SPOLM 2007

ISSN 2175-6295 Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

ESTUDO DA VIABILIDADE DOS PORTOS DE URUGUAIANA E FOZ DO IGUAÇU

Suzana Leitão Russo
Universidade Federal de Sergipe – UFS
Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze
CEP 49100-000 São Cristóvão - SE
e-mail:suzana.ufs@hotmail.com

Regiane Klidzio
Universidade Regional integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI
Av. Universitária 393 – Santo Ângelo - RS
e-mail: regiane@urisan.tche.br

Maria Emilia Camargo
Universidade de Santa Cruz do Sul
Av. Independência, 2293
CEP: 96815-900 Bairro Universitário, RS
e-mail: kamargo @terra.com.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo comparativo entre os dois portos: de Uruguaiana e de Foz do Iguaçu, os quais possuem passe livre utilizando a metodologia de Box e Jenkins. Uma das técnicas quantitativas mais difundida é a metodologia de Box e Jenkins, descrita por esses autores na década de 70. Os modelos de Box & Jenkins partem da idéia de que cada valor da série temporal pode ser explicado por valores prévios, a partir do uso da estrutura de correlação temporal que geralmente há entre os valores da série. Neste estudo, mostraremos uma aplicação desta metodologia na série representativa do fluxo de caminhões do Porto de Uruguaiana comparando com a série fluxo de caminhões do Porto de Foz do Iguaçu no período de janeiro de 1999 a dezembro de 2005, visto que, ambos os portos são de passagem livre. Realizou-se, num primeiro instante, uma análise gráfica dos dados, observando-se o comportamento dos dados originais e da função de autocorrelação. A obtenção do modelo mais adequado foi baseada na análise de gráficos e em testes estatísticos da própria metodologia, pelos quais foi possível determinar que o melhor modelo para a série do Porto de Uruguaiana foi o SARIMA(1,1,1)(2,0,0) com um erro de 2,62% e o melhor modelo para a série do Porto de Foz do Iguaçu foi o SARIMA(0,0,1)(0,0,1), com um erro de 5,79%.

Palavras-Chave: Séries Temporais; Modelos Box & Jenkins; Modelos ARIMA.

Abstract

The goal of this work is to make a comparative study between the two ports: of Uruguaiana and of the Foz do Iguaçu, which possess free pass using the Box and Jenkins methodology's. One of the quantitative techniques more spread out is the Box and Jenkins methodology's, described for these authors in the decade of 70. The models of Box and Jenkins leave of the idea of that each value of the time series can be explained by previous values, from the use of the structure of secular correlation that generally has enters the values of the series. In this study, we will show to an application of this methodology in the representative series of the flow of trucks of the Port of Uruguaiana comparing with the series flow of trucks of the Port of Foz do Iguaçu in the period of January of 1999 the December of 2005, since, both the ports are of free ticket. It was become fulfilled, in a first instant, a graphical analysis of the data, observing itself the behavior of the original data and the function of the autocorrelation. The model more adjusted found was based on the analysis of graphs and statistical tests of the proper methodology, for which it was possible to determine that the best model for the series of the Port of Uruguaiana was SARIMA(1,1,1)(2,0,0) with an MAPE of 2,62% and the best model for the series of the Port of Foz do Iguaçu was SARIMA(0,0,1)(0,0,1), with an MAPE of 5,79%.

Key-words: Time series; Box & Jenkins models; Models ARIMA.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os muitos exemplos de novos métodos quantitativos criados para simular a realidade e fazer previsões sobre o futuro destaca-se a metodologia que os professores Box & Jenkins desenvolveram para analisar o comportamento de variáveis através de séries de tempo.

A análise de séries de tempo, segundo a metodologia de Box & Jenkins, tem como objetivo principal a realização de previsão. Essa metodologia permite que valores futuros de uma série sejam previstos tomando por base apenas seus valores presentes e passados.

O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo comparativo entre os dois portos: Porto de Uruguaiana e Porto de Foz do Iguaçu, os quais possuem passe livre (sem pedágio) a fim de prever o fluxo de caminhões de carga que realizam a travessia nesses portos.

O Porto de Uruguaiana situa-se no Rio Grande do Sul e faz divisa com a Argentina e o Porto de Foz do Iguaçu localiza-se no Paraná e faz referência a Tríplice Fronteira entre o Brasil, Argentina e Paraguai.

