

4 Resultados

A partir da obtenção da série histórica das ações e da aplicação da metodologia apresentada acima, foram obtidas volatilidades históricas e futuras. Com estes resultados, foram aplicadas regressões lineares e quadráticas para melhor análise dos resultados, verificando a confiabilidade e comparando os diversos modelos utilizados no estudo.

Como mencionado anteriormente, foram utilizados alguns modelos para cálculo da volatilidade futura das ações preferenciais da Petrobras e da Vale: modelo de volatilidade histórica univariado, modelo de volatilidade histórica bivariado, GARCH e EGARCH. Neste capítulo serão descritos os resultados de cada modelo.

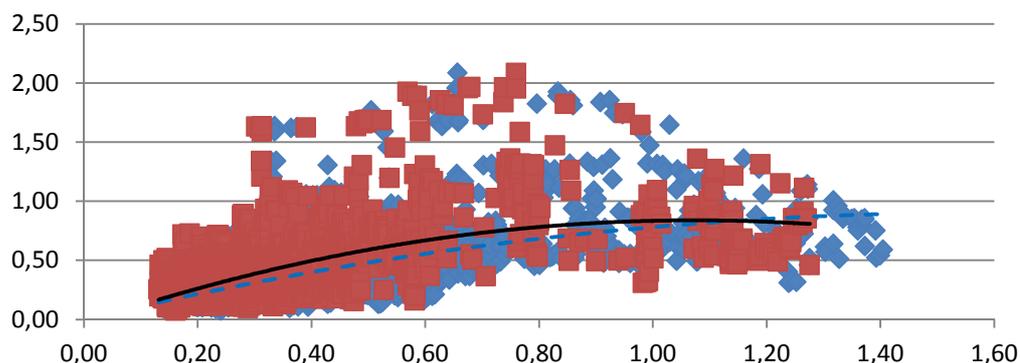
4.1. Modelo de volatilidade histórica univariado

Primeiramente foram coletados os preços de fechamento diários e os preços diários de mínimo e máximo das ações da Petrobras e da Vale desde 05/07/1994 até 30/06/2011 para cálculo dos retornos das ações.

Com isso, foram calculadas as volatilidades históricas padrão, volatilidades históricas médias e volatilidades futuras padrão.

Duas séries referentes à ação da Petrobras são apresentadas nos gráficos abaixo: uma que ilustra a relação entre a volatilidade histórica padrão e a volatilidade futura padrão representada pela figura do losango no gráfico e outra que ilustra a relação entre a volatilidade histórica média e a volatilidade futura padrão representada pelo quadrado. O eixo x (horizontal) representa a volatilidade histórica e o y (vertical) a volatilidade futura.

Figura 1: Relação entre a volatilidade histórica padrão e a volatilidade futura padrão e entre a volatilidade histórica média e a volatilidade futura padrão para a ação da Petrobras.



Fonte: Própria.

A linha pontilhada representa a regressão quadrática obtida a partir da relação entre a volatilidade histórica e futura padrão e a linha contínua representa a regressão quadrática obtida a partir da volatilidade histórica média e volatilidade futura padrão. Abaixo se encontra o resultado da regressão realizada a partir da ferramenta de estatística SPSS.

Tabela 1: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica padrão para as ações da Petrobras pelo modelo univariado.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,002	0,012		0,130	0,897
Vol. Hist. Padrão	1,142	0,047	1,017	24,128	0,000
Vol. Hist. Padrão ²	-0,364	0,037	-0,416	-9,873	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 2: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica padrão para as ações da Petrobras pelo modelo univariado.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	92,346	2	46,173	1376,397	0,000
Residual	141,062	4205	0,034		
Total	233,407	4207			

Fonte: Própria.

Tabela 3: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica padrão para as ações da Petrobras pelo modelo univariado.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,629	0,396	0,395	0,18316

Fonte: Própria.

Segue abaixo resultado da regressão da volatilidade histórica média para cálculo da volatilidade futura.

Tabela 4: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica média para as ações da Petrobras pelo modelo univariado.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	-0,028	0,010		-2,694	0,007
Vol. Hist. Média	1,602	0,048	1,267	33,078	0,000
Vol. Hist. Média ²	-0,740	0,042	-0,681	-17,794	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 5: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica média para as ações da Petrobras pelo modelo univariado.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	99,210	2	49,605	1554,334	0,000
Residual	134,198	4205	0,032		
Total	233,407	4207			

Fonte: Própria.

Tabela 6: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica média para as ações da Petrobras pelo modelo univariado.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,652	0,425	0,425	0,17864

Fonte: Própria.

Pelo gráfico percebe-se que a volatilidade apresenta reversão à média, ou seja, baixos níveis de volatilidade histórica acarretam maiores níveis de volatilidade futura, ao passo que altos níveis de volatilidade histórica implicam em menores níveis de volatilidade futura.

A reversão à média é mais acentuada com a volatilidade histórica padrão do que a volatilidade histórica média até aproximadamente 113%, quando há uma inversão e passa a ser o contrário.

A relação entre a volatilidade futura e histórica não é linear e sim quadrática. Isto ocorre, pois a reversão à média começa a ultrapassar a normalidade quando a volatilidade é muito alta. Uma das possíveis razões para isso é que uma alta volatilidade, considerada uma anormalidade, rapidamente volta a níveis de normalidade. Outra explicação é que a alta volatilidade representa uma ineficiência que pode ser eliminada ou ao menos atenuada.

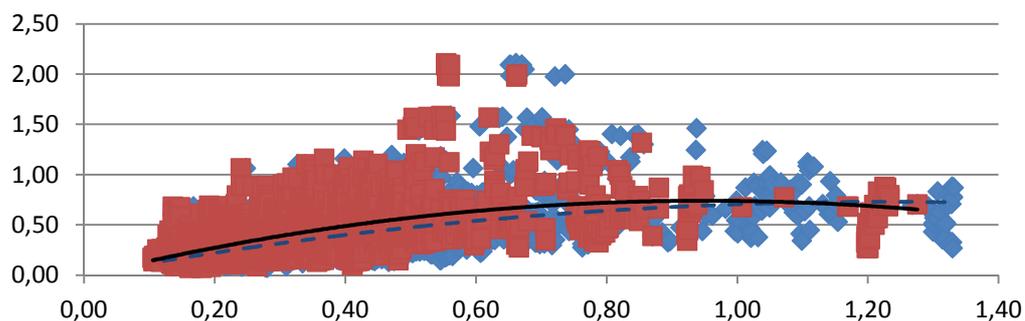
Entre 10% e 50%, a volatilidade histórica padrão apresenta quase que idêntica volatilidade futura. Utilizando a equação obtida pela regressão, com uma volatilidade histórica de 30%, obtém-se uma volatilidade futura de 31%. Caso a volatilidade histórica fosse de 70%, a volatilidade futura seria de 62%, ou seja, já apresentando uma considerável diferença em relação a volatilidade histórica.

Já a volatilidade histórica média abaixo de 75% apresenta maior volatilidade futura, enquanto que os valores acima de 75% acarretam em menores volatilidades futuras. Levando-se em consideração a equação obtida pela regressão deste modelo, considerando uma volatilidade histórica média de 60%, obtém-se uma volatilidade futura de 67%. Já uma volatilidade histórica de 90% implica em uma volatilidade futura de 81%.

