t) = \frac{0.063553}{0.009168}$$

$$\text{Var}(a_t) \approx 6.93.$$

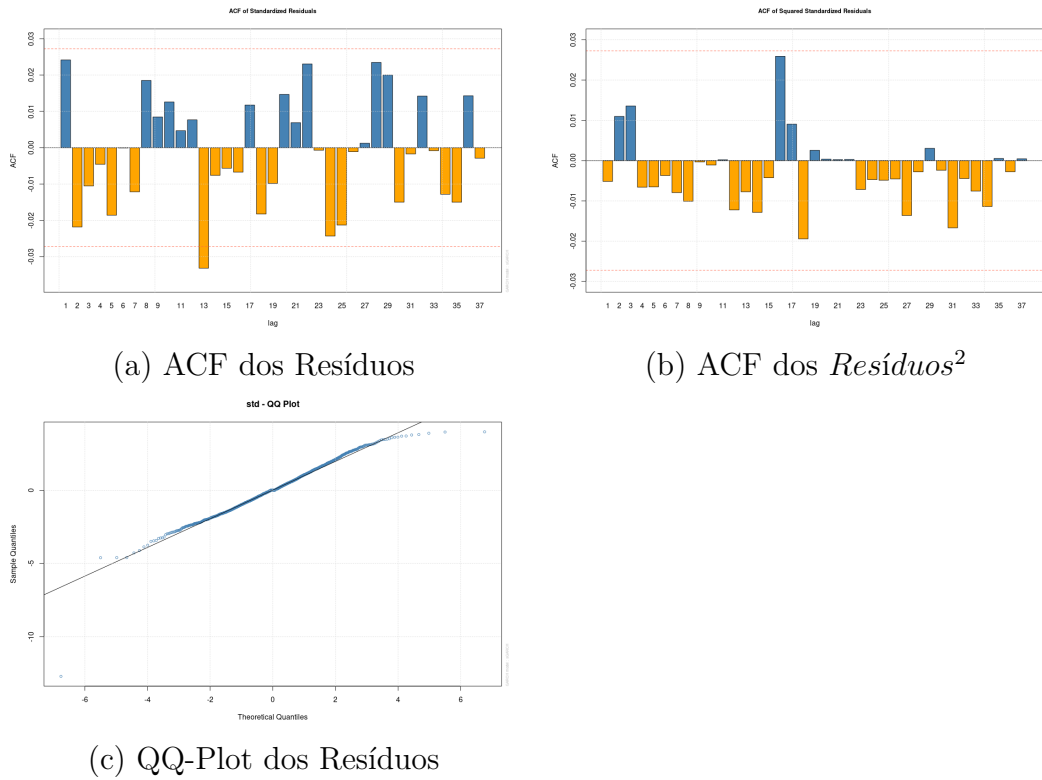
Tabela 3: Resultados do modelo ajustado GARCH(1,1) com distribuição t-Student

	Estimativa	DP	Estatística t	Pr(> t)
ω	0,0635	0,0212	3,0011	<0,01
α_1	0,0570	0,0095	5,9743	<0,01
β_1	0,9338	0,0115	81,4233	<0,01
ν (shape)	5,7824	0,4820	11,9970	<0,01

Fonte: Elaboração própria.

Os gráficos de diagnóstico dos resíduos, apresentados na Figura 5, confirmam a adequação do modelo GARCH(1,1). A ACF dos resíduos apresenta apenas uma correlação significativa de ordem 13, enquanto que a ACF dos resíduos ao quadrado não apresenta autocorrelações significativas. Além disso, o teste de Ljung-Box reforça a ausência de autocorrelação e heterocedasticidade nos resíduos padronizados.

