

Avaliação do Desempenho do Método dos Mínimos Quadrados: um Estudo de Caso com Duas Séries Temporais de Índices Macroeconômicos

Paulo Siga Thomaz¹, Gérson dos Santos Nunes², Viviane Leite Dias de Mattos³

Resumo

O objetivo deste estudo foi de realizar uma avaliação do método dos mínimos quadrados na construção de um modelo de regressão linear, envolvendo o índice do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e a Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) da construção civil. Com esse intuito, foi construído um modelo de regressão polinomial de quinto grau com o PIB como variável dependente. Apesar das duas matrizes de dados possuírem forte correlação, o modelo selecionado apresentou problemas de dependência em seus resíduos. Conclui-se, portanto, que o método dos mínimos quadrados não é capaz de modelar adequadamente a relação entre esses dois índices quando um modelo de regressão polinomial é utilizado.

Palavras-chave: Construção Civil. FBCF. PIB. Regressão Linear. Método dos Mínimos Quadrados.

Abstract

The objective of this study was to perform an evaluation of the least squares method in the construction of a linear regression model, involving the National Gross Domestic Product (GPD) index and the Gross Fixed Capital Formation (GFCF) of civil construction. For this purpose, a fifth degree polynomial regression model was constructed with GPD as the dependent variable. Although the two data matrices have strong correlation, the selected model presented problems of dependence in its residuals. We conclude that the least squares method is not able to adequately model the relationship between these two indexes when a polynomial regression model is used.

Keywords: Civil Construction. GFCF. GPD. Linear Regression. Least Squares Method.

^{1,2,3}Universidade Federal de Rio Grande (FURG)

¹ paulosigathomaz@gmail.com

² gerson.sn85@gmail.com

³ viviane.leite.mattos@gmail.com

1 Introdução

A análise de regressão diz respeito ao estudo da relação entre duas variáveis, com o objetivo de determinar uma função matemática que busque descrever o comportamento de uma variável dependente com base nos valores de outras variáveis independentes entre si (SILVA; MATTOS, 2017). O modelo de regressão pode ser aplicado em séries temporais com a finalidade de fornecer subsídios para realizar previsões e, por consequência, auxiliar no planejamento estratégico por parte de investidores e administradores.

Para que o modelo de regressão seja construído é necessário, primeiramente, estimar os parâmetros da regressão, o que geralmente é feito pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Essa técnica busca ajustar a melhor curva para o gráfico de dispersão dos dados, de forma a minimizar a soma dos quadrados dos erros. Para que o modelo seja válido, no entanto, esses erros, ou resíduos, devem satisfazer as condições de normalidade, ausência de autocorrelação e de heteroscedasticidade, o que pode ser verificado por meio de testes estatísticos e de análise gráfica.

Como evidenciado por autores como Bon (1992), Teixeira e Carvalho (2005) e Kureski et al. (2008), a construção civil possui impacto direto e relevante na economia do país. A Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) da construção civil é um dos indicadores mais importantes dessa atividade e mede a quantidade de investimento que é direcionada a esse setor, seja por parte do governo por meio de programas de desenvolvimento, ou por parte das empresas do ramo na compra de máquinas e ferramentas. Dessa forma, estudar a influência desse indicador nos índices globais da economia pode fornecer informações importantes sobre o desenvolvimento econômico no período atual e nos próximos

anos, bem como mostrar quais são as estratégias do governo para a economia.

Dito isso, o objetivo deste artigo é o de realizar uma avaliação do desempenho do MMQ na construção de um modelo de regressão polinomial, envolvendo o Produto Interno Bruto (PIB) nacional como variável dependente e a Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) da construção civil como variável independente.

O presente artigo é uma versão estendida do trabalho de Thomaz, Nunes e Mattos (2018). Nesta versão foi realizado um aprofundamento da fundamentação teórica, acrescentando explicações sobre os índices do PIB e da FBCF da construção civil. Além disso, foram incluídas a explicação e formulação dos testes estatísticos utilizados para o diagnóstico dos resíduos. Por fim, a análise dos resultados também foi estendida, por meio de um aprofundamento da análise exploratória, incluindo medidas descritivas, análises gráficas e testes de significância.

2 Referencial Teórico

2.1 Produto Interno Bruto (PIB)

Segundo Souza et al. (2015) o Produto Interno Bruto (PIB) nacional é um dos indicadores mais utilizados para quantificar a atividade econômica do país, sendo constituído pelos valores brutos adicionados dos três grandes setores da economia: Agropecuária, Indústria e Serviços. Portanto, o PIB é um indicador do nível de produção de um país em determinado período, podendo assumir valores positivos, no caso de crescimento econômico, ou negativos se o país estiver passando por uma recessão.