Para quase todas as volatilidades, o cálculo a partir da volatilidade média propicia uma melhor estimativa da volatilidade futura do que a medida padrão. Isto ocorre porque há uma maior confiabilidade na média como medida de volatilidade, além de sua volatilidade explicar melhor a volatilidade futura, pois apresenta um maior R^2 , conforme detalhado nos resultados obtidos a partir da regressão.

Também foram utilizadas duas séries referentes à ação da Vale. Ambas estão representadas nos gráficos abaixo: uma que ilustra a relação entre a volatilidade histórica padrão e a volatilidade futura padrão representada pelo losango e outra que ilustra a relação entre a volatilidade histórica média e a volatilidade futura padrão representada pelo quadrado. O eixo x (horizontal) representa a volatilidade histórica e o y (vertical) a volatilidade futura.

Figura 2: Relação entre a volatilidade histórica padrão e a volatilidade futura padrão e entre a volatilidade histórica média e a volatilidade futura padrão para a ação da Vale.



Fonte: Própria.

A linha pontilhada representa a regressão quadrática obtida a partir da relação entre a volatilidade histórica e futura padrão e a linha contínua representa a regressão quadrática obtida a partir da volatilidade histórica média e volatilidade futura padrão. Segue abaixo o resultado da regressão realizada a partir da ferramenta de estatística SPSS.

Tabela 7: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica padrão para as ações da Vale pelo modelo univariado.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,004	0,012		0,370	0,712
Vol. Hist. Padrão	1,179	0,048	1,016	24,729	0,000
Vol. Hist. Padrão ²	-0,479	0,040	-0,497	-12,103	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 8: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica padrão para as ações da Vale pelo modelo univariado.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	63,544	2	31,772	983,970	0,000
Residual	135,874	4208	0,032		
Total	199,418	4210			

Fonte: Própria.

Tabela 9: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica padrão para as ações da Vale pelo modelo univariado.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,564	0,319	0,318	0,17969

Fonte: Própria.

Segue abaixo resultado da regressão da volatilidade histórica média para cálculo da volatilidade futura.

Tabela 10: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica média para as ações da Vale pelo modelo univariado.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	-0,007	0,011		-0,648	0,517
Vol. Hist. Média	1,560	0,052	1,132	30,200	0,000
Vol. Hist. Média ²	-0,813	0,049	-0,626	-16,708	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 11: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica média para as ações da Vale pelo modelo univariado.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	67,293	2	33,647	1071,601	0,000
Residual	132,125	4208	0,031		
Total	199,418	4210			

Fonte: Própria.

Tabela 12: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática da volatilidade histórica média para as ações da Vale pelo modelo univariado.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,581	0,337	0,337	0,17720

Fonte: Própria.

Assim como constatado para a Petrobras, pelo gráfico com as volatilidades da Vale percebemos que a volatilidade apresenta reversão à média, ou seja, baixos níveis de volatilidade histórica acarretam maiores níveis de volatilidade futura, ao passo que altos níveis de volatilidade histórica implicam em menores níveis de volatilidade futura, tendo uma maior influência do que nas ações da Petrobras.

A reversão à média é mais severa com a volatilidade histórica padrão do que a volatilidade histórica média até aproximadamente 117%, quando há uma inversão e passa a ser o contrário.

Como já fora mencionado para a Petrobras, para a ação da Vale, a relação entre a volatilidade futura e histórica não é linear e sim quadrática, pois a reversão à média começa a ultrapassar a normalidade quando a volatilidade é muito alta.

Entre 10% e 41%, a volatilidade histórica padrão apresenta maior volatilidade futura, porém quase a mesma volatilidade. Utilizando a equação obtida pela regressão, com uma volatilidade histórica de 35%, obtém-se uma volatilidade futura de 36%. A partir de 42%, quanto maior a volatilidade histórica padrão, menor a volatilidade futura. Caso a volatilidade histórica fosse de 50%, a volatilidade futura seria de 47%.

Já a volatilidade histórica média abaixo de 68% apresenta maior volatilidade futura, enquanto que os valores acima de 68% acarretam em menores volatilidades futuras. Entretanto, as diferenças entre as volatilidades históricas e futuras são maiores do que as obtidas pelo modelo histórico padrão. Levando-se em consideração a equação obtida pela regressão, considerando uma volatilidade histórica média de 35%, obtém-se uma volatilidade futura de 44%. Já uma volatilidade histórica de 90% implica em uma volatilidade futura de 74%.

Por ter um maior R^2 com o modelo de volatilidade histórica média, pode-se constatar que sua volatilidade explica melhor a volatilidade futura, sendo uma medida de maior confiabilidade.

Para os modelos acima explicitados, levando-se em consideração o R^2 apresentado neste capítulo, a ação da Petrobras apresenta melhores resultados para cálculo da volatilidade futura que a ação da Vale.

4.2. Modelo de volatilidade histórica bivariado

No modelo multivariado, além de uma volatilidade histórica de curto prazo, foi acrescentada uma volatilidade histórica de longo prazo, o que difere este modelo do modelo univariado apresentado anteriormente.

Como há duas variáveis independentes neste modelo, o resultado seria um gráfico bi-dimensional. Para facilitar a visualização, foram fixadas algumas

volatilidades de curto prazo e de acordo com a volatilidade de longo prazo, chegava-se a uma determinada volatilidade futura.

Foram utilizados tanto o método linear quanto o quadrático para cálculo da volatilidade futura de acordo com o estudo proposto acima. Os dois modelos apresentaram resultados satisfatórios tanto para ações da Petrobras quanto para da Vale.

Com a aplicação da regressão linear para as ações da Petrobras obteve um resultado de quanto maior a volatilidade de curto prazo ou longo prazo, maior a volatilidade futura.

Segue abaixo resultado da regressão linear da volatilidade histórica de curto e de longo prazo para cálculo da volatilidade futura.

Tabela 13: Coeficientes obtidos a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo bivariado.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,095	0,007		13,184	0,000
Vol. Hist. de longo prazo	0,086	0,019	0,07	4,608	0,000
Vol. Hist. de curto prazo	0,631	0,017	0,562	36,749	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 14: ANOVA obtida a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo bivariado.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	81,389	2	40,694	1186,825	0,000
Residual	140,445	4096	0,034		
Total	221,834	4098			

Fonte: Própria.

