

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO



**CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DE PREDIÇÃO DE
TRÁFEGO DE REDES DE COMPUTADORES**

ANA MARIA MARTINS CARVALHO

Uberlândia, Minas Gerais

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO



ANA MARIA MARTINS CARVALHO

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS DE PREDIÇÃO DE TRÁFEGO DE REDES DE COMPUTADORES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de concentração: Redes de Computadores

Orientador: Prof. Dr. Rivalino Matias Júnior

Uberlândia, Minas Gerais

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Os abaixo assinados, por meio deste, certificam que leram e recomendam para a Faculdade de Computação a aceitação da dissertação intitulada “**Controle Estatístico de Processos de Predição de Tráfego de Redes de Computadores**” por **Ana Maria Martins Carvalho** como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência da Computação**.

Uberlândia, 02 de Julho de 2012

Orientador: _____

Prof. Dr. Rivalino Matias Júnior
Universidade Federal de Uberlândia

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lúcio Borges de Araújo
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Paulo José de Freitas Filho
Universidade Federal de Santa Catarina

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Data: Julho de 2012

Autor: **Ana Maria Martins Carvalho**
Título: **Controle Estatístico de Processos de Predição de Tráfego de Redes de Computadores**
Faculdade: **Faculdade de Computação**
Grau: **Mestrado**

Fica garantido à Universidade Federal de Uberlândia o direito de circulação e impressão de cópias deste documento para propósitos exclusivamente acadêmicos, desde que o autor seja devidamente informado.

Autor

O AUTOR RESERVA PARA SI QUALQUER OUTRO DIREITO DE PUBLICAÇÃO DESTE DOCUMENTO, NÃO PODENDO O MESMO SER IMPRESSO OU REPRODUZIDO, SEJA NA TOTALIDADE OU EM PARTES, SEM A PERMISSÃO ESCRITA DO AUTOR.

Dedicatória

A minha mãe Euripia Barsanulfo Martins.

A meu amado Alex de Freitas Kühn.

Agradecimentos

A Deus,
por tudo que tem feito e pelo que Ele representa na minha vida.

Ao Prof. Rivalino,
meu orientador, pelo exemplo de trabalho, dedicação, responsabilidade, apoio, incentivo e inúmeros conselhos, pelas oportunidades e desafios que me foram propiciadas. Sua firmeza e determinação foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. A você, Rivalino, minha eterna gratidão, admiração e respeito.

A minha mãe Euripia,
pelo amor, alicerce de vida, apoio e estímulo que incondicionalmente sempre é fornecido. Por compreender minha ausência. A você dedico todo meu esforço.

Aos meus irmãos Cinéio, Vinícius (in memoriam) e Adelfo Júnior,
por fazerem parte da minha trajetória de vida e me incentivarem nessa caminhada.

A minha irmã Jerusa,
que sempre foi uma incentivadora e motivo de inspiração para minha evolução acadêmica.

A meu amado Alex,
pelo amor, companheirismo, carinho e por me proporcionar ao final desta etapa acadêmica a oportunidade de sentir o maior amor do mundo, o de mãe, pois o nosso primeiro filho está chegando! Agradeço a você também, meu amado filho, por estar compartilhando comigo, cada momento dessa vitória.

Aos amigos de laboratório,
pela convivência intensa, pelas risadas, amizades e conselhos. Em especial, ao Elder, ao Hiran, ao Lucas, ao Rafael, ao Romerson, a Valiana, a Geycy, ao Newarney, ao Otávio, a Taís e ao Cleber.

Aos amigos,
pelo incentivo, apoio, carinho e motivação. Em especial Ana Maria de Aguiar, Antônio Neco, Odilon, Sírley Cristina, Clayton, Eduardo Castilho, Éderson, Jucélio, Jesmmer, Lourdes, Lucilene e Junia.

Aos colegas de trabalho do Instituto Federal Goiano-Campi Morrinhos-GO,
em especial a equipe de informática e ao Sebastião Nunes, pelo apoio incondicional.

Aos professores e colegas de pesquisa Lúcio e Miriam,
por sempre acreditarem na minha capacidade, pela amizade, disposição, direcionamento e incentivo.

Ao secretario e amigo Erisvaldo,
pelo profissionalismo e companheirismo.

Resumo

Neste trabalho apresenta-se uma proposta para aplicar o Controle Estatístico de Processos (CEP), em particular os gráficos de controle, para o controle de qualidade das previsões de tráfego de redes de computadores. Os gráficos de controle proporcionam resultados que apoiam a gerência de redes a tomar medidas proativas para o melhor funcionamento das redes de computadores. Esses resultados são possíveis graças as configurações precisas dos parâmetros desses gráficos de controle. Complementarmente à discussão teórica, avaliou-se a aplicabilidade da proposta com oito amostras de tráfego obtidas a partir de diferentes redes reais. Cuidadosamente selecionou-se essas amostras a fim de obter diferentes padrões de tráfego provenientes de diferentes tipos de rede (LAN, MAN, WAN, WLAN). Os resultados mostraram que o gráfico de controle de Shewhart para observações individuais superou os gráficos de controle CUSUM e EWMA em sete das oito das amostras.

Palavras-chave: Predição de tráfego; controle de qualidade; gráficos de controle.

Abstract

This work presents a proposal to apply the Statistical Process Control (SPC), in particular the control charts, to quality control of computer network traffic forecasts. Control charts provide results that support network managers to take proactive measures to improve the functioning of computer networks. In addition to the theoretical discussion, we evaluate the applicability of the proposal with eight traffic samples obtained from different real networks. These samples have been carefully selected in order to obtain different traffic patterns from various types of network (LAN, MAN, WAN, WLAN). The results show that Shewhart control chart for individual observations outperformed CUSUM and EWMA control charts in seven of eight samples.

Keywords: Traffic forecasting; quality control; control charts.

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	15
NOTAÇÕES.....	17
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	19
1.1 – Contextualização.....	19
1.2 – Relevância do Trabalho.....	20
1.3 – Objetivos da Pesquisa.....	21
1.3.1 – Objetivo Geral.....	21
1.3.2 – Objetivos Específicos.....	21
1.4 – Desenvolvimento da Pesquisa.....	21
1.4.1 – Revisão da Literatura.....	21
1.4.2 – Seleção de Amostras de Tráfego de Rede.....	22
1.4.3 – Caracterização das Amostras.....	22
1.4.4 – Ajuste e Seleção de Modelos de Predição.....	23
1.4.5 – Aplicação de Técnicas CEP.....	23
1.4.6 – Análise de Desempenho das Técnicas de CEP.....	23
1.5 – Escopo da Pesquisa.....	24
CAPÍTULO 2 – SÉRIES TEMPORAIS E PREDIÇÃO DE TRÁFEGO.....	26
2.1 – Introdução.....	26
2.2 – Séries Temporais.....	26
2.2.1 – Modelo Auto-regressivo (AR).....	27
2.2.2 – Modelo de Médias Móveis (MA).....	27
2.2.3 – Modelo Auto-regressivo com Médias Móveis (ARMA).....	28
2.2.4 – Modelo Auto-regressivo Integrado com Médias Móveis (ARIMA).....	28
2.3 – Qualidade do Ajuste dos Modelos.....	29
2.4 – Autocorrelação.....	30
2.4.1 – Teste de Autocorrelação de Ljung e Box.....	31
2.5 – Tendência e Sazonalidade.....	32
2.5.1 – Análise de Tendência.....	32
2.5.1.1 – Teste Baseado no Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.....	33

2.5.1.2 – Teste Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (KPSS).....	34
2.5.2 – Sazonalidade.....	35
2.5.2.1 – Teste de Kruskal-Wallis.....	35
2.5.2.2 – Teste F da Análise de Variância.....	36
2.6 – Séries Temporais Aplicadas a Análise de Tráfego.....	37
CAPÍTULO 3 – CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	42
3.1 – Introdução.....	42
3.2 – Gráficos de Controle.....	43
3.2.1 – Gráfico de Controle de Shewhart.....	43
3.2.1.1 – Gráfico de Controle de Shewhart para Observações Individuais.....	44
3.2.2 – Gráfico de Controle CUSUM.....	45
3.2.3 – Gráfico de Controle EWMA.....	46
3.2.4 – Gráfico de Controle CUSUM com Resposta Inicial Rápida (RIR).....	47
3.2.5 – Gráfico de Controle EWMA com Resposta Inicial Rápida (RIR).....	47
3.3 – Average Run Length (ARL).....	48
3.3.1 – ARL para o Gráfico de Controle de Shewhart.....	49
3.3.2 – ARL para o Gráfico de Controle CUSUM.....	50
3.3.3 – ARL para o Gráfico de Controle EWMA.....	51
3.4 – Tratamento de Processos Autocorrelacionados.....	51
3.4.1 – Gráfico de Controle de Shewhart com Limites Alargados para Autocorrelação.....	51
3.4.2 – Abordagem Livre de Modelo.....	54
3.5 – Tamanho da Amostra e Intervalo de Tempo entre Amostras.....	54
3.6 – Dados com Distribuição Normal e Independentemente Distribuídos.....	55
3.7 – Teste de Aderência.....	55
3.7.1 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS).....	55
3.7.2 – Teste de Aderência de Anderson-Darling (AD).....	57
CAPÍTULO 4 – ANÁLISE COMPARATIVA DE GRÁFICOS DE CONTROLE ESTATÍSTICO APLICADOS A PROCESSOS DE PREDIÇÃO DE TRÁFEGO DE REDES DE COMPUTADORES.....	58
4.1 Introdução.....	58
4.2 – Caracterização das Amostras de Tráfego.....	58
4.3 – Ajuste e Seleção dos Modelos de Predição.....	63

4.4 – Desempenho dos Gráficos de Controle.....	68
4.4.1 – Protocolo Utilizado.....	69
4.4.2 – Aplicação do Protocolo.....	71
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO DA PESQUISA.....	82
5.1 – Principais Resultados.....	82
5.2 – Limitações da Pesquisa.....	82
5.3 – Contribuição para a Literatura.....	83
5.4 – Dificuldades Encontradas.....	83
5.5 – Trabalhos Futuros.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
APÊNDICE A.....	91
APÊNDICE B.....	106
APÊNDICE C.....	115
ANEXO A.....	122
ANEXO B.....	123
ANEXO C.....	124

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	Valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson (r).....	33
Tabela 2.2	Ajuste dos modelos ARIMA para amostra $S3$	37
Tabela 2.3	<i>Ranking</i> dos ajustes para a amostra $S3$	38
Tabela 2.4	Resíduos dos modelos para amostra $S3$	39
Tabela 2.5	Predição com o modelo ARMA (2,2) para a amostra $S3$	40
Tabela 3.1	ARL_0 para o Gráfico de Shewhart.....	50
Tabela 3.2	Valores críticos tabelados para a estatística D_c [Barbeta 2010].....	56
Tabela 4.1	Resumo da caracterização das amostras de tráfego de redes.....	59
Tabela 4.2	Software usado nos testes estatísticos.....	60
Tabela 4.3	Acuracidade dos ajustes com dados originais para as séries $S1$ a $S8$	63
Tabela 4.4	<i>Ranking</i> dos ajustes dos modelos para série $S1$	63
Tabela 4.5	<i>Ranking</i> dos ajustes dos modelos para série $S2$	64
Tabela 4.6	<i>Ranking</i> dos ajustes dos modelos para série $S3$	64
Tabela 4.7	<i>Ranking</i> dos ajustes dos modelos para série $S4$	64
Tabela 4.8	<i>Ranking</i> dos ajustes dos modelos para série $S5$	65
Tabela 4.9	<i>Ranking</i> dos ajustes dos modelos para série $S6$	65
Tabela 4.10	<i>Ranking</i> dos ajustes dos modelos para série $S7$	65
Tabela 4.11	<i>Ranking</i> dos ajustes dos modelos para série $S8$	66
Tabela 4.12	Avaliação das amostras piloto (AP_1).....	69
Tabela 4.13	Valores de ARL Adotados Neste Estudo Experimental.....	70
Tabela 4.14	Valores dos Parâmetros dos Gráficos de Controle.....	70
Tabela 4.15	Testes de normalidade KS e AD aplicados aos resíduos (AP_1) de $S1$ a $S8$	74
Tabela 4.16	Observações fora do limite de 3σ para AP_2	79
Tabela 4.17	Alarmes falsos por gráfico de controle para amostras AP_2	80
Tabela 4.18	ARL s dos gráficos de controle para cada amostra de resíduo AP_2	80
Tabela 5.1	Publicações científicas	83

Lista de Figuras

Figura 2.1	Sentido e força da correlação, em termos do coeficiente r [Barbetta 2010].....	30
Figura 2.2	Modelo ARMA (2,2) ajustado para a amostra $S3$	39
Figura 2.3	Tempos preditos com o modelo ARMA(2,2) para a amostra $S3$	41
Figura 3.1	Exemplo de gráfico de controle padrão [Montgomery 2009].....	43
Figura 3.2	Resultado do teste Ljung-Box para a amostra de resíduo de SI -MA(1)	53
Figura 3.3	Gráfico de Shewhart com limites alargados para a amostra de resíduos de SI -MA(1).....	53
Figura 4.1	Série referente aos dados da amostra $S1$	61
Figura 4.2	Série referente aos dados da amostra $S2$	61
Figura 4.3	Série referente aos dados da amostra $S3$	61
Figura 4.4	Série referente aos dados da amostra $S4$	61
Figura 4.5	Série referente aos dados da amostra $S5$	62
Figura 4.6	Série referente aos dados da amostra $S6$	62
Figura 4.7	Série referente aos dados da amostra $S7$	62
Figura 4.8	Série referente aos dados da amostra $S8$	62
Figura 4.9	Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego $S1$	66
Figura 4.10	Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego $S2$	66
Figura 4.11	Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego $S3$	67
Figura 4.12	Modelo ARIMA(2,1,2) ajustado para amostra de tráfego $S4$	67
Figura 4.13	Modelo ARIMA(2,1,2) ajustado para amostra de tráfego $S5$	67
Figura 4.14	Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego $S6$	67
Figura 4.15	Modelo ARMA(2,1) ajustado para amostra de tráfego $S7$	68
Figura 4.16	Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego $S8$	68
Figura 4.17	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S1$).....	72
Figura 4.18	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S2$).....	72
Figura 4.19	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S3$).....	72
Figura 4.20	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S4$).....	72
Figura 4.21	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S5$).....	72
Figura 4.22	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S6$).....	72

Figura 4.23	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S7$).....	72
Figura 4.24	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S8$).....	72
Figura 4.25	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S4$) após MNPL.....	73
Figura 4.26	Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S5$) após MNPL.....	73
Figura 4.27	Teste KS – Resíduos AP_I ($S7$).....	74
Figura 4.28	Teste AD – Resíduos AP_I ($S7$).....	74
Figura 4.29	Teste KS – Resíduos AP_I ($S8$).....	74
Figura 4.30	Teste AD – Resíduos AP_I ($S8$).....	74
Figura 4.31	Desempenho dos Gráficos de Controle para $S1$	75
Figura 4.32	Desempenho dos Gráficos de Controle para $S2$	76
Figura 4.33	Desempenho dos Gráficos de Controle para $S3$	76
Figura 4.34	Desempenho dos Gráficos de Controle para $S4$	77
Figura 4.35	Desempenho dos Gráficos de Controle para $S5$	77
Figura 4.36	Desempenho dos Gráficos de Controle para $S6$	78
Figura 4.37	Desempenho dos Gráficos de Controle para $S7$	78
Figura 4.38	Desempenho dos Gráficos de Controle para $S8$	79

Lista de Abreviaturas e Siglas

AD	Teste de aderência de Anderson Darling
AIC	Akaike information criteria
AP ₁	Amostra piloto AP ₁
AP ₂	Amostra piloto AP ₂
AR	Processo auto-regressivo para predição de séries temporais
ARIMA	Processo auto-regressivo integrado de médias móveis para predição de séries temporais
ARL	Average run length
ARL ₀	Average run length - para processo sob controle
ARL ₁	Average run length - para processo fora de controle
ARMA	Processo auto-regressivo de médias móveis para predição de séries temporais
CEP	Controle estatístico de processo
CUSUM	Cumulative sum
DHCP	Dynamic host configuration protocol
EAD	Educação a distância
EWMA	Exponentially weight moving average
GL	Grau de liberdade
GoF	Goodness-of-fit
H ₀	Hipótese nula
H ₁	Hipótese alternativa
HS	Headstart
i.i.d.	Independente e identicamente distribuído
IP	Internet protocol
KPSS	Teste de tendência Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin
KS	Teste de aderência de Kolmogorov Smirnov
LAN	Local area network
LC	Linha central
LIC	Limite inferior de controle
LSC	Limite superior de controle
MA	Processo de médias móveis para predição de séries temporais

MAN	Metropolitan area network
MAPE	Mean absolute percentage error
Mbps	Mega bits por segundo
MNPL	Médias não-ponderadas de lotes
RIR	Resposta inicial rápida
SBC	Schwartz bayesian criteria
SLA	Service level agreement
VPN	Virtual private network
WAN	Wide area network
WLAN	Wireless area network

Lista de Notações

c_4	Fator de correção de tendenciosidade do gráfico de controle de Shewhart com limites alargados para autocorrelação
d	Número de diferenças do modelo ARIMA
r	Coefficiente de correlação amostral
n	Tamanho da amostra
x	Variável aleatória
\bar{x}_j	j^a média não ponderada de lotes da Abordagem Livre de Modelos para autocorrelação
w_i	Estatística do gráfico EWMA
A^2	Estatística do teste de aderência de Anderson-Darling
C_i^+	Estatística do gráfico CUSUM
C_i^-	Estatística do gráfico CUSUM
D	Estatística do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov
H^\pm	Limites superior e inferior do gráfico de controle CUSUM
$Q(k)$	Estatística do teste de autocorrelação de Ljung e Box
LM	Estatística do teste de tendência KPSS
\overline{MR}	Média da amplitude móvel
MR_i	Médias móveis
RIR_{adj}	Ajustamento exponencial decrescente do RIR do EWMA
T_1	Estatística do teste de sazonalidade de Kruskal-Wallis
T_2	Estatística do teste de sazonalidade F da análise de variância
\bar{X}	Média amostral
Z_t	Valor das d diferenças do modelo ARIMA
Z_{t-i}	Observação no tempo $t-i$ do modelo ARIMA
α	Nível de significância
Y_t	Observação de uma série temporal no tempo t
Y_{t-i}	Observação de uma série temporal no tempo $t-i$
ε_t	Erro aleatório no tempo t

ε_{t-j}	Erro no tempo $t-j$
Θ	Parâmetro dos modelos AR, ARMA e ARIMA, que indica os parâmetros que devem ser estimados referentes a parte auto-regressiva
μ	Média populacional
σ	Desvio-padrão populacional
$\hat{\sigma}_x$	Estimativa do desvio-padrão do gráfico de controle de Shewhart com limites alargados para autocorrelação
φ	Parâmetro dos modelos MA, ARMA e ARIMA, que indica os parâmetros que devem ser estimados referentes a parte de médias móveis
χ^2	Distribuição qui-quadrado
χ^2_{GL}	Valores críticos tabelados da distribuição qui- quadrado
$\hat{\sigma}$	Representa um termo constante do modelo ARMA

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Contextualização

As redes de computadores tem grande importância na sociedade atual, pois disponibilizam tecnologia tanto para grandes empresas quanto usuários residenciais [Kurose 2010]. São cada vez mais frequentes empresas e residências que são projetadas para se adequar a tecnologia que as redes de computadores proporcionam, tais como: acesso a rede mundial (Internet), compartilhamento de recursos (ex. impressora), comunicação através de dispositivos móveis, educação à distância (EAD), comércio eletrônico (*e-commerce*), sistemas de segurança, entre outros [Ha 2000] [Shin 2006] [Kurose 2010] [Machado 2010].

A diversidade de tecnologia proporciona alto nível de complexidade no projeto, implementação e operação das redes de computadores. A demanda crescente por parte dos seus usuários, proporciona o constante aumento no tráfego das redes de computadores, tornando o gerenciamento proativo dessas redes cada vez mais difícil [Brownlee 2002] [Krishnamurthy 2003]. Pode-se entender como tráfego de redes de computadores a quantidade e o tipo de dados que percorrem as redes [Awduche 2002]. Considerando que, conforme o uso da rede, o padrão de tráfego pode alterar inúmeras vezes em pequenos intervalos de tempo, faz-se necessário o uso de recursos cada vez mais eficazes para apoiar os engenheiros de tráfego nas atividades de planejamento, implementação, operação e gerenciamento das redes. A predição de tráfego é um recurso muito importante nesse contexto [You 1999] [Brownlee 2002] [Krishnamurthy 2003] [Yin 2005] [Zhou 2005] [Krithikaivasan 2007].

A predição de tráfego tem o propósito de antecipar eventos futuros por meio da coleta de dados e do uso de modelos de predição [Sang 2000]. As predições de tráfego de redes de computadores permitem ao engenheiro de redes atuar de forma pró-ativa em tarefas como detecção de mudanças em tabelas de roteamento, monitoração de SLA (*Service Level Agreement*), tratamento de congestionamento de enlaces, alocação de recursos na rede, entre outras [Matias 2010]. Nesse sentido, conclui-se que a qualidade do processo de predição de tráfego constitui-se em elemento de grande importância atualmente.

1.2 – Relevância do Trabalho

Como salientado na seção anterior, pesquisas que visam o controle de qualidade de predições de tráfego de redes de computadores são importantes, pois irão contribuir para se obter uma maior precisão nos dados relativos a essas predições. O controle de qualidade dos processos de predição permite, ao gerente de redes, realizar análises mais acuradas sobre as diversas características de tráfego, a fim de tomar decisões que garantam a melhor eficiência da rede.

Estudando a literatura de análise de tráfego em redes de computadores é possível acompanhar o progresso das pesquisas que utilizam métodos quantitativos para a predição de tráfego [You 1999], [Ilow 2000], [Feng 2005], [Feng 2006], [Papadopouli 2006], [Vieira 2008], [Liu 2009]. Recentemente, diversos trabalhos têm sido realizados também para a predição de tráfego de redes móveis, dado o constante crescimento de dispositivos sem fio nos últimos anos, os quais contribuem significativamente para o aumento no tráfego das redes de computadores [Darwood 2000], [Akinaga 2005], [Guo 2009]. Apesar dos inúmeros trabalhos na área, poucos esforços são observados no que se refere ao controle de qualidade das predições de tráfego de redes. Predições de baixa qualidade comprometem atividades que delas dependem, tais como o planejamento e operação de redes.

Com o intuito de contribuir com as pesquisas na área, esse trabalho teve como objetivo um estudo voltado para a análise comparativa de técnicas de controle estatístico de processos (CEP), em especial o uso de gráficos de controle, para monitorar a qualidade de processos de predição de tráfego em redes de computadores. Na revisão da literatura, poucos trabalhos foram encontrados utilizando CEP para monitorar processos de rede, e apenas um na área de controle de qualidade de predições de tráfego [Matias 2010]. Um estudo de avaliação da performance de técnicas de CEP aplicadas a processos de predição de tráfego não foi encontrado na literatura.

Sendo assim, avaliar a adequação de técnicas bem estabelecidas para serem aplicadas ao controle de qualidade de predições de tráfego em redes de computadores se mostra importante, bem como definir um processo sistematizado para a aplicação dessas técnicas para esse propósito específico.

1.3 – Objetivos da Pesquisa

1.3.1 – Objetivo Geral

Estudo comparativo de técnicas de Controle Estatístico de Processos (CEP) para controlar a qualidade de processos de predição de tráfego em redes de computadores.

1.3.2 – Objetivos Específicos

Realizar um estudo teórico e experimental das principais técnicas de CEP, em especial dos gráficos de controle, e aplicá-las para monitorar a qualidade de modelos de predição ajustados para diferentes tipos de amostras de tráfego real.

Investigar técnicas para tratar processos autocorrelacionados, uma vez que os mesmos prejudicam o desempenho dos gráficos de controle [Costa 2005] [Montgomery 2009].

Avaliar o desempenho das técnicas de CEP, por meio de análise gráfica e numérica (ex. ARL), classificando-as de acordo com os diferentes padrões de tráfego e modelos de predição considerados no estudo.

1.4 – Desenvolvimento da Pesquisa

Neste trabalho será apresentado um estudo de natureza teórica e experimental [Wazlawick 2008], que para sua realização foram executados os seguintes passos:

1.4.1 – Revisão da Literatura

Nesta etapa foram estudados diversos assuntos relacionados com o tema principal (CEP). Dentre eles, destacam-se os seguintes tópicos:

- Controle Estatístico de Processo e Gráficos de Controle:
 - Shewhart para observações individuais;
 - Shewhart com limites alargados;
 - CUSUM e CUSUM com resposta inicial rápida (RIR);
 - EWMA e EWMA com resposta inicial rápida (RIR).
- Avaliação da Qualidade do Ajuste de Modelo de Predição:
 - *Akaike Information Criteria* (AIC);
 - *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE);

- *Schwartz Bayesian Criteria* (SBC).
- Testes Estatísticos:
 - Hipótese;
 - Aderência;
 - Tendência;
 - Autocorrelação;
 - Sazonalidade.

1.4.2 – Seleção de Amostras de Tráfego de Rede

As amostras usadas no trabalho foram obtidas de tráfego de redes reais de diferentes tipos, a saber: LAN, WLAN, MAN e WAN.

Sete dessas amostras foram obtidas de redes de campi universitários e uma proveniente de rede corporativa. As três primeiras amostras foram capturadas para a realização do trabalho apresentado em [Matias 2010]. A quarta amostra foi capturada no decorrer da realização deste trabalho. As amostras restantes foram obtidas a partir de repositórios públicos de tráfego de rede.

Com o objetivo de simplificar a identificação dessas amostras, as mesmas foram nomeadas como *S1*, *S2*, até *S8*. Uma descrição detalhada é encontrada na seção 4.2.

1.4.3 – Caracterização das Amostras

Após a coleta das amostras de tráfego, as mesmas foram organizadas em séries temporais. Posteriormente, foram aplicados testes estatísticos para identificar características e/ou padrões nos dados da série. Os principais testes realizados foram:

- Tendência:
 - Coeficiente de correlação linear de Pearson [Larson 2007]
 - Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (KPSS) [Kwiatkowski 1992]
- Autocorrelação:
 - Teste Ljung-Box [Box 1970], [Ljung 1978]
- Sazonalidade:
 - Teste de Kruskal-Wallis [Kruskall 1952], [Morettin 2006]
 - Teste *F* da análise de variância [Morettin 2006], [Barbetta 2010]

- Aderência à distribuição Gaussiana:
 - Teste Kolmogorov-Smirnov [Frank 1951], [Sprent 2007]
 - Teste Anderson-Darling [Anderson 1954], [Stephens 1974]

1.4.4 – Ajuste e Seleção de Modelos de Predição

Os processos de predição utilizados, em conjunto com as técnicas de CEP, foram aqueles investigados em [Matias 2010] e [Teodoro 2010], a saber: auto-regressivos (AR), médias móveis (MA), auto-regressivos com médias móveis (ARMA) e auto-regressivos integrados de médias móveis (ARIMA). Após o ajuste dos modelos, seleciona-se aquele modelo que apresenta acuracidade igual ou superior a 90%. Destaca-se que não fez parte dos objetivos desse trabalho a investigação de modelos de predição, mas sim o seu controle de qualidade. Estudos comparativos entre modelos de predição aplicados a análise de tráfego de redes podem ser encontrados em [Carvalho 2011], [Matias 2011-a], [Matias 2011-b]. Para a seleção do modelo com melhor ajuste em relação aos dados observados, utilizou-se o índice de desempenho MAPE (erro médio percentual absoluto - *Mean Absolute Percentage Error*) [Wei 2006].

1.4.5 – Aplicação de Técnicas de CEP

Após a escolha do melhor modelo de predição, para cada amostra de tráfego, aplicou-se o controle de qualidade aos resíduos das predições por meio de gráficos de controle. As três técnicas investigadas foram os gráficos de controle: Shewhart para observações individuais, CUSUM e EWMA.

1.4.6 – Análise de Desempenho das Técnicas de CEP

Nesta etapa, realizou-se a análise comparativa das técnicas de CEP seguindo uma abordagem quantitativa, onde a avaliação dos gráficos de controle foi feita com o objetivo de se compreender qual tipo de gráfico de controle apresenta melhor desempenho para o controle de qualidade de determinados tipos de processos de predição e padrões de tráfego de redes de computadores. Essa avaliação foi conduzida baseando-se em análises gráficas, no número de eventos observados (“fora de” ou “sob” controle estatístico) e na análise de sensibilidade de cada gráfico de controle para cada tipo de amostra de tráfego avaliada.

1.5 – Escopo da pesquisa

Nessa dissertação se utiliza Controle Estatístico de Processo (CEP), em especial gráficos de controle para aplicar controle de qualidade nas previsões de tráfego de rede. Foi utilizado os modelos de previsão de Box-Jenkins [Box 1994], a saber: Auto-regressivo (AR), Médias móveis (MA), Auto-regressivo com médias móveis (ARMA) e Auto-regressivo integrado com médias móveis (ARIMA).

Neste trabalho, entre os gráficos de controle estudados para fazer o controle de qualidade das previsões de tráfego de redes, três deles são examinados com oito amostras de tráfego de redes reais. São eles:

1. Gráfico de Controle de Shewhart para Observações Individuais;
2. Gráfico de Controle CUSUM;
3. Gráfico de Controle EWMA.

Além dos três gráficos de controle testados com as oito amostras de tráfego, mais dois gráficos de controle são apresentados:

1. Gráfico de Controle CUSUM com Resposta Inicial Rápida;
2. Gráfico de Controle EWMA com Resposta Inicial Rápida.

Para o tratamento de dados autocorrelacionados, duas abordagens são expostas, sendo que a segunda foi aplicada a duas amostras de tráfego de redes reais, que apresentaram autocorrelação. São elas:

1. Gráfico de Shewhart com Limites Alargados;
2. Abordagem Livre de Modelo.

Após ampla revisão bibliográfica sobre os itens estudados acima, praticamente não se encontrou pesquisas que aplicam controle de qualidade na previsão de tráfego de redes, apenas uma em [Matias 2010] envolvendo dois gráficos de controle e apenas um desses gráficos é utilizado neste estudo. Sendo assim, esse trabalho expande a aplicabilidade dos gráficos de controle para o controle de qualidade das previsões de tráfego de redes, através de um protocolo rigoroso que contempla atenção especial para dados autocorrelacionados. Outro fator relevante nessa pesquisa é o uso da quantidade e diversidade de tráfegos de redes coletados de redes reais, possibilitando investigar os gráficos de controle em diversos ambientes de redes: LAN, WLAN, MAN e WAN.

Também não se encontrou em trabalhos anteriores uma caracterização de amostras detalhada. Neste trabalho foi feita uma caracterização minuciosa com os dados das amostras de tráfego, através de testes estatísticos, a fim de averiguar a normalidade dos dados, autocorrelação e a presença de padrões como tendência e sazonalidade. A falta da

caracterização correta das amostras, principalmente referente a autocorrelação, pode prejudicar a aplicação e conseqüentemente o desempenho dos gráficos de controle.