Em relação a metodologia de cálculo do PIB, Souza (2012) afirma que esse índice pode ser calculado de três maneiras. Sob a ótica da demanda, o PIB é computado a partir da despesa interna total do país, considerando as despesas das famílias (consumo privado) e as

despesas do Estado (consumo público). A segunda maneira, considerando a ótica da oferta, consiste em calcular o PIB somando-se os valores adicionados brutos (VAB) de todas as empresas que integram a economia nacional. Por fim, sob a ótica do rendimento, calcula-se o PIB por meio dos salários e lucros gerados pelos agentes econômicos.

2.2 Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF)

Conforme mencionado por Fialho et al. (2014), a Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF), sob a ótica da demanda, representa a soma de todas as despesas com novos investimentos aplicados em bens de capital voltados à produção ou geração de riqueza. Em outras palavras, esse indicador mensura o quanto as empresas aumentaram seus bens de capital. Entende-se por bens de capital como aqueles bens utilizados para produzir outros bens, por exemplo: máquinas, equipamentos, materiais de construção e softwares, entre outros.

Segundo a metodologia de cálculo do IPEA (2017), a FBCF da economia é composta por investimentos em máquinas e equipamentos, construção civil e por outros ativos fixos (como propriedade intelectual, por exemplo). A FBCF da construção civil tem grande impacto no investimento total, constituindo, segundo Fialho et al. (2014), aproximadamente 43% da FBCF total no ano de 2013.

2.3 O Setor da Construção Civil na Economia Nacional

A limitação de recursos faz com que o governo tenha que direcionar os investimentos a setores com maior prioridade, os quais têm maior impacto nas políticas econômicas. Esse fato pode ser observado principalmente nos países em desenvolvimento, onde, segundo Teixeira e Carvalho (2005), os problemas são

numerosos e as soluções são limitadas. Portanto, avaliar o comportamento dos indicadores econômicos é importante, pois pode nos mostrar quais setores estão contribuindo de forma mais ativa no crescimento econômico do país.

Nesse contexto, muitos autores apontam a construção civil como um dos setores prioritários para as estratégias econômicas. Kureski et al. (2008) afirmam que a construção civil tem uma cadeia produtiva vasta e complexa, indo desde a atividade de mineração até a comercialização de imóveis e, devido a isso, esse setor tem grande influência na atividade econômica. Seguindo essa mesma linha de pensamento, Bon (1992) aponta que, em virtude do processo de industrialização e urbanização nos países em desenvolvimento, o crescimento econômico leva a um aumento da participação da construção civil no total de insumos produzidos. Esse fato reflete a enorme quantidade de investimento direcionado ao setor de infraestrutura durante os estágios iniciais de desenvolvimento de um país. Ainda, de acordo com Teixeira e Carvalho (2005), o setor de construção civil gera infraestrutura econômica através da construção de portos de navegação, rodovias, sistemas de irrigação, comunicação, entre outros. Portanto, a construção civil facilita o desenvolvimento das demais atividades econômicas.

Em relação ao impacto nos índices econômicos globais, Bon (1992) afirma que, nas primeiras fases de desenvolvimento de um país, o setor da construção civil é o que mais contribui para o crescimento do PIB, principalmente devido aos processos de urbanização e industrialização, os quais colocam toda a cadeia produtiva da indústria da construção em funcionamento. Já em estágios mais avançados de desenvolvimento, o aumento da renda per capita leva a um incremento na atividade de serviços, fazendo com que, a longo prazo,

esse setor passe a contribuir mais para o PIB. Isso é evidenciado por alguns dados apresentados por Passos et al. (2012) que afirmam que desde 1975 a participação da construção civil no PIB vem aumentando, enquanto a da indústria de transformação tem diminuído. Entre os anos de 1975 e 1985, por exemplo, a participação do setor industrial no PIB foi de 40%, enquanto a construção civil contribuiu com uma parcela de 6,5%. Já em 1990, a construção civil contribuiu com 6,9%, enquanto a participação do setor industrial no PIB caiu para 34,3%. A contribuição da construção civil para a econômica aumentou ainda mais em 2001, chegando a 15,6% do PIB nacional.

Em se tratando de investimentos, a construção civil também mostra grande representatividade. Isso é evidenciado pela criação de programas como o PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) e o Minha Casa, Minha Vida pelo governo federal, os quais alavancaram ainda mais o crescimento do setor, através de investimento em residências, rodovias e outras obras de infraestrutura. Um exemplo disso, segundo Fialho et al. (2014), é a quantidade de dinheiro investido na construção de moradias, entre os anos de 2011 e 2013, que chegou ao valor total de R\$773,4 bilhões. Farias (2015) também mostra a importância desses programas, afirmando que eles foram responsáveis por um incremento de 25,8% no total produzido pela economia nacional no período compreendido entre 2007 e 2013.