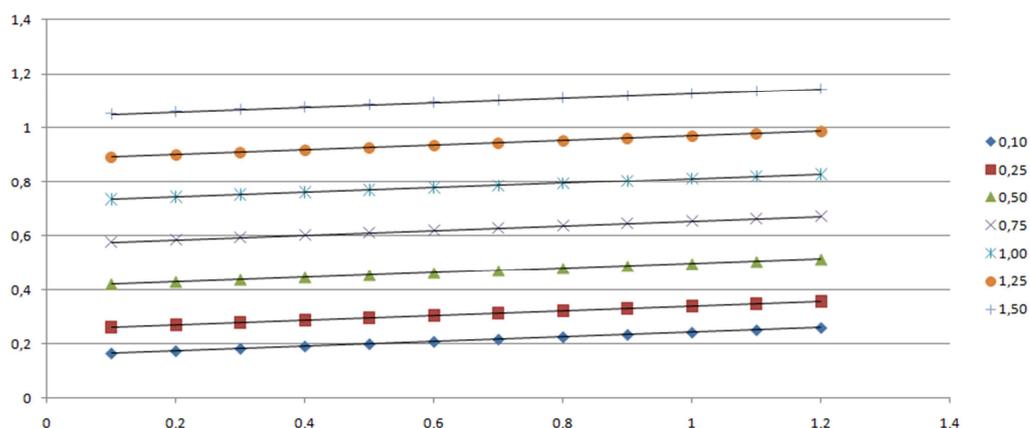
Tabela 15: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo bivariado.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,606	0,367	0,367	0,18517

Fonte: Própria.

Através dos resultados obtidos a partir da regressão linear acima foi plotado o gráfico abaixo.

Figura 3: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Petrobras a partir da regressão linear pelo modelo de volatilidade histórica bivariado.



Fonte: Própria.

Por ser linear, o aumento da volatilidade de longo prazo gera o mesmo aumento na volatilidade futura, caso a volatilidade de curto prazo seja a mesma.

Assim como para o método linear, seguiu-se a mesma metodologia para cálculo dos resultados das ações da Petrobras pelo método quadrático.

Tabela 16: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo bivariado.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	-0,058	0,022		-2,676	0,007
Vol. Hist. de longo prazo	0,346	0,082	0,285	4,218	0,000
Vol. Hist. de longo prazo ²	-0,251	0,067	-0,245	-3,774	0,000
Vol. Hist. de curto prazo	1,036	0,059	0,922	17,659	0,000
Vol. Hist. de curto prazo ²	-0,313	0,042	-0,366	-7,478	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 17: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo bivariado.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	83,864	4	20,966	622,131	0,000
Residual	137,970	4094	0,034		
Total	221,834	4098			

Fonte: Própria.

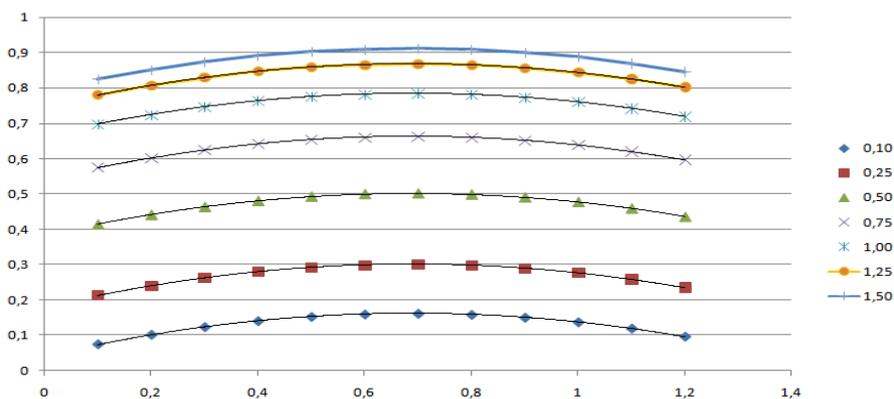
Tabela 18: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo bivariado.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,615	0,378	0,377	0,18358

Fonte: Própria.

Através dos resultados obtidos a partir da regressão quadrática acima foi gerado o gráfico abaixo. O eixo horizontal representa a volatilidade de longo prazo e o eixo vertical representa a volatilidade futura.

Figura 4: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Petrobras a partir da regressão quadrática pelo modelo de volatilidade histórica bivariado.



Fonte: Própria.

Pelo método quadrático, quanto maior for a volatilidade de curto prazo, maior a volatilidade futura, apresentando uma relação proporcional. Até atingir 50% de volatilidade histórica de curto prazo, qualquer variação na volatilidade histórica de curto prazo, implica em maior variação na volatilidade futura. Após atingir 50% de volatilidade histórica de curto prazo, a variação desta volatilidade vai causando cada vez menos impacto na variação da volatilidade futura. Pode-se perceber que a volatilidade futura é quase a mesma quando a volatilidade histórica de curto prazo é de 125% ou 150%.

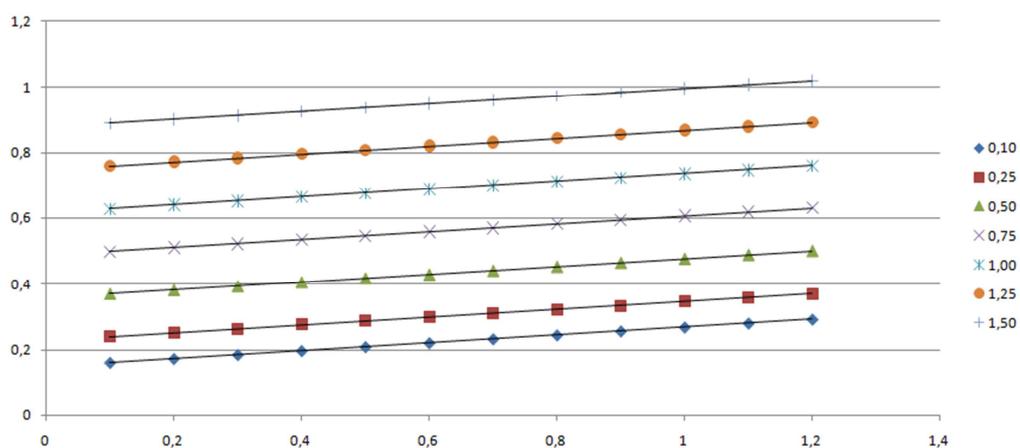
Ao incluir a volatilidade de longo prazo na análise, percebe-se que até aproximadamente 70% de volatilidade de longo prazo quanto maior a volatilidade de longo prazo, maior é a volatilidade futura. A partir daí, o aumento da volatilidade de longo prazo gera menores impactos na volatilidade futura,

comprovando que há reversão à média. Considerando uma volatilidade de curto prazo de 75%, quando a volatilidade de longo prazo é de 50% ou 90%, a volatilidade futura é de 65%.

Assim, para ações da Petrobras PN, dificilmente uma alta volatilidade permanecerá neste patamar por mais de 110 dias.

Utilizando a regressão linear para obtenção do modelo de volatilidade futura para ações da Vale, constatam-se os mesmos resultados que a aplicação da regressão linear para a ação da Petrobras, isto é, quanto maior a volatilidade curto e de longo prazo, maior a volatilidade futura.

Figura 5: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Vale a partir da regressão linear pelo modelo de volatilidade histórica bivariado.



Fonte: Própria.

Segue abaixo resultado da regressão linear da volatilidade histórica de curto e de longo prazo para cálculo da volatilidade futura.

Tabela 19: Coeficientes obtidos a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo bivariado.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,097	0,008		12,485	0,000
Vol. Hist. de longo prazo	0,119	0,014	0,141	8,771	0,000
Vol. Hist. de curto prazo	0,520	0,019	0,446	27,797	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 20: ANOVA obtida partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo bivariado.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	55,915	2	27,958	843,098	0,000
Residual	135,925	4099	0,033		
Total	191,84	4101			

Fonte: Própria.