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: o Capítulo 2 trata dos conceitos de séries temporais, metodologia Box e Jenkins, índice de desempenho MAPE, esse capítulo apresenta também as definições de autocorrelação, tendência e sazonalidade com respectivos testes estatísticos; o Capítulo 3 aborda o Controle Estatístico de Processo, em especial os gráficos de controle; o Capítulo 4 apresenta a análise de desempenho dos gráficos de controle estatístico aplicados a processos de predição de tráfego de redes de computadores; por fim, o Capítulo 5 apresenta os principais resultados, limitações da pesquisa, contribuição para a literatura, dificuldades encontradas e trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – SÉRIES TEMPORAIS E PREDIÇÃO DE TRÁFEGO

2.1 – Introdução

O objetivo principal desta pesquisa é o controle estatístico da qualidade de processos de predição de tráfego de redes de computadores, independente do modelo de predição sendo usado. A fim de avaliar as técnicas de CEP investigadas neste estudo, foi necessário utilizar modelos de predição juntamente com as amostras de tráfego selecionadas para o trabalho. Neste caso, foram escolhidos os modelos de Box-Jenkins [Box 1994], dado que eles são bem conhecidos e usados extensivamente em predições de tráfego de rede, com bons resultados comprovados [Krishnamurthy 2003] [Yin 2005] [Zhou 2005] [Krithikaivasan 2007].

A seguir serão apresentados os fundamentos dos modelos de predição usados neste trabalho, bem como as demais técnicas estatísticas aplicadas na etapa de caracterização das amostras que foram usadas em conjunto com estes modelos.

2.2 – Séries Temporais

Uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas e igualmente espaçadas no tempo, tal como $Y(t_1), \dots, Y(t_n)$ [Gujarati 2000] [Morettin 2006]. A análise de uma série temporal normalmente inicia-se com uma inspeção gráfica, a qual pode revelar as componentes de tendência e sazonalidade, além de outras características como valores extremos (*outliers*) [Morettin 2006] e autocorrelação. Concomitante a inspeção gráfica, testes estatísticos de Hipótese [Montgomery 2009] [Barbetta 2010] podem ser aplicados para confirmar ou não a existência dessas características. Uma definição mais detalhada sobre autocorrelação, tendência e sazonalidade e testes de hipótese para verificar a presença das mesmas em uma série temporal serão apresentados posteriormente neste capítulo.

Conforme [Morettin 2006], de um modo geral, os principais objetivos da análise de uma série temporal são:

- investigar o mecanismo gerador da série temporal;
- descrever o comportamento da série, por exemplo, a existência de tendência, ciclos e variações sazonais;
- procurar periodicidades relevantes nos dados;
- fazer predições de valores futuros da série.

Se o propósito é fazer a predição de valores futuros, com base em valores passados e do presente, de uma dada variável aleatória, pode-se usar os modelos propostos por Box e

Jenkins, a saber: Auto-regressivo (AR), Médias móveis (MA), Auto-regressivo com médias móveis (ARMA) e Auto-regressivo integrado com médias móveis (ARIMA) [Gujarati 2000] [Morettin 2006], os quais foram utilizados neste trabalho. A seguir uma breve descrição desses modelos é apresentada. Para um maior detalhamento ver [Box 1994].

De forma geral, após utilizar os modelos para fazer as previsões, escolhe-se o modelo mais apropriado através de um índice de desempenho. Um índice de desempenho fornece, por exemplo, o menor erro quadrático médio das previsões [Morretin 2006]. Neste trabalho foi utilizado o Erro Médio Percentual Absoluto (MAPE), o qual é descrito na seção 2.3.

2.2.1 – Modelo Auto-regressivo (AR)

Em um modelo auto-regressivo (AR) a variável aleatória é explicada por valores passados dela mesma, além de um erro aleatório [Morettin 2006].

Considere Y_t uma série temporal no tempo t . Y_t pode ser chamado de processo auto-regressivo de ordem p , ou $AR(p)$, onde p corresponde ao número de parâmetros que devem ser estimados, se for possível assumir que o valor atual de uma série temporal depende do seu valor passado mais um erro aleatório [Gujarati 2000] [Morettin 2006]. Ao modelar Y_t como um $AR(p)$ tem-se:

$$Y_t = \Theta_1 Y_{t-1} + \Theta_2 Y_{t-2} + \dots + \Theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (1)$$

onde:

Y_t é a observação no tempo t , com $t=1, \dots, n$;

Θ_i são parâmetros do modelo, com $i=1, \dots, p$;

Y_{t-i} é a observação no tempo $t-i$;

ε_t é o erro aleatório no tempo t , considerando que $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

2.2.2 – Modelo de Médias Móveis (MA)

No modelo de médias móveis (MA), os erros de previsões passadas são utilizados para fazer previsões futuras, ou seja, é uma média móvel dos termos dos erros corrente e passados [Gujarati 2000] [Morettin 2006]. Quando Y_t é modelado como um $MA(q)$ obtem-se:

$$Y_t = \varepsilon_t - \varphi_1 \varepsilon_{t-1} - \varphi_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \varphi_q \varepsilon_{t-q} \quad (2)$$

onde:

Y_t é a observação no tempo t , com $t=1, \dots, n$;

φ_j são parâmetros do modelo, com $j= 1, \dots, q$;

ε_{t-j} é o erro no tempo $t-j$;

ε_t é o erro aleatório no tempo t , pressupondo que $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

2.2.3 – Modelo Auto-regressivo com Médias Móveis (ARMA)

Em processos que possuem tanto características auto-regressivas $AR(p)$ quanto de médias móveis $MA(q)$, é possível fazer a combinação desses dois modelos gerando um processo do tipo ARMA (p, q) , sendo assim, haverá p termos auto-regressivos e q termos de médias móveis [Gujarati 2000] [Morettin 2006]. O modelo ARMA (p, q) é definido pela equação:

$$Y_t = \delta + \Theta_1 Y_{t-1} + \Theta_2 Y_{t-2} + \dots + \Theta_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \phi_1 \varepsilon_{t-1} - \phi_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \phi_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

onde:

δ representa um termo constante;

Y_t é a observação no tempo t , com $t=1, \dots, n$;

Θ_i são parâmetros do modelo referentes a parte auto-regressiva, com $i=1, \dots, p$;

Y_{t-i} é a observação no tempo $t-i$, com $i=1, \dots, p$;

ϕ_j são parâmetros do modelo referentes a parte de médias móveis, com $j=1, \dots, q$;

ε_{t-j} é o erro no tempo $t-j$, com $j=1, \dots, q$;

ε_t é o erro aleatório no tempo t , pressupondo que $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

2.2.4 – Modelo Auto-regressivo Integrado com Médias Móveis (ARIMA)

Os modelos de séries temporais descritos em 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3, são indicados para séries temporais estacionárias, ou seja, séries que se desenvolvem no tempo em torno de uma média constante, todavia na prática muitas séries temporais não são estacionárias [Morettin 2006]. Sendo assim, é necessário remover as fontes não estacionárias dessas séries através de um modelo ARIMA (p, d, q) .

Para remover essas fontes, diferencia-se uma série temporal d vezes para torná-la estacionária e então se aplica o modelo ARMA (p, q) [Gujarati 2000]. Desta forma, diz-se que a série temporal original é ARIMA (p, d, q) , onde p indica o número de termos auto-regressivos, d o número de vezes que a série tem de ser diferenciada para se tornar estacionária e q o número de termos de média móvel. O modelo ARIMA (p, d, q) é dado por [Gujarati 2000] [Morettin 2006]:

$$Z_t = \Theta_1 Z_{t-1} + \Theta_2 Z_{t-2} + \dots + \Theta_p Z_{t-p} + \varepsilon_t - \phi_1 \varepsilon_{t-1} - \phi_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \phi_q \varepsilon_{t-q} \quad (4)$$

onde:

Z_t é o valor obtido das d diferenças, em que $Z_t = Y_t - Y_{t-d}$;

y_t é a observação no tempo t , com $t=1, \dots, n$;

d corresponde ao número de diferenças;

Θ_i são parâmetros do modelo referentes a parte auto-regressiva, com $i=1, \dots, p$;

Z_{t-i} é a observação no tempo $t-i$;

ϕ_j são parâmetros do modelo referentes a parte de médias móveis, com $j= 1, \dots, q$;

ε_{t-j} é o erro no tempo $t-j$;

ε_t é o erro aleatório no tempo t , pressupondo que $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$.

2.3 – Qualidade do Ajuste dos Modelos

Após o ajuste dos modelos AR, MA, ARMA e ARIMA, são obtidas as previsões e consequentemente os erros dos modelos, os quais são avaliados com o intuito de encontrar o melhor ajuste para uma dada série. Essa avaliação é feita através de índices de desempenho como *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) [Wei 2006], *Akaike Information Criteria* (AIC) [Findley 1998] e *Schwartz Bayesian Criteria* (SBC) [Madsen 2008]. Neste trabalho, utilizou-se o MAPE, o qual tem a vantagem de ser adimensional. A propriedade do MAPE de ser adimensional é muito importante, porque se usou não somente os dados originais, mas também um conjunto de dados transformados, os quais podem gerar resultados adimensionais. Sua equação é dada por:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t} \times 100\% \quad (5)$$

onde:

n é o tamanho da amostra;

t é um índice que denota o período de tempo;

y_t é o valor observado no tempo t ;

\hat{y}_t é o valor predito no tempo t .

Quanto menor o valor do MAPE maior é a acuracidade da predição do modelo. Ou seja, como o MAPE mede o erro médio percentual absoluto da predição, quanto menor o seu valor melhor é a predição. Sendo assim, a acuracidade é dada por:

$$\text{Acuracidade} = 100\% - \text{MAPE} \quad (6)$$

2.4 – Autocorrelação

Conforme [Gujarati 2000], o termo autocorrelação pode ser definido como correlação entre membros de séries de observações ordenadas no tempo, por exemplo, como em uma série temporal. No contexto de regressão, o modelo clássico de regressão linear simples¹ supõe que não existe tal autocorrelação nas perturbações (desvios) u_i . Simbolicamente,

$$E(u_i u_j) = 0 \quad i \neq j \quad (7)$$

O modelo clássico de regressão linear simples pressupõe que o termo de perturbação referente a uma observação qualquer não é influenciado pelo termo de perturbação referente a uma outra observação qualquer. Porém, caso haja tal influência, existe dependência, logo, temos autocorrelação. Simbolicamente,

$$E(u_i u_j) \neq 0 \quad i \neq j \quad (8)$$

Através do coeficiente de correlação, r , avalia-se o nível de autocorrelação existente na série. Esse número varia de -1 a +1 e sua interpretação depende do sinal e do valor numérico. A Figura 2.1 apresenta os possíveis valores de r e a interpretação em termos do sentido (positivo ou negativo) e da força (fraca, moderada ou forte) da correlação [Barbetta 2010].

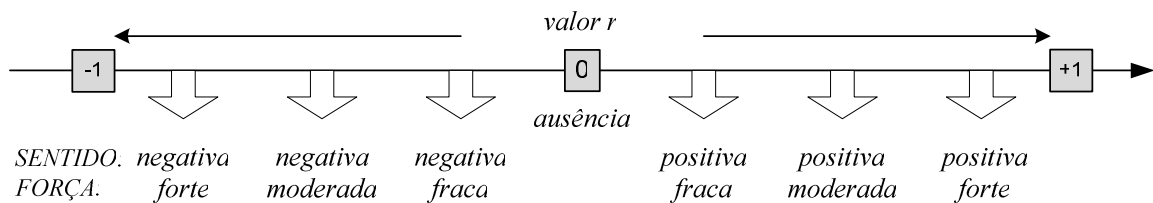


Figura 2.1 – Sentido e força da correlação, em termos do coeficiente r [Barbetta 2010]

Embora seja comum tratar os termos autocorrelação e correlação serial como sinônimos, alguns autores preferem distinguir esses termos [Gujarati 2000]:

- Autocorrelação: correlação defasada de uma dada série consigo mesma, defasada em um número de unidades de tempo. Exemplo: correlação entre duas séries temporais do tipo u_1, u_2, \dots, u_{10} e u_2, u_3, \dots, u_{11} , em que a primeira série é a segunda série defasada em um período de tempo;
- Correlação serial: correlação defasada entre duas séries diferentes. Exemplo: u_1, u_2, \dots, u_{10} e v_1, v_2, \dots, v_{10} em que u e v são duas séries temporais diferentes.

A suposição mais importante relativa aos gráficos de controle é a de independência das observações, porque os gráficos de controle convencionais não funcionam bem se a

¹ Regressão linear simples: é o modelo de regressão que envolve apenas uma única variável regressora x .

característica de qualidade que está sendo monitorada apresenta níveis, ainda que baixos, de correlação (ou autocorrelação) ao longo do tempo, pois os resultados serão enganosos sob a forma de muitos alarmes falsos [Montgomery 2009].

Nesse trabalho, para se detectar a autocorrelação utilizou-se o teste de Ljung e Box, o qual será apresentado a seguir.

2.4.1 - Teste de Autocorrelação de Ljung e Box

Em [Box 1970], é sugerido um teste para as autocorrelações dos resíduos estimados dos modelos AR, MA, ARMA e ARIMA, que apesar de não detectar quebras específicas no comportamento de ruído branco², pode indicar se o modelo é adequado através de pequenos valores da estatística do teste, Q . Posteriormente esse teste foi modificado por [Ljung 1978] e se o modelo for apropriado, a estatística

$$Q(k) = n(n+2) \sum_{j=1}^k \frac{\hat{r}_j^2}{(n-j)} \quad (9)$$

terá aproximadamente uma distribuição χ^2 [Morettin 2006], com $k-p$ graus de liberdade, onde:

k é a *lag*, ou seja, o número de intervalos de tempo a ser testado;

n corresponde ao tamanho da amostra;

j é o intervalo de tempo;

\hat{r}_j^2 é a autocorrelação residual no intervalo j ;

p é a quantidade de parâmetros do modelo.

As hipóteses do teste são:

H_0 : série não possui autocorrelação, ou seja, $r_1=r_2=\dots=r_m=0$.

H_1 : série possui autocorrelação, ou seja, $r_1=r_2=\dots=r_m \neq 0$.

A hipótese H_0 é rejeitada se o valor da estatística do teste, Q , for maior do que os valores críticos χ_{GL}^2 , da tabela de qui-quadrado, conforme o grau de liberdade (GL) e o nível de significância (α) [Gujarati 2000]. A hipótese H_0 também é rejeitada se o valor p for inferior a 5%.

² Uma sequência $\{\varepsilon_t\}$ é dita ruído branco se cada valor da série tiver média zero, variância constante e não apresentar autocorrelação/correlação serial.

2.5 – Tendência e Sazonalidade

A tendência consiste no movimento sustentado crescente ou decrescente no comportamento de uma variável [Gujarati 2000]. Ao apresentar a componente de tendência, a série temporal pode ser classificada como ascendente ou descendente, ou em caso contrário é classificada como estacionária.

A sazonalidade diz respeito a movimentos análogos que uma série temporal demonstra durante os mesmos períodos de tempo (ex. horas, semanas, quinzenas, ou meses).

Um modelo incorporando ambas as características consiste de observações $\{Y_t, t=1, \dots, n\}$ de uma série temporal, onde Y_t é a soma de três componentes não observáveis dado pela equação [Morettin 2006]:

$$Y_t = T_t + S_t + a_t \quad (10)$$

onde:

T_t representa a tendência;

S_t representa a sazonalidade;

a_t é uma componente aleatória, de média zero e variância constante σ_a^2 .

2.5.1 – Análise de Tendência

De acordo com a sua natureza e padrão comportamental, a tendência pode ser caracterizada como sendo do tipo determinística ou estocástica. Uma tendência determinística se refere ao fato de que a variação no nível médio de uma dada variável ocorre de forma previsível, como uma função no tempo [Gujarati 2000] [Lamounier 2007]. Contudo, nem sempre a tendência dos dados é do tipo determinística, ela pode mudar de forma aleatória ao longo do tempo e se caracterizar como uma componente de tendência do tipo estocástica [Lamounier 2007].

Conforme [Gujarati 2000], a presença de tendência nas séries de tempo provoca:

- perda da estabilidade dos dados, imprescindíveis à predição;
- geração de regressão espúria (coeficientes estimados deixam de ser verdadeiros).

Na presença dessas duas características os resultados podem ser considerados duvidosos e pouco confiáveis. Para verificar se existe tendência nas séries analisadas, neste trabalho foram utilizados os testes do coeficiente de correlação de Pearson e o teste de Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (KPSS), os quais são apresentados a seguir.

2.5.1.1 – Teste Baseado no Coeficiente de Correlação Linear de Pearson

O coeficiente de correlação linear de Pearson é uma medida do grau e da direção de uma relação linear entre duas variáveis. A letra r representa o coeficiente de correlação amostral [Larson 2007]. A equação é dada por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (11)$$

Tem-se $r = +1$ se os pontos estiverem exatamente sobre uma reta ascendente (*correlação positiva perfeita*) ou $r = -1$ se os pontos estiverem exatamente sobre uma reta descendente (*correlação negativa perfeita*) [Barbetta 2010]. O valor de r será mais próximo de +1 ou -1 quanto mais forte for a tendência na série. Quando r apresenta um valor próximo de 0 (zero), a série é dita estacionária.

Hipóteses:

H_0 : $r = 0$ série é estacionária, ou seja, não tem tendência.

H_1 : $r \neq 0$ série não é estacionária, ou seja, tem tendência.

Segundo [Triola 2008], a hipótese H_0 é rejeitada se o valor calculado de r for maior do que o valor crítico da Tabela 2.1, conforme o tamanho da amostra (n) e o nível de significância (α). A hipótese H_0 também é rejeitada se o valor p for inferior ao nível de significância adotado.

Tabela 2.1 – Valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson (r)

n	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
4	0,950	0,999
5	0,878	0,959
6	0,811	0,917
7	0,754	0,875
8	0,707	0,834
9	0,666	0,798
10	0,632	0,765
11	0,602	0,735
12	0,576	0,708
13	0,553	0,684
14	0,532	0,661
15	0,514	0,641
16	0,497	0,623
17	0,482	0,606
18	0,468	0,590
19	0,456	0,575
20	0,444	0,561
25	0,396	0,505
30	0,361	0,463
35	0,335	0,430

Continua na próxima página.

Tabela 2.1 – Valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson (r) (continuação).

n	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
40	0,312	0,402
45	0,294	0,378
50	0,279	0,361
60	0,254	0,330
70	0,236	0,305
80	0,220	0,286
90	0,207	0,269
100	0,196	0,256

2.5.1.2 – Teste Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (KPSS)

O teste KPSS [Kwiatkowski 1992] foi criado com o intuito de complementar os testes de Dickey-Fuller [Dickey 1979] e Phillips-Perron [Phillips 1988] por apresentarem baixo poder para detectar a presença ou não de tendência em uma série. Este teste consiste em decompor a série conforme a Equação 12.

$$y_t = \beta t + r_t + \varepsilon_t \quad (12)$$

onde:

βt é uma tendência determinística;

$r_t = r_{t-1} + u_t$, ou seja, r_t é um passeio aleatório, no qual $u_t \sim iid(0, \sigma_u^2)$. Sob a hipótese H_0 de estacionariedade, $\sigma_u^2 = 0$, o que transforma o processo em um processo de tendência estacionária;

ε_t é um erro estacionário.

Com base na estimação da Equação 12 constrói-se a estatística KPSS:

$$LM = \sum_{t=1}^n S_t^2 / \hat{\sigma}_u^2 \quad (13)$$

onde:

n é o tamanho da amostra;

S_t é a soma parcial dos desvios dos resíduos em relação à média amostral;

$\hat{\sigma}_u^2$ é a estimativa consistente da variância de longo prazo.

As hipóteses a serem testadas são:

H_0 : série é estacionária ($\sigma_u^2 = 0$), ou seja, não tem tendência.

H_1 : série não é estacionária ($\sigma_u^2 \neq 0$), ou seja, tem tendência.

Se a hipótese H_0 for rejeitada, é necessário fazer a análise gráfica da série para verificar se a mesma possui tendência ascendente ou decendente. É válido ressaltar que essa

análise não pode ser feita pela estatística *LM* (ver Equação 13), pois a mesma sempre apresenta resultados positivos [Kwiatkowski 1992].

2.5.2 – Sazonalidade

Entendem-se como sazonais os fenômenos que ocorrem regularmente de tempos em tempos. Considerando uma série que tem um comportamento aproximadamente periódico, denomina-se *s* de período, mesmo que o padrão não seja exatamente periódico, onde *s* pode ser o mesmo número de horas ou dias, por exemplo.

O que se observa em séries sazonais é que ocorrem relações:

- entre observações para horas sucessivas em um dia particular;
- entre observações para a mesma hora em dias sucessivos.

Isto implica que séries sazonais são caracterizadas por apresentarem correlação alta em “lags sazonais”, isto é, lags que são múltiplos do período *s* [Morettin 2006].

A seguir os testes de sazonalidade de Kruskal-Wallis e análise de variância são apresentados.

2.5.2.1 – Teste de Kruskal-Wallis

O teste de Kruskal-Wallis exige que as observações sejam contínuas e independentes [Sprent 2007].

Para o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis [Kruskal 1952] [Morettin 2006] [Sprent 2007], considere uma tabela onde cada coluna corresponde a uma amostra (subgrupo) de uma população, isto é, tem-se *k* amostras de tamanho *n_j*, ou seja, as observações são:

$$Y_{ij}, j = 1, \dots, k, i = 1, \dots, n_j, n = \sum_{j=1}^k n_j, \quad (14)$$

onde:

Y_{ij} é a série;

k quantidade de tratamentos ou lags;

n_j tamanho da amostra dentro do sub-grupo *j*;

n número total de observações.

As observações *Y_{ij}* são substituídas por seus postos (*raking*), *R_{ij}*, obtidos ordenando-se todas as *n* observações. Seja *R_{.j}* a soma dos postos associados à *j*-ésima amostra (coluna), então

$$R_{.j} = \sum_{i=1}^{n_j} R_{ij}, j = 1, \dots, k \quad (15)$$

Considerando os tratamentos (k) estipulam-se as hipóteses:

H_0 : não existe sazonalidade.

H_1 : existe sazonalidade.

Para testar a hipótese H_0 calcula-se a estatística T_I , onde

$$T_I = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R^2 \cdot j}{n_j} - 3(N+1) \quad (16)$$

Para n_j suficientemente grande, ou $k \geq 4$, a distribuição de T_I pode ser aproximada por uma variável χ^2 com $k-1$ graus de liberdade [Morettin 2006].

Rejeita-se a hipótese H_0 se o valor da estatística T_I for maior ou igual aos valores críticos χ_{GL}^2 da tabela de qui-quadrado, conforme o grau de liberdade ($k-1$ graus de liberdade) e o nível de significância (α). A hipótese H_0 também é rejeitada se o valor p for inferior a 5% [Morettin 2006].

2.5.2.2 - Teste F da Análise de Variância

O teste F da análise de variância é um teste paramétrico que segue o modelo subjacente

$$Y_{ij} = S_j + e_{ij}, \quad i = 1, \dots, n_j, \quad j = 1, \dots, k, \quad (17)$$

e supondo $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$, independentes. Onde:

Y_{ij} é a série;

S_j é o efeito do j -ésimo tratamento;

e_{ij} é o efeito aleatório ou erro experimental;

n_j tamanho da amostra dentro do sub-grupo;

k quantidade de tratamentos ou *lag*.

Sob a hipótese nula $H_0: S_1 = \dots = S_k$, a estatística

$$T_2 = \frac{n-k}{k-1} \frac{\sum_{j=1}^k n_j (\bar{Y}_{\cdot j} - \bar{Y})^2}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Y_{ij} - \bar{Y}_{\cdot j})^2} \quad (18)$$

tem distribuição $F(k-1, n-k)$, onde:

n número total de observações em todos os grupos;

k quantidade de tratamentos ou *lag*;

n tamanho da amostra dentro do sub-grupo;

$\bar{Y}_{\cdot j}$ média por tratamento;

\bar{Y} média de todas as observações.

Considerando que se trata de um teste paramétrico o mesmo inclui a validade da normalidade dos resíduos [Morettin 2006].

Considerando os tratamentos (k) estipulam-se as hipóteses:

H_0 : não existe sazonalidade.

H_1 : existe sazonalidade.

Rejeita-se a hipótese H_0 se o valor da estatística T_2 for maior ou igual aos valores críticos da distribuição F , conforme o grau de liberdade no numerador ($k - 1$) e o grau de liberdade no denominador ($n - k$) [Barbetta 2010]. A hipótese H_0 também é rejeitada se o valor p for inferior a 5%.

2.6 – Séries Temporais Aplicadas a Análise de Tráfego

Utilizando a amostra de tráfego de rede $S3$, é apresentado um exemplo que contempla as etapas de ajuste de modelo, análise de acuracidade e predição. Os modelos de predição utilizados neste estudo foram descritos anteriormente nesse capítulo. Estes modelos foram ajustados aos dados da amostra $S3$, transformados com \log_{10} , e o resultado de cada ajuste é apresentado na Tabela 2.2. Os dados foram transformados, uma vez que, transformações apropriadas de séries temporais tipicamente ajudam a melhorar o ajuste de modelos [Box 1994]. Entre as transformações testadas, o \log_{10} forneceu valores menores para o índice de desempenho MAPE, proporcionando maior acuracidade aos modelos de predição, conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.2 – Ajuste dos modelos ARIMA para amostra $S3$

Observação	S3	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	2,39	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,48	2,51	2,49	2,39	2,39	2,39	2,39
2	2,59	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,50	2,49	2,50	2,44	2,43	2,43	2,43
3	2,59	2,53	2,55	2,53	2,54	2,53	2,52	2,55	2,53	2,52	2,53	2,54	2,54
4	2,65	2,53	2,52	2,52	2,52	2,52	2,62	2,52	2,58	2,55	2,55	2,54	2,54
5	2,61	2,54	2,53	2,54	2,54	2,54	2,55	2,53	2,53	2,58	2,58	2,58	2,57
6	2,42	2,53	2,51	2,53	2,52	2,52	2,54	2,51	2,53	2,56	2,55	2,55	2,55
7	2,47	2,49	2,48	2,49	2,49	2,49	2,48	2,47	2,49	2,50	2,50	2,49	2,49
8	2,42	2,50	2,51	2,51	2,51	2,51	2,42	2,51	2,46	2,51	2,51	2,52	2,52
9	2,50	2,49	2,50	2,49	2,49	2,49	2,54	2,50	2,53	2,49	2,49	2,50	2,50
10	2,52	2,51	2,52	2,51	2,52	2,51	2,48	2,52	2,50	2,51	2,52	2,52	2,52
11	2,31	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,50	2,52	2,50	2,51	2,50	2,51	2,51
12	2,39	2,47	2,46	2,46	2,47	2,47	2,44	2,46	2,46	2,44	2,44	2,44	2,44
13	2,53	2,49	2,52	2,49	2,50	2,50	2,35	2,52	2,43	2,46	2,47	2,49	2,49
14	2,55	2,52	2,53	2,52	2,52	2,52	2,64	2,54	2,59	2,50	2,51	2,52	2,52
15	2,50	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,56	2,52	2,54	2,51	2,51	2,50	2,50
16	2,31	2,51	2,50	2,51	2,51	2,51	2,36	2,50	2,42	2,49	2,49	2,48	2,48
17	2,58	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,50	2,47	2,49	2,45	2,44	2,44	2,44
18	2,52	2,52	2,56	2,54	2,54	2,54	2,52	2,56	2,53	2,51	2,52	2,54	2,53
19	2,52	2,51	2,50	2,51	2,50	2,51	2,58	2,51	2,55	2,50	2,49	2,49	2,49
20	2,48	2,51	2,51	2,51	2,52	2,51	2,45	2,51	2,47	2,50	2,50	2,50	2,49

Continua na próxima página.

Tabela 2.2 – Ajuste dos modelos ARIMA para amostra S3 (continuação).

Observação	S3	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
21	2,58	2,51	2,50	2,50	2,50	2,50	2,51	2,50	2,52	2,49	2,49	2,49	2,48
22	2,62	2,52	2,53	2,53	2,53	2,53	2,59	2,53	2,56	2,52	2,52	2,52	2,52
23	2,57	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,56	2,53	2,54	2,53	2,53	2,52	2,52
24	2,49	2,52	2,51	2,52	2,52	2,52	2,52	2,51	2,52	2,52	2,52	2,51	2,51
25	2,47	2,51	2,50	2,50	2,50	2,50	2,49	2,49	2,50	2,50	2,50	2,49	2,49
26	2,59	2,50	2,51	2,50	2,51	2,50	2,48	2,50	2,49	2,50	2,50	2,50	2,50
27	2,52	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,57	2,53	2,56	2,53	2,53	2,53	2,53
28	2,55	2,51	2,50	2,51	2,51	2,51	2,56	2,50	2,53	2,51	2,50	2,50	2,50
29	2,46	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,43	2,52	2,46	2,52	2,52	2,52	2,52
30	2,61	2,50	2,49	2,50	2,50	2,50	2,55	2,49	2,54	2,50	2,49	2,49	2,49
31	2,56	2,53	2,54	2,54	2,54	2,54	2,55	2,54	2,54	2,53	2,54	2,54	2,54

Na sequência, faz-se a análise da acuracidade. Neste trabalho a mesma é realizada usando o índice MAPE (ver Seção 2.3). Neste exemplo, o melhor ajuste foi para o modelo ARMA(2,2), conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Ranking dos ajustes para a amostra S3

Modelos	Mape(%)	Acuracidade(%)
ARMA(2,2)	2,25	97,75
ARMA(1,2)	2,29	97,71
ARIMA(2,1,2)	2,50	97,50
ARIMA(2,1,1)	2,50	97,50
ARIMA(1,1,2)	2,51	97,49
ARMA(2,1)	2,52	97,48
AR(2)	2,54	97,46
ARIMA(1,1,1)	2,55	97,45
MA(2)	2,61	97,39
MA(1)	2,62	97,38
ARMA(1,1)	2,62	97,38
AR(1)	2,63	97,37

A Figura 2.2 apresenta os dados observados (transformados) e o respectivo ajuste do modelo ARMA(2,2) para a amostra S3.

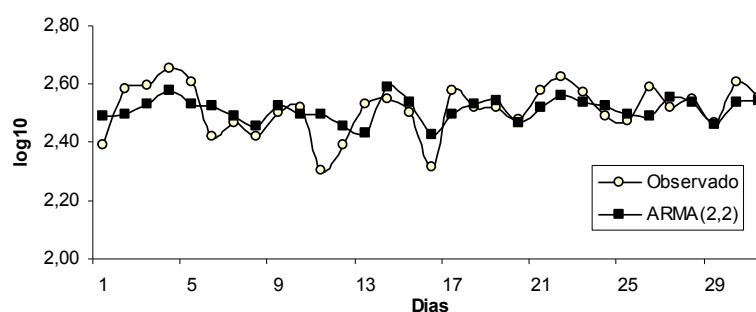


Figura 2.2 – Modelo ARMA (2,2) ajustado para a amostra S3.