Outro fator importante a ser considerado é o forte encadeamento da construção civil com outros setores, já que, por meio da produção de infraestrutura, a indústria da construção contribui para o desenvolvimento de todos os ramos da economia, por meio da geração de insumos e de empregos. Teixeira e Carvalho (2005), por exemplo, afirmam que no ano de 2009, apesar da crise internacional, o emprego formal na construção aumentou 9,17%. Os autores afirmam, ainda, que o

PAC foi responsável por um crescimento médio de 3,17% no número total de empregos no país, no período de 2011 a 2013.

Os dados apresentados mostram que a indústria da construção civil é um setor chave para o desenvolvimento do país, sendo prioritário nas estratégias de investimento do governo.

2.4 Correlação e regressão linear

Segundo Bussab e Morettin (2010), a quantificação do grau de associação entre duas variáveis pode ser feita através dos coeficientes de correlação, os quais medem esta propriedade com um único número, variando de -1 a 1. Um dos coeficientes mais utilizados é o de Pearson, dado pela equação

$$r = \frac{n \sum(xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

em que n é o número de observações, o qual deve ser igual para as duas variáveis x e y . A correlação é mais forte conforme o valor do coeficiente se aproxima de 1 ou -1, com o sinal indicando se essa correlação é negativa ou positiva. Elevando o coeficiente de correlação de Pearson ao quadrado, obtém-se o chamado coeficiente de determinação, conforme a equação a seguir, o qual representa uma medida da quantidade de variação de uma variável que é explicada pela variação de outra.

$$R^2 = r^2.$$

É possível descrever a relação entre duas variáveis por meio de uma equação matemática, o que pode ser feito com a construção de um modelo de regressão. O Modelo de Regressão Linear (MRL) parte do pressuposto de que existe uma relação linear entre y (variável dependente) e x (variável independente). A fórmula geral do modelo de regressão polinomial com uma variável independente é apresentada na equação

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \dots + \beta_j x_i^j + \dots + \beta_m x_i^m + \varepsilon_i,$$

em que \hat{y}_i é o valor da variável dependente correspondente a i -ésima observação, x_i corresponde ao valor da variável independente na i -ésima observação, β_0 é o intercepto, β_j é o coeficiente angular associado à j -ésima potência da variável independente e a parcela ε_i corresponde ao erro, também chamado de resíduo, para o i -ésimo dado do modelo. Assume-se que os erros seguem distribuição normal com média zero e variância desconhecida e constante, denotado por $\varepsilon \sim N(0; \sigma^2)$.

Os coeficientes de regressão podem ser encontrados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), o qual busca definir a curva ideal que minimiza o somatório dos erros. No entanto, como os erros podem resultar em valores negativos ou positivos, computa-se os mesmos ao quadrado de forma

a eliminar esse problema, conforme mostrado na equação a seguir. Esse método é recomendado especialmente nos casos de curvas crescentes ou decrescentes (SILVA E MATTOS, 2017).

$$q = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = (y_i - \hat{y}_i)^2,$$

Para validar o modelo de regressão, ainda é necessário fazer um teste de variância, conhecido como ANOVA, que verifica a hipótese nula de que todos os coeficientes angulares do modelo de regressão são nulos. Segundo Sartoris (2013), este teste consiste em dividir a variação da variável y em duas parcelas, uma parte explicada pela regressão e outra não explicada (erros), para determinar a estatística F , calculada conforme Tabela 1. Ela representa o quociente entre estas variações e possibilita rejeitar ou não a hipótese nula com base no valor p .

Tabela 1 – Resumo do teste ANOVA

Fonte de Variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Estatística F
Regressão	m	$SQR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	$QMR = \frac{SQR}{m}$	$F_{calc} = \frac{QMR}{QME}$
Erros	n-m-1	$SQE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2$	$QME = \frac{SQE}{n-2}$	
Total	n-1	$SQT = \sum (y_i - \bar{y})^2$		

OBS: SQR – soma dos quadrados da regressão; SQE – soma dos quadrados dos erros; SQT – soma dos quadrados totais; QMR – quadrados médios da regressão; QME – quadrados médios dos erros; m – número de variáveis independentes, igual a 1 no caso de regressão linear simples.

2.5 Diagnóstico dos resíduos do modelo de regressão linear

Para finalizar a execução do modelo de regressão linear, a análise deve ser complementada com a verificação das suposições do modelo teórico, ou seja, distribuição normal, ausência de correlação e homoscedasticidade nos resíduos.