Tabela 21: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo bivariado.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,54	0,291	0,291	0,1821

Fonte: Própria.

Com o objetivo de verificar os resultados para o modelo quadrático, foi realizada uma regressão entre a volatilidade histórica de curto prazo, a de longo prazo ao quadrado, a de longo prazo e a de longo prazo ao quadrado para cálculo da volatilidade futura.

Tabela 22: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo bivariado.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	-0,043	0,022		-1,977	0,048
Vol. Hist. de longo prazo	0,217	0,056	0,257	3,852	0,000
Vol. Hist. de longo prazo ²	-0,073	0,032	-0,148	-2,296	0,022
Vol. Hist. de curto prazo	1	0,058	0,858	17,334	0,000
Vol. Hist. de curto prazo ²	-0,395	0,044	-0,416	-8,951	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 23: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo bivariado.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	58,818	4	14,704	452,884	0,000
Residual	133,023	4097	0,032		
Total	191,84	4101			

Fonte: Própria.

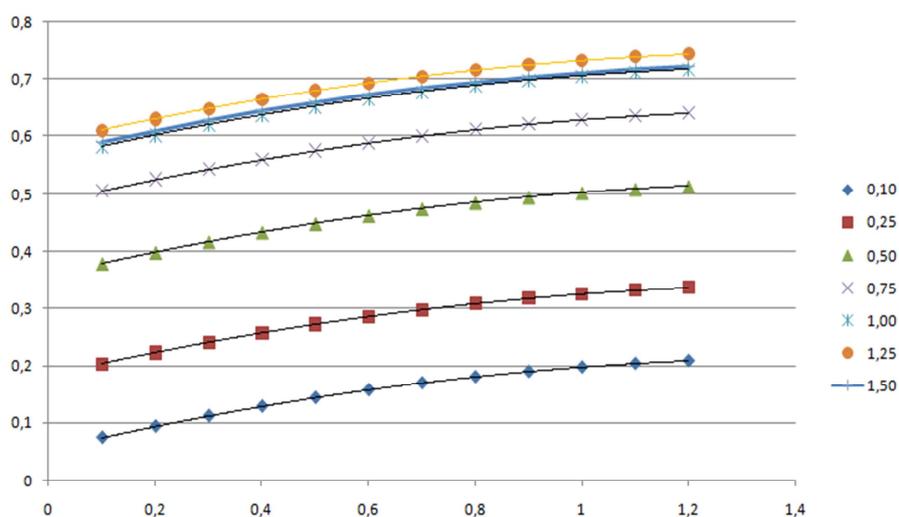
Tabela 24: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo bivariado.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,554	0,307	0,306	0,18019

Fonte: Própria.

Aplicando o método de regressão quadrático para as ações da Vale, chega-se a conclusão de que até atingir 50% de volatilidade histórica de curto prazo, qualquer variação na volatilidade histórica de curto prazo, gera maior variação na volatilidade futura. Após atingir 50% de volatilidade histórica de curto prazo, a variação desta volatilidade vai causando cada vez menos impacto na variação da volatilidade futura, até atingir 125%, quando o aumento acima deste valor na volatilidade histórica de curto prazo acarreta em menor volatilidade futura.

Figura 6: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Vale a partir da regressão quadrática pelo modelo de volatilidade histórica bivariado.



Fonte: Própria.

Ao incluir a volatilidade de longo prazo na análise, percebe-se que o aumento nesta volatilidade causa cada vez menos variação na volatilidade futura, com tendência a permanecer constante em períodos de alta volatilidade. Exemplificando, considerando uma volatilidade de curto prazo de 50%, quando se tem uma volatilidade de longo prazo de 20%, o resultado é uma volatilidade futura de 40%. Se a volatilidade de longo prazo for de 30%, a volatilidade futura é

de 42%. Aumentando a volatilidade de longo prazo para 40%, a volatilidade futura é de 43%.

Abaixo segue uma tabela que demonstra o explicitado acima.

Tabela 25: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Vale a partir da regressão quadrática pelo modelo de volatilidade histórica bivariado.

<u>Volatilidade de curto prazo</u>	<u>Volatilidade de longo prazo</u>	<u>Volatilidade futura</u>
50%	10%	38%
50%	20%	40%
50%	30%	42%
50%	40%	43%
50%	50%	45%
50%	60%	46%
50%	70%	47%
50%	80%	49%
50%	90%	49%
50%	100%	50%
50%	110%	51%
50%	120%	51%

Fonte: Própria.

Por ter um maior R^2 com o modelo quadrático tanto para a Petrobras quanto para a Vale, pode-se constatar que a volatilidade de curto e longo prazo que explica melhor a volatilidade futura é utilizando este modelo, tendo resultados com maior confiabilidade.

Para os modelos acima explicitados, a ação da Petrobras apresenta melhores resultados para cálculo da volatilidade futura que a ação da Vale.

4.3. Modelo GARCH

Para aplicação do modelo GARCH, foi utilizada a ferramenta EVIEWS para cálculo da volatilidade futura de longo prazo. A partir dos dados obtidos com o modelo de volatilidade histórica bivariado, substitui-se a volatilidade histórica de longo prazo calculada por este modelo pela calculada a partir do EVIEWS.

Com os resultados de volatilidades obtidos, foram realizadas regressões lineares e quadráticas tanto para as ações da Petrobras quanto para as da Vale.

Aplicando o método de regressão linear para as ações da Petrobras, percebe-se que há relação entre as variáveis dependentes e independentes, uma vez que apresentam elevados t de *student*, de acordo com o resultado abaixo.

Tabela 26: Coeficientes obtidos a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo GARCH.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,122	0,008		15,645	0,000
Vol. Hist. de longo prazo	-0,038	0,016	-0,031	-2,366	0,018
Vol. Hist. de curto prazo	0,689	0,015	0,613	46,668	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 27: ANOVA obtida a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo GARCH.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	80,853	2	40,427	1174,541	0,000
Residual	140,981	4096	0,034		
Total	221,834	4098			

Fonte: Própria.

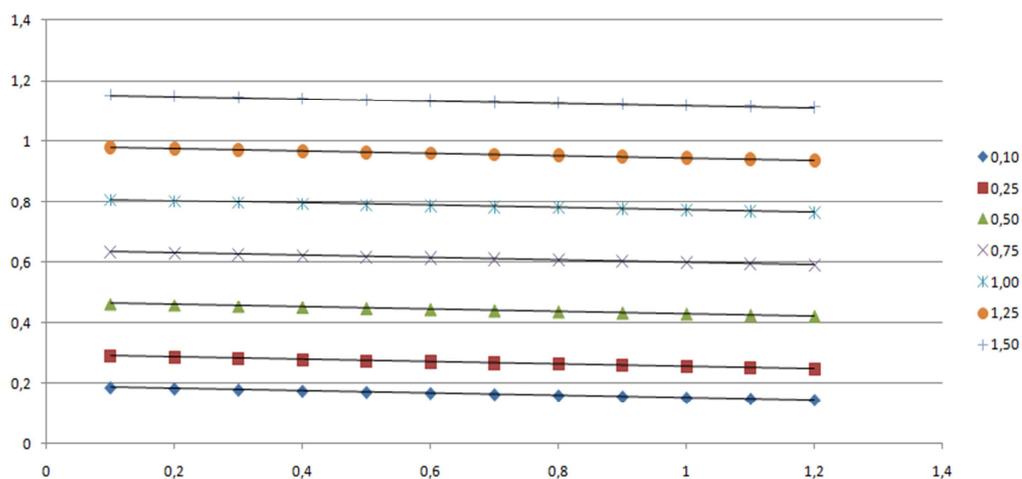
Tabela 28: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo GARCH.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,604	0,364	0,364	0,18552

Fonte: Própria.