Uma vez que se tem os valores observados e os valores preditos, é possível calcular os resíduos. Este cálculo é realizado subtraindo os valores preditos dos valores observados. A Tabela 2.4 apresenta os resíduos dos modelos avaliados para a amostra S3.

Tabela 2.4 – Resíduos dos modelos para amostra S3

Obs	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	-0,12	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,08	-0,11	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,09	0,15	0,15	0,15	0,15
3	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06
4	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,03	0,13	0,07	0,10	0,11	0,11	0,11
5	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08	0,03	0,03	0,03	0,03
6	-0,11	-0,09	-0,10	-0,10	-0,10	-0,12	-0,09	-0,11	-0,14	-0,13	-0,13	-0,13
7	-0,03	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	0,00	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
8	-0,08	-0,10	-0,09	-0,09	-0,09	0,00	-0,09	-0,04	-0,09	-0,09	-0,10	-0,10
9	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-0,04	0,00	-0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
11	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21	-0,19	-0,21	-0,19	-0,20	-0,20	-0,20	-0,21
12	-0,08	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08	-0,05	-0,07	-0,07	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
13	0,05	0,02	0,04	0,03	0,04	0,18	0,02	0,10	0,07	0,06	0,05	0,05
14	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	-0,09	0,01	-0,04	0,05	0,04	0,03	0,03
15	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,06	-0,02	-0,04	-0,01	0,00	0,00	0,00
16	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,19	-0,05	-0,19	-0,11	-0,18	-0,17	-0,17	-0,17
17	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,11	0,09	0,13	0,14	0,14	0,14
18	0,00	-0,04	-0,02	-0,02	-0,02	0,00	-0,04	-0,01	0,01	0,00	-0,02	-0,02
19	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	-0,06	0,01	-0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
20	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,03	0,03	-0,03	0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01
21	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,09	0,09	0,09	0,09
22	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,03	0,09	0,06	0,11	0,10	0,10	0,10
23	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,01	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
24	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,02	-0,04	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02
25	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02
26	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,11	0,08	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09
27	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,05	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
28	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	-0,01	0,04	0,01	0,04	0,04	0,05	0,04
29	-0,05	-0,05	-0,05	-0,06	-0,06	0,03	-0,05	0,00	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
30	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,05	0,11	0,07	0,11	0,11	0,11	0,11
31	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01

A seguir, será apresentado um exemplo numérico do uso do modelo $ARMA(p,q)$, ajustado à série S3, para predição de dados futuros. Utilizou-se o $ARMA(2,2)$, onde o primeiro parâmetro ($p=2$) corresponde a dois tempos passados. O segundo parâmetro ($q=2$)

corresponde a dois erros passados. Para este exemplo, utilizou-se o resultado do ajuste do modelo ARMA(2,2) referente as observações 30 e 31 da Tabela 2.2.

$$\begin{aligned} Y_t &= \Theta_1 Y_{t-1} + \Theta_2 Y_{t-2} + \varphi_1 \varepsilon_{t-1} + \varphi_2 \varepsilon_{t-2} \\ Y_t &= 2,51 - 0,60Y_{t-1} - 0,41Y_{t-2} + 1\varepsilon_{t-1} + 1\varepsilon_{t-2} \end{aligned} \quad (19)$$

Utilizando (19), calcula-se a predição do tráfego para tempo futuro, nesse caso o ponto 32 da série. Seguindo o mesmo enfoque, as observações 31 e 32 foram utilizadas para obter a predição do dia seguinte, ou seja, a observação de número 33, e assim sucessivamente. Este exemplo contempla as predições de sete valores futuros da amostra S3, de 32 a 38 conforme a Tabela 2.5. A linha com pontos no eixo x da Figura 2.3 apresenta os sete valores preditos com o modelo ARMA(2,2).

Tabela 2.5 – Predição com o modelo ARMA (2,2) para a amostra S3

Observação	S3	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	2,39	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,48	2,51	2,49	2,39	2,39	2,39	2,39
2	2,59	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,50	2,49	2,50	2,44	2,43	2,43	2,43
3	2,59	2,53	2,55	2,53	2,54	2,53	2,52	2,55	2,53	2,52	2,53	2,54	2,54
4	2,65	2,53	2,52	2,52	2,52	2,52	2,62	2,52	2,58	2,55	2,55	2,54	2,54
5	2,61	2,54	2,53	2,54	2,54	2,54	2,55	2,53	2,53	2,58	2,58	2,58	2,57
6	2,42	2,53	2,51	2,53	2,52	2,52	2,54	2,51	2,53	2,56	2,55	2,55	2,55
7	2,47	2,49	2,48	2,49	2,49	2,49	2,48	2,47	2,49	2,50	2,50	2,49	2,49
8	2,42	2,50	2,51	2,51	2,51	2,51	2,42	2,51	2,46	2,51	2,51	2,52	2,52
9	2,50	2,49	2,50	2,49	2,49	2,49	2,54	2,50	2,53	2,49	2,49	2,50	2,50
10	2,52	2,51	2,52	2,51	2,52	2,51	2,48	2,52	2,50	2,51	2,52	2,52	2,52
11	2,31	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,50	2,52	2,50	2,51	2,50	2,51	2,51
12	2,39	2,47	2,46	2,46	2,47	2,47	2,44	2,46	2,46	2,44	2,44	2,44	2,44
13	2,53	2,49	2,52	2,49	2,50	2,50	2,35	2,52	2,43	2,46	2,47	2,49	2,49
14	2,55	2,52	2,53	2,52	2,52	2,52	2,64	2,54	2,59	2,50	2,51	2,52	2,52
15	2,50	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,56	2,52	2,54	2,51	2,51	2,50	2,50
16	2,31	2,51	2,50	2,51	2,51	2,51	2,36	2,50	2,42	2,49	2,49	2,48	2,48
17	2,58	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,50	2,47	2,49	2,45	2,44	2,44	2,44
18	2,52	2,52	2,56	2,54	2,54	2,54	2,52	2,56	2,53	2,51	2,52	2,54	2,53
19	2,52	2,51	2,50	2,51	2,50	2,51	2,58	2,51	2,55	2,50	2,49	2,49	2,49
20	2,48	2,51	2,51	2,51	2,52	2,51	2,45	2,51	2,47	2,50	2,50	2,50	2,49
21	2,58	2,51	2,50	2,50	2,50	2,50	2,51	2,50	2,52	2,49	2,49	2,49	2,48
22	2,62	2,52	2,53	2,53	2,53	2,53	2,59	2,53	2,56	2,52	2,52	2,52	2,52
23	2,57	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,56	2,53	2,54	2,53	2,53	2,52	2,52
24	2,49	2,52	2,51	2,52	2,52	2,52	2,52	2,51	2,52	2,52	2,52	2,51	2,51
25	2,47	2,51	2,50	2,50	2,50	2,50	2,49	2,49	2,50	2,50	2,50	2,49	2,49
26	2,59	2,50	2,51	2,50	2,51	2,50	2,48	2,50	2,49	2,50	2,50	2,50	2,50
27	2,52	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,57	2,53	2,56	2,53	2,53	2,53	2,53
28	2,55	2,51	2,50	2,51	2,51	2,51	2,56	2,50	2,53	2,51	2,50	2,50	2,50
29	2,46	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,43	2,52	2,46	2,52	2,52	2,52	2,52
30	2,61	2,50	2,49	2,50	2,50	2,50	2,55	2,49	2,54	2,50	2,49	2,49	2,49
31	2,56	2,53	2,54	2,54	2,54	2,54	2,55	2,54	2,54	2,53	2,54	2,54	2,54
32									2,52				
33									2,49				
34									2,51				

Continua na próxima página.

Tabela 2.5 – Predição com o modelo ARMA (2,2) para a amostra S3 (continuação).

Observação	S3	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
35									2,51				
36									2,50				
37									2,51				
38									2,51				

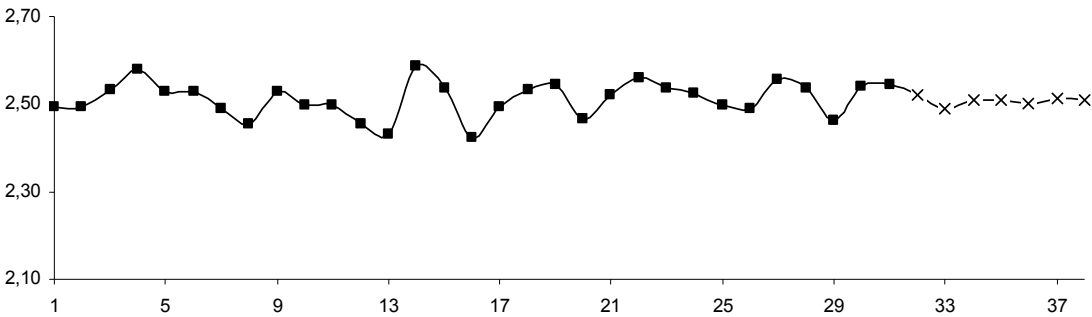


Figura 2.3 - Tempos preditos com o modelo ARMA(2,2) para a amostra S3

Os passos apresentados no exemplo anterior são utilizados para encontrar o modelo com o ajuste mais adequado e através do mesmo realizar predições no tráfego em questão.

As seções apresentadas neste capítulo são acessórias ao desenvolvimento dessa pesquisa, tendo em vista que, a proposta principal é aplicar técnicas de Controle Estatístico de Processo para o controle de qualidade das predições. No próximo capítulo serão apresentadas as técnicas de CEP utilizadas na pesquisa.

CAPÍTULO 3 – CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

3.1 – Introdução

O controle estatístico de processo (CEP) está intrinsecamente ligado a qualidade que bens e serviços podem oferecer aos seus consumidores. Todo bem ou serviço deve alcançar um valor desejado para determinada característica de qualidade, esse valor é conhecido como valor-alvo ou valor nominal [Montgomery 2009]. Com o objetivo de monitorar os valores-alvos, métodos estatísticos são empregados em amostras que permitem fazer inferências sobre uma população. Um método estatístico amplamente utilizado com esse propósito é o CEP [Costa 2005] [Montgomery 2009]. Como exemplo, [Wetherill 1994] mostra que desde os anos de 1950 a indústria Japonesa aplica o CEP largamente e provou que ele traz economia financeira e atrai clientes.

A origem do CEP deu-se por volta de 1924, com a contribuição de Walter A. Shewhart ao desenvolver os gráficos de controle [Montgomery 2009]. Segundo Shewhart, todo processo possui alguma variabilidade que não pode ser eliminada, trata-se das causas aleatórias [Montgomery 2009]. Existem também as causas especiais que todo processo está sujeito, as quais alteram a distribuição da variável aleatória sob observação, prejudicando a média do valor-alvo e/ou ampliando a sua dispersão [Costa 2005]. Quando um processo apresenta causas aleatórias e causas especiais, o mesmo é considerado fora de controle estatístico.

O CEP inicialmente foi aplicado na indústria para a melhoria da qualidade de produtos, porém com o decorrer do tempo também passou a ser usado para monitorar e controlar a qualidade de serviços [Wetherill 1994]. O CEP estabelece um estado de normalidade no sistema, onde nessas circunstâncias apenas as causas aleatórias, que fazem parte do próprio sistema, são identificadas. Um processo neste estado é dito sob controle estatístico e espera-se que seja mantido neste estado através de ações pró-ativas.

A seguir serão apresentados tópicos importantes relacionados com a aplicação de CEP, os quais foram utilizados no decorrer desse trabalho.

3.2 – Gráficos de Controle

Os processos sob controle estatístico devem ser permanentemente monitorados, para se detectar a presença de eventuais causas especiais. A principal ferramenta utilizada para monitorar os processos e sinalizar a presença de causas especiais são os gráficos de controle [Costa 2005].

A Figura 3.1 apresenta um exemplo de gráfico de controle padrão que mostra a característica de qualidade do processo *versus* a quantidade de amostras no tempo.

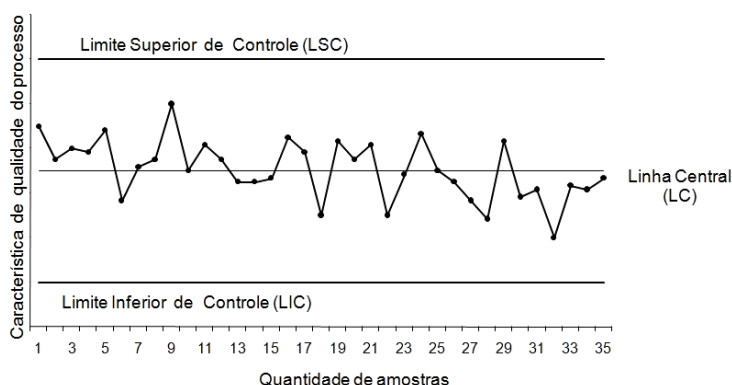


Figura 3.1 – Exemplo de gráfico de controle padrão [Montgomery 2009]

Os limites dos gráficos de controle são determinados com base na média, μ , e no desvio-padrão, σ , da distribuição da variável aleatória x que representa uma medida de interesse sobre o processo monitorado. Os gráficos de controle são compostos por uma Linha Central (LC) e por linhas de Limite Superior de Controle (LSC) e Limite Inferior de Controle (LIC). A linha central representa um valor médio considerado normal para o processo monitorado. Quando a variabilidade do processo está entre os limites do gráfico, LSC e LIC, o processo é considerado sob controle estatístico, caso contrário, o processo é considerado fora de controle estatístico [Costa 2005] [Montgomery 2009]. Os gráficos de controle pressupõem que os dados possuem distribuição normal e sejam independentes e identicamente distribuídos (*i.i.d.*) [Montgomery 2009]. Portanto, antes de se usar o CEP deve-se averiguar esses pressupostos com base em testes estatísticos, os quais foram descritos nas seções 2.4.1, 3.7.1 e 3.7.2.

3.2.1 – Gráficos de Controle de Shewhart

A família dos gráficos de controle de Shewhart é a mais antiga e este talvez seja o principal método adotado para o controle estatístico de processos. Esses gráficos são geralmente implementados para monitorar a média e a variabilidade das variáveis aleatórias

que representam a medida da característica de um determinado processo de interesse [Costa 2005] [Montgomery 2009]. O gráfico de Shewhart padrão, também conhecido como X-barra, é plotado considerando a média das amostras aleatórias (saídas do processo monitorado) coletadas periodicamente, em ordem, para monitorar o processo sob controle estatístico. Em adicional ao gráfico X-barra, o gráfico individual é outro tipo de gráfico de controle de Shewhart, que é usado para monitorar variáveis, onde se torna impraticável obter um tamanho de amostra, n , maior que uma observação ($n > 1$) [Montgomery 2009]. O monitoramento da qualidade das predições de tráfego de rede normalmente requer apenas os gráficos de controle de Shewhart individuais, uma vez que as variáveis monitoradas são valores comumente individuais que representam um resíduo de predição. Na sequência, o gráfico de controle de Shewhart para observações individuais é apresentado. Uma descrição mais detalhada de toda a família dos gráficos de controle de Shewhart pode ser obtida em [Montgomery 2009].

3.2.1.1 – Gráfico de Controle de Shewhart para Observações Individuais

O monitoramento do processo é considerado sob controle se os valores da variável aleatória estão próximos da LC e dentro dos limites de controle LSC e LIC. Esse gráfico é muito eficaz para detectar grandes mudanças na média do processo [Montgomery 2009]. As próximas equações mostram o cálculo da LC e dos limites de controle LSC e LIC [Costa 2005] [Montgomery 2009].

$$LSC = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (20)$$

$$LC = \bar{X} \quad (21)$$

$$LIC = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (22)$$

onde:

\bar{X} é a estimativa da média do processo sob controle;

d_2 é uma constante tabelada que depende do valor de m (veja Equação 23);

\overline{MR} é a média da amplitude móvel dos m valores individuais. O \overline{MR} e as médias móveis são dadas por (23) e (24), respectivamente.

$$\overline{MR} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m MR_i \quad (23)$$

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (24)$$

onde MR_i e \overline{MR} são calculados baseados em uma amostra base (piloto) de m valores individuais (x_i) obtidos quando o processo é considerado estar sob controle; x_i é o erro de predição (resíduo) para a i -ésima observação.

3.2.2 – Gráfico de Controle CUSUM

O gráfico de controle CUSUM (*cumulative sum*) [Alves 2003] [Costa 2005] [Souza 2008] [Cruz 2009] [Montgomery 2009] apresenta as somas acumuladas dos desvios amostrais de um valor-alvo especificado, μ_0 , considerando o intervalo de decisão H^\pm e tem como objetivo detectar pequenas mudanças na média do processo. Os limites do gráfico CUSUM são calculados como mostra as equações (25) e (26).

$$H^\pm = h\sigma \quad (25)$$

$$LC = \mu_0 \quad (26)$$

onde:

h é um valor tabelado (normalmente em torno de 3, 4 ou 5) [Montgomery 2009];

μ_0 a média alvo do processo monitorado.

A soma acumulada dos desvios é representada por C^+ e C^- , os quais são respectivamente as estatísticas CUSUM superior e inferior.

As Equações 27 e 28 [Montgomery 2009] representam as duas estatísticas do gráfico CUSUM.

$$C_i^+ = \max[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \quad (27)$$

$$C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-] \quad (28)$$

onde:

x_i é o erro de predição para a i -ésima observação;

μ_0 é estimativa da média do processo sob-controle;

K é valor tabelado [Montgomery 2009], também conhecido como valor de tolerância, e é escolhido como a metade do tamanho da mudança na média-alvo do processo, conforme pode ser visto na equação (29).

$$K = k\sigma \quad (29)$$

Segundo [Montgomery 2009], os valores iniciais são zero para C_i^+ e C_i^- ($C_0^+ = C_0^- = 0$).

O planejamento do gráfico de controle CUSUM é baseado nos valores de k e h . Esses valores estão diretamente relacionados com a magnitude da mudança do processo que se está

interessado em detectar com o algoritmo CUSUM. Esses valores estão definidos na Tabela 4.14 da Seção 4.4.1.

3.2.3 – Gráfico de Controle EWMA

O gráfico de controle EWMA (*exponentially weight moving average*) [Costa 2005] [Montgomery 2009] [Souza 2008] é baseado em informações acumulativas obtidas de muitas amostras prévias. Ele visa detectar grandes ou pequenas mudanças no processo, mesmo para $n=1$ [Souza 2008]. O gráfico EWMA é definido pela seguinte estatística:

$$w_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)w_{i-1} \quad (30)$$

onde:

$0 < \lambda \leq 1$ é uma constante;

x_i é o erro de predição para a i -ésima observação;

w_0 é o valor-alvo ($w_0 = \mu_0$) [Montgomery 2009].

A Equação 30 mostra como os dados prévios são considerados para calcular o valor de w_i , que é a média móvel de todas as amostras anteriores (ou valores individuais). Uma vez que (30) leva em conta todas as observações (não somente a mais recente), o EWMA é insensível a suposição de normalidade. Assim, o EWMA é um gráfico de controle apropriado para ser adotado sempre que observações individuais são analisadas [Montgomery 2009].

Assumindo que os valores de x_i são variáveis aleatórias independentes e sua variância é dada por σ^2 , então a variância de w_i é calculada pela Equação 31.

$$\sigma_{w_i}^2 = \sigma^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) \left[1 - (1 - \lambda)^{2i} \right] \quad (31)$$

Assim, o gráfico de controle EWMA pode ser construído plotando w_i de encontro ao número da observação, i . A linha central e os respectivos limites de controle são calculados por (32), (33) e (34).

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} \left[1 - (1 - \lambda)^{2i} \right]} \quad (32)$$

$$LC = \mu_0 \quad (33)$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2 - \lambda)} \left[1 - (1 - \lambda)^{2i} \right]} \quad (34)$$

onde L corresponde a largura dos limites de controle em número de desvios padrão.

3.2.4 – Gráfico de Controle CUSUM com Resposta Inicial Rápida (RIR)

Quando o processo monitorado está inicialmente fora de controle, é muito importante detectar as origens das condições que o deixam fora de controle o mais cedo possível, para a implementação de ações corretivas no estágio inicial do processo [Montgomery 2009].

Com o propósito de melhorar a sensibilidade do gráfico de controle CUSUM no início do monitoramento do processo, a resposta inicial rápida (RIR) ou característica *headstart*, foi proposta em [Lucas 1982].

Na RIR, os valores iniciais do CUSUM ou os valores do CUSUM após um sinal fora de controle, não são iniciados com zero. Alternativamente, o CUSUM é configurado para um valor inicial chamado *headstart* [Lucas 1982] [Montgomery 2009], também identificado como HS [Lucas 1990]. Conforme valores tabelados em [Lucas 1982], recomenda-se que o cálculo do *headstart* seja igual a $H/2$, onde H é o valor referente ao intervalo de decisão do gráfico de controle CUSUM (ver Seção 3.2.2, Equação 25).

Desta forma, no gráfico de controle CUSUM, nas Equações 27 e 28, os valores $C_0^+ = C_0^-$ iniciam com o resultado do cálculo do *headstart*, ou seja, $C_0^+ = C_0^- = H/2$.

Com a RIR, se o processo inicia sob controle e permanece assim, o CUSUM rapidamente tende para zero e o *headstart* terá pouco efeito no desempenho do CUSUM. Contudo, se o processo está sob controle e em seguida sai de controle, o *headstart* permitirá ao gráfico CUSUM sinalizar essa alteração mais rapidamente, resultando em valores de ARL_1 (ver Seção 3.3) menores [Montgomery 2009].

Os cálculos para o ARL_1 com RIR para o gráfico de controle CUSUM podem ser realizados com a rotina CUSUM-RIR.R. O código fonte desta rotina encontra-se no Anexo A.

3.2.5 – Gráfico de Controle EWMA com Resposta Inicial Rápida (RIR)

A RIR no gráfico de controle EWMA tem a mesma aplicação que no gráfico de controle CUSUM (ver Seção 3.2.4), ou seja, detectar a condição de fora de controle do processo o mais cedo possível para a implementação de ações corretivas no estágio inicial do mesmo.

O trabalho apresentado em [Lucas 1990] sugere o uso de dois gráficos de controle EWMA unilateral com valores iniciais diferentes de zero para implementar a RIR.

Conforme [Steiner 1999], as abordagens citadas acima são mais difíceis de serem implementadas, pois necessitam do uso simultâneo de dois gráficos de controle EWMA para o monitoramento do processo, com isso as propostas anteriores necessitam de maior esforço computacional.

Outra abordagem criada por [Steiner 1999] consiste em estreitar os limites de controle, LSC e LIC, que variam com o tempo através de um ajustamento exponencialmente decrescente, dado por

$$RIR_{adj} = 1 - (1 - f)^{1+a(i-1)} \quad (35)$$

onde a é conhecido como parâmetro de ajuste e i refere-se as observações. O ajuste da RIR [Steiner 1999] [Abbasi 2010] produz os limites de controle LSC e LIC para a primeira observação amostral ($i=1$), seja no início ou no decorrer do monitoramento do processo, sendo que f é uma proporção da distância original do valor inicial, ou seja, no instante de tempo da observação que o gráfico EWMA com RIR sinalizar o processo fora de controle. O efeito do ajuste RIR diminui com o tempo. Conforme [Montgomery 2009] as constantes a e f são determinadas. A constante a é calculada como $a = (-2/\log(f) - 1)/19$. Em [Steiner 1999], sugere-se a escolha de a de forma que após 20 observações a RIR tenha pouco efeito no monitoramento do processo. Este apresenta resultados do ARL para diferentes valores de f . Os resultados apresentados deixam claro que para obter um benefício substancial da característica RIR, o valor de f deve ser razoavelmente pequeno. O mesmo autor destaca que a escolha de $f=0,5$ é interessante porque é semelhante ao *headstart* de 50%, ou seja, $H/2$ sugerido para a RIR do gráfico CUSUM.

Usando o fator de ajustamento RIR, os limites de controle LSC e LIC do gráfico de controle EWMA são estabelecidos como apresentam as equações (36) e (37).

$$LSC = \mu_0 + L\sigma \left(1 - (1-f)^{1+a(i-1)}\right) \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \left[1 - (1-\lambda)^{2i}\right]} \quad (36)$$

$$LIC = \mu_0 - L\sigma \left(1 - (1-f)^{1+a(i-1)}\right) \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \left[1 - (1-\lambda)^{2i}\right]} \quad (37)$$

Sobre as Equações 36 e 37, no trabalho de [Steiner 1999] tem-se uma análise de sensibilidade para diferentes valores de λ , e em todos os valores o gráfico EWMA com característica RIR sinalizou o processo fora de controle com apenas duas observações.

3.3 – Average Run Length (ARL)

O ARL representa o número médio de observações necessárias para que seja detectada uma mudança após a mesma ter ocorrido no processo [Souza 2008]. Para isso, é muito importante ter em mente a magnitude da mudança que se deseja monitorar.

O ARL também está relacionado com a definição dos limites de controle. A definição dos limites de controle é uma decisão crítica no momento do planejamento do gráfico de controle, pois está diretamente ligada a ocorrência dos erros tipo I e tipo II [Montgomery 2009].

O erro tipo I (α) é o risco de um ponto cair fora dos limites de controle, quando nenhuma causa especial está presente, este erro também é denominado de alarme falso positivo. Quando os limites, superior e inferior, de controle se aproximam da linha central, aumenta-se a chance de ocorrer o erro tipo I. O erro tipo II (β) é o risco de um ponto cair dentro dos limites de controle, quando existe causa especial, este erro também é denominado de alarme falso negativo. Quando os limites superior e inferior se afastam da linha central, então aumenta-se a chance de ocorrer o erro tipo II [Souza 2008] [Montgomery 2009].

A definição dos limites de controle pode ser feita a partir da análise do ARL, sendo:

ARL₀: processo sob controle;

ARL₁: processo fora de controle.

Através do ARL₀ se contabiliza os alarmes falsos (positivo ou negativo) e através do ARL₁ é se contabiliza os alarmes verdadeiros. Para o alarme verdadeiro considerou-se os desvios identificados na amostra de resíduos que estão acima ou abaixo de 3σ .

A análise conjunta do ARL₀ e ARL₁ indica a eficácia do gráfico de controle. O objetivo é escolher os parâmetros para calcular os limites de controle de modo a se obter o maior ARL₀ e o menor ARL₁ possível [Montgomery 2009].

3.3.1 – ARL para o Gráfico de Controle de Shewhart

Para qualquer gráfico de Shewhart o ARL pode ser expresso como [Yang 1997] [Costa 2005] [Souza 2008] [Montgomery 2009]:

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (38)$$

onde p é a probabilidade de que um ponto exceda os limites de controle, dados por (39) e (40)

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad (39)$$

onde α é a probabilidade de que um único ponto caia fora dos limites de controle, quando o processo está sob-controle estatístico.

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta} \quad (40)$$

$$\beta = \phi(L - k\sqrt{n}) - \phi(-L - k\sqrt{n}) \quad (41)$$

onde:

β é o risco de não se detectar o deslocamento k na primeira amostra depois do deslocamento;

ϕ denota a distribuição acumulada da normal padrão;

L corresponde aos limites (ex: $L=3$, os limites 3 sigmas usuais);

k é o deslocamento;

n é o tamanho da amostra.

A Tabela 3.1 apresenta a quantidade de amostras necessárias, em média, para ocorrer um alarme falso no Gráfico de Shewhart considerando os limites de 1σ , 2σ , ..., 6σ .

Tabela 3.1 – ARL_0 para o Gráfico de Shewhart.

			$\alpha=1-x\sigma$	$\alpha=$	$ARL_0=1/\alpha$	Tamanho médio da amostra para detectar um alarme falso
1σ	68%	0,68	1-0,68	0,32	3,13	3
2σ	95%	0,95	1-0,95	0,05	20,00	20
3σ	99,73%	0,9973	1-0,9973	0,0027	370,37	370
4σ	99,9937%	0,999937	1-0,999937	6,3E-05	15873,02	15.873
5σ	99,999943%	0,99999943	1-0,99999943	5,7E-07	1754385,96	1.754.385
6σ	99,9999998%	0,999999998	1-0,999999998	2E-09	499999986,39	499.999.986

3.3.2 – ARL para o Gráfico de Controle de CUSUM

Para o gráfico CUSUM unilateral (isto é, C_i^+ ou C_i^-) com parâmetros r e h , o cálculo do ARL é definido como segue [Woodall 1985] [Yang 1997] [Montgomery 2009]:

$$ARL = \frac{\exp(-2\Delta b) + 2\Delta b - 1}{2\Delta^2} \quad (42)$$

onde, para $\Delta \neq 0$:

$\Delta = \delta^* - r$ para o CUSUM unilateral superior;

$\Delta = -\delta^* - r$ para o CUSUM unilateral inferior;

$\delta^* = (\mu_1 - \mu_0)/\sigma$;

$b = h + 1,166$.

Se $\Delta = 0$, pode-se usar $ARL = b^2$ [Montgomery 2009].

A quantidade δ^* representa a mudança na média, em unidades de σ , para a qual deve ser calculado o ARL.

Para obter o valor do ARL para o CUSUM bilateral a partir dos ARLs das estatísticas unilaterais, ou seja, ARL^+ e ARL^- , usa-se a Equação 43.

$$\frac{1}{ARL} = \frac{1}{ARL^+} + \frac{1}{ARL^-} \quad (43)$$

Nesse trabalho, usou-se a rotina CUSUM.R para realizar os cálculos do ARL para os gráficos de controle CUSUM, já que a mesma permite fazer análise de sensibilidade (ver Seção 4.4, Tabela 4.13) e seu código fonte encontra-se no Anexo B.

3.3.3 – ARL para o Gráfico de Controle de EWMA

[Montgomery 2009] cita os artigos [Crowder 1987b], [Crowder 1989] e [Lucas 1990] como estudos que apresentam tabelas ou gráficos para o ARL, considerando uma gama variada de valores para λ e L .

Assumindo que $L(u)$ é o ARL do gráfico EWMA, dado que o gráfico tem valor inicial $Z_0 = u$, o ARL pode ser obtido através da Equação 44 [Wetherill 1994]:

$$L(u) = 1 + \frac{1}{\lambda} \int_{-h}^h L(y) f\left(\frac{y - (1 - \lambda)u}{\lambda}\right) dy \quad (44)$$

Em (44), assume-se que $f(\cdot)$ seja uma distribuição normal com média, μ , e desvio-padrão, σ , sendo ambos os parâmetros conhecidos [Crowder 1987a]. $L(\cdot)$ é uma equação integral de Fredholm e pode ser resolvida através da quadratura Gaussiana pelo método de Gauss-Legendre [Crowder 1987a] [Crowder 1987b] [Hamilton 1992]. Para maiores informações sobre o método de quadratura de Gauss-Legendre recomenda-se [Griffiths 1991].

Em [Crowder 1987b] encontram-se tabuladas soluções da Equação 44, onde h e $-h$ correspondem, respectivamente, ao limite superior de controle (LSC) e limite inferior de controle (LIC), do gráfico de controle.

Similar ao caso do CUSUM, uma rotina do pacote R, EWMA.R, foi utilizada nesse trabalho para realizar os cálculos do ARL para o gráfico de controle EWMA, já que a mesma permite fazer análise de sensibilidade (ver Seção 4.4, Tabela 4.13); seu código fonte encontra-se no Anexo C.