Um dos testes mais utilizados para a verificação da normalidade é o de Jarque-Bera (Jarque e Bera, 1987), o qual testa se os momentos da série de resíduos estimados são iguais aos da distribuição normal. Testa-se, portanto, a hipótese nula $H_0: A = 0$ e $K = 3$, em que A e K representam, respectivamente, os coeficientes de assimetria e curtose da

série de resíduos. A estatística do teste (JB) converge para uma distribuição χ^2 e é dada por

$$JB = n \left[\frac{A^2}{6} + \frac{(K-3)^2}{24} \right].$$

Para verificar a autocorrelação pode ser utilizada a estatística de Ljung-Box (Ljung e Box, 1978), a qual testa a hipótese nula de que os resíduos não são autocorrelacionados, por meio da estatística

$$Q = n(n+2) \sum_{i=1}^{n_q} \frac{\hat{\rho}_i^2}{n-i},$$

a qual converge para uma distribuição χ^2 com $n_q - p - q$ graus de liberdade. Nesta equação, n_q representa o número de defasagens selecionado para a execução do teste e $\hat{\rho}_i$ o coeficiente de correlação amostral. Se for confirmada autocorrelação significativa nos resíduos, pode ser um sinal de que há informação disponível dentre os dados que o modelo não está sendo capaz de captar.

Outro requisito dos resíduos do modelo de regressão é de que eles sejam homoscedásticos, ou seja, devem possuir variância constante. O teste ARCH-LM (ARCH multiplicador de Lagrange), proposto por Engle (1982), serve para identificar sinais de heteroscedasticidade nos resíduos, estimando-se a regressão

$$\hat{\varepsilon}_i^2 = \beta_0 + \beta_1 \hat{\varepsilon}_{i-1}^2 + \beta_2 \hat{\varepsilon}_{i-2}^2 + \dots + \beta_h \hat{\varepsilon}_{i-h}^2 + \mu_i,$$

e testando a hipótese nula de ausência de heteroscedasticidade $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_h = 0$. Testa-se, portanto, se existe autocorrelação nos resíduos ao quadrado. A estatística do teste é dada por

$$ALM = n \times R^2,$$

em que R^2 é o coeficiente de determinação. A estatística ALM converge para a

distribuição χ^2 com n graus de liberdade. Se for identificada heteroscedasticidade nos resíduos, isso significa que há informação não captada pelo modelo no que diz respeito a dependência entre as variâncias.

3 Metodologia

Os dados referentes ao PIB nacional trimestral foram obtidos a partir da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), enquanto que o índice do FBCF da construção civil pertence a base de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2017). Como os dados do FBCF eram originalmente mensais, foi necessário convertê-los para trimestrais, considerando os valores correspondentes aos meses de março, junho, setembro e dezembro de cada ano. Os dados datam do primeiro trimestre de 1996 até o último trimestre de 2016, totalizando 84 observações para cada índice.

Inicia-se o estudo das séries com uma análise exploratória, buscando definir as principais propriedades dos dados. Nesta etapa foram analisadas as estatísticas descritivas dos índices, executando-se ao teste de Lavene (1960) para verificar se existe diferença significativa entre as variâncias.

Após a análise exploratória, procedeu-se ao cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, o qual serviu como base para justificar a construção do Modelo de Regressão Linear com o índice do PIB como variável dependente e o FBCF como regressor. Em seguida, foram ajustadas curvas com diferentes graus de polinômio através do MMQ, checando-se a significância dos coeficientes através do teste ANOVA. O modelo escolhido foi aquele cuja equação teve o maior grau de polinômio com todos os coeficientes significativos.

Dando continuidade, foi feito o diagnóstico dos resíduos por meio da análise gráfica, a

qual foi reforçado pelos testes de Jarque-Bera (Jarque e Bera, 1987), Ljung-Box (Ljung e Box, 1978) e ARCH-LM (Engle, 1982), que avaliam, respectivamente, a normalidade, presença de autocorrelação e de heteroscedasticidade. Por fim, foram calculadas as medidas de erro: Média dos Erros Absolutos (MAE), Raíz da Média do Somatório dos Erros (RMSE) e Média Percentual dos Erros Absolutos (MAPE), definidas, respectivamente, pelas equações

$$MAE = n^{-1} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|,$$

$$RMSE = n^{-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2},$$

$$MAPE = n^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{\hat{y}_i} \times 100.$$

Toda a análise deste estudo foi realizada por meio do software livre e gratuito R (R CORE TEAM, 2018).

4 Resultados e discussões

4.1 Análise exploratória

Na Figura 1 são apresentados os gráficos em linha do índice do PIB e a da FBCF da construção civil. É possível observar que a série da FBCF possui comportamento aparentemente estacionário entre 1996 e 2007. Neste último ano o PAC foi implementado e o efeito na FBCF da construção civil é evidente, visto que a série começa a crescer exponencialmente a partir de então. Já a série do PIB é ascendente em quase todo período analisado. No entanto, esse crescimento se torna mais acentuado também por volta do ano de 2007, o que demonstra o impacto significativo do PAC na economia. Por volta do ano de 2014, ambas séries começam a decair, reflexo do desaquecimento atual da economia.