Para melhor entendimento dos resultados, fixou-se a volatilidade de curto prazo e a partir da variação da volatilidade de longo prazo foi calculada a volatilidade futura. A partir da equação obtida através da regressão, quanto maior a volatilidade de longo prazo, menor a volatilidade futura e quanto maior a volatilidade de curto prazo, maior a volatilidade futura.

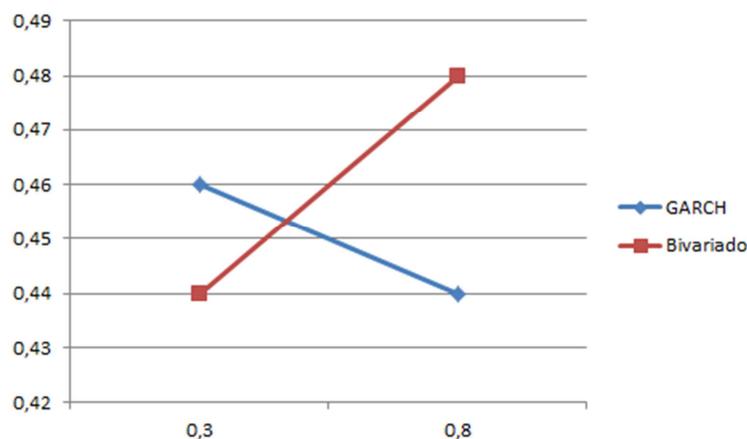
Figura 7: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Petrobras a partir da regressão linear pelo modelo GARCH.



Fonte: Própria.

Este modelo apresenta resultados diferentes em relação ao modelo de volatilidade histórica bivariado. Considerando uma volatilidade histórica de curto prazo de 50%, uma volatilidade histórica de longo prazo de 30%, pelo modelo GARCH, obtém-se uma volatilidade futura de 46%. Aplicando as mesmas volatilidades históricas no modelo histórico bivariado, obtém-se uma volatilidade futura de 44%. Quando se utiliza uma volatilidade histórica de curto prazo de 50%, uma volatilidade histórica de longo prazo de 80%, pelo modelo GARCH, obtém-se uma volatilidade futura de 44%. Aplicando as mesmas volatilidades históricas no modelo histórico bivariado, obtém-se uma volatilidade futura de 48%. Isto é, pelo modelo GARCH, quanto maior a volatilidade histórica de longo prazo, menor é a volatilidade futura. Já pelo modelo histórico bivariado, quanto maior a volatilidade histórica de longo prazo, maior é a volatilidade futura. Segue figura abaixo ilustrando o exposto acima.

Figura 8: Relação entre o Modelo GARCH e o Modelo de volatilidade histórica bivariado para ações da Petrobras a partir do resultado da regressão linear.



Fonte: Própria.

Aplicando regressão quadrática para os resultados da ação da Petrobras, conclui-se a partir do *t* de *student* que a volatilidade de longo prazo não influencia na volatilidade futura, ao passo que a volatilidade de longo prazo ao quadrado e as volatilidades de curto prazo linear e ao quadrado influenciam a volatilidade futura.

Tabela 29: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo GARCH.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	-0,011	0,018		-0,619	0,536
Vol. Hist. de longo prazo	0,081	0,056	0,066	1,445	0,149
Vol. Hist. de longo prazo ²	-0,103	0,041	-0,114	-2,550	0,011
Vol. Hist. de curto prazo	1,134	0,055	1,009	20,746	0,000
Vol. Hist. de curto prazo ²	-0,351	0,041	-0,411	-8,605	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 30: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo GARCH.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	83,829	4	20,957	621,707	0,000
Residual	138,005	4094	0,034		
Total	221,834	4098			

Fonte: Própria.

Tabela 31: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo GARCH.

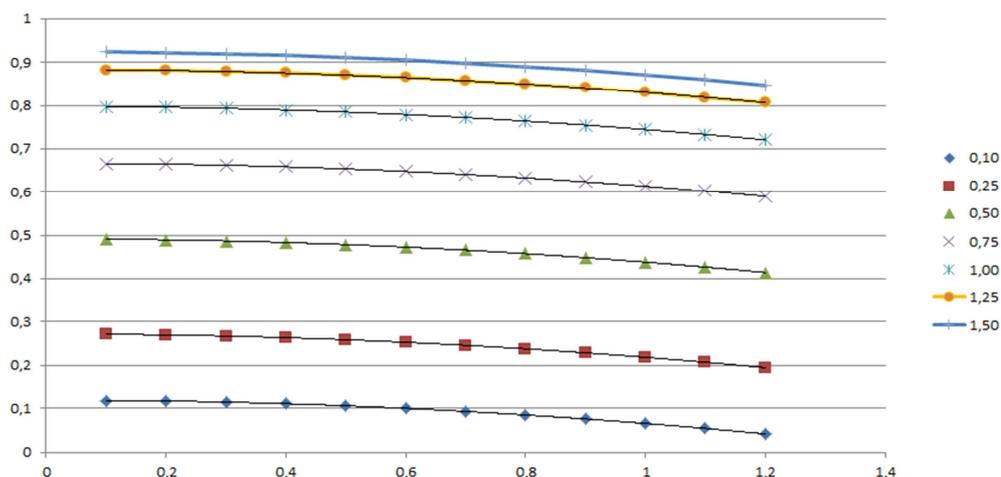
R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,615	0,378	0,377	0,1836

Fonte: Própria.

Para a volatilidade de curto prazo, os resultados foram parecidos com os obtidos a partir do modelo de volatilidade bivariada, ou seja, quanto maior a volatilidade de curto prazo, maior a volatilidade futura.

Entretanto, ao analisar a volatilidade de longo prazo, percebe-se que no modelo GARCH quanto maior esta volatilidade, menor a volatilidade futura. Já no modelo de volatilidade bivariada, há reversão à média.

Figura 9: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Petrobras a partir da regressão quadrática pelo modelo GARCH.



Fonte: Própria.

Também foi realizada uma regressão linear entre a volatilidade histórica de curto e de longo prazo para cálculo da volatilidade futura para a ação da Vale. Seguem abaixo resultados desta regressão.

Tabela 32: Coeficientes obtidos a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo GARCH.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,154	0,008		18,270	0,000
Vol. Hist. de longo prazo	-0,068	0,018	-0,053	-3,780	0,000
Vol. Hist. de curto prazo	0,635	0,016	0,545	38,834	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 33: ANOVA obtida a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo GARCH.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	53,845	2	26,923	799,708	0,000
Residual	137,995	4099	0,034		
Total	191,84	4101			

Fonte: Própria.