Para o desenvolvimento deste estudo foram analisados os dados mensais referentes ao fluxo de caminhões no período de janeiro de 1999 a dezembro de 2005 (meio ano depois que a ponte de São Borja foi construída), utilizando-se a metodologia dos modelos Box & Jenkins a fim de fazer previsões a curto prazo.

O artigo encontra-se estruturado em quatro seções. A segunda descreve Metodologia de Box & Jenkins. A terceira seção encontram-se a análise dos resultados e na quarta seção as considerações finais.

2. METODOLOGIA DE BOX & JENKINS

Uma das características fundamentais da Metodologia Box & Jenkins é interpretar uma dada série temporal como sendo uma realização de um processo estocástico. Inicialmente, constrói-se o gráfico da série para inspeção visual da estacionariedade. Calculam-se média, variância, coeficientes de autocorrelação e autocorrelação parcial.

O estágio da identificação requer a inspeção das autocorrelações estimadas. É conveniente, também, construir o histograma dos valores observados para dar suporte à hipótese de normalidade. Testar a suposição de normalidade obtendo os coeficientes de assimetria e curtose associados à série de observações [5].

Se a média da série é diferente de zero, deve-se trabalhar com a série desviada $\tilde{Z}_t = Z_t - \bar{Z}$. Assim, é preciso testar se $E(Z_t) = 0$ comparando-se $\bar{Z}$ com seu desvio $s(\bar{Z})$, que depende do processo.

Deve-se também calcular, para cada modelo identificado, as estimativas iniciais dos parâmetros e da variância do ruído branco. O modelo que não se enquadrar nas restrições de admissibilidade - estacionariedade e inversibilidade - deverá, em princípio, ser rejeitado. Além disso, é preciso testar a significância de cada parâmetro, comparando sua estimativa com o desvio associado.

A metodologia de Box & Jenkins consiste de quatro etapas [1, 2, 5]:

- *Etapa 1 - Identificação*: Consiste em descobrir os valores apropriados de *p, d* e *q*.
- *Etapa 2 - Estimativa:* Depois de identificar os valores apropriados de *p* e *q*, o próximo passo é estimar os parâmetros dos termos auto-regressivo e de média móvel incluídos no modelo. Ás vezes esse cálculo pode ser feito com os mínimos quadrados simples, mas às vezes teremos de recorrer a métodos de estimativa não-linear (no parâmetro).
- *Etapa 3 - Checagem de diagnóstico:* Após a escolha de um modelo ARIMA em particular, e estimar seus parâmetros, verifica-se se o modelo escolhido se ajusta aos dados razoavelmente bem, pois é possível que um outro modelo ARIMA possa desempenhar o mesmo papel. Daí por que a modelagem ARIMA de Box e Jenkins é mais uma arte do que uma ciência; é necessária considerável habilidade para escolher o modelo ARIMA correto. Um teste simples do modelo escolhido é ver se os resíduos estimados desse modelo são ruídos brancos; se forem, podemos aceitar o ajuste específico; se não são, devemos começar tudo de novo. Assim, a metodologia de Box e Jenkins é um processo iterativo.
- *Etapa 4 - Previsão:* Uma das razões para a popularidade da modelagem de Box e Jenkins é seu sucesso em fazer previsão. Em muitos casos, as previsões obtidas com esse método são mais confiáveis do que as obtidas com a modelagem econométrica tradicional, especialmente para previsões a curto prazo. Naturalmente, é preciso checar cada caso.

Os modelos Box & Jenkins classificam-se em: modelos estacionários e modelos não-estacionários. Estes modelos são descritos a seguir.

2.1. Modelos Estacionários

Modelos estacionários são aqueles que assumem que o processo está em "equilíbrio". Um processo é considerado fracamente estacionário se sua média e variância se mantêm constantes ao longo do tempo e a função de autocovariância depende apenas da defasagem entre os instantes de tempo. Um processo é fortemente estacionário se todos os momentos conjuntos são invariantes a translações no tempo[7].

Modelo auto-regressivo (AR)

Num modelo auto-regressivo, os valores correntes de uma série Y_t dependem apenas de seus valores passados e dos erros aleatórios. Em termos de equação, tal modelo, denotado por AR(p), tem a seguinte expressão geral:

$$Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 Y_{t-2} + \ldots + \alpha_p Y_{t-p} + e_t$$

onde: *p* indica o número de defasagens de Y_t.