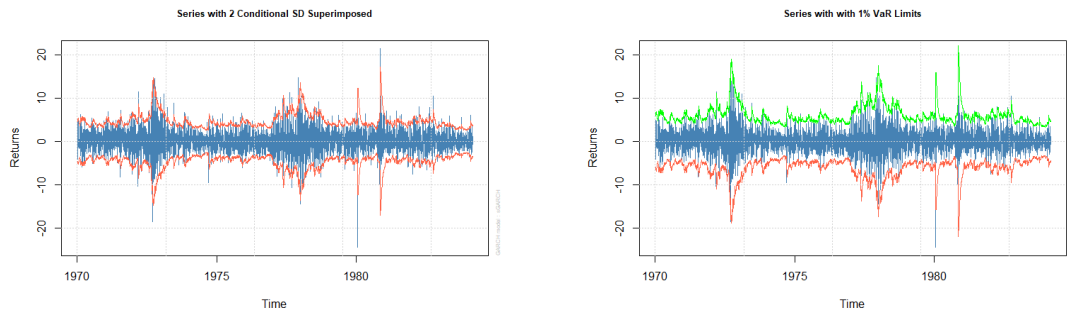
Figura 5: Análise de Diagnósticos dos Resíduos do Modelo GARCH(1,1)



Fonte: Elaboração própria.

Esses resultados sugerem que o modelo GARCH(1,1) com distribuição t-Student captura bem a dinâmica da volatilidade dos retornos analisados.

Figura 6



(a) Série c 2 DP Condicionais Superpostos (b) Série com Limites de VaR de 1%
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 6 exibe gráficos que representam diferentes aspectos da série temporal analisada, juntamente com o cálculo do Value at Risk (VaR) de 1% para o horizonte de previsão. Na Figura 6(a), o gráfico mostra a série temporal dos retornos com a sobreposição de dois desvios padrão condicionais (SD). A linha azul representa os retornos observados, enquanto a linha vermelha indica os desvios padrão condicionais do modelo GARCH ajustado. As áreas mais distantes da linha central (em torno de zero) correspondem a períodos de maior volatilidade, refletindo momentos de incerteza nos mercados financeiros. A volatilidade tende a aumentar durante crises financeiras ou eventos inesperados, como quedas nos preços das commodities ou mudanças políticas significativas.

Na Figura 6(b), o gráfico ilustra a série de retornos com os limites de VaR de 1% sobrepostos. A linha vermelha indica os limites de risco preditos pelo modelo VaR. O VaR é utilizado como uma medida de risco, indicando a maior perda esperada em um horizonte de tempo, com uma probabilidade de 99% de que a perda real não ultrapasse esse limite. No gráfico, observa-se que, em poucos momentos, os retornos observados caem abaixo do limite de VaR, o que caracteriza uma violação do modelo. Essa violação pode indicar eventos inesperados ou maior risco do que o modelo previu.

A proporção de violações do VaR, calculada em 0,002 (ou 0,2%), sugere que o modelo tem um bom desempenho em prever o risco, com uma baixa ocorrência de perdas extremas. Ou seja, ao longo do período de análise, as perdas reais ultrapassaram os limites do VaR em apenas 0,2% do tempo.

Eventos significativos, como quedas nos preços das commodities, mudanças políticas no Brasil e crises financeiras globais, podem impactar de forma substancial os preços das ações, como evidenciado em períodos de alta volatilidade nos gráficos. Além disso, a Vale enfrentou desafios relacionados a provisões financeiras para

danos ambientais resultantes dos rompimentos das barragens de Mariana (2015) e Brumadinho (2019). Esses episódios aumentaram a pressão sobre a empresa, afetando suas finanças e, consequentemente, o valor das ações. Em 2021, a ação da Vale atingiu um pico significativo, impulsionada pela valorização dos preços do minério de ferro e pela alta demanda, especialmente da China. Contudo, esse desempenho também foi influenciado pela volatilidade no mercado de commodities e pelos processos judiciais relativos a questões ambientais, que continuaram a impactar a percepção do mercado sobre a empresa.

1 Refêrencias

Ghalanos, A. (2014). rugarch: Univariate GARCH models (Versão 1.4-0). R package. Disponível em: <https://cran.rproject.org/web/packages/rugarch/rugarch.pdf>