3.4 – Tratamento de Processos Autocorrelacionados

Para tratar a autocorrelação nos dados avaliados, duas abordagens são sugeridas e ambas descritas a seguir:

- Gráfico de controle de Shewhart com limites alargados para autocorrelação;
- Abordagem Livre de Modelo.

3.4.1 – Gráfico de Controle de Shewhart com Limites Alargados para Autocorrelação

A autocorrelação nos valores da variável de interesse, a qual representa o processo sob controle estatístico, causa alarmes falsos porque faz a variabilidade dentro de cada amostra ficar menor que a variabilidade total do processo e, como resultado, os limites do gráfico de

Shewhart para observações individuais tornam-se excessivamente estreitos [Guimarães 2000] [Costa 2005].

Em processos onde observações próximas ou consecutivas podem se tornar autocorrelacionadas, é possível evitar tal autocorrelação aumentando o intervalo de tempo entre as coletas das observações [Costa 2005].

Nesta abordagem utiliza-se a variabilidade total da variável aleatória x , ou seja, utiliza-se o desvio-padrão de x (S_x) no lugar da amplitude. S_x pode ser estimado por medidas diretas [Costa 2005] [Henning 2011] através da Equação 45.

$$\hat{\sigma}_x = \frac{S_x}{c_4} \quad (45)$$

onde c_4 :

é um fator de correção da tendenciosidade [Costa 2005];

é uma constante determinada pelo número n de observações da amostra [Costa 2005] [Henning 2011];

O cálculo de c_4 é apresentado na Equação (46) [Montgomery 2009].

$$c_4 \simeq \frac{4(n-1)}{4n-3} \quad (46)$$

Entretanto, o gráfico de controle de Shewhart com limites alargados somente é indicado em casos que a autocorrelação é baixa [Henning 2011], conforme a classificação de autocorrelação apresentada na Figura 2.1.

Desta forma, podem-se estabelecer os limites de três sigmas do gráfico de controle de Shewhart com limites alargados como:

$$LSC = \bar{X} + 3\hat{\sigma}_x \quad (47)$$

$$LC = \bar{X} \quad (48)$$

$$LIC = \bar{X} - 3\hat{\sigma}_x \quad (49)$$

Com esta correção de tendenciosidade, as amostras podem ser coletadas com qualquer intervalo de tempo e corresponder a itens consecutivos da produção, porém deve contemplar um espaço de tempo suficientemente longo para que a variabilidade total de \bar{X} possa ser observada [Costa 2005].

Embora neste estudo experimental optou-se por tratar os dados autocorrelacionados (amostras de resíduo *S4* e *S5*) com a Abordagem Livre de Modelo (ver Seção 3.4.2) devido seu menor custo computacional. A seguir, apresenta-se um exemplo da aplicação do Gráfico de Controle de Shewhart com limites alargados para dados autocorrelacionados.

1 – Os resíduos do modelo MA(1) da amostra *S1* (dados sem transformação) foram usados neste exemplo, pois estes apresentam dados autocorrelacionados, conforme indica o teste Ljung-Box (ver Seção 2.4.1) realizado no Minitab 14. O resultado desse teste é apresentado na Figura 3.2.

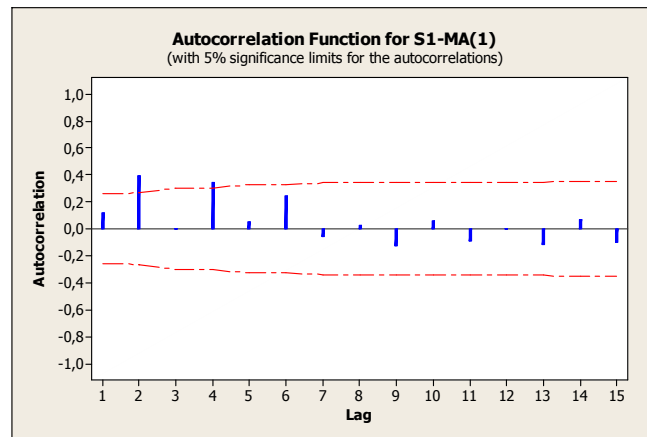


Figura 3.2 – Resultado do teste Ljung-Box para a amostra de resíduo de *S1*-MA(1)

2 – O Gráfico de Controle de Shewhart com limites alargados foi usado para a amostra de resíduos do modelo MA(1) conforme Figura 3.3.

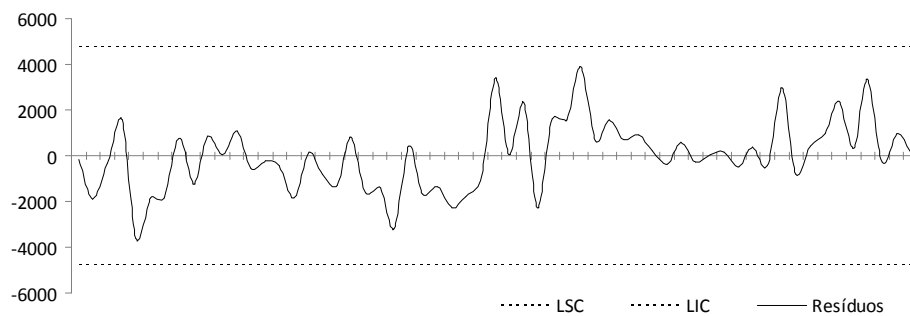


Figura 3.3 – Gráfico de Shewhart com limites alargados para a amostra de resíduos de *S1*-MA(1)

3.4.2 – Abordagem Livre de Modelo

A Abordagem Livre de Modelo consiste em um gráfico de controle baseado em médias não-ponderadas de lotes (MNPL) para monitorar dados autocorrelacionados de um processo. Essa abordagem particiona em lotes grupos sucessivos de observações sequenciais, com pesos iguais atribuídos a cada ponto no lote [Montgomery 2009]. Seja:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b x(j-1)b+i \quad j=1, 2, \dots \quad (50)$$

a j^a média não-ponderada de um lote. Em que b é o tamanho apropriado para o lote, também identificado por defasagem [Montgomery 2009]. Em nosso estudo experimental, para a amostra de resíduo autocorrelacionado $S4$ adotou-se a defasagem $b=3$ e para a amostra de resíduo autocorrelacionado $S5$ adotou-se a defasagem $b=2$.

Procedimentos para determinar um tamanho adequado de um lote são empíricos e não dependem da identificação nem da estimação de um modelo de série temporal, no entanto, um modelo de série temporal pode nos orientar na escolha do tamanho do lote adequado e também fornecer uma melhor compreensão analítica [Montgomery 2009].

3.5 – Tamanho da Amostra e Intervalo de Tempo entre Amostragens

O tamanho da amostra e o intervalo de tempo entre amostragens fazem parte do planejamento do gráfico de controle, e influencia diretamente na sua eficácia.

A eficácia de um gráfico de controle é medida pela rapidez com que ele detecta alterações no processo monitorado. A análise da relação entre o custo de operação e a eficácia do gráfico de controle deve nortear a escolha de seus parâmetros de implementação, os quais são: o tamanho das amostras, o intervalo de tempo entre amostragens e o fator que estabelece o posicionamento dos limites de controle no gráfico [Costa 2005].

Segundo [Montgomery 2009], se a mudança no processo for relativamente grande, então devemos usar tamanhos de amostras menores do que usaríamos se a mudança de interesse fosse relativamente pequena. Com o intuito de detectar mudanças no processo, é interessante coletar grandes amostras com mais frequência, porém essa abordagem nem sempre é viável em termos práticos. Usualmente, ou coleta-se pequenas amostras a intervalos bem curtos, ou amostras maiores a intervalos mais longos.

O ARL dos gráficos de controle é outro recurso que permite determinar o tamanho da amostra e o intervalo de tempo entre amostragens. Os cálculos são específicos por tipo de gráfico como apresentado na Seção 3.3.

3.6 – Dados com Distribuição Normal e Independentemente Distribuídos

Conforme [Montgomery 2009] as suposições padrão que são geralmente citadas na justificativa do uso de gráficos de controle é que os dados gerados pelo processo, quando sob controle, são distribuídos normal e independentemente com média μ e desvio padrão σ . Uma condição de fora de controle é uma mudança ou um deslocamento de μ ou σ (ou ambos) para algum valor diferente. Quando as suposições de normalidade e independência são satisfeitas, podemos aplicar os gráficos de controle convencionais e tirar conclusões sobre o estado de controle estatístico do processo.

Para verificar a suposição de normalidade dos dados, utilizou-se nesse trabalho o teste de aderência (ver Seções 3.7.1 e 3.7.2) e para verificar se os dados são independentemente distribuídos fez-se o uso do teste de autocorrelação (ver Seção 2.4.1).

3.7 – Teste de Aderência

Os testes de aderência (ou GoF – *Goodness-of-fit*), verificam se os dados de uma amostra comportam-se de acordo com uma dada distribuição teórica. Conforme [Barbetta 2010], essa distribuição teórica pode ser, por exemplo, uma distribuição de probabilidades normal ou exponencial, dentre outras.

Os testes de aderência são baseados em análises estatísticas logo, apresentam resultados que podem complementar os resultados apresentados por gráficos, como o histograma. Os GoFs testam as seguintes hipóteses:

H_0 : Os dados amostrados são provenientes de determinada distribuição de probabilidade.

H_1 : Os dados amostrados não são provenientes de determinada distribuição de probabilidade.

Segundo [Montgomery 2009] mesmo em situações em que a suposição de normalidade é violada em grau moderado, os gráficos de controle ainda funcionam razoavelmente bem.

Os valores críticos utilizados para rejeição ou não de H_0 dependem do método utilizado para realização do teste de aderência. Neste trabalho, foram adotados dois testes de aderência: Kolmogorov-Smirnov (KS) e Anderson-Darling (AD).

3.7.1 – Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS)

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS) é um teste não paramétrico, cuja estatística do teste tem como base a diferença máxima entre as distribuições de frequência

acumuladas empírica, $F(x)$, e teórica, $S(x)$, de variáveis aleatórias (contínua ou discreta) [Frank 1951] [Sprent 2007]. Salienta-se que neste teste os parâmetros que definem a distribuição que representará a população devem ser conhecidos [Barbetta 2010].

Seja $F(x)$ a função de distribuição acumulada, para a qual se deseja verificar a aderência dos dados [Frank 1951] [Barbetta 2010], têm-se as seguintes hipóteses:

H_0 : os dados provêm de $F(x)$ (há aderência).

H_1 : os dados não provêm de $F(x)$ (não há aderência).

A função de distribuição empírica é definida para cada valor de x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) e é dada por (51).

$$S(x_i) = \frac{x_i}{n} \quad (51)$$

onde:

n é o tamanho da amostra;

x_i é um valor da amostra.

Em seguida, as probabilidades da distribuição teórica são calculadas segundo $F(x)$. Considerando-se todos os valores da amostra, obtém-se a diferença absoluta entre os resultados obtidos com $F(x)$ e $S(x)$, para cada valor da amostra, dessa forma obtendo-se a estatística D , como segue.

$$D = \max_i \left\{ |F(x_i) - S(x_i)|, |F(x_i) - S(x_{i-1})| \right\} \quad (52)$$

onde D é o valor máximo entre todas as diferenças $|F(x_i) - S(x_i)|, |F(x_i) - S(x_{i-1})|$ na amostra, ou seja, D é o maior valor (em módulo) encontrado para a diferença entre as funções de distribuição teórica e empírica.

A hipótese H_0 é rejeitada se o valor da estatística D for maior do que o valor crítico D_c , proveniente da Tabela 3.2, conforme o tamanho da amostra (n) e o nível de significância (α). A hipótese H_0 também é rejeitada se o valor p for inferior a 5%.

Tabela 3.2 – Valores críticos tabelados para a estatística D_c [Barbetta 2010]

n	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$	n	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
1	0,975	0,995	14	0,349	0,418
2	0,842	0,929	15	0,338	0,404
3	0,708	0,829	16	0,327	0,392
4	0,624	0,734	17	0,318	0,381
5	0,563	0,669	18	0,309	0,371
6	0,519	0,617	19	0,301	0,361

Continua na próxima página.

Tabela 3.2 – Valores críticos tabelados para a estatística D_c [Barbeta 2010] (continuação).

n	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$	n	$\alpha=5\%$	$\alpha=1\%$
7	0,483	0,576	20	0,294	0,352
8	0,454	0,542	25	0,264	0,317
9	0,430	0,513	30	0,242	0,290
10	0,409	0,490	35	0,224	0,269
11	0,391	0,468	40	0,210	0,252
12	0,375	0,449	45	0,198	0,238
13	0,361	0,432	50	0,188	0,227
$n > 50 \ D_c \Rightarrow \alpha=5\% \Rightarrow 1,36/\sqrt{n}$ $n > 50 \ D_c \Rightarrow \alpha=1\% \Rightarrow 1,63/\sqrt{n}$					

No teste KS os valores críticos não dependem da distribuição específica para calcular os valores críticos.

3.7.2 – Teste de Aderência de Anderson-Darling (AD)

O teste de aderência AD é mais sensível que o teste KS, pois atribui maior peso às caudas da distribuição [Anderson 1954] [Stephens 1974]. O valor crítico deste teste depende de qual distribuição está sendo analisada, fornecendo uma maior sensibilidade ao teste. As hipóteses adotadas são iguais ao teste de aderência KS.

Dada uma amostra com elementos ordenados $\{x_1, x_2, x_3, < \dots < x_n\}$, a estatística do teste é dada por (53).

$$A^2 = -n - \sum_{i=1}^n \left(\frac{2i-1}{n} \right) \ln \left[F(x_i) + \ln(1 - F(x_{n-i+1})) \right] \quad (53)$$

onde:

n é o tamanho da amostra;

\ln é o logaritmo natural;

F é a função de distribuição acumulada da distribuição especificada em H_0 .

A hipótese H_0 é rejeitada se o valor da estatística A^2 for maior do que o valor crítico, de acordo com o nível de significância (α). Em [Stephens 1974], encontram-se os valores críticos tabelados para as distribuições Normal, Lognormal, Exponencial, Weibull, Logística, Extremo valor tipo 1, Dupla exponencial, Uniforme e Generalizada Pareto. A hipótese H_0 também é rejeitada se o valor p for inferior a 5%. Conforme os valores tabelados em [Stephens 1974], o teste AD apresenta uma análise mais sensível, pois depende da distribuição especificada para calcular os valores críticos.

No próximo capítulo será apresentada a análise de desempenho dos gráficos de controle estatísticos aplicados a processos de predição de tráfego de redes de computadores.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE COMPARATIVA DE GRÁFICOS DE CONTROLE ESTATÍSTICO APLICADOS A PROCESSOS DE PREDIÇÃO DE TRÁFEGO DE REDES DE COMPUTADORES

4.1 – Introdução

Neste capítulo, inicialmente será descrita a caracterização das oito amostras de tráfego de redes reais usadas neste trabalho. Posteriormente, apresenta-se o ajuste dos modelos de predição de Box-Jenkins [Box 1994] para cada uma das amostras, bem como a seleção dos modelos de melhor ajuste. Em seguida, através de análises gráficas e numéricas (ARL_0 e ARL_1), as técnicas de CEP investigadas neste estudo são analisadas comparativamente.

4.2 – Caracterização das Amostras de Tráfego

Esta seção apresenta as principais características dos dados das oito amostras de tráfego, coletadas de redes reais, utilizadas neste trabalho. Com o objetivo de simplificar a exposição, as mesmas foram nomeadas de *S1* a *S8*. Sete dessas amostras são de redes de campus acadêmicos e uma de rede corporativa. As principais características das amostras são descritas a seguir.

As primeiras duas amostras, *S1* e *S2*, estão relacionadas com o protocolo DHCP [Droms 1997]. Elas se referem a mensagens DHCP de uma interconexão de três campi universitários interligados por meio de uma rede metropolitana (*MAN*). *S1* está relacionada com o número de mensagens DHCP DISCOVER, por hora, transmitidas na rede. *S2* refere-se a mensagens DHCP OFFER, por hora, que são emitidas por dois servidores DHCP, em resposta as mensagens DHCP DISCOVER. Ambas coletadas no 1º semestre de 2009.

A terceira amostra de tráfego, *S3*, foi capturada de uma rede corporativa que interconecta a matriz com sete filiais de uma companhia. Cada observação nesta amostra representa o tráfego IP agregado (entrada mais saída de dados), diário do 1º semestre de 2009, da matriz.

A amostra *S4* corresponde a aproximadamente três meses de tráfego Internet de dois campi universitários localizados na mesma área metropolitana. Cada valor nesta amostra representa o tráfego diário agregado da Internet. Uma das etapas dessa pesquisa contemplou a captura da amostra *S4*.

As amostras remanescentes (*S5* a *S8*) foram obtidas de repositórios de tráfego de redes de domínio público, a saber: WAND [Wand 2011a], MAWI [Mawi 2011a] e CRAWDDAD

[Crawdad 2011a]. Essas amostras dizem respeito ao tráfego agregado, mas com diferentes medidas de periodicidade (ex. por hora, por dia).

S5 [Wand 2011b] é uma amostra de tráfego com captura contínua de aproximadamente cinco meses e meio. Esta captura ocorreu na borda da rede da Universidade de Waikato. Cada valor nessa amostra corresponde ao tráfego diário agregado da Internet.

S6 [Wand 2011c] se refere ao mesmo ambiente de rede que *S5*, com três meses de coleta, no entanto foi coletada em uma época diferente (ver Tabela 4.1).

S7 [Mawi 2011b] representa três dias de tráfego agregado capturado de um link Ethernet de 150 Mbps em Tokyo, Japão, o qual é parte do projeto WIDE [Wide 2011]. Cada valor nesta amostra representa um tráfego altamente agregado, por hora. O *link* de transporte WIDE carrega principalmente o tráfego trans-pacífico entre as redes de instituição de pesquisa Japonesa e comercial não Japonesa [Borgnat 2009].

A última amostra de tráfego, *S8* [Crawdad 2011b], é uma coleta de tráfego de aproximadamente 3 meses e refere-se ao número diário de pedidos de sessões VPN no servidor VPN para usuários wireless na USC (University of Southern California).

A Tabela 4.1 resume as principais características das oito amostras de tráfego selecionadas. Para detecção de autocorrelação utilizou-se o teste Ljung-Box (ver Seção 2.4.1). Para a análise de tendência os testes de KPSS (ver Seção 2.5.1.2) e Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (ver Seção 2.5.1.1) foram realizados. Na sequência, fez-se a detecção de sazonalidade através dos testes Kruskal Wallis (ver Seção 2.5.2.1) e *F* da Análise de Variação (ver Seção 2.5.2.2). Para verificar a normalidade dos dados, os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov (ver Seção 3.7.1) e Anderson-Darling (ver Seção 3.7.2) foram realizados. Para os sete testes adotou-se um nível de significância (α) de 5%, o que significa que se $p\text{-value} < 0,05$ rejeita-se H_0 , onde para cada teste H_0 indica a presença de autocorrelação, tendência, normalidade ou presença de sazonalidade, respectivamente.

Tabela 4.1 – Resumo da caracterização das amostras de tráfego de redes

	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>S5</i>	<i>S6</i>	<i>S7</i>	<i>S8</i>
Tipo de Rede	LAN	LAN	WAN	MAN	LAN	LAN	WAN	WLAN
Tamanho da amostra	285.694 Pacotes	110.647 Pacotes	198 TB	65.603 GB	20.897 Pacotes	19.517 Pacotes	4.159 GB	63.674 Pacotes
Início da captura	Jan. 2009	Jan. 2009	Ago. 2005	Mar. 2011	Set. 2006	Jun. 2007	Mar. 2009	Mai. 2005
Autocorrelação: Ljung Box	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Tendência: KPSS	Ascendente	Estacionária	Estacionária	Ascendente	Estacionária	Ascendente	Estacionária	Estacionária
<i>p</i>-value	0,01	0,1	0,1	0,1	0,09	0,01	0,1	0,1
Coeficiente	1,02	0,24	0,16	0,12	0,36	0,67	0,15	0,03

Continua na próxima página.

Tabela 4.1 – Resumo da caracterização das amostras de tráfego de redes (continuação).

	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>S5</i>	<i>S6</i>	<i>S7</i>	<i>S8</i>
Tendência: Pearson	Ascendente	Estacionária	Estacionária	Ascendente	Estacionária	Ascendente	Estacionária	Estacionária
<i>p</i>-value	0,0001	0,1	0,46	0	0,34	0,005	0,06	0,94
Coefficiente	0,47	0,21	0,13	0,41	0,07	0,27	0,19	0,007
Aderência: Kolmogorov Smirnov	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
<i>p</i>-value	>0,150	<0,010	>0,150	<0,010	0,026	>0,150	0,023	<0,010
Aderência: Anderson Darling	Sim	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
<i>p</i>-value	0,629	< 0,005	0,837	< 0,005	0,02	0,547	<0,005	<0,005
Sazonalidade: Kruskal Wallis	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<i>p</i>-value	0,619	0,044	0,729	0,0000	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Sazonalidade: F análise variância	Não	*	Não	*	*	Sim	*	*
<i>p</i>-value	0,594		0,9			<0,0001		

* GB= Gigabytes

* TB= Terabytes

* Teste aplicado apenas para amostras com distribuição normal.

Importante observar que a maioria das séries investigadas apresentam autocorrelação e sazonalidade. As séries *S1*, *S4* e *S6* mostram tendência ascendente e as demais séries são estacionárias. As séries *S1*, *S3* e *S6* apresentam distribuição normal.

A Tabela 4.2 apresenta o software utilizado para a realização de cada teste.

Tabela 4.2 – Software usado nos testes estatísticos

Tipo de teste	Teste	Software utilizado
Autocorrelação	Ljung Box	Minitab 14
Tendência	KPSS	Software R
	Coefficiente de correlação de Pearson	Excel
Sazonalidade	Kruskal Wallis	Minitab 14
	<i>F</i> da análise de variância	Minitab 14
Aderência	Kolmogorov Smirnov	Minitab 14
	Anderson Darling	Minitab 14

As Figuras 4.1 a 4.8 mostram as oito séries temporais. Assumiu-se essa diversidade de amostras porque alguns modelos de predição não apresentam bom desempenho quando aplicados a séries com padrões específicos como tendência, sazonalidade ou autocorrelação. Além disso, com essa diversidade de séries foi possível monitorar processos de predição sob controle e fora de controle estatístico.

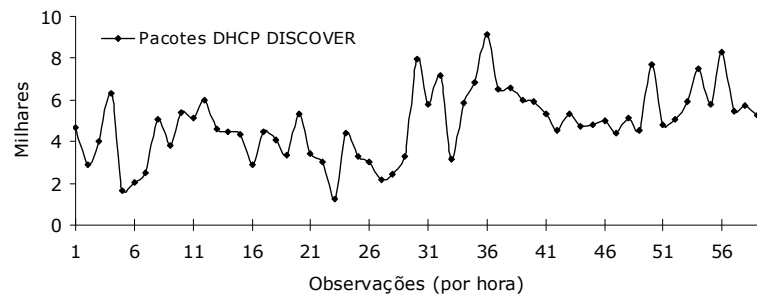


Figura 4.1 – Série referente aos dados da amostra $S1$

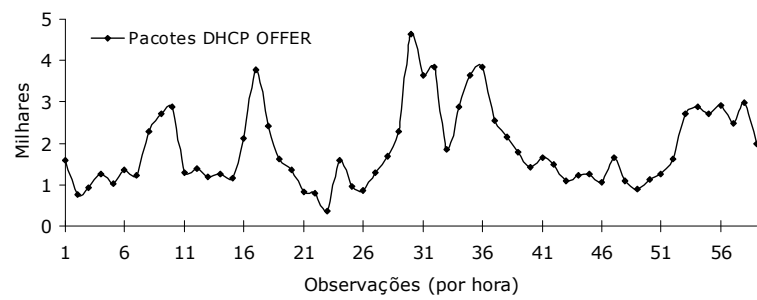


Figura 4.2 - Série referente aos dados da amostra $S2$

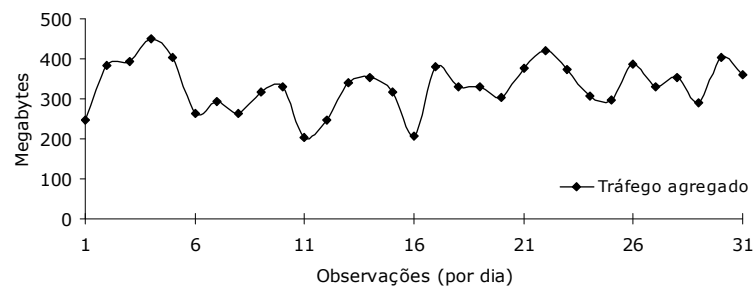


Figura 4.3 - Série referente aos dados da amostra $S3$

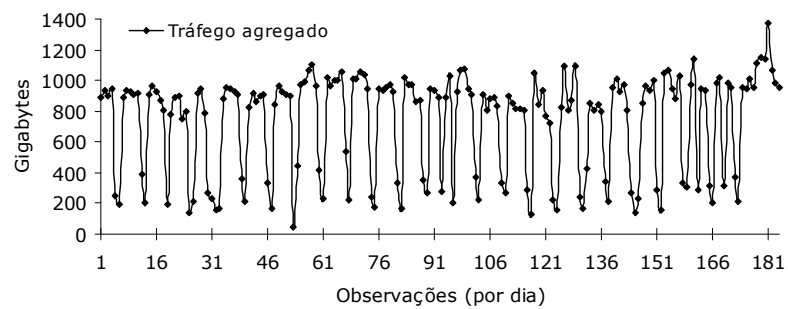


Figura 4.4 - Série referente aos dados da amostra $S4$

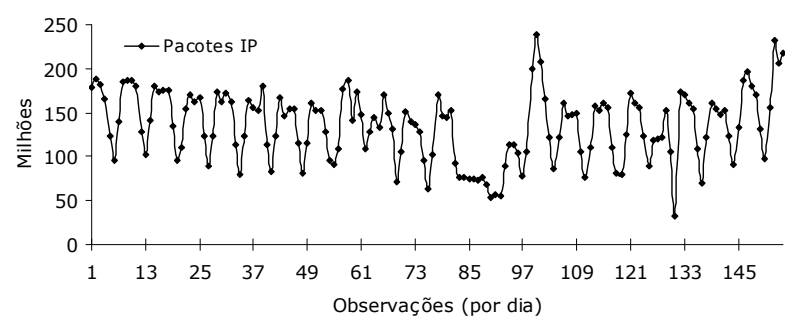


Figura 4.5 - Série referente aos dados da amostra S5

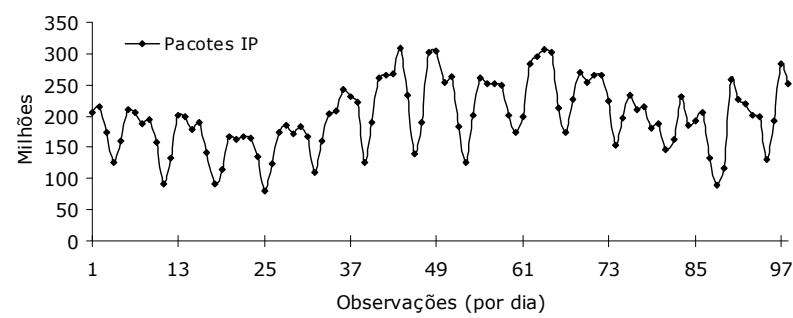


Figura 4.6 - Série referente aos dados da amostra S6

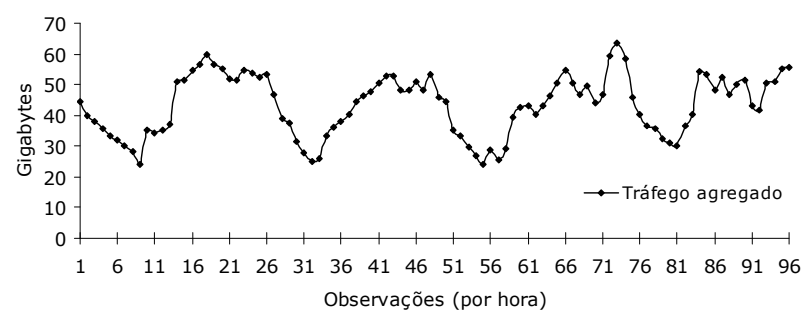


Figura 4.7 - Série referente aos dados da amostra S7

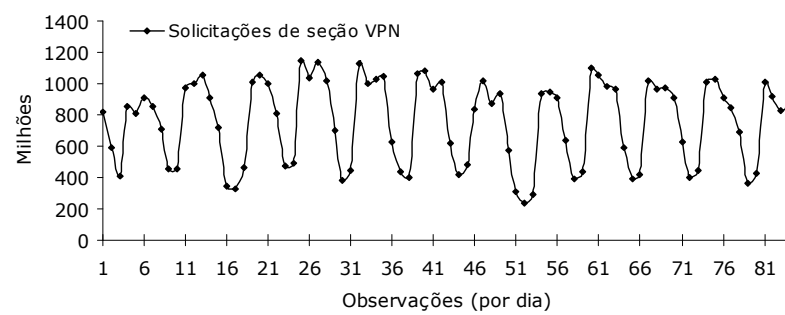


Figura 4.8 - Série referente aos dados da amostra S8

4.3 – Ajuste e Seleção dos Modelos de Predição

Para cada série descrita na seção anterior, ajustou-se um conjunto de modelos de predição para obter os resíduos a serem utilizados na análise comparativa das técnicas de gráficos de controle investigadas. Os modelos foram ajustados com dados transformados, logaritmizados, \log_{10} , pois os resultados foram melhores do que os ajustes realizados com dados originais. Com dados originais conseguiu-se acuracidade inferior a 87% para as séries *S1*, *S2*, *S3*, *S4*, *S5*, *S6* e *S8*, apenas a série *S7* obteve acuracidade superior a 92%, conforme resultados apresentados na Tabela 4.3. Todavia, com dados transformados com \log_{10} obteve-se acuracidade superior a 92% para todas as séries, de acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 4.4 a 4.11. Os modelos ajustados foram os de Box-Jenkins [Box 1994], descritos na seção 2.2, a saber: auto-regressivo – AR (p), médias móveis – MA (q), auto-regressivo com médias móveis – ARMA (p, q) e auto-regressivo integrado com médias móveis – ARIMA (p, d, q). Os ajustes das séries *S1* a *S8* são apresentados no Apêndice A.

Tabela 4.3 – Acuracidade dos ajustes com dados originais para as séries *S1* a *S8*

Série	Modelo	MAPE(%)	Acuracidade (%)
<i>S1</i>	ARIMA(2,1,2)	26,080	73,920
<i>S2</i>	ARIMA(2,1,2)	27,690	72,310
<i>S3</i>	ARMA(2,2)	13,320	86,680
<i>S4</i>	ARMA(2,2)	65,170	34,830
<i>S5</i>	ARIMA(2,1,2)	18,830	81,170
<i>S6</i>	ARIMA(2,1,2)	17,010	82,990
<i>S7</i>	ARMA(2,2)	7,780	92,220
<i>S8</i>	ARMA(2,2)	17,250	82,750

O critério utilizado para selecionar o modelo com melhor ajuste foi a acuracidade dos modelos de predição para os dados observados. Calculou-se a acuracidade dos modelos baseada no MAPE (ver Seção 2.3). Desta forma, baseado nos cálculos do MAPE, para cada modelo ajustado, construiu-se um *rank* classificatório com o modelo de melhor ajuste no topo. As Tabelas 4.4 a 4.11 mostram, respectivamente, o ranking dos modelos de predição para *S1* até *S8* usando os dados das séries logaritmizadas (\log_{10}).