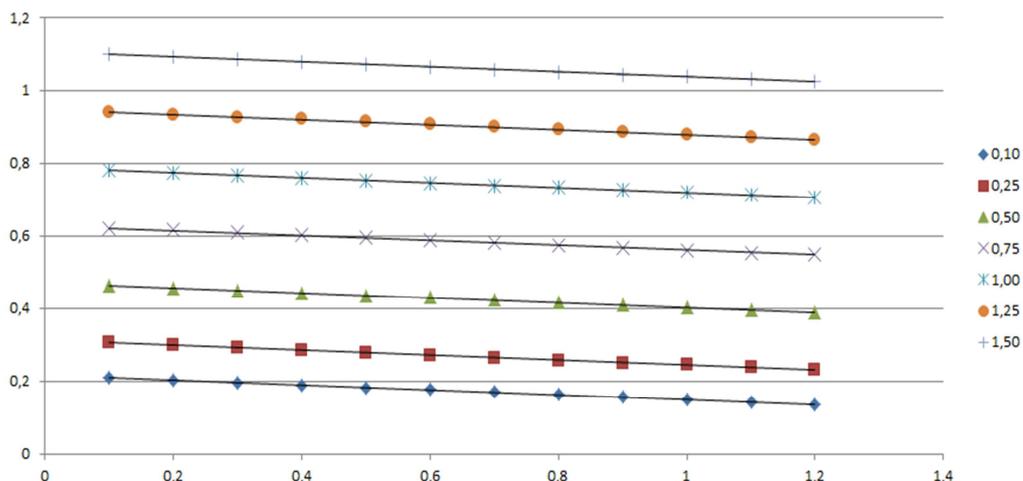
Tabela 34: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo GARCH.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,530	0,281	0,280	0,18348

Fonte: Própria.

Aplicando a regressão linear para obtenção do modelo de volatilidade futura para ações da Vale, constatam-se resultados similares aos obtidos para a ação da Petrobras, isto é, quanto maior a volatilidade de longo prazo, menor a volatilidade futura.

Figura 10: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Vale a partir da regressão linear pelo modelo GARCH.



Fonte: Própria.

Diferente do que aconteceu na aplicação do modelo quadrático para a Petrobras, todas as variáveis explicam a volatilidade futura, uma vez que apresentam elevados *t* de *student*, conforme resultado da regressão.

Tabela 35: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo GARCH.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	-0,025	0,017		-1,449	0,148
Vol. Hist. de longo prazo	0,170	0,049	0,133	3,447	0,001
Vol. Hist. de longo prazo ²	-0,183	0,035	-0,198	-5,247	0,000
Vol. Hist. de curto prazo	1,153	0,054	0,990	21,509	0,000
Vol. Hist. de curto prazo ²	-0,450	0,043	-0,474	-10,422	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 36: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo GARCH.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	58,638	4	14,66	450,898	0,000
Residual	133,202	4097	0,033		
Total	191,840	4101			

Fonte: Própria.

Tabela 37: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo GARCH.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,553	0,306	0,305	0,18031

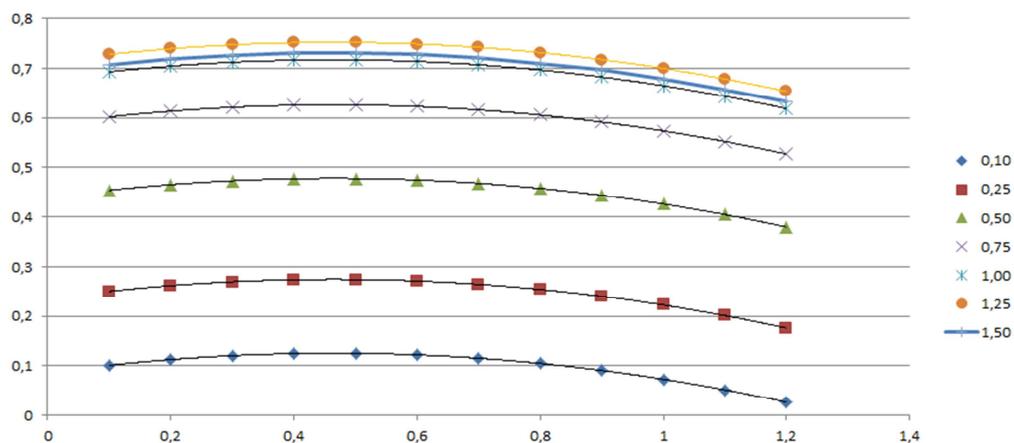
Fonte: Própria.

Até a volatilidade de curto prazo de 125%, o aumento nesta volatilidade gera aumento na volatilidade futura. A partir daí, percebe-se que o incremento na volatilidade de curto prazo gera decréscimo na volatilidade futura.

Já o aumento na volatilidade de longo prazo gera aumento na volatilidade futura até atingir 50%, quando a curva se inverte e o aumento na volatilidade de longo prazo acima de 50% influencia em um decréscimo da volatilidade futura, havendo reversão à média.

Ao fixar a volatilidade de curto prazo em 50% e utilizar uma volatilidade de longo prazo de 40%, obtém uma volatilidade futura de 48%. Ao aplicar a mesma volatilidade de curto prazo e alterar a volatilidade de longo prazo para 90%, resulta em uma volatilidade futura de 44%.

Figura 11: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Vale a partir da regressão quadrática pelo modelo GARCH.



Fonte: Própria.

Por ter um maior R^2 , os modelos quadráticos da Petrobras e da Vale explicam melhor a volatilidade futura e a ação da Petrobras apresenta melhores resultados para cálculo da volatilidade futura que a ação da Vale.

4.4. Modelo EGARCH

Assim como para obtenção de resultados pelo modelo GARCH, foi utilizada a ferramenta EVIEWS para cálculo da volatilidade futura de longo prazo no modelo EGARCH, substituindo-se a volatilidade histórica de longo prazo.

A partir da aplicação do método de regressão linear para as ações da Petrobras, constata-se que há relação entre as variáveis dependentes e independentes, uma vez que apresentam elevados *t* de *student*, de acordo com o resultado abaixo.

Tabela 38: Coeficientes obtidos a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo EGARCH.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,126	0,008		15,387	0,000
Vol. Hist. de longo prazo	-0,050	0,018	-0,036	-2,717	0,007
Vol. Hist. de curto prazo	0,692	0,015	0,616	46,306	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 39: ANOVA obtida a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo EGARCH.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	80,915	2	40,457	1175,941	0,000
Residual	140,919	4096	0,034		
Total	221,834	4098			

Fonte: Própria.

Tabela 40: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo EGARCH.