A forma mais simples da especificação de um processo auto-regressivo contém apenas uma defasagem, ou seja, p=1[3].

Modelo de médias móveis (MA)

O modelo de médias móveis consiste em expressar os valores correntes da série Y_t como função linear dos valores passados de erros aleatórios não correlacionados até um número finito de defasagens. Tal modelo com *q* defasagens simbolizado por MA(*q*) é dado por:

$$Y_t = \beta_0 + e_t + \beta_1 e_{t-1} + \beta_2 e_{t-2} + \ldots + \beta_q e_{t-q}$$

onde: e_t são erros ou resíduos aleatórios não correlacionados, não observáveis, com média zero e variância constante [3].

Modelo auto-regressivo de médias móveis (ARMA)

A combinação dos modelos auto-regressivos (AR) e de médias móveis (MA) resulta no modelo abreviadamente denominado de ARMA. Assim, tratando-se de uma série Y_t e considerando-se suas primeiras diferenças $y_t = Y_t - Y_{t-1}$, p defasagens para essa variável e r para os erros aleatórios, tem-se o modelo ARMA(p, r) dado por:

$$y_t = \eta_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \mathrm{K} + \alpha_p y_{t-p} + e_t + \beta_1 e_{t-1} + \beta_2 e_{t-2} + \mathrm{K} + \beta_r e_{t-r}$$

$$y_t = \eta_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \mathrm{K} + \alpha_p y_{t-p} + e_t + \beta_1 e_{t-1} + \beta_2 e_{t-2} + \mathrm{K} + \beta_r e_{t-r}$$

Esse modelo, em virtude de incorporar valores não observados dos erros aleatórios relativos ao componente MA, não pode ser estimado pelos métodos dos mínimos quadrados ordinários. Pode-se estimá-lo por tentativa atribuindo-se valores aos parâmetros e interativamente obter estimativas convergentes, sujeito à condição de tornar os resíduos e_t nulos. Trata-se, naturalmente, de um procedimento trabalhoso. Por isso, recomenda-se o uso de programa próprio para obter a estimação desse modelo [3].

2.2. Modelos Não Estacionários

Quando uma série temporal apresenta média e variância dependentes do tempo, é porque ela não é estacionária. A não-estacionariedade de uma série implica que há inclinação nos dados e eles não permanecem ao redor de uma linha horizontal ao longo do tempo e/ou a variação dos dados não permanece essencialmente constante sobre o tempo, indicando que a variância está se alterando [7].

Modelo auto-regressivo integrado de médias móveis (ARIMA)

A metodologia de Box e Jenkins aplica-se a um caso específico de séries não estacionárias, ou seja, séries que se tornam estacionárias após a aplicação de diferenças. O número de diferenças necessário para tornar uma série estacionária é denominado ordem de integração[6].

Uma série não estacionária apresenta tendência estocástica, em contraposição à tendência determinista, a qual é expressa como função do tempo.

O modelo aplicado a séries não estacionárias pode ser genericamente formulado da seguinte maneira: se y_t tornar-se estacionária após a aplicação de d diferenças e a série resultante for representada por um modelo ARMA(p,q), diz-se que y_t é descrita por um modelo ARIMA(p,d,q) representada por:

$$\mathrm{w}_t = \phi_1 \mathrm{w}_{t-1} + \ldots + \phi_p \mathrm{w}_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \ldots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

onde: $\mathrm{w}_t = \Delta^d \gamma_t$.

Utilizando o operador de defasagem tem-se:

$$(1 - \mathrm{B})^d \phi(\mathrm{B}) \gamma_t = \theta(\mathrm{B}) \varepsilon_t$$

Os modelos ARIMA exploram a autocorrelação entre os valores da série em instantes sucessivos, mas quando os dados são observados em períodos inferiores a um ano, a série também pode apresentar autocorrelação para uma estação de sazonalidade *s*. Os modelos que contemplam as séries que apresentam autocorrelação sazonal são conhecidos como SARIMA (WERNER, 2003).