Tabela 4.4 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S1*

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARMA(2,2)	2,909	97,091
AR(2)	2,927	97,073
ARMA(1,1)	2,931	97,069
ARIMA(1,1,2)	2,943	97,057
ARIMA(2,1,1)	2,962	97,038

Continua na próxima página.

Tabela 4.4 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S1* (continuação).

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARMA(2,1)	2,965	97,035
ARIMA(2,1,2)	2,970	97,030
ARMA(1,2)	3,012	96,988
ARIMA(1,1,1)	3,034	96,966
MA(2)	3,039	96,961
AR(1)	3,139	96,861
MA(1)	3,362	96,638

Tabela 4.5 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S2*

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARMA(2,2)	3,530	96,470
ARMA(1,2)	3,830	96,170
ARIMA(2,1,2)	3,840	96,160
ARIMA(2,1,1)	3,840	96,160
AR(1)	3,870	96,130
ARMA(1,1)	3,890	96,110
ARMA(2,1)	3,900	96,100
AR(2)	3,900	96,100
MA(2)	3,970	96,030
ARIMA(1,1,2)	4,030	95,970
ARIMA(1,1,1)	4,050	95,950
MA(1)	4,500	95,500

Tabela 4.6 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S3*

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARMA(2,2)	2,250	97,750
ARMA(1,2)	2,290	97,710
ARIMA(2,1,2)	2,500	97,500
ARIMA(2,1,1)	2,500	97,500
ARIMA(1,1,2)	2,510	97,490
ARMA(2,1)	2,520	97,480
AR(2)	2,540	97,460
ARIMA(1,1,1)	2,550	97,450
MA(2)	2,610	97,390
MA(1)	2,620	97,380
ARMA(1,1)	2,620	97,380
AR(1)	2,630	97,370

Tabela 4.7 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S4*

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARIMA(2,1,2)	7,900	92,100
ARMA(2,1)	8,000	92,000
ARMA(2,2)	8,050	91,950
ARMA(1,2)	8,120	91,880
ARIMA(2,1,1)	8,240	91,760

Continua na próxima página.

Tabela 4.7 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S4* (continuação).

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
MA(1)	8,300	91,700
AR(2)	8,340	91,660
ARIMA(1,1,2)	8,370	91,630
ARMA(1,1)	8,410	91,590
MA(2)	8,460	91,540
ARIMA(1,1,1)	8,940	91,060
AR(1)	9,000	91,000

Tabela 4.8 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S5*

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARIMA(2,1,2)	3,800	96,200
ARIMA(2,1,1)	4,130	95,870
ARMA(1,2)	4,210	95,790
ARMA(2,2)	4,240	95,760
ARMA(2,1)	4,240	95,760
ARMA(1,1)	4,240	95,760
MA(2)	4,240	95,760
AR(2)	4,290	95,710
MA(1)	4,380	95,620
AR(1)	4,470	95,530
ARIMA(1,1,2)	4,480	95,520
ARIMA(1,1,1)	4,480	95,520

Tabela 4.9 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S6*

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARMA(2,2)	3,230	96,770
ARIMA(2,1,2)	3,250	96,750
ARMA(1,2)	3,280	96,720
MA(2)	3,290	96,710
ARIMA(2,1,1)	3,300	96,700
ARMA(2,1)	3,330	96,670
ARIMA(1,1,2)	3,340	96,660
ARMA(1,1)	3,340	96,660
MA(1)	3,420	96,580
AR(2)	3,430	96,570
AR(1)	3,520	96,480
ARIMA(1,1,1)	3,900	96,100

Tabela 4.10 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S7*

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARMA(2,1)	2,130	97,870
ARIMA(1,1,2)	2,270	97,730
ARIMA(2,1,1)	2,270	97,730
ARIMA(1,1,1)	2,270	97,730
ARMA(1,2)	2,320	97,680

Continua na próxima página.

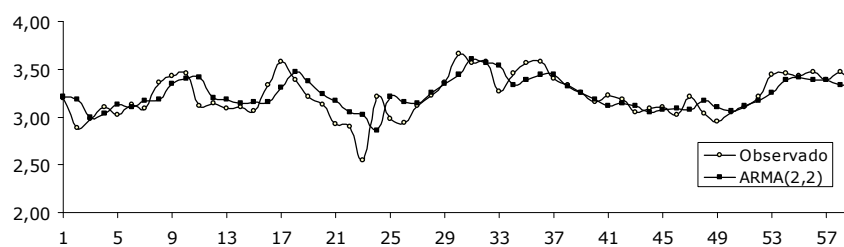
Tabela 4.10 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S7* (continuação).

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
AR(2)	2,320	97,680
ARMA(2,2)	2,340	97,660
ARMA(1,1)	2,360	97,640
AR(1)	2,460	97,540
MA(2)	2,900	97,100
MA(1)	3,540	96,460

Tabela 4.11 – Ranking dos ajustes dos modelos para série *S8*

Modelos	MAPE(%)	Acuracidade (%)
ARMA(2,2)	2,540	97,460
ARIMA(2,1,2)	3,540	96,460
ARMA(2,1)	3,540	96,460
ARIMA(2,1,1)	3,860	96,140
AR(2)	3,900	96,100
ARIMA(1,1,2)	3,920	96,080
ARMA(1,1)	3,960	96,040
MA(2)	3,970	96,030
ARMA(1,2)	4,010	95,990
MA(1)	4,050	95,950
AR(1)	4,570	95,430
ARIMA(1,1,1)	4,780	95,220

As Figuras 4.9 a 4.16 mostram o melhor modelo ajustado para as amostras de tráfego de *S1* a *S8*.

Figura 4.9 – Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego *S1*Figura 4.10 – Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego *S2*

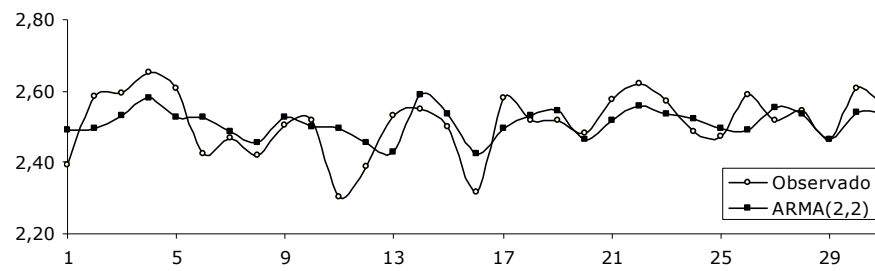


Figura 4.11 – Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego S3

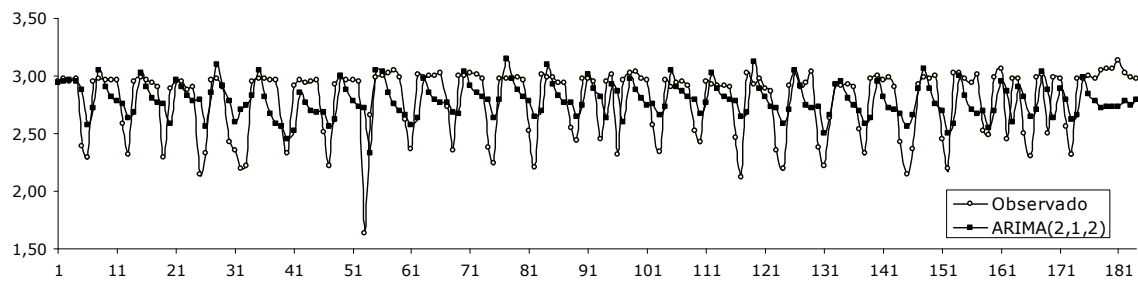


Figura 4.12 – Modelo ARIMA(2,1,2) ajustado para amostra de tráfego S4

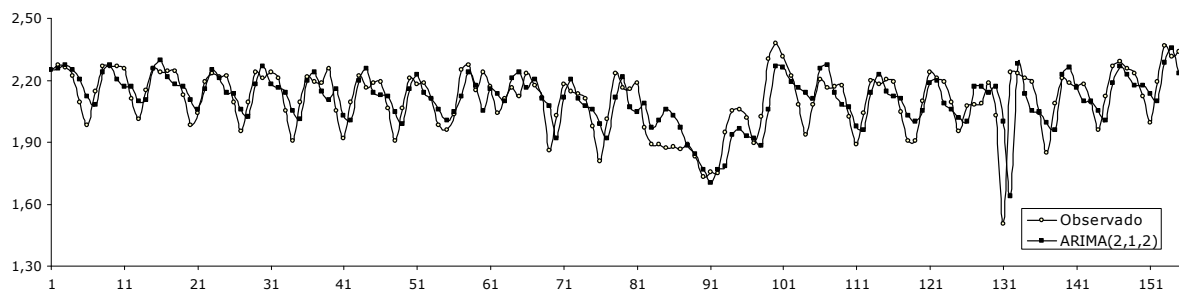


Figura 4.13 – Modelo ARIMA(2,1,2) ajustado para amostra de tráfego S5

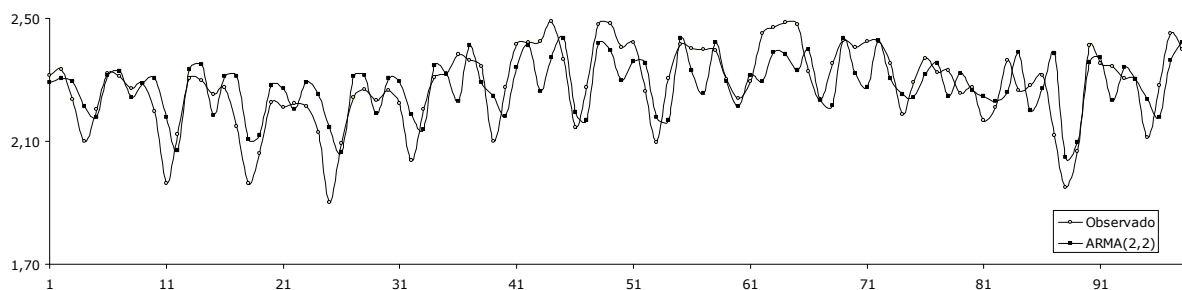


Figura 4.14 – Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego S6

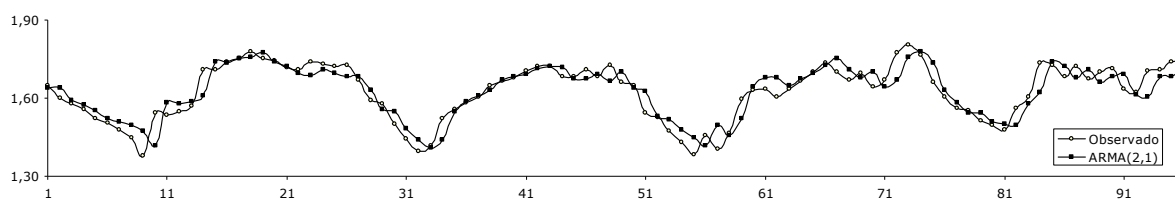


Figura 4.15 – Modelo ARMA(2,1) ajustado para amostra de tráfego $S7$

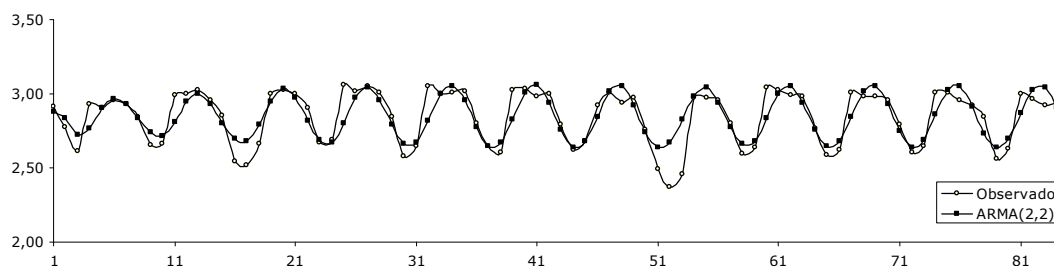


Figura 4.16 – Modelo ARMA(2,2) ajustado para amostra de tráfego $S8$

Como pode ser observado, para $S1$, $S2$, $S3$, $S6$ e $S8$ o modelo ARMA(2,2) apresentou o melhor ajuste. Para $S4$ e $S5$ o melhor ajuste foi do ARIMA(2,1,2), e para $S7$ o ARMA(2,1). Uma vez que os modelos com melhor ajuste foram encontrados, para cada amostra, os resíduos de predição, foram gerados e utilizados na etapa de avaliação dos gráficos de controle. Os resíduos para os modelos de melhor ajuste para as séries, de $S1$ até $S8$, estão apresentados no Apêndice B.

Estas amostras de resíduos foram usadas para avaliar o desempenho das técnicas de controle estatístico de processos descritas no Capítulo 3.

4.4 – Desempenho dos Gráficos de Controle

Nesta seção, são apresentados os resultados das avaliações dos gráficos de controle de Shewhart para observações individuais, CUSUM e EWMA, descritos no Capítulo 3, os quais foram usados em conjunto com as amostras de resíduos, dos melhores modelos para cada amostra de tráfego, descritas anteriormente. Estes três gráficos foram selecionados para este estudo, visto que eles são capazes de detectar grandes mudanças (Shewhart para observações individuais), pequenas mudanças (CUSUM) e grandes e pequenas mudanças (EWMA) na média do processo monitorado. O objetivo é comparar o desempenho dos três gráficos selecionados por meio de análises gráficas e numéricas.

A seleção do gráfico de controle com melhor desempenho é fundamental para se controlar processos de predição usados em atividades de engenharia de tráfego de redes. A escolha de um gráfico de controle inadequado, tem como consequência uma maior quantidade de alarmes falsos (positivos ou negativos), o que acarreta em custos (operacionais e financeiros) para seus usuários (ex. analistas, engenheiros e gerentes de redes). Portanto, faz-se necessário utilizar um processo sistematizado para esta escolha. A seguir, será apresentado um protocolo de seleção, criado durante essa pesquisa, que visa exatamente auxiliar nesse processo de identificação do gráfico de controle a ser usado.

4.4.1 – Protocolo Utilizado

No protocolo desenvolvido e usado neste trabalho, primeiramente cada gráfico de controle deve ser usado em conjunto com duas amostras piloto. A primeira amostra piloto, AP_1 , deve representar as predições do processo monitorado estando o mesmo sob controle estatístico. A amostra piloto AP_1 é composta de valores individuais, selecionados cuidadosamente, em ordem, para representar o processo sob controle. Neste estudo, um processo de predição de tráfego é considerado sob controle se o MAPE for menor que 10%, ou seja, uma acuracidade de predição de 90% ou mais.

Neste estudo, cada amostra foi dividida igualmente em duas subamostras, de mesmo tamanho, onde aquela que demonstrou melhor MAPE foi considerada AP_1 . Baseando-se nos valores de AP_1 , para cada amostra de tráfego, os parâmetros usados para calcular os limites dos três gráficos de controle avaliados foram estimados. As mesmas amostras foram utilizadas com todas as observações, ou seja, sem sofrer divisão, para testar o desempenho dos gráficos de controle e cada uma foi identificada como AP_2 . Neste trabalho, todas as amostras piloto do tipo AP_1 resultaram em valores baixos para o MAPE, onde a acuracidade dos modelos foi maior que 92% na faixa de valores considerada AP_1 , representando bem o estado sob controle dos processos de predição utilizados. A Tabela 4.12 apresenta um resumo destes resultados.

Tabela 4.12 – Avaliação das amostras piloto (AP_1)

Amostra	Modelo	Tamanho	Faixa AP_1	MAPE AP_1 (%)	Acuracidade AP_1 (%)
S1	ARMA(2,2)	59	31 a 59	1,980	98,020
S2	ARMA(2,2)	59	31 a 59	2,383	97,617
S3	ARMA(2,2)	31	17 a 31	1,509	98,491
S4	ARIMA(2,1,2)	184	1 a 92	7,845	92,155
S5	ARIMA(2,1,2)	155	1 a 78	3,089	96,911
S6	ARMA(2,2)	98	50 a 98	3,124	96,876
S7	ARMA(2,1)	96	1 a 48	1,804	98,196
S8	ARMA(2,2)	84	1 a 42	2,385	97,615

Em seguida, tem-se o uso da segunda amostra piloto, AP_2 , para avaliar o desempenho de cada gráfico de controle, com atenção ao número de alarmes falsos e verdadeiros (ver Seção 3.3). Se o processo de predição está sob controle, um sinal fora dos limites de controle é considerado como um alarme falso. É importante ressaltar que mesmo quando um processo está sob controle, existe uma probabilidade de um valor cair fora dos limites de controle. O número médio de observações necessárias para que esse evento ocorra é denominado comprimento médio da corrida (do inglês *Average Run Length*) ou ARL_0 do gráfico de controle. Por outro lado, o número médio de observações necessárias para sinalizar um alarme positivo, a partir do momento que ocorre uma mudança no processo até um sinal fora de controle, é dado pelo ARL fora de controle ou ARL_1 . Para cada gráfico de controle alguns valores de ARL_0 e ARL_1 são fornecidos em tabelas como valores nominais, os quais também podem ser calculados analiticamente [Yang 1997]. Por exemplo, em um gráfico de controle com limites de 3σ , existe uma probabilidade de aproximadamente 0,27% de um valor cair fora dos limites de controle quando o processo está sob controle. Nesse caso, espera-se que alarmes falsos ocorram, em média, uma vez a cada 370,37 ($1/0,0027$) observações.

Para os gráficos utilizados neste trabalho, nem todos os valores de ARLs estão disponíveis na literatura. Portanto, foi necessário calcular esses valores por métodos analíticos. Os valores dos ARL_0 e ARL_1 , obtidos para os três gráficos de controle avaliados, estão apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Valores de ARL Adotados Neste Estudo Experimental

	Shewhart CUSUM EWMA		
ARL_0	370,37	370	370
ARL_1	2	2,48	2,76

Estes valores de ARL_0 e ARL_1 são equivalentes para os três gráficos. Isso significa que os limites dos gráficos de controle CUSUM e EWMA foram calculados a fim de serem compatíveis com os limites de controle de 3σ de Shewhart. Essa equivalência é alcançada pela seleção dos parâmetros dos modelos, responsáveis pelos cálculos dos limites de controle. A Tabela 4.14 mostra a parametrização usada para os três gráficos de controle após o cálculo dos ARLs.

Tabela 4.14 – Valores dos Parâmetros dos Gráficos de Controle

Gráficos	Parâmetros	
Shewhart	3σ	$d_2=1,128$
CUSUM	$k=0,5$	$h=4,77$
EWMA	$L=2,701$	$\lambda=0,1$
Shewhart para autocorrelação	$3\hat{\sigma}$	

Subsequentemente, considerando que todos os gráficos de controle são construídos baseados nos mesmos princípios de ARL, para cada gráfico encontra-se o número de alarmes falsos abaixo e acima desses limites (isto é, alarmes falso-positivos e falso-negativos).

Finalmente, a identificação do gráfico de controle com melhor desempenho se dá pelo uso dos seguintes critérios. Primeiramente, escolhe-se aquele gráfico que apresenta o menor número total de alarmes falsos durante a comparação de desempenho. Para os casos onde mais de um gráfico apresente o mesmo desempenho neste critério, foram definidos quatro critérios suplementares para apoiar o processo de seleção. Abaixo estão os critérios ordenados por prioridade. Caso exista algum empate entre os modelos até o terceiro critério (iii), então o quarto critério definirá o gráfico a ser usado.

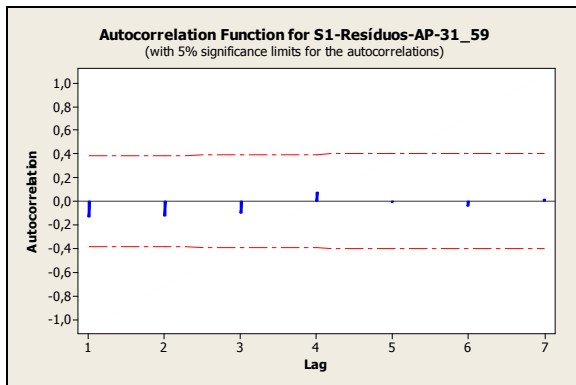
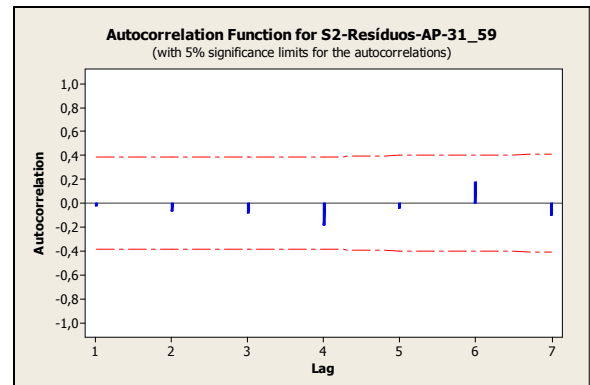
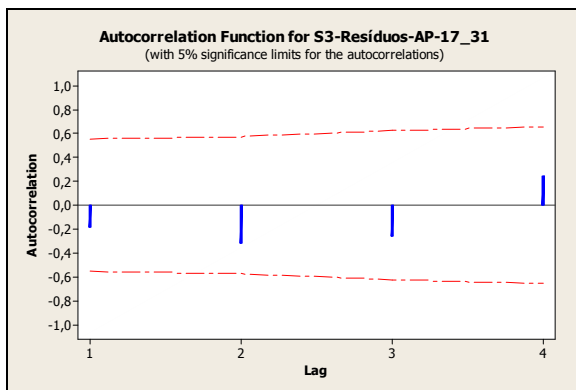
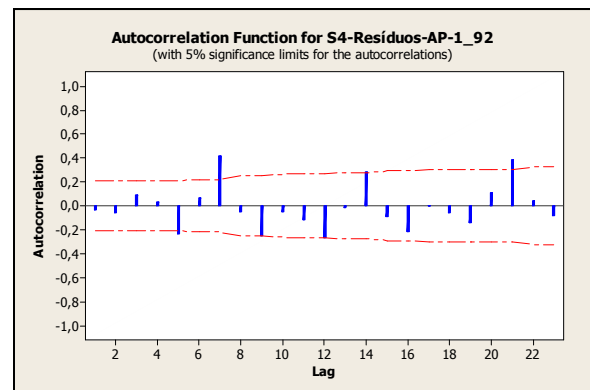
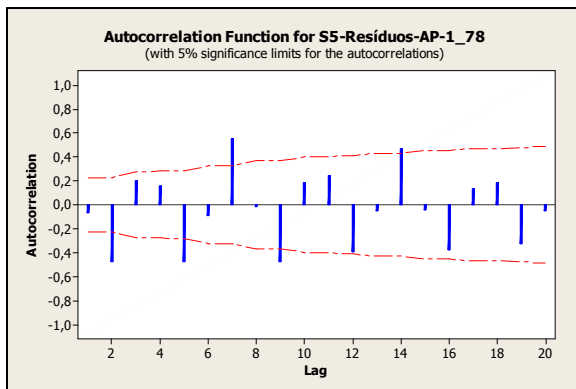
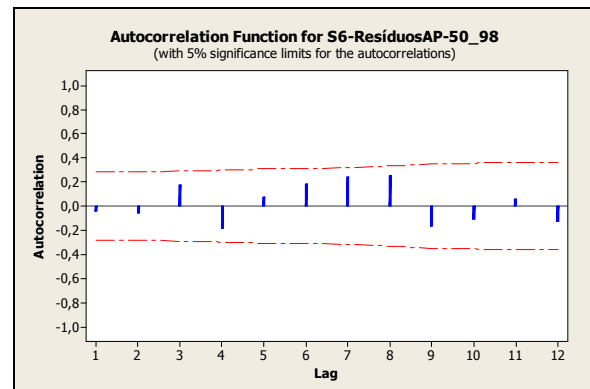
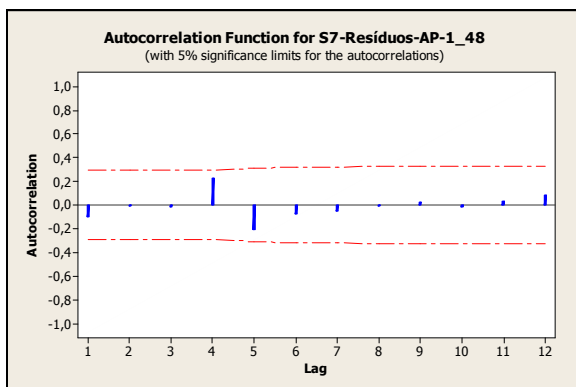
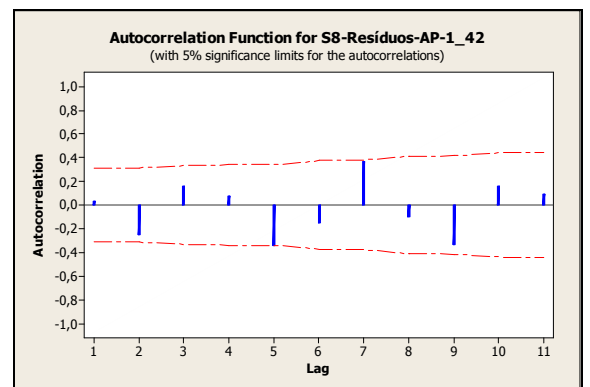
Critérios suplementares:

- i) Gráfico com o maior número de alarmes verdadeiros;
- ii) Gráfico com as estimativas de ARL_0 e ARL_1 mais próximas dos valores nominais (veja Tabela 4.13);
- iii) Gráfico com o menor número de alarmes falso-negativos;
- iv) Algoritmo com o menor custo computacional. Em termos de custo computacional, após análise de complexidade dos algoritmos de cada gráfico avaliado [Matias 2012], concluiu-se que a ordem de menor complexidade computacional, em termos de tempo de computação, do menor para o maior, é: Shewhart < CUSUM < EWMA. Ou seja, o gráfico de Shewhart deve ser usado em caso de todos apresentarem o mesmo desempenho para todos os critérios anteriores.

Ressalta-se que os gráficos de controle não apresentam bom desempenho com dados autocorrelacionados, pois tal característica da amostra provoca a ocorrência de muitos alarmes falsos, comprometendo a análise de desempenho.

4.4.2 – Aplicação do Protocolo

Antes de iniciar a etapa de seleção, realizou-se o teste para autocorrelação de Ljung-Box em todas amostras AP_I , com o intuito de identificar a presença de dados autocorrelacionados. Os resultados são apresentados nas Figuras 4.17 a 4.24.

Figura – 4.17 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I (S1)Figura – 4.18 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I (S2)Figura – 4.19 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I (S3)Figura – 4.20 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I (S4)Figura – 4.21 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I (S5)Figura – 4.22 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I (S6)Figura – 4.23 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I (S7)Figura – 4.24 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I (S8)

Após analisar os resultados do teste Ljung-Box, é possível verificar que as amostras de resíduos de predição para $S1$, $S2$, $S3$, $S6$, $S7$ e $S8$ não apresentam autocorrelação. Todavia, embora conseguiu-se acuracidade maior que 92% em todos os ajustes dos modelos, as amostras de resíduos para $S4$ e $S5$ apresentaram autocorrelação. No Capítulo 3, seção 3.4, foram apresentadas algumas abordagens para o tratamento de dados autocorrelacionados.

Neste estudo, optou-se pela Abordagem Livre de Modelo [Montgomery 2009] em detrimento das demais abordagens apresentadas, especialmente pelo seu menor custo computacional. Maiores detalhes ver Seção 3.4.2.

Após Aplicar a Abordagem Livre de Modelo para as amostras de resíduos autocorrelacionados, $S4$ e $S5$, empregou-se o teste para autocorrelação de Ljung-Box nas amostras piloto, AP_I , com o intuito de verificar se os dados ainda apresentavam autocorrelação. Como pode ser observado nas Figuras 4.25 e 4.26, através da MNPL eliminou-se a autocorrelação das amostras piloto AP_I de $S4$ e $S5$. No Apêndice C encontram-se, respectivamente, as amostras de resíduos $S4$ e $S5$, com autocorrelação e sem autocorrelação (após aplicar a Abordagem Livre de Modelo).