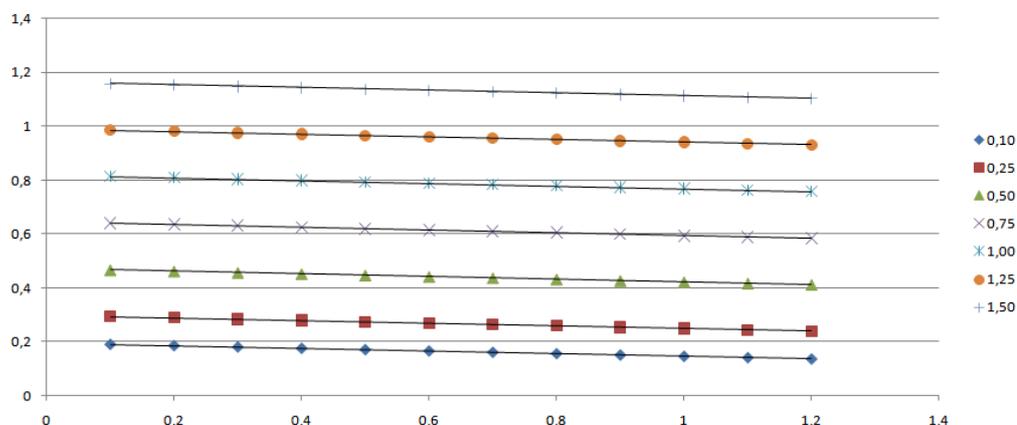
R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,604	0,365	0,364	0,18548

Fonte: Própria.

Fixando-se a volatilidade de curto prazo, foi calculada a volatilidade futura a partir da variação da volatilidade de longo prazo. Através da equação obtida pela regressão, quanto maior a volatilidade de longo prazo, menor a volatilidade futura e quanto maior a volatilidade de curto prazo, maior a volatilidade futura. Em

termos gerais, este resultado é bem parecido ao encontrado com a aplicação do modelo GARCH. Entretanto, quanto maior a volatilidade de longo prazo, menor ainda é a volatilidade futura, já que o coeficiente desta variável no modelo EGARCH é mais negativo que no modelo GARCH. Isto é, um aumento de 10% na volatilidade de longo prazo gera uma redução de 0,38% pelo modelo GARCH, ao passo que pelo EGARCH essa redução é de 0,50%.

Figura 12: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Petrobras a partir da regressão linear pelo modelo EGARCH.



Fonte: Própria.

Ao utilizar a regressão quadrática para os resultados da ação da Petrobras, conclui-se que a volatilidade de longo prazo e a volatilidade de longo prazo ao quadrado não influenciam na volatilidade futura. Já as volatilidades de curto prazo linear e ao quadrado influenciam a volatilidade futura, como pode ser observado abaixo.

Tabela 41: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo EGARCH.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,007	0,019		0,374	0,708
Vol. Hist. de longo prazo	0,002	0,064	0,001	0,027	0,978
Vol. Hist. de longo prazo ²	-0,055	0,051	-0,050	-1,094	0,274
Vol. Hist. de curto prazo	1,147	0,054	1,021	21,151	0,000
Vol. Hist. de curto prazo ²	-0,357	0,041	-0,417	-8,795	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 42: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo EGARCH.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	83,669	4	20,917	619,804	0,000
Residual	138,165	4094	0,034		
Total	221,834	4098			

Fonte: Própria.

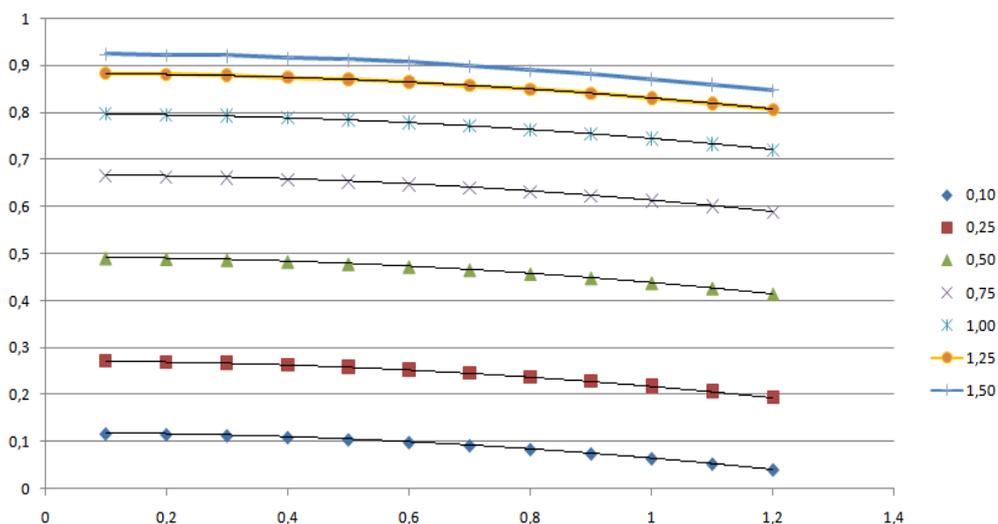
Tabela 43: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Petrobras pelo modelo EGARCH.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,614	0,377	0,377	0,18371

Fonte: Própria.

Pelo gráfico abaixo, quanto maior a volatilidade de curto prazo, maior a volatilidade futura.

Figura 13: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Petrobras a partir da regressão quadrática pelo modelo EGARCH.



Fonte: Própria.

Como mencionado anteriormente, por não proporcionar resultados significativos, a volatilidade de longo prazo não explica a volatilidade futura.

Também foi utilizada a regressão linear entre a volatilidade histórica de curto e de longo prazo para cálculo da volatilidade futura para a ação da Vale.

Tabela 44: Coeficientes obtidos a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo EGARCH.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	0,148	0,009		16,598	0,000
Vol. Hist. de longo prazo	-0,049	0,021	-0,034	-2,376	0,018
Vol. Hist. de curto prazo	0,629	0,017	0,540	37,935	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 45: ANOVA obtida a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo EGARCH.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	53,555	2	26,777	793,721	0,000
Residual	138,286	4099	0,034		
Total	191,840	4101			

Fonte: Própria.

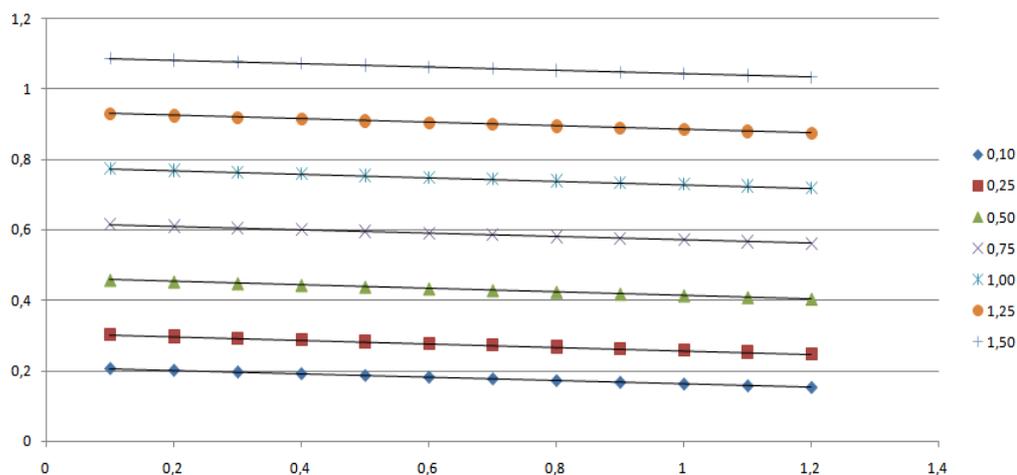
Tabela 46: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão linear entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo EGARCH.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,528	0,279	0,279	0,18367

Fonte: Própria.