Modelo sazonal auto-regressivo integrado de médias móveis (SARIMA)

O modelo sazonal pode ser generalizado no sentido de conter mais de um componente sazonal e mais de um componente auto-regressivo e de médias móveis:

$$\prod_i \phi_i(B) \prod_j \Phi_j(B^{s_j}) \nabla^d \nabla_{s_j}^{D_j} x_t = \theta_0 - \prod_k \theta_k(B) \prod_m \Theta_m(B^{s_m}) a_t,$$

onde: θ_0 é tendência determinística, $\phi_i(B)$ são fatores auto-regressivos, $\Phi_j(B^{s_j})$ *e* $\Theta_m(B^{s_m})$ são fatores sazonais, $\theta_k(B)$ são fatores de médias móveis [1].

2.3. Critério de Escolha

Um dos critérios muito utilizados para se escolher o melhor modelo é o critério do Erro Percentual Absoluto Médio de Previsão (MAPE). O MAPE será calculado a partir das previsões um passo à frente gerado por cada modelo estimado [4].

O valor do MAPE é encontrado através da fórmula:

$$\text{MAPE}(\%) = \frac{\Sigma \left(\frac{Z - \overline{Z}_t}{Z} \right)}{n} \times 100$$

onde Z é o valor atual da série, $\overline{Z}_t$ o valor previsto e *n* a quantidade de elementos previstos.

3. ANÁLISE DOS DADOS

3.1. ANÁLISE DO PORTO DE URUGUAIANA

Realizou-se, num primeiro instante, uma análise gráfica dos dados reais do Porto de Uruguaiana. Na Figura 1 mostra-se a série do fluxo de caminhões no período de janeiro de 1999 a dezembro de 2005, totalizando 84 meses.

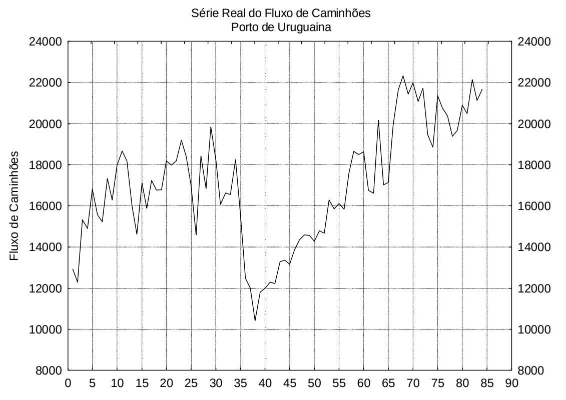


FIGURA 1 - Gráfico representativo da série real do fluxo de caminhões do Porto de Uruguaiana

Observando a Figura 1 percebe-se a existência de um pico (*outlier*) mais acentuado que pode ser gerado em razão de um fator climático presente no mês de fevereiro de 2002. Neste pico, 10.425 caminhões realizaram a travessia, valor este, bem inferior à média, que foi de 17.042 caminhões e o desvio-padrão é igual a 2893.

A seguir, apresentamos os gráficos da função de autocorrelação e da função de autocorrelação parcial dos dados reais.

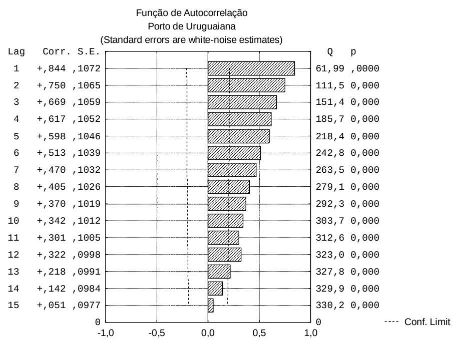


FIGURA 2 - Função de autocorrelação

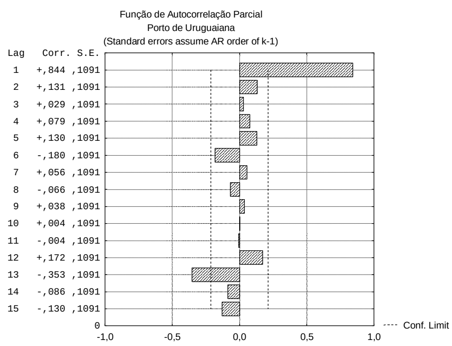


FIGURA 3 - Função de autocorrelação parcial

Ao observar as Figuras 2 e 3, pode-se perceber que a função de autocorrelação e a função de autocorrelação parcial encontram-se pontos fora dos limites de controle. Sendo assim, é necessário buscar um modelo com base na metodologia de Box e Jenkins para que a série permaneça dentro do limites de controle.