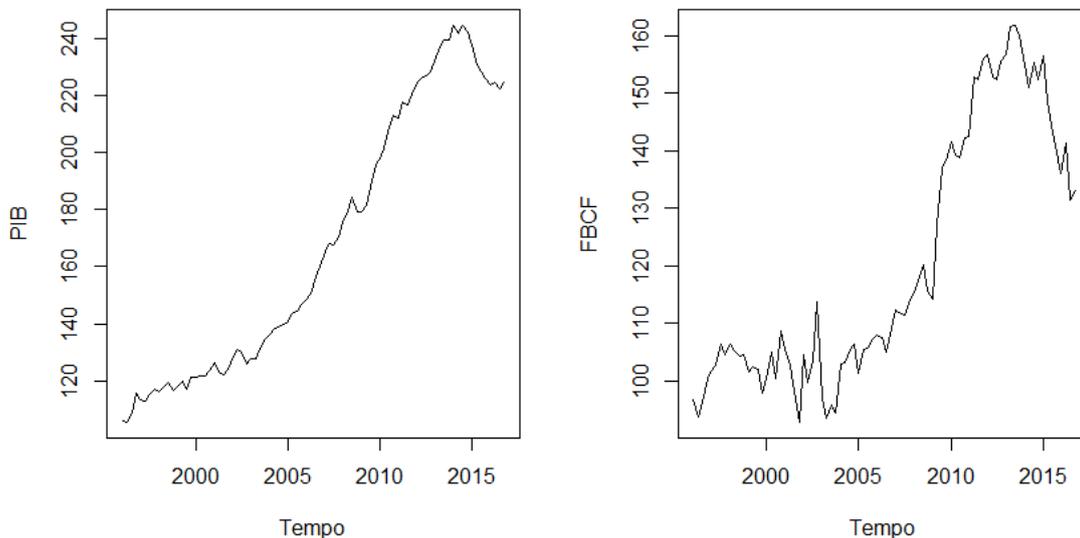


Figura 1 - Gráfico em linhas do índice do PIB e da FBCF da construção

Os histogramas dos dados estão apresentados na Figura 2. É possível observar evidências de que nenhum dos índices segue a distribuição normal, visto que existem picos

nas extremidades dos histogramas, enquanto os valores centrais possuem menor frequência. Nota-se, também, que ambos os dados apresentam assimetria positiva.

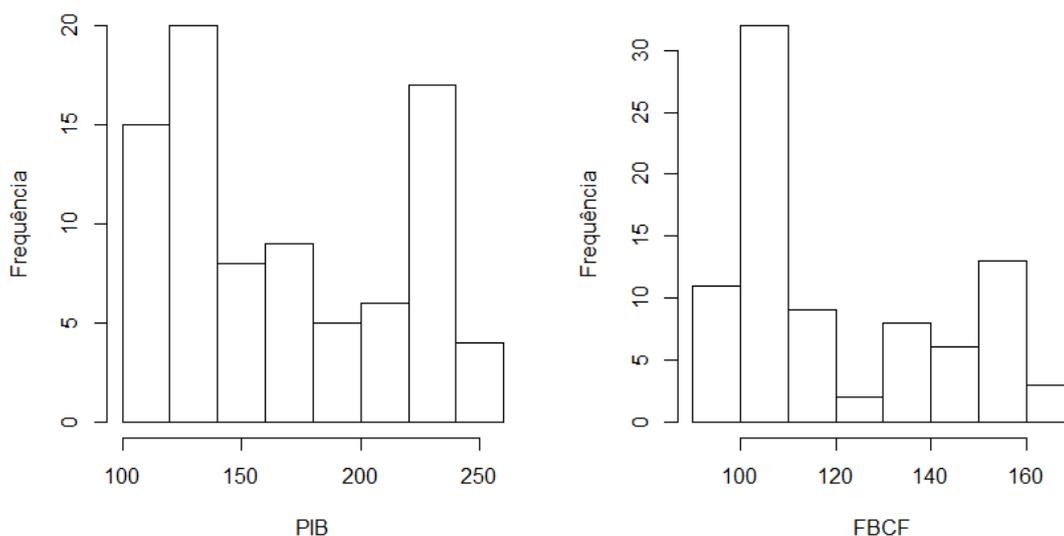


Figura 2 - Histogramas do índice do PIB e da FBCF da construção civil

Complementando esta análise, na Tabela 2 são apresentadas as estatísticas descritivas dos dados. Os coeficientes de curtose indicam que ambas as séries são platicúrticas significativamente (*valor $p_{PIB} = 0,0083$ e $valor p_{FBCF} = 0,0020$*), enquanto que os de assimetria mostram assimetria positiva. Entretanto, apenas na série da FBCF esta

propriedade é significativa (*valor $p = 0,0122$*). O desvio padrão e os quantis indicam que a série do PIB nacional possui maior variabilidade. O teste de Levene (1960) encontra evidências de diferença significativa entre as variâncias das duas séries ($F= 58,8790$; *valor $p < 0,0001$*).