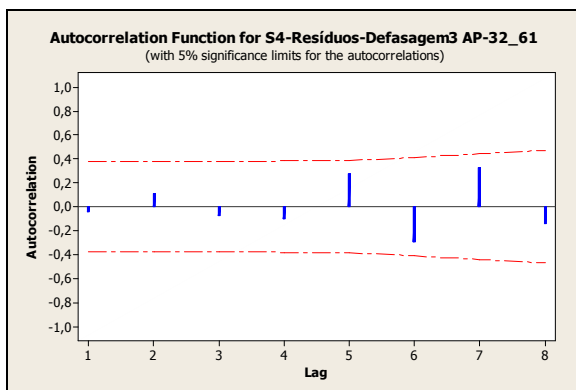


Figura – 4.25 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S4$)
após MNPL

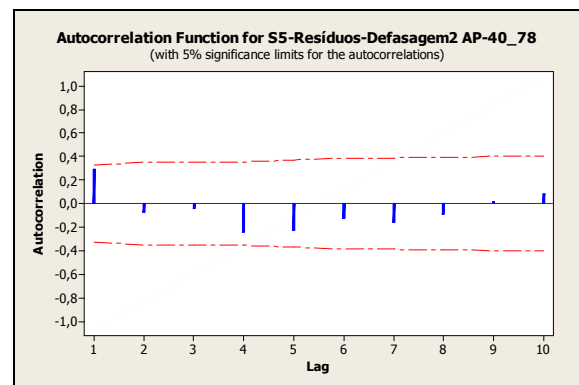


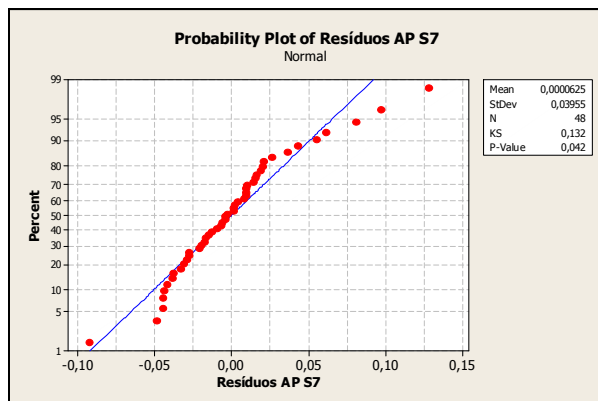
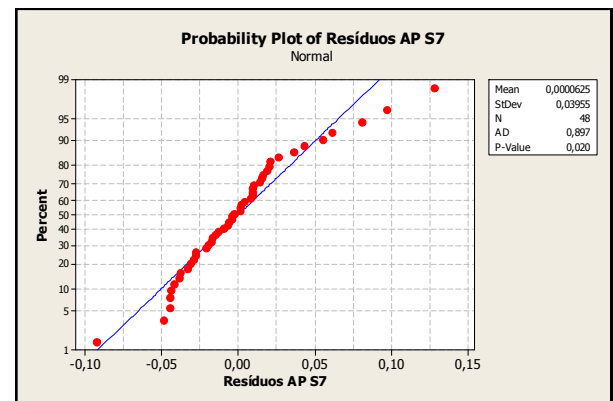
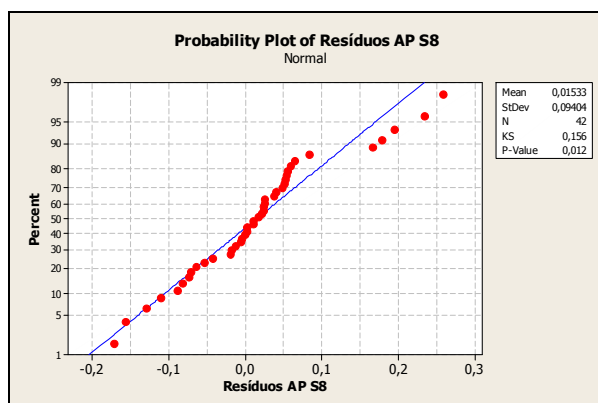
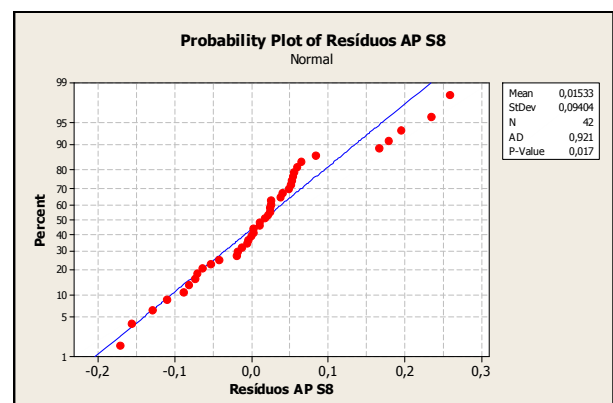
Figura – 4.26 Teste Ljung-Box – Resíduos AP_I ($S5$)
após MNPL

Com relação ao pressuposto de normalidade dos dados, considerando que a característica de qualidade sendo monitorada é o erro de predição dos modelos, adotou-se para todos os gráficos a linha central (LC) igual a zero. Conforme a teoria de séries temporais [Box 1994], os resíduos de predição de modelos considerados sob controle (erros aleatórios) devem ser normalmente distribuídos ao redor de uma média zero. Com o objetivo de verificar tal hipótese nas amostras piloto (AP_I), foram usados os testes Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling, com $\alpha=0,05$. Os resultados numéricos são apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Testes de normalidade KS e AD aplicados aos resíduos (AP_I) de $S1$ a $S8$

	Resíduos - Amostras Piloto (AP_I)							
	$S1$	$S2$	$S3$	$S4$	$S5$	$S6$	$S7$	$S8$
Aderência: Kolmogorov Smirnov	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
p-value	>0,150	>0,150	>0,150	>0,150	>0,150	>0,150	0,042	0,012
Aderência: Anderson Darling	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
p-value	0,84	0,517	0,36	0,263	0,322	0,293	0,02	0,017

Uma vez que os resultados das amostras piloto de $S7$ e $S8$ não apresentaram distribuição normal, realizou-se concomitantemente a esses resultados uma análise gráfica. Os resultados desta análise são apresentados nas Figuras 4.27 a 4.30. Embora o valor de p -value seja inferior a 0,05, a análise gráfica nos mostra que tal pressuposto não foi fortemente violado. Portanto, consideramos que todas as amostras atendem a suposição de distribuição normal.

Figura – 4.27 Teste KS – Resíduos AP_I ($S7$)Figura – 4.28 Teste AD – Resíduos AP_I ($S7$)Figura – 4.29 Teste KS – Resíduos AP_I ($S8$)Figura – 4.30 Teste AD – Resíduos AP_I ($S8$)

Após a avaliação dos pressupostos de independência e normalidade, posteriormente os limites de controle de cada gráfico foram calculados com base nos valores dos parâmetros apresentados anteriormente (ver Tabela 4.14).

Em seguida, usando a segunda amostra piloto, AP_2 , avaliou-se o desempenho de cada gráfico de controle de acordo com os critérios pré-estabelecidos no protocolo adotado (ver Seção 4.4.1).

As Figuras 4.31 a 4.38 apresentam os resultados da análise gráfica. Estas mostram os ajustes dos três gráficos de controle para cada amostra AP_2 . Os valores do eixo y representam o tamanho do erro observado.

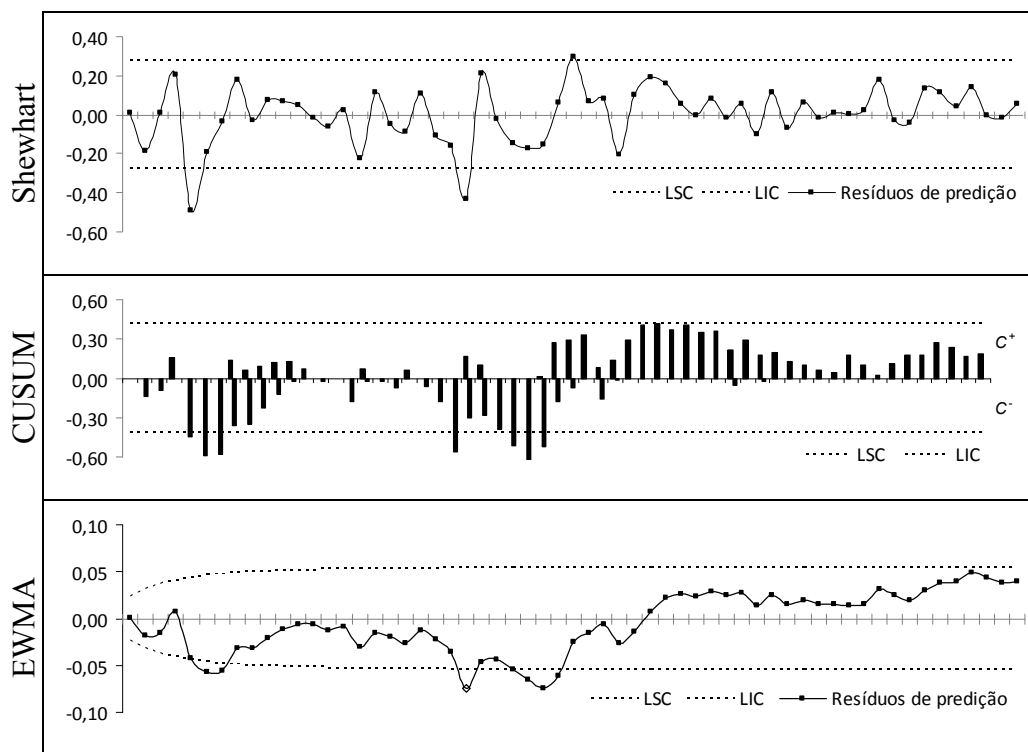


Figura 4.31 – Desempenho dos Gráficos de Controle para SI

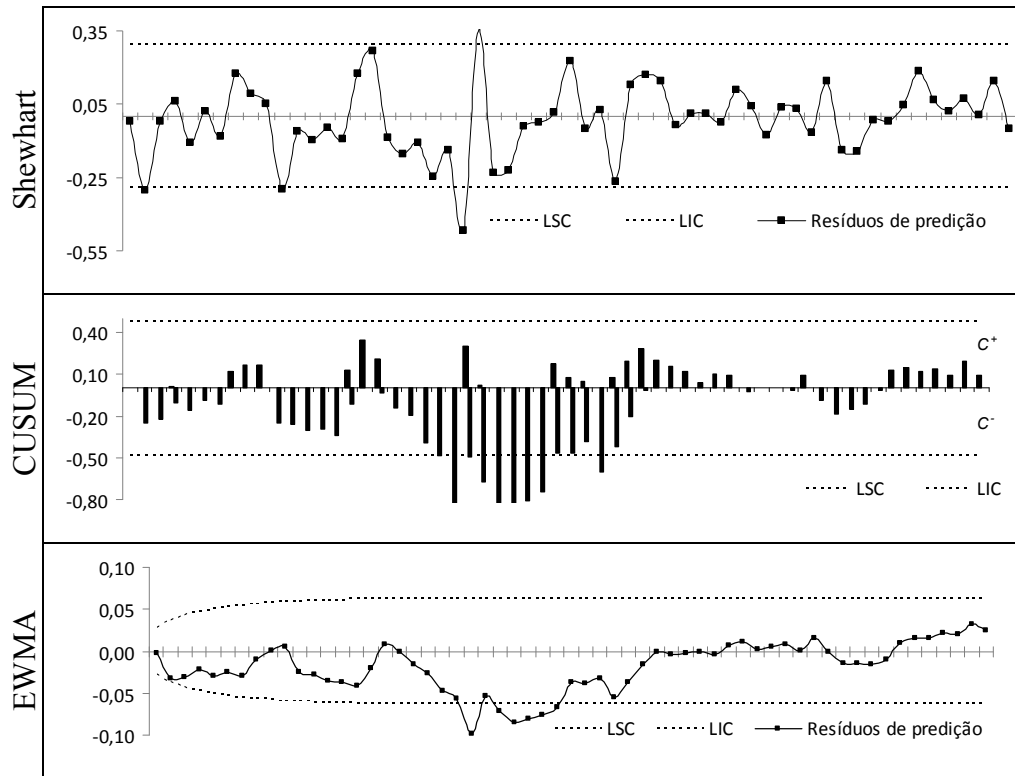


Figura 4.32 – Desempenho dos Gráficos de Controle para S2

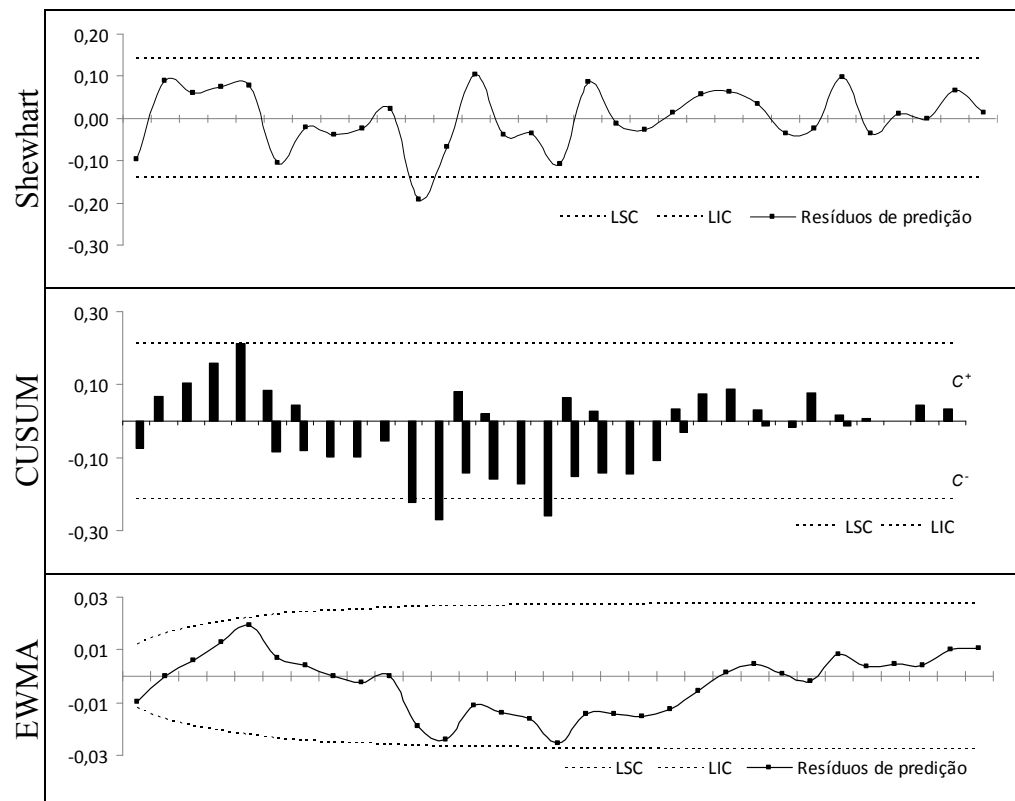


Figura 4.33 – Desempenho dos Gráficos de Controle para S3

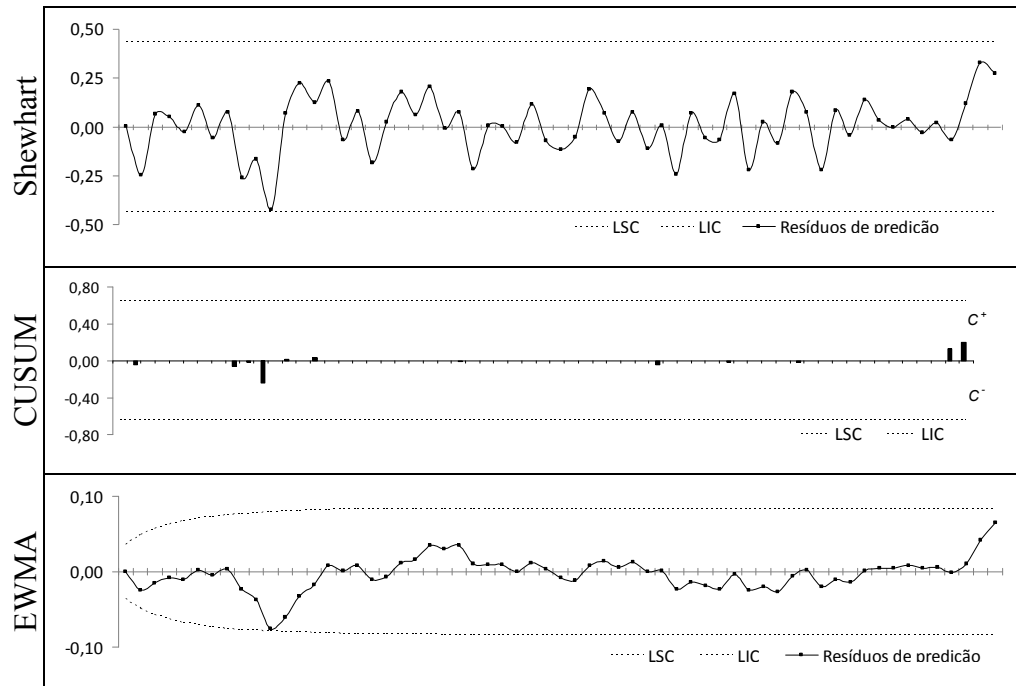


Figura 4.34 – Desempenho dos Gráficos de Controle para S_4

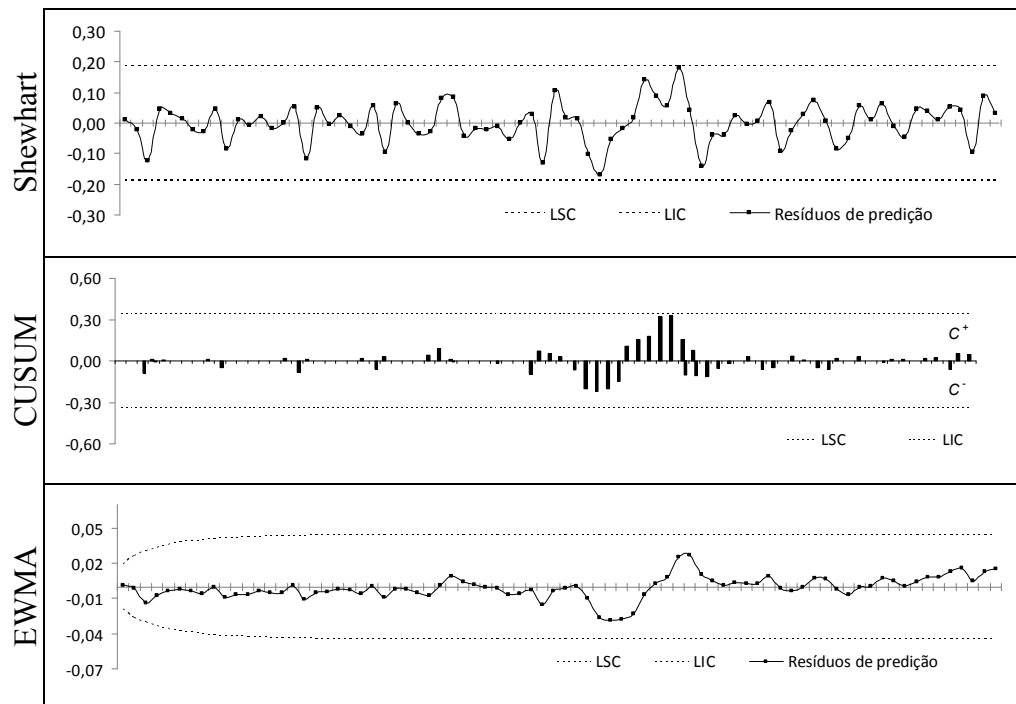


Figura 4.35 – Desempenho dos Gráficos de Controle para S_5

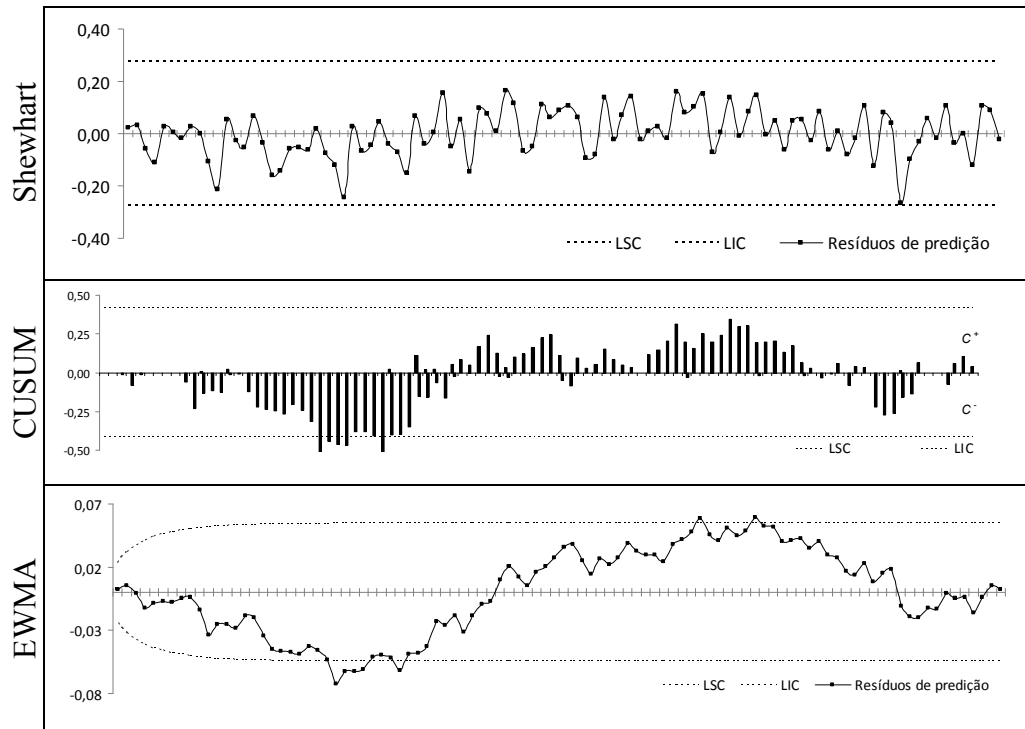


Figura 4.36 – Desempenho dos Gráficos de Controle para S_6

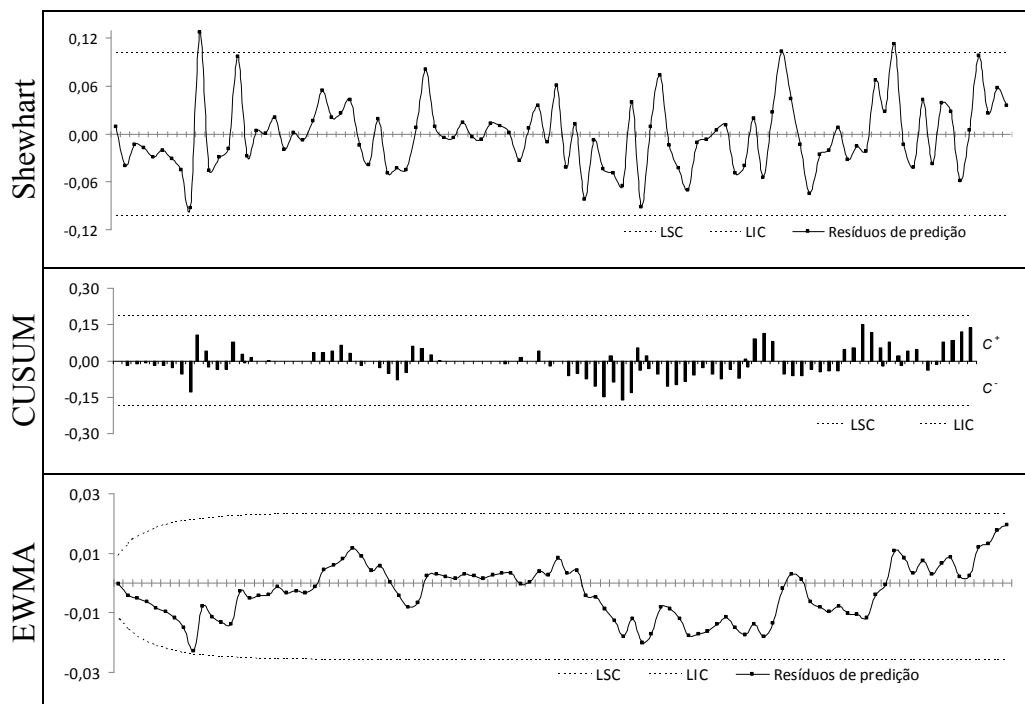


Figura 4.37 – Desempenho dos Gráficos de Controle para S_7

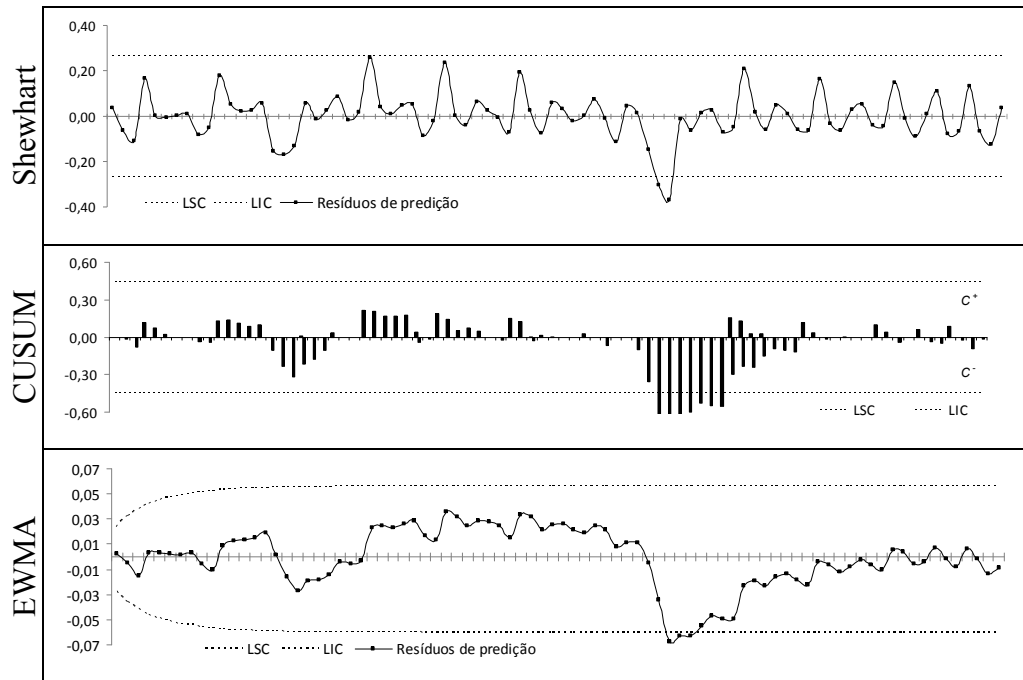


Figura 4.38 – Desempenho dos Gráficos de Controle para S_8

Na sequência, contou-se o número de alarmes gerados em cada gráfico em comparação com os desvios observados nas amostras de resíduos. Os desvios observados foram identificados como sendo valores da amostra de resíduos que se localizam acima ou abaixo de 3σ . Estes valores foram considerados como alarmes verdadeiros. Ao se comparar o número de alarmes verdadeiros identificados diretamente das amostras de resíduos, com os alarmes gerados pelos gráficos de controle, é possível identificar quais alarmes gerados pelo gráfico de controle devem ser considerados verdadeiros ou falsos. Alarmes dos gráficos de controle, cujos valores observados correspondentes estejam dentro dos limites de 3σ , são considerados alarmes falso-positivos. Já, a ausência de alarmes por parte dos gráficos de controle para valores observados fora dos limites de 3σ são considerados alarmes falso-negativos. Neste sentido, primeiramente foram identificados todos os valores observados fora dos limites de 3σ . Os resultados desta análise estão na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Observações fora do limite de 3σ para AP_2

Amostra de resíduo	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
3σ	0,261	0,306	0,134	0,405	0,215	0,263	0,118	0,282
Nº da observação (Valor do desvio)	5(-0,490) 23(-0,430) 30(0,295)	23(-0,467) 24(0,355)	11(-0,192)	11(-0,424)		87(-0,265)	10(0,128)	52(-0,304) 53(-0,370)

Com base nos valores da Tabela 4.16, contou-se o número de alarmes falsos gerados por cada gráfico de controle, para cada amostra piloto AP_2 . A Tabela 4.17 apresenta esses resultados.

Tabela 4.17 – Alarmes falsos por gráfico de controle para amostras AP_2

Séries	Shewhart		CUSUM		EWMA	
	FP	FN	FP	FN	FP	FN
$S1$	0	0	6	1	4	2
Total de alarmes falsos $S1$	0		7		6	
$S2$	2	0	6	0	4	1
Total de alarmes falsos $S2$	2		6		5	
$S3$	0	0	2	0	0	1
Total de alarmes falsos $S3$	0		2		1	
$S4$	0	1	0	1	0	1
Total de alarmes falsos $S4$	1		1		1	
$S5$	0	0	0	0	0	0
Total de alarmes falsos $S5$	0		0		0	
$S6$	0	1	5	1	7	1
Total de alarmes falsos $S6$	1		6		8	
$S7$	2	0	0	1	0	1
Total de alarmes falsos $S7$	2		1		1	
$S8$	0	0	5	0	1	0
Total de alarmes falsos $S8$	0		5		1	
Total de alarmes falsos	4	2	24	8	16	8
Total de alarmes	6		32		24	

FP: falso positivo;

FN: falso negativo.

Também, foram contabilizados os valores de ARL_0 (processo sob-controle: alarmes falsos positivo e negativo) e ARL_1 (processo fora de controle: alarme verdadeiro) para cada amostra AP_2 . A Tabela 4.18 apresenta esses resultados.

Tabela 4.18 – ARLs dos gráficos de controle para cada amostra de resíduo AP_2

Séries	Shewhart		CUSUM		EWMA	
	ARL0	ARL1	ARL0	ARL1	ARL0	ARL1
$S1$	0	3	-7	2	-6	2
$S2$	-2	2	-6	2	-5	2
$S3$	0	1	-2	1	-1	0
$S4$	-1	0	-1	0	-1	0
$S5$	0	0	0	0	0	0
$S6$	-1	0	-6	0	-8	0
$S7$	-2	1	-1	0	-1	0
$S8$	0	2	-5	2	-1	2
Total	-6	9	-28	7	-23	6

ARL_0 : processo sob controle, contabilizou os alarmes falsos (positivos ou negativos);

ARL_1 : processo fora de controle, contabilizou os alarmes verdadeiros).

Ao observar os resultados na Tabela 4.17, verifica-se que o Gráfico de Controle de Shewhart para valores individuais apresentou melhor desempenho para a maioria das amostras, a saber: *S1*, *S2*, *S3*, *S6* e *S8*. Para amostra *S5*, todos os gráficos de controle apresentaram bom desempenho, já que nenhum dos três gráficos de controle acusou alarmes falsos. O resultado para *S4* mostra que os três gráficos têm o mesmo número de alarmes falsos. Para *S7*, os resultados mostram que os gráficos CUSUM e EWMA têm o mesmo número de alarmes falsos. Especialmente para os casos onde ocorram empate no número de alarmes falsos, o protocolo adotado contempla o uso de critérios suplementares de decisão (ver Seção 4.4.1).

Para *S4* os gráficos de Shewhart, CUSUM e EWMA apresentaram os mesmos valores para os três primeiros critérios suplementares, assim, conforme o quarto critério, conclui-se que Shewhart deve ser usado para o controle das predições específicas para *S4*.

Para *S5*, o primeiro critério não se aplica, uma vez que o processo está sob controle, da mesma forma que o segundo e terceiro critérios, pois os gráficos de Shewhart, CUSUM e EWMA não sinalizaram nenhum alarme falso, sendo assim, através do quarto critério suplementar, conclui-se que Shewhart deve ser usado para *S5*.

Finalmente, para *S7* os gráficos CUSUM e EWMA empataram nos três primeiros critérios. Portanto, baseando-se no quarto critério (menor custo computacional), CUSUM deve ser usado com *S7*.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES DA PESQUISA

5.1 - Principais Resultados

O controle de qualidade dos processos de predição usado em análise de tráfego de rede é muito importante, visto que suas saídas são usadas para tomadas de decisões em áreas como planejamento, operação e gerenciamento de redes. Em termos práticos, os padrões da indústria em controle estatístico de processos são pouco usados em engenharia de tráfego na área de redes de computadores [You 1999] [Brownlee 2002] [Krishnamurthy 2003] [Yin 2005] [Zhou 2005] [Krithikaivasan 2007].

A motivação para realizar esse trabalho foi considerar que a complexidade para aplicar métodos de controle estatístico de processos, em especial na área de predição de tráfego, pode ser uma justificativa para o baixo uso destes métodos em ambientes reais de operação de rede. Assim, neste trabalho, procurou-se não apenas avaliar o desempenho dos gráficos de controle investigados contra amostras de tráfego real, mas também desenvolver uma abordagem sistematizada para aplicar esses gráficos no controle de qualidade de processos de predição aplicados a tráfego de redes de computadores.

5.2 - Limitações da Pesquisa

Para este estudo experimental, algumas restrições limitaram a expansão da aplicabilidade da pesquisa, conforme descrito a seguir.

Na seção 3.4 foi apresentado um estudo de alguns métodos para o tratamento de dados autocorrelacionados, uma vez que dados desta natureza prejudicam o desempenho dos gráficos de controle. Todavia, para este estudo não foram obtidas amostras de resíduos fortemente autocorrelacionadas para testar esses métodos. Dentre todas as amostras, apenas *S4* (com autocorrelação fraca) e *S5* (com autocorrelação moderada) apresentam esta característica.