Através da aplicação da regressão linear para obtenção do modelo de volatilidade futura para ações da Vale, constatam-se resultados similares aos obtidos pelo modelo GARCH, isto é, quanto maior a volatilidade de longo prazo, menor a volatilidade futura. Porém, no EGARCH, quanto maior a volatilidade de longo prazo, menor é a influência negativa na volatilidade futura, pois o coeficiente desta variável neste modelo é maior que o coeficiente desta mesma variável no modelo GARCH.

Figura 14: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Vale a partir da regressão linear pelo modelo EGARCH.



Fonte: Própria.

Ao contrário do que aconteceu na aplicação do modelo quadrático para a Petrobras, por apresentar elevados *t* de *student*, todas as variáveis para a ação da Vale explicam a volatilidade futura.

Tabela 47: Coeficientes obtidos a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo EGARCH.

	Coeficientes não-padronizados		Coeficientes padrão	t	Sig.
	B	Erro	Beta		
(Constante)	-0,057	0,021		-2,715	0,007
Vol. Hist. de longo prazo	0,342	0,079	0,235	4,351	0,000
Vol. Hist. de longo prazo ²	-0,369	0,071	-0,279	-5,206	0,000
Vol. Hist. de curto prazo	1,135	0,054	0,974	20,986	0,000
Vol. Hist. de curto prazo ²	-0,434	0,044	-0,457	-9,947	0,000

Fonte: Própria.

Tabela 48: ANOVA obtida a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo EGARCH.

	Soma dos quadrados	df	Média ao quadrado	F	Sig.
Regressão	58,313	4	14,578	447,3	0,000
Residual	133,528	4097	0,033		
Total	191,840	4101			

Fonte: Própria.

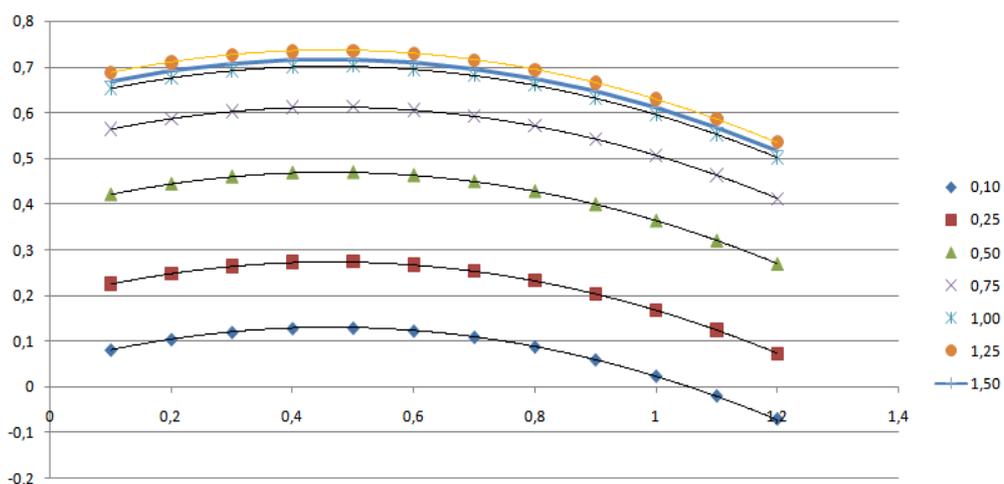
Tabela 49: Resultado do R^2 obtido a partir da regressão quadrática entre a volatilidade histórica de longo prazo, e a volatilidade histórica de curto prazo para as ações da Vale pelo modelo EGARCH.

R	R^2	R^2 ajustado	Erro padrão
0,551	0,304	0,303	0,18053

Fonte: Própria.

Igualmente ao que aconteceu com a aplicação do modelo GARCH, o aumento na volatilidade de curto prazo gera aumento na volatilidade futura até atingir 125%. A partir daí, percebe-se que o aumento na volatilidade de curto prazo gera decréscimo na volatilidade futura. Pelo gráfico acima, as volatilidades futuras resultantes da volatilidade de curto prazo de 150% são menores que as volatilidades futuras obtidas através da volatilidade de curto prazo de 125%.

Figura 15: Relação entre as volatilidades históricas de curto e longo prazo e a volatilidade futura para a ação da Vale a partir da regressão quadrática pelo modelo EGARCH.



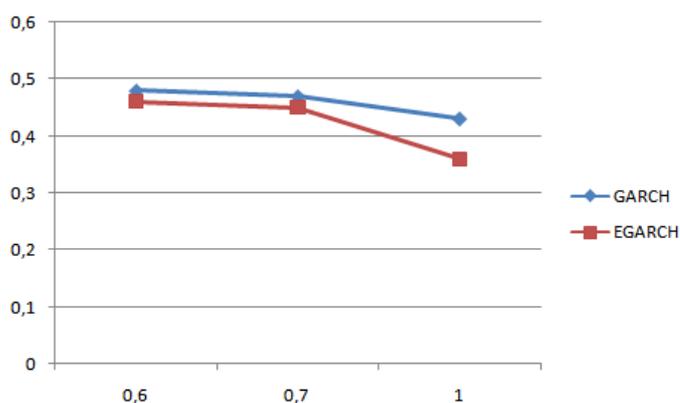
Fonte: Própria.

O aumento na volatilidade de longo prazo proporciona aumento na volatilidade futura até atingir 50%, quando há inversão da curva e o incremento na volatilidade de longo prazo acima de 50% influencia em um decréscimo da volatilidade futura, o que comprova a reversão à média. Por isso, estes resultados do modelo EGARCH são similares aos do modelo GARCH. Mas, percebe-se que a partir da volatilidade futura de longo prazo de 80%, qualquer aumento desta

volatilidade gera uma variação negativa na volatilidade futura maior que no modelo GARCH.

Ao utilizar uma volatilidade de curto prazo de 50% e uma volatilidade futura de longo prazo 60% a volatilidade futura do modelo EGARCH é de 46%, ao passo que a do modelo GARCH é de 48%. Aplicando uma volatilidade de longo prazo de 70%, a volatilidade futura do modelo EGARCH é de 45%, ao passo que a do modelo GARCH é de 47%. Ou seja, a variação é pequena em ambos os modelos. Porém, se a volatilidade de longo prazo for de 100%, a volatilidade futura do modelo EGARCH é de 36%, ao passo que a do modelo GARCH é de 43%.

Figura 16: Relação entre o modelo GARCH e o modelo EGARCH para ações da Vale a partir do resultado da regressão quadrática.



Fonte: Própria.

Da mesma forma que no modelo GARCH, os modelos quadráticos da Petrobras e da Vale explicam melhor a volatilidade futura que os modelos lineares e a ação da Petrobras apresenta melhores resultados para cálculo da volatilidade futura que a ação da Vale.