Tabela 2 – Estatísticas descritivas dos índices analisados

Estatística	Índices	
	PIB	FBCF construção civil
Média	162,55	120,42
Desvio Padrão	46,61	22,16
Mínimo	105,81	92,95
Primeiro Quartil	123,30	102,82
Mediana	153,39	108,96
Terceiro Quartil	218,40	141,42
Coefficiente de Assimetria	0,33	0,59
Coefficiente de curtose	-1,49	-1,25

De forma a reforçar a análise exploratória, na Figura 3 são apresentados os Box-Plots da série do PIB e da FBCF da construção civil. Nota-se que as informações dos gráficos estão em alinhamento com os resultados

apresentados na Tabela 2, indicando que a série do PIB possui maior variabilidade, além de média superior aos dados da FBCF da construção civil.

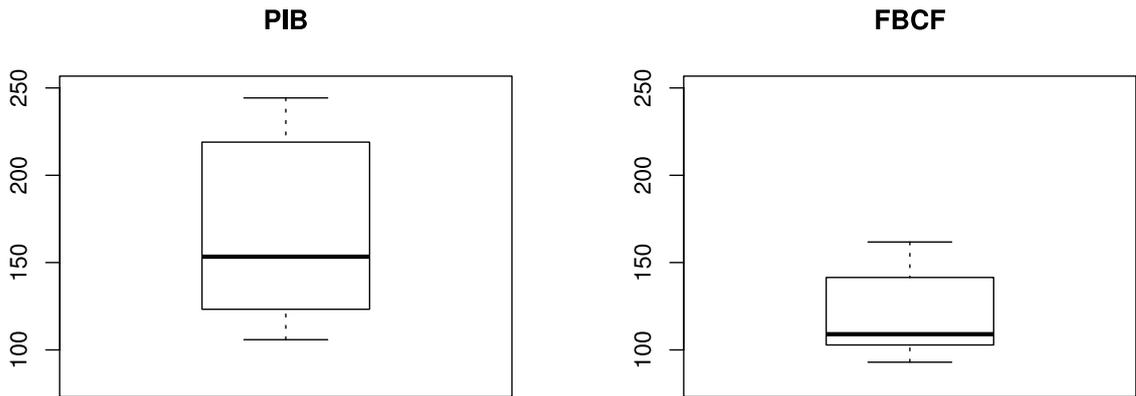


Figura 3 – Box-Plots do PIB e da FBCF da construção civil

4.2 Modelo de regressão

A Tabela 3 apresenta os resultados dos coeficientes de correlação e de determinação, bem como os valores dos coeficientes de regressão obtidos a partir do método dos mínimos quadrados. O coeficiente de correlação é próximo de 1, o que indica que existe forte correlação positiva entre o PIB e a FBCF da construção civil, além disso, o

coeficiente de determinação evidencia que a variação de um dos índices é capaz de explicar 93,5% da variação do outro. A análise de significância mostrou que os coeficientes de regressão são significativos até o polinômio de grau 5, sendo esta, portanto, a equação escolhida para o modelo de regressão. A curva do modelo de regressão ajustada aos dados está apresentada no gráfico da Figura 4.

Tabela 3 - Resultados da regressão

r	r^2	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
0,967	0,935	57714,05	-2261,68	35,0717	-0,2688	0,0010	-0,00000154

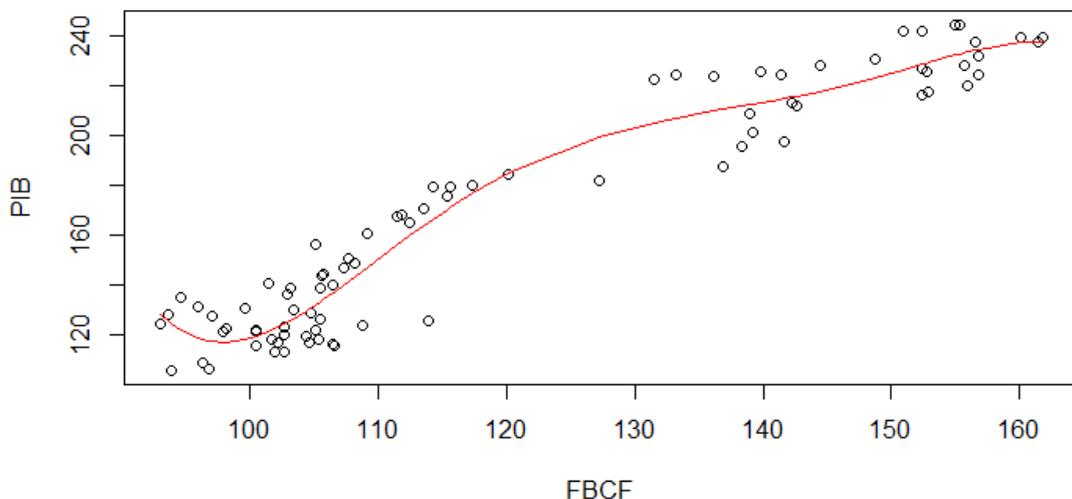


Figura 4 – Representação gráfica da regressão entre o PIB e a FBCF da construção civil