Alguns processos, no início do monitoramento, já apresentam a condição fora de controle, sendo necessário identificar essa condição o mais cedo possível para realizar ações corretivas no estágio inicial do processo [Montgomery 2009]. Neste contexto, nas seções 3.2.4 e 3.2.5 foi apresentado um estudo para identificar processos que estão fora de controle no início do monitoramento. Este estudo contempla a Resposta Inicial Rápida (RIR) disponível para os Gráficos de Controle CUSUM e EWMA, contudo, apesar da grande quantidade de amostras de redes reais utilizadas nesta pesquisa, não conseguiu-se uma amostra

fora de controle estatístico no início do monitoramento do processo, a fim de se realizar o estudo experimental aplicando a RIR.

5.3 - Contribuição para a Literatura

A Tabela 5.1 apresenta os trabalhos publicados com resultados parciais obtidos no decorrer desta pesquisa.

Tabela 5.1 – Publicações científicas

Conferência/Periódico	Qualis	Citação
ERMAC-SEMAT: IX Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional e X Semana da Matemática.	N/A	[Carvalho et al. 2010]
ERMAC-SEMAT: IX Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional e X Semana da Matemática.	N/A	[Teodoro et al. 2010]
SMC: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics.	B1	[Matias et al. 2011-a]
LAN/MAN: 18th IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks.	B2	[Matias et al. 2011-b]
PDCAT: 12th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies.	B2	[Carvalho et al. 2011]

N/A – não está na lista Qualis CC.

Dando continuidade aos cinco trabalhos já publicados, atualmente um sexto trabalho está sendo finalizado para ser submetido em 2012 para um periódico Qualis A1, o qual intitula-se: “A Protocol to Apply Statistical Control Charts to Quality Control in Network Traffic Forecasting” [Matias 2012].

5.4 - Dificuldades Encontradas

As principais dificuldades encontradas durante essa pesquisa estão descritas a seguir.

Obter permissão para coletar tráfego de rede real, em empresas e/ou instituições acadêmicas, pois as mesmas manifestam grande preocupação com o tipo de coleta que será realizada e manuseio de seus dados.

Encontrar amostras de tráfego de rede real em repositórios públicos que possam ser organizadas em séries temporais, pois muitas coletas de tráfego são feitas sem nenhum tipo de periodicidade.

Conseguir ajustes de modelos de predição com acuracidade superior a 90% e, concomitante a essa acuracidade, obter amostras de resíduos com autocorrelação, com o

objetivo de testar a Abordagem Livre de Modelo (ver Seção 3.4.2), utilizada neste trabalho para tratar dados autocorrelacionados.

5.5 - Trabalhos Futuros

O estudo experimental desse trabalho não se limita aos passos investigados que foram apresentados. De acordo com o tráfego de rede real coletado, outras técnicas estatísticas podem ser exploradas. A seguir são apresentadas algumas sugestões para futuros trabalhos, que complementam o trabalho realizado nessa dissertação.

Quando o processo monitorado está inicialmente em uma condição fora de controle é muito importante detectar a origem dessa condição o mais cedo possível e efetuar ações corretivas no estágio inicial do processo, neste âmbito, o estudo teórico de dois gráficos de controle foram apresentados (ver Seções 3.2.4 e 3.2.5) e como trabalho futuro fica a sugestão de suas implementações. São eles:

- Gráfico de Controle CUSUM com Resposta Inicial Rápida (RIR): [Lucas 1982] [Montgomery 2009];
- Gráfico de Controle EWMA com Resposta Inicial Rápida (RIR): [Lucas 1990] [Steiner 1999].

Uma vez que dados autocorrelacionados prejudicam o desempenho de gráficos de controle convencionais, como Shewhart para Observações Individuais (ver Seção 3.2.1.1), CUSUM (ver Seção 3.2.2) e EWMA (ver Seção 3.2.3), recomenda-se aprofundar pesquisas para dados de tráfego de rede autocorrelacionados, com a respectiva análise de desempenho entre os seguintes gráficos de controle:

- Gráfico de controle de Shewhart com Limites Alargados para Autocorrelação (ver Seção 3.4.1)
- Gráfico de controle CUSUM para dados autocorrelacionados [Atienza 2002];
- Gráfico de controle EWMA para dados autocorrelacionados [Apley 2003].

Investigar outros modelos de séries temporais, como:

- SARIMA;
- ARCH;
- GARCH.

Finalmente sugere-se automatizar as etapas apresentadas neste estudo juntamente com as sugestões de trabalhos futuros, com o objetivo de construir um mecanismo estatístico automático para fins de análise *online* de tráfego de rede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Abbasi 2010] Abbasi, S. A. (2010). “On Sensitivity of EWMA Control Chart for Monitoring Process Dispersion”. WCE-Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol. 3, London, U.K.
- [Akinaga 2005] Akinaga, Y., Kaneda, S., Shinagawa, N. and Miura A. (2005). “A proposal for a mobile communication traffic forecasting method using time-series analysis for multi-variate data”. In: IEEE Globecom. Vol. 2, pp. 1119-1124.
- [Alves 2003] Alves, C. C. (2003). “Gráficos de Controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos”. Dissertação: Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC.
- [Anderson 1954] Anderson, T. W. and Darling, D. A. (1954). “A Test of Goodness of Fit”. Journal of the American Statistical Association. Vol. 49, no. 268, pp. 765-769.
- [Apley 2003] Apley, D. W. and Lee, H. C. (2003). “Design of Exponentially Weighted Moving Average Control Charts for Autocorrelated Processes With Model Uncertainty. Technometrics”. Vol. 45, pp. 187-198 .
- [Atienza 2002] Atienza, O. O., Tang, L. C. and Ang B. W. (2002). “A CUSUM Scheme for Autocorrelated Observations. Journal of Quality Technology”. Vol. 34, no. 2, pp 187-199.
- [Awduche 2002] Awduche, D., Chiu, A., Elwalid, A., Widjaja, I. and Xiao, X. (2002). “RFC Overview and Principles of Internet Traffic Engineering”. IETF. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3272.txt>
- [Barbetta 2010] Barbetta, P. A., Reis, M. M. e Bornia, A. C. (2010). “Estatística para cursos de engenharia e informática”. Editora Altas. 3ª ed., São Paulo.
- [Borgnat 2009] Borgnat, P., Dewaele, G., Fukuda, K., Abry, P. and Cho, K. (2009). “Seven Years and One Day: Sketching the Evolution of Internet Traffic”. In: IEEE Int. Conf. on Computer Communications. pp. 711-719.
- [Box 1970] Box, G. E. P. and Pierce, D. A. (1970). “Distribution of residual autocorrelations in autoregressive-integrated moving average time series models”. Journal of the American Statistical Association. Vol. 65, no. 332, pp. 1509-1526.
- [Box 1994] Box, G. E. P., Jenkins, G. M. e Reinsel, G. C. (1994). “Time series analysis: forecasting and control”. Prentice Hall: New Jersey.
- [Brownlee 2002] Brownlee, N. and Claffy, K. “Understanding Internet traffic streams: Dragonflies and tortoises”. In: IEEE Communications Magazine. Vol. 40(10), pp. 110-117.
- [Carvalho 2010] Carvalho, A. M. M., Matias, Júnior R., Araújo, L. B., Araújo, M. F. C., Teodoro, V. A. (2010). “Aplicação de Controle Estatístico de Processos na Análise de Tráfego de Redes de Computadores”. ERMAT-SEMATEC: IX Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional e X Semana da Matemática. Uberlândia-MG.
- [Carvalho 2011] Carvalho, A. M. M., Matias, Júnior R., Macedo, A., Maciel, P. R. M., Araújo, L. B. (2011). “Performance Analysis of Control Charts Techniques Applied to IP Traffic Forecasts.” In: PDCAT 12th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies. Gwangju-Korea.

- [Costa 2005] Costa, A. F. B., Epprecht, E. K. e Carpinetti, L. C. R. (2005). “Controle Estatístico de Qualidade”. 2ª ed. Editora Atlas. São Paulo-SP.
- [Crawdada 2011a] CRAWDAD Community Resource for Archiving Wireless Data.
<http://crawdada.cs.dartmouth.edu/>
 Acessado em 26/06/2011.
- [Crawdada 2011b] CRAWDAD Community Resource for Archiving Wireless Data.
<http://crawdada.cs.dartmouth.edu/meta.php?name=usc/mobilib#N1007B>
 Acessado em 26/06/2011.
- [Crowder 1987a] Crowder, S. V. (1987). “Average Run Lengths of Exponentially Weighted Moving Average Control Charts”. *Journal of Quality Technology*, Vol. 19, no. 3, pp. 161-164.
- [Crowder 1987b] Crowder, S. V. (1987). “A Simple Method for Studying Run-Length Distributions of Exponentially Weighted Moving Average Charts”. *Technometrics*, Vol. 29, no. 4, pp. 401-407.
- [Crowder 1989] Crowder, S. V. (1989). “Design of Exponentially Weighted Moving Average Schemes”. *Journal of Quality Technology*. Vol. 21, no. 3.
- [Cruz 2009] Cruz, A. C., Alves, C. C., Henning, E. e Neto, A. S. (2009). “A aplicação de gráficos de controle de Soma Acumulada (CUSUM) para monitoramento de um processo de usinagem”. XVI SIMPEP-Simpósio de Engenharia de Produção. Botucatu-SP.
- [Darwood 2000] Darwood, P., Oppermann, I., Jakas, S. and Linton, W. (2000). “Mobile Network Traffic Forecasting”. In: *IEEE Vehicular Technology Conference, VTS-Fall VTC*. Vol. 6, pp. 2932-2936.
- [Dickey 1979] Dickey, D. A. and Fuller, W. A. (1979). “Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root”. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 74, Issue 366, pp. 427-431.
- [Droms 1997] Droms, R. (1997). “RFC Dynamic Host Configuration Protocol”. IETF. Available: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2131.txt>
- [Feng 2005] Feng, H. and Shu, Y. (2005). “Study on Network Traffic Prediction Techniques”. In: *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*. pp. 1041-1044.
- [Feng 2006] Feng, H., Shu, Y., Wang, S. and Maode, M. (2006). “SVM-Based Models for Predicting WLAN Traffic”. In: *IEEE International Conference Communications ICC'06*. Vol. 2, pp. 597-602.
- [Findley 1998] Findley, D. F., Monsell, B. C., Bell, W. R., Otto, M. C. and Chen B. (1998). “New Capabilities and Methods of the X-12-ARIMA Seasonal-Adjustment Program”. *Journal of Business & Economic Statistics*. Vol. 16, no. 2, pp. 127-152.
- [Frank 1951] Frank J. and Massey, Jr. (1951). “The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit”. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 46, no. 253, pp. 68-78.
- [Griffiths 1991] Griffiths, D. V. and Smith, I. M. (1991). “Numerical Methods for Engineers- A Programming Approach”. CRC Press, Florida.
- [Guimarães 2000] Guimarães, N. R. e Epprecht, E. K. (2000). “Uma proposta prática para o controle estatístico de processos com correlação”. *Anais do ENEGEP 2000 (em CD-ROM)* – Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Paulo-SP.

- [Gujarati 2000] Gujarati, D. N. (2000). “Econometria básica”. 3ª ed. Makron Books. São Paulo.
- [Guo 2009] Guo, J., Peng, Y., Peng, X., Chen, Q., Yu, J. and Dai, Y. (2009). “Traffic Forecasting for Mobile Networks with Multiplicative Seasonal ARIMA Models”. In: IEEE International Conference Electronic Measurement & Instruments. ICEMI'09. pp. 3-337 – 3-380.
- [Ha 2000] Ha, S. H., Bae, S. M. and Park, S. C. (2000). “Web Mining for Distance Education”. In: IEEE ICMIT International Conference on Management of Innovation and Technology. Vol. 2, pp. 715-719.
- [Hamilton 1992] Hamilton, M. D. and Crowder, S. V. (1992). “Average Run Lengths of EWMA Control Charts for Monitoring a Process Standard Deviation”. Journal of Quality Technology, Vol. 24, no. 1, pp. 44-50.
- [Henning 2011] Henning, E., Walter, O. M. C. F., Souza, N. S. e Samohyl, R. W. (2011). “Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável”. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. ISSN 1984-9354.
- [Ilow 2000] Ilow, J. (2000). “Forecasting Network Traffic Using FARIMA Models with Heavy Tailed Innovations”. In: IEEE International Conference ICASSP 2000. Vol. 6, pp. 3814-3817.
- [Krishnamurthy 2003] Krishnamurthy, B., Sen, S., Zhang, Y. and Chen, Y. (2003). “Sketch-based change detection: methods, evaluation, and applications.” In: 3rd ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement. pp. 234-247. USA.
- [Krithikaivasan 2007] Krithikaivasan, B., Zeng, Y., Deka, K. and Medhi, D. (2007). “ARCH-based traffic forecasting and dynamic bandwidth provisioning for periodically measured nonstationary traffic.” In: IEEE/ACM Transactions on Networking. Vol. 15(3), pp. 683 – 696.
- [Kruskal 1952] Kruskal, W. H. and Wallis, W. A. (1952). “Use of ranks in one-criterion variance analysis”. Journal of the American Statistical Association. Vol. 47, no. 260, pp. 583-621.
- [Kwiatkowski 1992] Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P. and Shin, Y. (1992). “Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root”. Journal of Econometrics 159-178. North-Holland.
- [Kurose 2010] Kurose, J. F. and Ross, K. W. (2010). “Redes de Computadores e a Internet: Uma abordagem Top-Down”. 5ª ed. Pearson Prentice Hall.
- [Lamounier 2007] Lamounier, W. M. (2007). “Tendência, ciclos e sazonalidade nos preços spot do café brasileiro na NYBOT”. Gest. Prod., São Carlos, Vol. 14, no. 1, pp. 13-23.
- [Larson 2007] Larson, R. e Farber, B. (2007). “Estatística Aplicada”. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- [Liu 2009] Liu, F. (2009). “An Improved RBF Network for Predicting Location in Mobile Network”. In: Fifth International Conference Natural Computation. ICNC'09. Vol. 3, pp. 345-348.
- [Ljung 1978] Ljung, G. M. and Box, G. E. P. (1978). “On a measure of lack of fit in time series models”. Biometrika, Vol. 65, no. 2, pp. 297-303.

- [Lucas 1982] Lucas, J. M. and Crosier, R. B. (1982). "Fast Initial Response for CUSUM Quality-Control Schemes: Give Your CUSUM A Head Start". *Technometrics*, Vol. 24, no. 3, pp. 199-205.
- [Lucas 1990] Lucas, J. M. and Saccucci, M. S. (1990). "Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements". *Technometrics*, Vol. 32, no. 1, pp. 1-12.
- [Machado 2010] Machado, A. P., Ferreira, R., Bittencourt, I. I., Elias, E., Brito, P. e Costa, E. (2010). "Mineração de Texto em Redes Sociais Aplicada à Educação a Distância". *Revista Digital Ca CVA – Ricesu*, ISSN 1519-8529, Vol. 6, no. 23.
- [Madsen 2008] Madsen, H. (2008). "Time Series Analysis". Chapman & Hall/CRC.
- [Matias 2010] Matias, Júnior R., Araújo, L. B., and Araújo, M. F. C. (2010). "Quality Monitoring of Network Traffic Forecasts using Statistical Process Control". In: *IEEE Symposium on Computers and Communications*. pp. 393-398.
- [Matias 2011-a] Matias, Júnior R., Carvalho, A. M. M., Araújo, L. B., Maciel, P. R. M. (2011). "Comparison Analysis of Statistical Control Charts for Quality Monitoring of Network Traffic Forecasts." In: *IEEE SMC Int'l Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. Anchorage-Alaska. pp. 404-409.
- [Matias 2011-b] Matias, Júnior R., Carvalho, A. M. M., Teodoro, V. A., Carrasque, D. T., Araújo, L. B. (2011). "Performance Comparison of Forecasting Models Applied to LAN/MAN Traffic Prediction." In: *LAN/MAN 18th IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks*. pp. 1-6. Chapel Hill- North Carolina.
- [Matias 2012] Matias, Júnior, R., Carvalho, A. M. M., Fernandes, M. A., Maciel, P. R. M. "A Protocol to Apply Statistical Control Charts to Quality Control in Network Traffic Forecasting", em preparação para submissão em 2012 para *Journal Qualis A1*.
- [Mawi 2011a] WAWI Measurement and Analysis on the WIDE Internet Working Group.
<http://mawi.wide.ad.jp/>
Acessado em 21/06/2011.
- [Mawi 2011b] WAWI Measurement and Analysis on the WIDE Internet Working Group.
<http://mawi.wide.ad.jp/mawi/ditl/ditl2009/>
Acessado em 21/06/2011.
- [Montgomery 2009] Montgomery, D. C. (2009). "Introdução ao controle estatístico da qualidade". 4ª ed. reimpr. Rio de Janeiro-RJ. Editora LTC.
- [Morettin 2006] Morettin, P. A., and Toloi, C. M. (2006). "Análise de Séries Temporais". 2ª ed. Edgard Blucher.
- [Papadopouli 2006] Papadopouli, M., Raftopoulos, E. and Shen, H. (2006). "Evaluation of short-term traffic forecasting algorithms in wireless networks". In: *IEEE 2nd Conference on Next Generation Internet Design and Engineering (NGI'06)*. pp. 102-109.
- [Phillips 1988] Phillips, P. C. B. and Perron, P. (1988). "Testing for a Unit Root in Time Series Regression". *Biometrika*, Vol. 75, no. 2, pp. 335-346.
- [Sang 2000] Sang, A. and Li, S. (2000). "A Predictability Analysis of Network Traffic". In: *Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. INFOCOM 2000*. Vol. 1, pp. 342-351.

- [Shin 2006] Shin, M., Ma, J., Mishra, A. and Arbaugh, W. A. (2006). "Wireless Network Security and Interworking". Proceedings of the IEEE. Vol. 94, pp. 455-466.
- [Souza 2008] Souza, L. M. D., Ribeiro, J. I. Jr. e Reis, G. M., Ide, M. I. (2008). "Eficiência dos gráficos de controle xbarra, ewma e cusum". Revista Eletrônica Produção e Engenharia. Vol. 1, pp. 81-94.
- [Sprent 2007] Sprent, P. and Smeeton, N. C. (2007). "Applied Nonparametric Statistical Methods". 4th ed. Chapman & Hall/CRC.
- [Steiner 1999] Steiner, S. H. (1999). "Exponentially Weighted Moving Average Control Charts with Time-Varying Control Limits and Fast Initial Response". Journal of Quality Technology. Vol. 31, pp. 75-86.
- [Stephens 1974] Stephens, M. A. (1974). "EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons". Journal of the American Statistical Association, Vol. 69, no. 347, pp. 730-737.
- [Teodoro 2010] Teodoro, V. A., Araújo, L. B., Araújo, M. F. C., Matias, R. Jr. e Carvalho, A. M. M. (2010). "Análise de Tráfego de Redes de Computadores Usando Séries Temporais". ERMAT-SEMAT: IX Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional e X Semana da Matemática.
- [Triola 2008] Triola, M. F. (2008). "Introdução à Estatística". 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC.
- [Vieira 2008] Vieira, F. H. T., Sousa, L. M. C. e Ling, L. L. (2008). "Esquema de controle adaptativo de tráfego de redes baseado em um algoritmo de predição Fuzzy". Revista Controle & Automação. Vol. 19, no 3.
- [Yang 1997] Yang, J. and Makis, V. (1997). "On the performance of classical control charts applied to process residuals". Computers and Industrial Engineering. Vol. 33, pp. 121-124.
- [Yin 2005] Yin, H., Lin, C., Sebastien, B., Li, B. and Min, G. (2005). "Network traffic prediction base on a new time series model." Int. Journal Comm. System. Vol. 18, pp. 711 – 729.
- [You 1999] You, C. and Chandra, K. (1999). "Time series models for Internet data traffic". In: Conference on Local Computer and Networks. Vol. 2, pp. 164-171.
- [Zhou 2005] Zhou, B., He, D., Sun, Z. and Hock Ng, W. (2005). "Network traffic modeling and prediction with ARIMA/GARCH." In: 3rd International Working Conference: performance modelling and evaluation of heterogeneous networks."
- [Wand 2011a] Wand Network Research Group. <http://www.wand.net.nz>
Acessado em 17/06/2011.
- [Wand 2011b] Wand Network Research Group.
http://www.wand.net.nz/wits/waikato/3/waikato_iii.php
Acessado em 17/06/2011.
- [Wand 2011c] Wand Network Research Group.
http://www.wand.net.nz/wits/waikato/5/waikato_v.php
Acessado em 19/06/2011.
- [Wazlawick 2008] Wazlawick, R. S. (2008). "Metodologia de pesquisa para ciência da computação". Editora Elsevier.
- [Wei 2006] Wei, W. W. S. (2006). "Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods". 2ª ed. Pearson Addison Wesley.

- [Wetherill 1994] Wetherill, G. B. and Brown, D. W. (1994). “Statistical Process Control”. Chapman & Hall, London.
- [Wide 2011] WIDE Post-Disaster Recovery Internet Project. <http://www.wide.ad.jp/>
Acessado em 21/06/2011.
- [Woodall 1985] Woodall, W. H. (1985). “The Statistical Design of Quality Control Charts”. Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician). Vol. 34, no. 2, pp. 155-160.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *SI*

Observação	<i>SI</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	3,67	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,67	3,67	3,67	3,67
2	3,46	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,65	3,65	3,65	3,64	3,64	3,64	3,63
3	3,60	3,57	3,59	3,60	3,58	3,59	3,59	3,59	3,60	3,54	3,55	3,56	3,56
4	3,80	3,63	3,60	3,66	3,61	3,61	3,61	3,61	3,60	3,61	3,59	3,58	3,59
5	3,21	3,72	3,70	3,70	3,75	3,68	3,77	3,72	3,70	3,67	3,66	3,67	3,69
6	3,31	3,46	3,53	3,51	3,49	3,52	3,45	3,46	3,49	3,43	3,46	3,47	3,42
7	3,40	3,50	3,44	3,60	3,42	3,48	3,42	3,44	3,43	3,44	3,42	3,39	3,39
8	3,71	3,54	3,49	3,60	3,59	3,49	3,69	3,56	3,53	3,46	3,43	3,44	3,49
9	3,58	3,68	3,62	3,69	3,70	3,60	3,64	3,64	3,61	3,58	3,56	3,57	3,57
10	3,73	3,62	3,64	3,62	3,64	3,60	3,65	3,67	3,66	3,55	3,56	3,58	3,60
11	3,71	3,69	3,67	3,69	3,66	3,66	3,67	3,65	3,64	3,61	3,62	3,62	3,59
12	3,78	3,68	3,69	3,66	3,71	3,68	3,71	3,74	3,73	3,62	3,65	3,65	3,69
13	3,66	3,71	3,71	3,69	3,70	3,70	3,68	3,67	3,68	3,66	3,68	3,67	3,63
14	3,65	3,66	3,68	3,65	3,66	3,68	3,67	3,71	3,71	3,63	3,66	3,65	3,68
15	3,64	3,65	3,66	3,66	3,64	3,67	3,63	3,61	3,62	3,63	3,64	3,63	3,59
16	3,46	3,65	3,65	3,65	3,65	3,66	3,66	3,69	3,68	3,63	3,63	3,63	3,66
17	3,65	3,57	3,58	3,60	3,58	3,59	3,57	3,52	3,54	3,56	3,56	3,56	3,51
18	3,61	3,66	3,62	3,67	3,63	3,63	3,64	3,68	3,66	3,62	3,60	3,60	3,65
19	3,52	3,64	3,64	3,64	3,67	3,63	3,70	3,61	3,61	3,61	3,60	3,61	3,58
20	3,73	3,60	3,60	3,62	3,59	3,60	3,55	3,62	3,62	3,57	3,57	3,57	3,59
21	3,54	3,69	3,65	3,69	3,67	3,65	3,70	3,66	3,64	3,65	3,63	3,63	3,63
22	3,48	3,60	3,63	3,61	3,64	3,62	3,65	3,63	3,64	3,58	3,59	3,60	3,61
23	3,10	3,58	3,57	3,62	3,55	3,58	3,51	3,53	3,53	3,55	3,55	3,54	3,50
24	3,64	3,41	3,43	3,51	3,42	3,44	3,47	3,42	3,43	3,39	3,39	3,39	3,39
25	3,52	3,65	3,54	3,70	3,62	3,55	3,63	3,59	3,54	3,57	3,52	3,51	3,54
26	3,48	3,60	3,61	3,60	3,68	3,56	3,71	3,64	3,63	3,53	3,53	3,56	3,59
27	3,34	3,58	3,57	3,62	3,54	3,56	3,48	3,51	3,51	3,52	3,52	3,52	3,46
28	3,39	3,52	3,51	3,57	3,51	3,51	3,57	3,55	3,54	3,45	3,46	3,46	3,49
29	3,52	3,54	3,50	3,60	3,54	3,50	3,55	3,46	3,45	3,46	3,45	3,45	3,40
30	3,90	3,59	3,55	3,63	3,61	3,54	3,60	3,64	3,61	3,50	3,49	3,50	3,57
31	3,76	3,76	3,71	3,73	3,77	3,68	3,80	3,73	3,70	3,66	3,65	3,66	3,65
32	3,86	3,70	3,74	3,66	3,74	3,70	3,72	3,77	3,78	3,63	3,67	3,69	3,71
33	3,50	3,74	3,75	3,71	3,70	3,74	3,67	3,70	3,71	3,69	3,72	3,71	3,65
34	3,77	3,59	3,64	3,59	3,61	3,65	3,65	3,65	3,67	3,57	3,61	3,60	3,61
35	3,83	3,71	3,66	3,71	3,66	3,69	3,64	3,65	3,64	3,67	3,66	3,64	3,61
36	3,96	3,73	3,74	3,69	3,78	3,73	3,82	3,82	3,80	3,71	3,71	3,71	3,79
37	3,81	3,79	3,80	3,73	3,79	3,79	3,74	3,75	3,76	3,77	3,78	3,78	3,73
38	3,82	3,73	3,77	3,68	3,72	3,77	3,72	3,81	3,82	3,74	3,76	3,76	3,80
39	3,78	3,73	3,74	3,70	3,70	3,76	3,71	3,68	3,69	3,75	3,76	3,74	3,68
40	3,77	3,71	3,73	3,68	3,72	3,74	3,71	3,79	3,79	3,74	3,74	3,74	3,80
41	3,72	3,71	3,72	3,68	3,70	3,74	3,69	3,66	3,67	3,75	3,74	3,73	3,68
42	3,66	3,69	3,70	3,67	3,68	3,72	3,69	3,76	3,76	3,73	3,72	3,72	3,77
43	3,73	3,66	3,67	3,65	3,65	3,68	3,65	3,60	3,61	3,70	3,69	3,68	3,62
44	3,67	3,69	3,68	3,68	3,68	3,69	3,68	3,75	3,74	3,72	3,70	3,70	3,77
45	3,68	3,66	3,68	3,65	3,68	3,68	3,68	3,61	3,62	3,70	3,69	3,69	3,64
46	3,70	3,67	3,67	3,66	3,66	3,68	3,64	3,73	3,72	3,70	3,68	3,69	3,74
47	3,65	3,68	3,68	3,67	3,68	3,68	3,69	3,63	3,63	3,71	3,69	3,69	3,65
48	3,71	3,65	3,66	3,65	3,66	3,66	3,65	3,71	3,70	3,68	3,67	3,68	3,72
49	3,66	3,68	3,67	3,67	3,67	3,68	3,66	3,63	3,63	3,70	3,69	3,69	3,65
50	3,89	3,66	3,67	3,65	3,67	3,67	3,68	3,71	3,71	3,68	3,67	3,68	3,73
51	3,68	3,76	3,74	3,72	3,75	3,74	3,73	3,72	3,71	3,77	3,75	3,76	3,74
52	3,70	3,67	3,71	3,64	3,70	3,70	3,70	3,73	3,74	3,71	3,71	3,73	3,75
53	3,77	3,68	3,68	3,67	3,64	3,69	3,61	3,63	3,64	3,71	3,70	3,70	3,65
54	3,87	3,71	3,71	3,68	3,71	3,71	3,75	3,77	3,76	3,74	3,73	3,73	3,79
55	3,76	3,75	3,76	3,71	3,76	3,75	3,75	3,72	3,72	3,78	3,77	3,78	3,74
56	3,92	3,70	3,74	3,67	3,70	3,74	3,68	3,77	3,78	3,75	3,76	3,76	3,80
57	3,74	3,77	3,77	3,73	3,75	3,78	3,76	3,74	3,74	3,82	3,81	3,80	3,77
58	3,76	3,69	3,74	3,66	3,72	3,74	3,72	3,76	3,77	3,76	3,76	3,77	3,80
59	3,72	3,70	3,71	3,68	3,67	3,73	3,64	3,65	3,67	3,76	3,75	3,75	3,70