O modelo encontrado foi o SARIMA(1,1,1)(2,0,0). As funções de autocorrelação desse modelo são apresentadas nas Figuras 4 e 5.

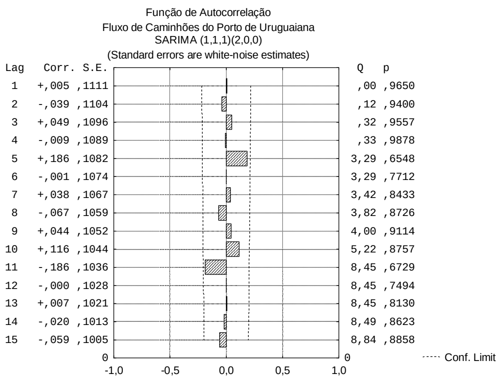


FIGURA 4 - Função de autocorrelação

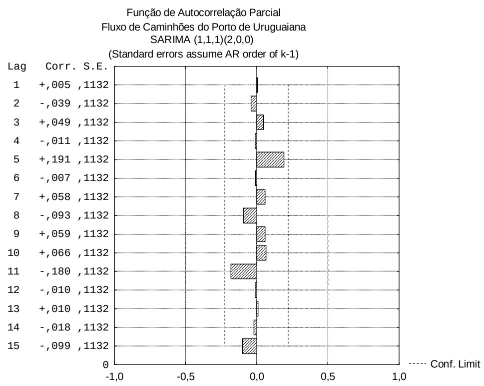


FIGURA 5 - Função de autocorrelação parcial

Como todos os coeficientes estão dentro dos limites, pode-se concluir que modelo o SARIMA(1,1,1)(2,0,0) é representativo para as observações reais e pode ser utilizado para fazer previsão a curto prazo do fluxo de caminhões ao Porto de Uruguaiana.

Tanto para a escolha do melhor modelo como para fins de previsão utilizou-se o MAPE. Na Tabela 1 abaixo, tem-se os valores observados e previstos do fluxo de caminhões.

TABELA 1 - Valores observados e previstos

Meses	**Previstos**	**Observados**	**MAPE**
ago/05	19924,27	20890	0,046229
set/05	20478,37	20485	0,000324
out/05	21097,19	22146	0,047359
nov/05	20858,23	21128	0,012768
dez/05	21154,91	21683	0,024355
			2,620705

O Erro Percentual Absoluto Médio de Previsão (MAPE) é 2,62%, provando que o modelo encontrado é adequado aos dados.

Apresenta-se a seguir, o gráfico representativo dos valores previstos para o fluxo de caminhões nos próximos cinco meses.

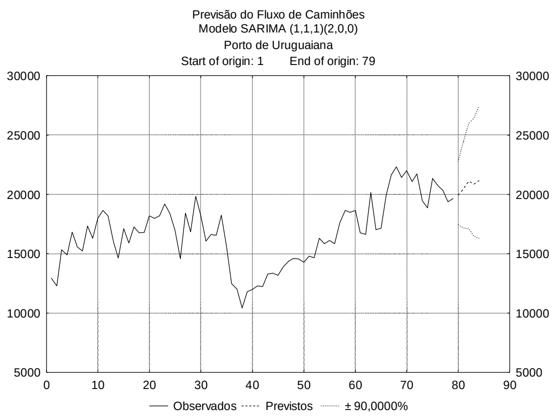


FIGURA 6 - Gráfico representativo dos valores previstos

3.2. ANÁLISE DO PORTO DE FOZ DO IGUAÇU

Primeiramente, fez-se uma análise gráfica dos dados reais do Porto de Foz do Iguaçu. Na Figura 7 apresenta-se a série do fluxo de caminhões no período de janeiro de 1999 a dezembro de 2005, totalizando 84 meses.