A análise de variância (ANOVA) é apresentada na Tabela 4. Como o valor p encontrado é menor do que o nível de significância adotado, 5%, não foram encontradas evidências de que a hipótese nula

seja verdadeira, portanto o resultado do teste indica que os coeficientes do modelo de regressão são adequados.

Tabela 4 - Resultados da análise de variância (ANOVA)

Fonte de Variação	Graus de liberdade	SQ	QM	Estatística F	Valor p
Regressão	5	$SQR = 168532$	$QMR = 33706$	$F_{calc} = 232,2$	$< 0,01$
Erros	78	$SQE = 11779$	$QME = 151$		
Total	83	$SQT = 180311$			

A Figura 5 apresenta os gráficos referentes ao diagnóstico dos resíduos do modelo de regressão. Os gráficos cruzando os resíduos com os valores da regressão e com a FBCF da construção civil não mostram nenhum padrão claro de comportamento, no entanto existe uma concentração de dados nas extremidades. Já o cruzamento dos resíduos com o índice do PIB apresenta um padrão

claro de comportamento senoidal, o que pode indicar que os resíduos do modelo são dependentes, contrariando os requisitos básicos do modelo de regressão. Por último, o histograma dos resíduos evidencia que os mesmos, apesar de possuírem leve assimetria negativa, se concentram ao redor da média zero.

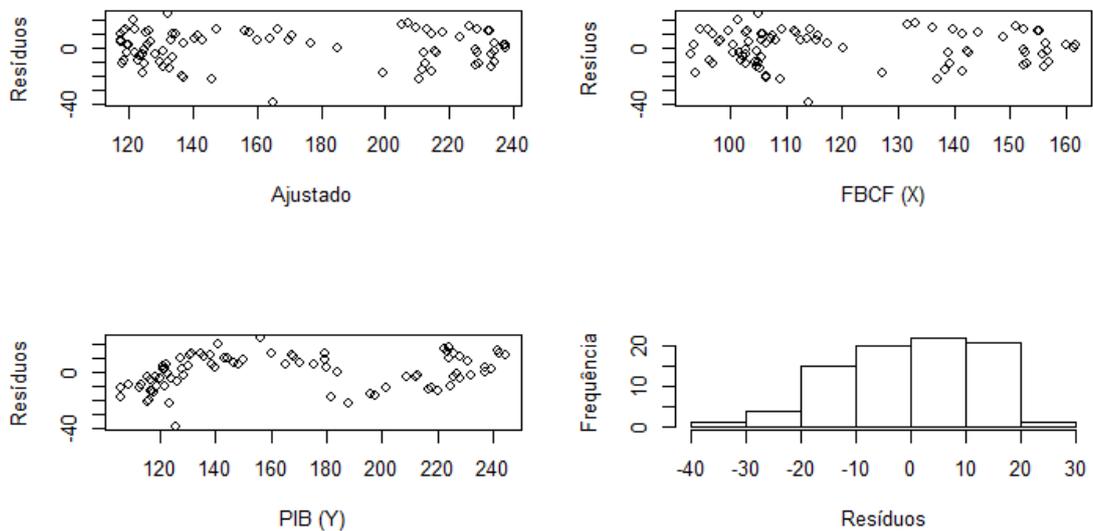


Figura 5 – Análise gráfica dos resíduos do modelo de regressão

A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes de Jarque-Bera, Ljung-Box e ARCH-LM para o diagnóstico dos resíduos. Os testes confirmam as inferências realizadas previamente a partir dos gráficos, visto que são encontradas evidências, ao nível de significância de 5%, que os resíduos possuem

distribuição normal e homoscedasticidade. Entretanto, o resultado do teste de Ljung-Box indica que os resíduos são dependentes, significando que o modelo não é capaz de captar toda a informação disponível nos dados.

Tabela 5 – Testes para o diagnóstico dos resíduos

Teste	Valor p
Jarque-Bera	0,1342
Ljung-Box	<0,0001
ARCH-LM	0,9375

Por fim, na Tabela 6 são apresentadas as medidas de erro, MAE, RMSE e MAPE. Observa-se que, apesar dos resíduos possuírem dependência, o modelo de regressão polinomial apresenta um ajuste com erros razoáveis.

Tabela 6 – Medidas de erro do modelo de regressão

Medida de erro	Valor
MAE	9,8097
RMSE	11,8418
MAPE	6,4187

5 Considerações finais

O objetivo deste estudo foi de avaliar o desempenho do MMQ na construção de um modelo de regressão polinomial relacionando o PIB nacional com a FBCF da construção civil. Apesar do contexto e da análise estatística evidenciarem forte relação entre as variáveis, o modelo de regressão encontrado não foi capaz de produzir resíduos independentes, o que é um dos requisitos básicos para que o modelo seja válido.

Existem algumas possíveis explicações para a ineficiência do método dos mínimos quadrados na construção do modelo de regressão. Uma delas diz respeito às propriedades estatísticas dos dados, visto que a análise realizada encontrou evidências de que existe diferença significativa entre as variâncias do PIB Nacional e da FBCF da construção civil. Também, embora os resíduos tenham satisfeito a suposição de normalidade, as distribuições dos dados

foram caracterizadas como platicúrticas e com assimetria positiva.

Além disso, séries econômicas são complexas e incorporam efeitos de diversos outros fatores, tanto políticos como econômicos. Portanto, é possível que apenas a FBCF da construção civil não seja suficiente para explicar as variações do PIB Nacional.

Esse fato demonstra a complexidade das séries temporais econômicas, as quais dependem de diversos fatores e dificilmente podem ser explicadas apenas por seus valores passados ou por uma única variável. É necessário, portanto, que sejam utilizados modelos mais complexos, provavelmente com mais variáveis, para explicar o PIB nacional em função do crescimento do setor da construção civil.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de fomento que auxiliou na elaboração deste estudo.

Referências

- BON R. The future of international construction: secular patterns of growth and decline. *Habitat International*. v. 3, p.119-128, 1992.
- BUSSAB WO; MORETTIN PA. *Estatística Básica*. 6 ed. São Paulo: Editora Saraiva; 2010.
- ENGLE R.F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflations. *Econometrica*. 1982;50:987-1007.
- FARIAS CF. *Análise dos impactos do PAC sobre o crescimento do PIB a preços correntes [monography]*. Rio Grande: Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis/FURG; 2015.

- FIALHO, K.E.R.; COSTA, H.N.; LIMA, S.H.Q.; NETO, J.P.B. Aspectos econômicos da construção civil no Brasil. In: Anais do XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído [Internet]; 2014 Novembro 12-14; Maceió, Brazil. Available from: http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_179.pdf
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Indicador IPEA de FBCF. 1996-2017. Available from: <http://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/wp-content/uploads/2017/03/Dados-Indicador-Ipea-FBCF-jan-17.xlsx>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produto Interno Bruto (PIB) Nacional. Available from: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>.
- JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review*. 1987. 55:163-172;
- LEVENE, H. Robust Test for Equality of Variances. In *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor Hotteling*, Stanford University Press, California, United States, 1960. p. 278-292.
- LJUNG, G.; BOX, G. E. P. On a measure of lack of fit in time series models. *Biometrika*. 1978; 65: 297-303.
- KURESKI, R.; RODRIGUES, R.L.; MORETTO, AC; FILHO, U.A.S; HARDT, L.P.A. O macro setor da construção civil na economia brasileira em 2004. *Ambiente construído*. 2008;1:07-19.
- R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em <https://www.R-project.org>. Acesso em: 05 jan. 2019.
- PASSOS, A.G.; MACIEL, M. A. C.; DORIA, M. R.; OLIVEIRA, R. B.; RUSSO, S. L. Análise estatística da evolução do produto interno bruto da indústria da construção civil brasileira utilizando regressão linear simples. *Revista Geintec*. 2012; 5:505-514.
- SARTORIS, A. Estatística e Introdução à Econometria. 2 ed. São Paulo: Editora Saraiva; 2013.
- SILVA, V.M.; MATTOS, V.L.D. O método dos mínimos quadrados no ajuste de um modelo polinomial. *Scientia Plena*. 2017;13:01-08.
- SOUZA, B. M.; OLIVEIRA, C. A. C.; SANTANA, J. C. O.; NETO, L. A. C. V.; SANTOS, D. G. Análise dos indicadores PIB Nacional e PIB da indústria da construção civil. *Revista de Desenvolvimento Econômico*. 2015; 17(31): 140-150.
- SOUZA, J. M. Economia brasileira. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.
- TEIXEIRA, L.P.; CARVALHO F.M.A. A construção civil como instrumento de desenvolvimento da economia brasileira. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*. 2005;109:09-26.
- THOMAZ, P. S.; NUNES, G. S.; MATTOS, V. L. D. Avaliação do Desempenho do Método dos Mínimos Quadrados: um Estudo de Caso com Duas Séries Temporais de Índices Macroeconômicos. *Anais... Rio Grande, 8º MCSUL*, 2018. 2607 p. ISSN: 2316-1027.