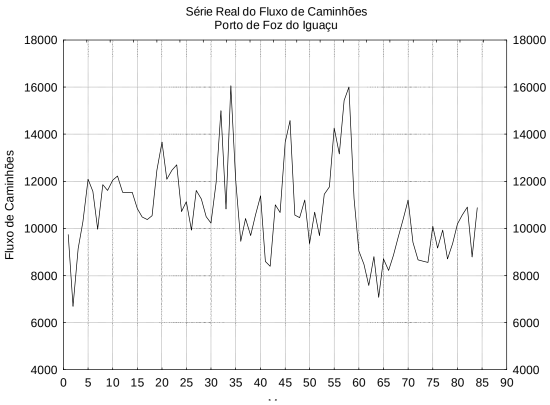
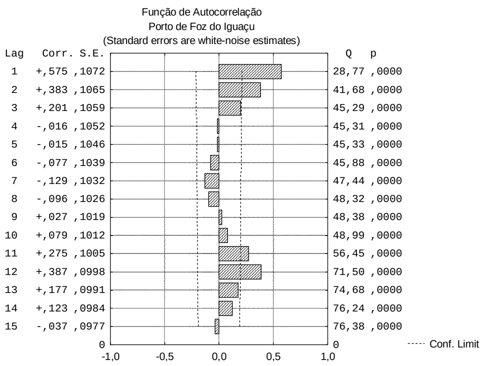


FIGURA 7 - Gráfico representativo da série real do fluxo de caminhões do Porto de Foz do Iguaçu

A média para este porto é igual a 10.765 caminhões e o desvio-padrão é igual a 1879. Observando a Figura 7, verifica-se que a série real possui uma grande variabilidade nos dados, tendo muitos picos (*outliers*). Dentre estes picos, existem dois que representam um decréscimo muito acentuado comparando com a média do período em estudo. Estes picos correspondem a 6.696 caminhões e 7.072 caminhões relacionados ao mês de fevereiro de 2002 e abril de 2004, respectivamente, que também podem ser causados devido a um fator climático.

Como foi constatado que esta série do fluxo de caminhões possui muitos picos é desejável que se faça uma análise de intervenção a fim de obter uma análise mais precisa.

A seguir, apresentamos os gráficos da função de autocorrelação e da função de autocorrelação parcial dos dados reais.



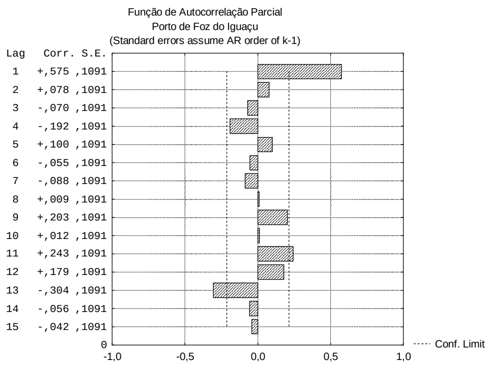
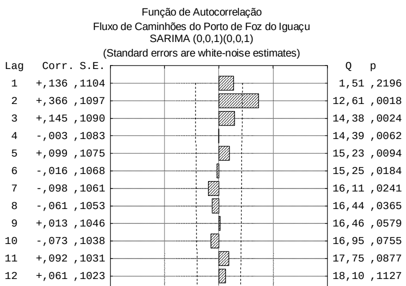


FIGURA 8 - Função de autocorrelação FIGURA 9 - Função de autocorrelação parcial

Ao observar as Figuras 8 e 9, pode-se perceber que a função de autocorrelação e a função de autocorrelação parcial possuem pontos que estão fora dos limites de controle. Desse modo, é preciso achar um modelo com base na metodologia de Box e Jenkins para que a série permaneça dentro do limites de controle.

Para encontrar um modelo representativo para essa série foi necessário fazer uma transformação *power*, através da qual se obteve o seguinte modelo: SARIMA(0,0,1)(0,0,1).

As Figuras 10 e 11 mostram as funções de autocorrelação desse modelo.



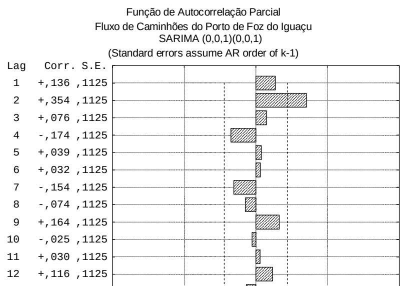


FIGURA 10 - Função de autocorrelação   FIGURA 11 - Função de autocorrelação parcial

Como todos os coeficientes encontram-se dentro dos limites, pode-se deduzir que o modelo SARIMA(0,0,1)(0,0,1) é representativo aos dados reais e pode ser utilizado para fazer previsão a curto prazo ao fluxo de caminhões do Porto de Foz do Iguaçu.

Tanto para a escolha do melhor modelo como para fins de previsão utilizou-se o MAPE. Na tabela 2 abaixo, vemos os valores observados e previstos para o fluxo de caminhões.

TABELA 2 - Valores observados e previstos

Meses	Previstos	Observados	MAPE
ago/05	10201,68	10189	0,001245
set/05	10331,03	10571	0,022701
out/05	10500,34	10905	0,037108
nov/05	10258,02	8783	0,167940
dez/05	10216,02	10877	0,060769
			5,795238

O Erro Percentual Absoluto Médio de Previsão (MAPE) é 5,79%, provando que o modelo encontrado é adequado aos dados.

Apresenta-se a seguir o gráfico representativo dos valores previstos para o fluxo de caminhões do Porto de Foz do Iguaçu.

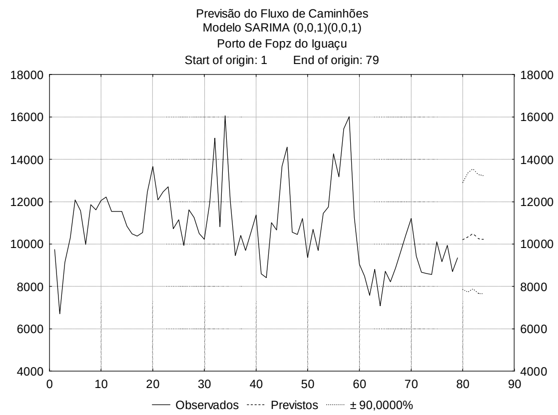


FIGURA 12 - Gráfico representativo dos valores previstos

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise do comportamento dos dados reais e das funções de autocorrelação, o modelo encontrado para a série fluxo de caminhões do Porto de Uruguaiana foi o SARIMA(1,1,1)(2,0,0) e para a série do Porto de Foz do Iguaçu foi o SARIMA(0,0,1)(0,0,1).

É importante ressaltar que para a escolha do melhor modelo e para fins de previsão utilizou-se o MAPE através do qual se obteve um erro de 2,62% para o Porto de Uruguaiana e um erro de 5,79% para o Porto de Foz do Iguaçu.

A partir da análise dos dados verificou-se que, a média do Porto de Uruguaiana (17.042 caminhões) é maior que a do Porto de Foz do Iguaçu (10.765 caminhões). Isto ocorre pelo fato de o Porto de Uruguaiana se comparado com o Porto de Foz do Iguaçu ter uma distância (em km) menor para os caminhões de carga que partem do Porto de Rio Grande com destino a outros países como o Chile, por exemplo. Ou seja, os gastos financeiros dos caminhões que saem do Porto de Rio Grande e realizam a travessia pelo Porto de Uruguaiana são menores do que os gastos daqueles caminhões que saem do Porto de Rio Grande e realizam a travessia pelo Porto de Foz do Iguaçu.

Contudo o que foi estudado pode-se afirmar que o modelo encontrado é adequado para ambas as séries, pois mantém os dados dentro dos limites de controle. Portanto, é possível constatar que a metodologia de Box e Jenkins satisfez os requisitos para a escolha do melhor modelo para a série fluxo de caminhões dos portos de Uruguaiana e Foz do Iguaçu.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BOX, G.E.P. & JENKINS, G.M. Time series analysis: Forecasting and control. 1ª ed.. San Francisco. Day. 1974.

[2] GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. São Paulo: Makron Books. 2004.

[3] MATOS, O. C. **Econometria básica**. 3ª ed. São Paulo: Atlas. 2000.

[4]RUSSO, S. L. **Gráficos de controle para variáveis não-conformes autocorrelacionadas**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC. Florianópolis/SC. 2002.

[5] SOUZA, R; CAMARGO, M. E. **Análise e previsão de séries temporais:** Os Modelos ARIMA. Rio de Janeiro: Regional. 2004.

[6] VASCONCELLOS, M. A. S.; ALVES, D. **Manual de econometria**. São Paulo: Atlas. 2000.

[7] WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D.. Previsão de Demanda: uma Aplicação dos Modelos Box Jenkins na Área de Assistência Técnica de Computadores Pessoais, **Revista Gestão & Produção**, v.10, n.1, p.47-67, abr. 2003.