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S2*

Observação	<i>S2</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	3,20	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,22	3,19	3,19	3,19	3,19
2	2,88	3,21	3,21	3,20	3,20	3,21	3,20	3,20	3,18	3,19	3,19	3,17	3,17
3	2,97	2,99	3,00	3,06	3,03	3,00	3,01	3,01	2,99	2,95	2,95	2,95	2,95
4	3,10	3,06	3,05	3,18	3,06	3,05	3,02	3,03	3,03	2,94	2,95	2,99	2,98
5	3,02	3,14	3,13	3,18	3,22	3,13	3,15	3,15	3,12	3,08	3,09	3,08	3,11
6	3,13	3,09	3,09	3,14	3,12	3,09	3,11	3,08	3,11	3,04	3,02	3,04	3,03
7	3,09	3,16	3,15	3,22	3,15	3,16	3,14	3,16	3,17	3,10	3,11	3,11	3,12
8	3,36	3,14	3,14	3,16	3,20	3,14	3,15	3,14	3,18	3,11	3,10	3,10	3,10
9	3,43	3,31	3,30	3,32	3,29	3,30	3,30	3,30	3,34	3,30	3,31	3,29	3,30
10	3,46	3,36	3,36	3,28	3,37	3,36	3,39	3,37	3,41	3,43	3,42	3,36	3,38
11	3,11	3,38	3,38	3,31	3,33	3,38	3,39	3,38	3,41	3,45	3,44	3,38	3,37
12	3,14	3,15	3,16	3,12	3,13	3,16	3,16	3,17	3,20	3,18	3,18	3,15	3,15
13	3,08	3,17	3,17	3,23	3,14	3,17	3,12	3,15	3,18	3,12	3,13	3,14	3,13
14	3,10	3,13	3,13	3,15	3,19	3,13	3,14	3,15	3,15	3,10	3,11	3,10	3,12
15	3,06	3,14	3,14	3,20	3,14	3,14	3,14	3,12	3,16	3,09	3,08	3,11	3,09
16	3,33	3,12	3,11	3,15	3,14	3,11	3,12	3,13	3,15	3,07	3,08	3,09	3,11
17	3,58	3,29	3,28	3,31	3,30	3,29	3,28	3,27	3,31	3,27	3,26	3,27	3,26
18	3,39	3,46	3,45	3,35	3,47	3,46	3,48	3,48	3,47	3,54	3,54	3,46	3,49
19	3,21	3,33	3,34	3,24	3,29	3,34	3,37	3,33	3,37	3,43	3,40	3,35	3,33
20	3,13	3,22	3,23	3,21	3,14	3,22	3,19	3,23	3,24	3,24	3,26	3,22	3,22
21	2,92	3,16	3,17	3,18	3,18	3,16	3,14	3,15	3,17	3,14	3,14	3,15	3,13
22	2,90	3,02	3,03	3,09	3,06	3,02	3,03	3,03	3,04	2,96	2,97	3,00	3,00
23	2,55	3,01	3,00	3,13	3,02	3,00	2,99	2,99	3,02	2,90	2,90	2,96	2,95
24	3,21	2,77	2,78	2,94	2,88	2,78	2,79	2,79	2,85	2,62	2,63	2,73	2,74
25	2,98	3,21	3,18	3,35	3,22	3,19	3,15	3,16	3,21	3,06	3,07	3,14	3,14
26	2,94	3,06	3,07	3,03	3,21	3,06	3,15	3,11	3,16	3,05	3,04	3,03	3,07
27	3,11	3,04	3,03	3,18	2,96	3,03	3,02	2,99	3,15	2,93	2,91	2,99	2,95
28	3,23	3,15	3,14	3,19	3,20	3,14	3,12	3,18	3,25	3,08	3,11	3,10	3,15
29	3,36	3,23	3,22	3,24	3,30	3,22	3,25	3,19	3,35	3,21	3,17	3,20	3,17
30	3,67	3,31	3,31	3,28	3,27	3,31	3,33	3,35	3,44	3,34	3,36	3,30	3,34
31	3,56	3,52	3,51	3,41	3,48	3,51	3,52	3,49	3,61	3,61	3,57	3,51	3,49
32	3,58	3,45	3,46	3,29	3,43	3,46	3,48	3,49	3,56	3,59	3,60	3,47	3,50
33	3,27	3,46	3,47	3,36	3,34	3,47	3,44	3,43	3,53	3,57	3,55	3,47	3,44
34	3,46	3,25	3,27	3,17	3,24	3,26	3,26	3,30	3,33	3,33	3,36	3,27	3,29
35	3,56	3,38	3,38	3,36	3,32	3,38	3,34	3,34	3,39	3,41	3,39	3,38	3,34
36	3,59	3,45	3,45	3,32	3,46	3,45	3,47	3,49	3,44	3,55	3,58	3,46	3,51
37	3,41	3,46	3,47	3,35	3,40	3,47	3,48	3,43	3,44	3,58	3,54	3,48	3,44
38	3,33	3,35	3,36	3,25	3,28	3,35	3,35	3,39	3,32	3,44	3,47	3,37	3,40
39	3,25	3,30	3,30	3,26	3,26	3,30	3,27	3,26	3,25	3,34	3,32	3,31	3,27
40	3,15	3,24	3,25	3,22	3,24	3,25	3,24	3,28	3,18	3,27	3,31	3,25	3,28
41	3,22	3,18	3,18	3,19	3,17	3,18	3,17	3,15	3,11	3,17	3,14	3,18	3,14
42	3,18	3,22	3,22	3,23	3,21	3,22	3,21	3,24	3,14	3,20	3,24	3,21	3,24
43	3,04	3,19	3,19	3,19	3,22	3,19	3,20	3,17	3,12	3,19	3,16	3,19	3,17
44	3,09	3,10	3,11	3,15	3,10	3,10	3,10	3,12	3,05	3,07	3,09	3,10	3,11
45	3,10	3,13	3,13	3,19	3,14	3,13	3,11	3,10	3,07	3,07	3,06	3,12	3,10
46	3,03	3,14	3,14	3,18	3,19	3,14	3,15	3,16	3,09	3,10	3,12	3,13	3,15
47	3,22	3,09	3,09	3,15	3,11	3,09	3,10	3,07	3,07	3,04	3,02	3,08	3,06
48	3,04	3,22	3,21	3,25	3,22	3,21	3,20	3,23	3,18	3,17	3,20	3,20	3,22
49	2,96	3,10	3,10	3,11	3,16	3,10	3,13	3,09	3,10	3,08	3,05	3,09	3,08
50	3,05	3,05	3,05	3,14	3,03	3,05	3,03	3,05	3,06	2,97	2,99	3,03	3,03
51	3,10	3,10	3,10	3,17	3,15	3,10	3,09	3,09	3,12	3,03	3,02	3,08	3,08
52	3,21	3,14	3,13	3,18	3,20	3,14	3,15	3,14	3,17	3,09	3,10	3,12	3,13
53	3,44	3,22	3,21	3,24	3,21	3,21	3,22	3,21	3,25	3,19	3,18	3,20	3,20
54	3,46	3,36	3,36	3,32	3,36	3,36	3,37	3,37	3,39	3,40	3,40	3,36	3,37
55	3,43	3,38	3,38	3,29	3,37	3,38	3,40	3,38	3,41	3,46	3,44	3,39	3,39
56	3,46	3,36	3,37	3,29	3,30	3,37	3,36	3,37	3,39	3,44	3,44	3,37	3,37
57	3,39	3,38	3,39	3,31	3,35	3,39	3,37	3,38	3,39	3,46	3,45	3,39	3,39
58	3,47	3,34	3,34	3,26	3,32	3,34	3,34	3,34	3,33	3,41	3,41	3,35	3,35
59	3,30	3,39	3,39	3,32	3,33	3,39	3,38	3,39	3,35	3,45	3,45	3,40	3,40

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S3*

Observação	<i>S3</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	2,39	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,48	2,51	2,49	2,39	2,39	2,39	2,39
2	2,59	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,50	2,49	2,50	2,44	2,43	2,43	2,43
3	2,59	2,53	2,55	2,53	2,54	2,53	2,52	2,55	2,53	2,52	2,53	2,54	2,54
4	2,65	2,53	2,52	2,52	2,52	2,52	2,62	2,52	2,58	2,55	2,55	2,54	2,54
5	2,61	2,54	2,53	2,54	2,54	2,54	2,55	2,53	2,53	2,58	2,58	2,58	2,57
6	2,42	2,53	2,51	2,53	2,52	2,52	2,54	2,51	2,53	2,56	2,55	2,55	2,55
7	2,47	2,49	2,48	2,49	2,49	2,49	2,48	2,47	2,49	2,50	2,50	2,49	2,49
8	2,42	2,50	2,51	2,51	2,51	2,51	2,42	2,51	2,46	2,51	2,51	2,52	2,52
9	2,50	2,49	2,50	2,49	2,49	2,49	2,54	2,50	2,53	2,49	2,49	2,50	2,50
10	2,52	2,51	2,52	2,51	2,52	2,51	2,48	2,52	2,50	2,51	2,52	2,52	2,52
11	2,31	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,50	2,52	2,50	2,51	2,50	2,51	2,51
12	2,39	2,47	2,46	2,46	2,47	2,47	2,44	2,46	2,46	2,44	2,44	2,44	2,44
13	2,53	2,49	2,52	2,49	2,50	2,50	2,35	2,52	2,43	2,46	2,47	2,49	2,49
14	2,55	2,52	2,53	2,52	2,52	2,52	2,64	2,54	2,59	2,50	2,51	2,52	2,52
15	2,50	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,56	2,52	2,54	2,51	2,51	2,50	2,50
16	2,31	2,51	2,50	2,51	2,51	2,51	2,36	2,50	2,42	2,49	2,49	2,48	2,48
17	2,58	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,50	2,47	2,49	2,45	2,44	2,44	2,44
18	2,52	2,52	2,56	2,54	2,54	2,54	2,52	2,56	2,53	2,51	2,52	2,54	2,53
19	2,52	2,51	2,50	2,51	2,50	2,51	2,58	2,51	2,55	2,50	2,49	2,49	2,49
20	2,48	2,51	2,51	2,51	2,52	2,51	2,45	2,51	2,47	2,50	2,50	2,50	2,49
21	2,58	2,51	2,50	2,50	2,50	2,50	2,51	2,50	2,52	2,49	2,49	2,49	2,48
22	2,62	2,52	2,53	2,53	2,53	2,53	2,59	2,53	2,56	2,52	2,52	2,52	2,52
23	2,57	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,56	2,53	2,54	2,53	2,53	2,52	2,52
24	2,49	2,52	2,51	2,52	2,52	2,52	2,52	2,51	2,52	2,52	2,52	2,51	2,51
25	2,47	2,51	2,50	2,50	2,50	2,50	2,49	2,49	2,50	2,50	2,50	2,49	2,49
26	2,59	2,50	2,51	2,50	2,51	2,50	2,48	2,50	2,49	2,50	2,50	2,50	2,50
27	2,52	2,53	2,53	2,53	2,53	2,53	2,57	2,53	2,56	2,53	2,53	2,53	2,53
28	2,55	2,51	2,50	2,51	2,51	2,51	2,56	2,50	2,53	2,51	2,50	2,50	2,50
29	2,46	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,43	2,52	2,46	2,52	2,52	2,52	2,52
30	2,61	2,50	2,49	2,50	2,50	2,50	2,55	2,49	2,54	2,50	2,49	2,49	2,49
31	2,56	2,53	2,54	2,54	2,54	2,54	2,55	2,54	2,54	2,53	2,54	2,54	2,54

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S4*

Observação	<i>S4</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	2,95	2,80	2,81	2,81	2,80	2,81	2,80	2,81	2,81	2,94	2,94	2,94	2,94
2	2,97	2,84	2,84	2,85	2,83	2,85	2,83	2,85	2,84	2,95	2,95	2,95	2,95
3	2,95	2,84	2,80	2,85	2,80	2,84	2,80	2,81	2,80	2,96	2,96	2,97	2,97
4	2,98	2,84	2,79	2,84	2,80	2,84	2,78	2,76	2,77	2,96	2,95	2,95	2,95
5	2,39	2,84	2,80	2,86	2,80	2,84	2,78	2,75	2,76	2,91	2,91	2,90	2,87
6	2,30	2,69	2,58	2,58	2,64	2,60	2,59	2,57	2,56	2,67	2,59	2,58	2,58
7	2,95	2,66	2,76	2,66	2,80	2,70	2,78	2,73	2,75	2,64	2,69	2,75	2,73
8	2,97	2,84	3,03	2,92	2,92	2,91	2,96	3,04	3,04	2,85	2,92	3,03	3,05
9	2,97	2,84	2,80	2,82	2,77	2,80	2,80	2,89	2,85	2,87	2,82	2,81	2,91
10	2,96	2,84	2,79	2,86	2,83	2,86	2,84	2,81	2,82	2,88	2,89	2,82	2,82
11	2,96	2,84	2,79	2,84	2,78	2,82	2,78	2,76	2,77	2,88	2,86	2,83	2,78
12	2,59	2,84	2,80	2,85	2,81	2,85	2,79	2,75	2,76	2,87	2,88	2,83	2,76
13	2,31	2,74	2,66	2,68	2,69	2,68	2,65	2,63	2,63	2,74	2,68	2,67	2,64
14	2,96	2,67	2,69	2,63	2,75	2,67	2,71	2,67	2,68	2,66	2,66	2,70	2,68
15	2,99	2,84	3,02	2,94	2,94	2,94	2,97	3,00	3,02	2,85	2,95	3,04	3,02
16	2,97	2,85	2,80	2,81	2,75	2,79	2,78	2,88	2,83	2,87	2,81	2,82	2,90
17	2,94	2,84	2,79	2,86	2,84	2,87	2,83	2,79	2,80	2,87	2,89	2,81	2,81
18	2,91	2,83	2,78	2,83	2,77	2,81	2,76	2,75	2,76	2,86	2,84	2,82	2,77
19	2,29	2,82	2,78	2,83	2,81	2,83	2,77	2,73	2,74	2,84	2,85	2,80	2,75
20	2,89	2,66	2,57	2,55	2,62	2,57	2,58	2,57	2,56	2,66	2,58	2,58	2,58
21	2,95	2,82	3,01	2,95	3,00	2,96	2,99	2,94	2,99	2,84	2,98	3,03	2,97
22	2,95	2,84	2,82	2,79	2,71	2,76	2,74	2,87	2,82	2,86	2,78	2,84	2,90
23	2,88	2,84	2,80	2,87	2,87	2,88	2,84	2,80	2,80	2,86	2,90	2,82	2,83
24	2,90	2,82	2,77	2,80	2,74	2,78	2,74	2,74	2,75	2,84	2,80	2,80	2,77
25	2,14	2,82	2,80	2,84	2,84	2,85	2,80	2,76	2,77	2,84	2,86	2,82	2,79
26	2,33	2,62	2,52	2,48	2,56	2,50	2,54	2,54	2,52	2,61	2,49	2,52	2,57
27	2,96	2,67	2,86	2,73	2,90	2,78	2,89	2,84	2,87	2,66	2,77	2,85	2,86
28	2,98	2,84	3,02	2,90	2,87	2,87	2,95	3,08	3,06	2,84	2,87	3,02	3,10
29	2,90	2,84	2,80	2,83	2,81	2,82	2,84	2,92	2,87	2,85	2,83	2,80	2,92
30	2,43	2,82	2,77	2,83	2,79	2,82	2,82	2,80	2,80	2,82	2,82	2,76	2,78
31	2,36	2,70	2,62	2,61	2,67	2,63	2,67	2,65	2,64	2,68	2,62	2,61	2,60
32	2,20	2,68	2,77	2,68	2,80	2,71	2,81	2,77	2,79	2,65	2,69	2,74	2,71
33	2,22	2,64	2,73	2,58	2,70	2,60	2,76	2,82	2,80	2,59	2,56	2,69	2,74
34	2,95	2,64	2,80	2,63	2,81	2,67	2,89	2,93	2,91	2,60	2,63	2,75	2,82
35	2,98	2,84	3,05	2,94	2,95	2,93	3,09	3,18	3,17	2,81	2,89	3,01	3,05
36	2,98	2,84	2,81	2,81	2,77	2,79	2,88	2,97	2,92	2,82	2,77	2,76	2,82
37	2,97	2,84	2,79	2,87	2,84	2,87	2,91	2,85	2,86	2,82	2,85	2,76	2,67
38	2,96	2,84	2,79	2,84	2,78	2,82	2,82	2,78	2,80	2,82	2,80	2,76	2,59
39	2,56	2,84	2,79	2,85	2,81	2,85	2,82	2,75	2,77	2,82	2,83	2,76	2,57
40	2,33	2,73	2,65	2,66	2,68	2,67	2,67	2,63	2,63	2,70	2,64	2,61	2,45
41	2,92	2,67	2,71	2,64	2,76	2,68	2,75	2,69	2,70	2,64	2,65	2,67	2,53
42	2,96	2,83	3,00	2,92	2,92	2,91	2,96	2,99	3,00	2,80	2,89	2,97	2,86
43	2,94	2,84	2,81	2,81	2,77	2,79	2,80	2,88	2,84	2,82	2,77	2,78	2,77
44	2,95	2,83	2,79	2,85	2,83	2,85	2,84	2,80	2,80	2,82	2,83	2,76	2,70
45	2,96	2,84	2,80	2,84	2,79	2,83	2,79	2,77	2,78	2,82	2,81	2,78	2,68
46	2,52	2,84	2,80	2,85	2,81	2,84	2,79	2,75	2,76	2,82	2,83	2,77	2,68
47	2,22	2,72	2,63	2,64	2,67	2,65	2,64	2,62	2,61	2,69	2,63	2,60	2,56
48	2,93	2,64	2,68	2,60	2,74	2,64	2,71	2,67	2,68	2,61	2,61	2,65	2,62
49	2,98	2,83	3,05	2,94	2,96	2,94	3,00	3,04	3,05	2,81	2,92	3,01	3,01
50	2,97	2,85	2,81	2,81	2,76	2,79	2,79	2,91	2,86	2,83	2,77	2,79	2,88
51	2,96	2,84	2,79	2,86	2,85	2,87	2,85	2,81	2,82	2,83	2,85	2,76	2,78
52	2,95	2,84	2,79	2,84	2,77	2,82	2,78	2,77	2,78	2,83	2,81	2,77	2,74
53	1,63	2,84	2,79	2,85	2,82	2,84	2,79	2,74	2,76	2,81	2,82	2,76	2,72
54	2,65	2,48	2,32	2,24	2,42	2,29	2,38	2,37	2,33	2,44	2,26	2,27	2,33
55	2,99	2,76	3,16	2,98	3,15	3,03	3,17	3,08	3,17	2,73	3,00	3,12	3,05
56	3,00	2,85	2,91	2,80	2,69	2,74	2,81	3,06	2,98	2,82	2,71	2,88	3,04
57	3,03	2,85	2,80	2,89	2,92	2,91	2,93	2,90	2,88	2,83	2,89	2,77	2,85
58	3,04	2,86	2,81	2,86	2,75	2,82	2,80	2,82	2,82	2,84	2,80	2,78	2,76
59	2,98	2,86	2,80	2,88	2,85	2,88	2,82	2,76	2,78	2,85	2,86	2,78	2,70
60	2,62	2,85	2,77	2,84	2,76	2,82	2,75	2,71	2,73	2,83	2,81	2,75	2,66
61	2,37	2,75	2,66	2,69	2,72	2,71	2,67	2,61	2,62	2,73	2,69	2,64	2,57
62	3,01	2,68	2,70	2,65	2,73	2,67	2,70	2,66	2,68	2,66	2,65	2,67	2,63
63	2,99	2,85	3,02	2,96	2,96	2,95	2,96	2,98	3,00	2,84	2,94	3,00	2,98

Continua na próxima página.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S4* (continuação).

Observação	<i>S4</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
64	3,00	2,85	2,79	2,81	2,73	2,78	2,75	2,84	2,80	2,83	2,77	2,77	2,85
65	3,00	2,85	2,80	2,88	2,86	2,89	2,83	2,79	2,80	2,84	2,88	2,78	2,80
66	3,02	2,85	2,80	2,85	2,77	2,83	2,75	2,75	2,76	2,84	2,82	2,78	2,77
67	2,73	2,86	2,80	2,87	2,83	2,87	2,78	2,73	2,75	2,85	2,86	2,79	2,77
68	2,35	2,78	2,69	2,73	2,70	2,73	2,65	2,64	2,63	2,77	2,71	2,67	2,68
69	3,01	2,68	2,66	2,62	2,72	2,65	2,66	2,62	2,62	2,66	2,64	2,64	2,67
70	3,00	2,85	3,03	2,97	2,96	2,96	2,96	2,97	3,00	2,84	2,95	3,01	3,04
71	3,03	2,85	2,79	2,81	2,74	2,78	2,74	2,84	2,79	2,85	2,78	2,78	2,92
72	3,02	2,86	2,80	2,89	2,86	2,89	2,83	2,78	2,79	2,85	2,89	2,80	2,86
73	2,98	2,85	2,79	2,85	2,77	2,83	2,74	2,74	2,75	2,85	2,82	2,79	2,82
74	2,38	2,84	2,78	2,85	2,81	2,85	2,75	2,71	2,72	2,84	2,85	2,78	2,80
75	2,25	2,68	2,58	2,58	2,62	2,59	2,56	2,55	2,54	2,67	2,58	2,57	2,63
76	2,98	2,65	2,75	2,65	2,80	2,69	2,75	2,71	2,73	2,63	2,68	2,73	2,79
77	2,97	2,84	3,05	2,95	2,93	2,93	2,97	3,06	3,06	2,84	2,92	3,04	3,15
78	2,98	2,84	2,79	2,81	2,76	2,79	2,78	2,89	2,84	2,84	2,78	2,78	2,97
79	2,99	2,84	2,80	2,87	2,85	2,87	2,84	2,81	2,82	2,84	2,87	2,79	2,87
80	2,97	2,85	2,80	2,85	2,78	2,83	2,77	2,77	2,78	2,85	2,83	2,79	2,82
81	2,52	2,84	2,79	2,85	2,81	2,85	2,78	2,73	2,75	2,84	2,84	2,78	2,78
82	2,21	2,72	2,63	2,65	2,67	2,66	2,63	2,61	2,60	2,71	2,65	2,62	2,65
83	3,01	2,64	2,68	2,60	2,74	2,64	2,70	2,66	2,67	2,63	2,63	2,67	2,70
84	2,99	2,85	3,08	2,98	2,98	2,97	3,02	3,06	3,08	2,85	2,97	3,07	3,10
85	2,99	2,85	2,79	2,80	2,73	2,77	2,76	2,88	2,82	2,84	2,77	2,78	2,92
86	2,94	2,85	2,80	2,88	2,86	2,89	2,85	2,80	2,81	2,85	2,88	2,79	2,83
87	2,94	2,83	2,78	2,82	2,75	2,80	2,75	2,74	2,75	2,83	2,80	2,77	2,76
88	2,55	2,83	2,80	2,85	2,83	2,85	2,79	2,74	2,76	2,83	2,85	2,79	2,76
89	2,43	2,73	2,65	2,66	2,67	2,66	2,64	2,63	2,62	2,72	2,65	2,65	2,65
90	2,97	2,70	2,75	2,69	2,80	2,73	2,76	2,72	2,74	2,69	2,72	2,74	2,75
91	2,97	2,84	2,99	2,92	2,90	2,91	2,93	2,97	2,98	2,84	2,90	2,98	3,01
92	2,95	2,84	2,79	2,82	2,77	2,80	2,78	2,85	2,81	2,84	2,80	2,79	2,89
93	2,45	2,84	2,79	2,86	2,83	2,85	2,81	2,78	2,79	2,83	2,85	2,78	2,81
94	2,95	2,70	2,61	2,61	2,65	2,62	2,62	2,62	2,61	2,70	2,61	2,61	2,63
95	3,01	2,84	2,97	2,95	2,97	2,96	2,96	2,90	2,95	2,83	2,96	2,97	2,93
96	2,31	2,85	2,82	2,82	2,73	2,79	2,75	2,84	2,81	2,85	2,78	2,81	2,87
97	2,97	2,67	2,54	2,56	2,67	2,60	2,62	2,58	2,56	2,66	2,60	2,54	2,59
98	3,03	2,84	3,03	2,98	2,98	2,98	3,00	2,96	3,01	2,84	2,97	3,02	2,97
99	3,03	2,86	2,82	2,82	2,73	2,78	2,75	2,86	2,82	2,86	2,78	2,82	2,88
100	2,98	2,86	2,80	2,89	2,86	2,90	2,84	2,78	2,79	2,86	2,90	2,80	2,80
101	2,96	2,84	2,78	2,83	2,75	2,81	2,73	2,72	2,73	2,85	2,81	2,78	2,75
102	2,57	2,84	2,79	2,85	2,82	2,85	2,77	2,72	2,73	2,84	2,85	2,79	2,75
103	2,35	2,74	2,65	2,67	2,67	2,67	2,63	2,61	2,61	2,73	2,67	2,65	2,66
104	2,96	2,68	2,71	2,65	2,76	2,68	2,72	2,68	2,69	2,67	2,68	2,71	2,73
105	2,91	2,84	3,01	2,94	2,93	2,92	2,94	2,99	3,00	2,84	2,92	3,01	3,05
106	2,94	2,83	2,78	2,78	2,74	2,77	2,75	2,85	2,80	2,83	2,76	2,78	2,91
107	2,95	2,83	2,81	2,87	2,85	2,87	2,84	2,81	2,82	2,84	2,87	2,81	2,86
108	2,92	2,84	2,80	2,83	2,77	2,81	2,76	2,77	2,78	2,84	2,81	2,80	2,82
109	2,52	2,83	2,78	2,83	2,81	2,83	2,78	2,74	2,75	2,83	2,84	2,79	2,79
110	2,42	2,72	2,65	2,65	2,68	2,66	2,64	2,63	2,63	2,72	2,66	2,65	2,67
111	2,95	2,70	2,76	2,69	2,79	2,72	2,77	2,73	2,75	2,69	2,72	2,75	2,77
112	2,93	2,84	2,98	2,91	2,90	2,90	2,93	2,98	2,99	2,84	2,90	2,98	3,02
113	2,91	2,83	2,79	2,80	2,76	2,79	2,78	2,85	2,81	2,83	2,79	2,79	2,89
114	2,91	2,83	2,79	2,84	2,83	2,85	2,82	2,79	2,80	2,83	2,85	2,79	2,82
115	2,91	2,83	2,79	2,83	2,78	2,81	2,77	2,77	2,78	2,83	2,82	2,80	2,79
116	2,46	2,82	2,79	2,83	2,81	2,83	2,78	2,75	2,76	2,83	2,83	2,79	2,78
117	2,12	2,71	2,63	2,63	2,67	2,64	2,64	2,63	2,62	2,70	2,64	2,63	2,65
118	3,02	2,61	2,67	2,56	2,73	2,61	2,71	2,68	2,68	2,60	2,60	2,66	2,68
119	2,93	2,86	3,12	3,00	3,01	2,99	3,06	3,11	3,13	2,85	2,99	3,11	3,13
120	2,97	2,83	2,76	2,76	2,70	2,73	2,75	2,89	2,82	2,83	2,73	2,76	2,89
121	2,88	2,84	2,81	2,89	2,89	2,90	2,89	2,83	2,85	2,84	2,90	2,81	2,82
122	2,86	2,82	2,76	2,79	2,73	2,77	2,74	2,75	2,75	2,82	2,77	2,76	2,73
123	2,35	2,81	2,79	2,83	2,83	2,84	2,81	2,75	2,76	2,81	2,83	2,78	2,72
124	2,20	2,68	2,61	2,58	2,63	2,59	2,62	2,61	2,60	2,67	2,58	2,60	2,58
125	2,92	2,64	2,74	2,62	2,79	2,67	2,78	2,74	2,76	2,62	2,66	2,72	2,71
126	3,04	2,83	3,05	2,93	2,93	2,92	3,01	3,08	3,09	2,82	2,91	3,04	3,05

Continua na próxima página.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S4* (continuação).

Observação	<i>S4</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
127	2,91	2,86	2,84	2,84	2,79	2,82	2,85	2,95	2,90	2,86	2,82	2,83	2,92
128	2,94	2,82	2,75	2,82	2,80	2,82	2,82	2,79	2,79	2,82	2,82	2,74	2,74
129	3,04	2,83	2,81	2,85	2,81	2,84	2,81	2,78	2,80	2,83	2,84	2,80	2,72
130	2,37	2,86	2,83	2,88	2,82	2,87	2,82	2,78	2,80	2,86	2,87	2,83	2,73
131	2,22	2,68	2,56	2,56	2,61	2,58	2,58	2,56	2,54	2,67	2,57	2,55	2,50
132	2,63	2,64	2,74	2,64	2,79	2,69	2,78	2,71	2,74	2,63	2,68	2,72	2,65
133	2,93	2,75	2,94	2,79	2,84	2,79	2,90	2,97	2,97	2,74	2,79	2,93	2,93
134	2,91	2,83	2,90	2,86	2,86	2,85	2,91	3,00	2,97	2,83	2,84	2,89	2,95
135	2,92	2,83	2,79	2,82	2,79	2,81	2,84	2,87	2,85	2,82	2,80	2,78	2,81
136	2,90	2,83	2,80	2,84	2,82	2,84	2,84	2,81	2,82	2,83	2,83	2,79	2,74
137	2,54	2,82	2,79	2,82	2,78	2,81	2,79	2,77	2,78	2,82	2,81	2,78	2,70
138	2,33	2,73	2,66	2,67	2,71	2,68	2,69	2,66	2,66	2,72	2,67	2,65	2,58
139	2,98	2,67	2,71	2,64	2,75	2,67	2,75	2,71	2,73	2,66	2,66	2,70	2,63
140	3,00	2,84	3,03	2,95	2,95	2,94	2,99	3,02	3,04	2,84	2,94	3,02	2,96
141	2,97	2,85	2,80	2,82	2,75	2,79	2,79	2,88	2,84	2,85	2,79	2,80	2,82
142	2,99	2,84	2,78	2,86	2,84	2,86	2,84	2,79	2,80	2,84	2,86	2,78	2,73
143	2,91	2,85	2,80	2,85	2,78	2,83	2,78	2,76	2,78	2,84	2,83	2,80	2,71
144	2,42	2,83	2,77	2,82	2,79	2,82	2,76	2,72	2,73	2,82	2,81	2,76	2,67
145	2,15	2,70	2,62	2,61	2,66	2,63	2,63	2,60	2,59	2,69	2,62	2,61	2,56
146	2,36	2,62	2,69	2,58	2,74	2,63	2,72	2,69	2,70	2,61	2,62	2,68	2,65
147	2,93	2,68	2,87	2,70	2,81	2,72	2,86	2,92	2,91	2,67	2,70	2,85	2,89
148	2,99	2,83	3,00	2,90	2,92	2,89	3,00	3,10	3,08	2,82	2,89	2,98	3,07
149	2,97	2,85	2,81	2,83	2,78	2,81	2,86	2,94	2,90	2,84	2,81	2,80	2,89
150	3,00	2,84	2,79	2,86	2,83	2,85	2,86	2,83	2,84	2,84	2,85	2,78	2,75
151	2,45	2,85	2,81	2,86	2,80	2,84	2,82	2,78	2,80	2,84	2,84	2,80	2,70
152	2,19	2,70	2,60	2,61	2,66	2,63	2,64	2,60	2,59	2,69	2,61	2,58	2,50
153	3,02	2,63	2,70	2,61	2,75	2,65	2,75	2,69	2,71	2,62	2,63	2,68	2,59
154	3,03	2,85	3,09	2,98	2,98	2,97	3,04	3,08	3,10	2,85	2,96	3,07	3,00
155	2,97	2,86	2,80	2,82	2,74	2,79	2,79	2,90	2,84	2,85	2,78	2,79	2,83
156	2,94	2,84	2,78	2,87	2,85	2,87	2,85	2,79	2,80	2,84	2,86	2,77	2,71
157	3,01	2,83	2,78	2,83	2,76	2,81	2,77	2,75	2,76	2,83	2,80	2,77	2,67
158	2,52	2,85	2,82	2,88	2,84	2,87	2,81	2,76	2,78	2,85	2,87	2,81	2,70
159	2,49	2,72	2,62	2,63	2,64	2,64	2,61	2,60	2,58	2,71	2,63	2,61	2,55
160	2,99	2,71	2,78	2,73	2,83	2,76	2,79	2,73	2,76	2,70	2,75	2,77	2,70
161	3,06	2,85	2,97	2,91	2,88	2,89	2,90	2,96	2,96	2,84	2,89	2,96	2,95
162	2,45	2,87	2,82	2,86	2,81	2,84	2,81	2,86	2,83	2,86	2,84	2,81	2,86
163	2,98	2,70	2,58	2,61	2,65	2,63	2,63	2,61	2,59	2,69	2,62	2,57	2,60
164	2,97	2,84	2,98	2,96	2,97	2,96	2,96	2,91	2,96	2,84	2,96	2,97	2,91
165	2,50	2,84	2,79	2,80	2,72	2,77	2,73	2,81	2,78	2,84	2,76	2,78	2,82
166	2,30	2,72	2,63	2,66	2,73	2,69	2,69	2,64	2,64	2,71	2,68	2,61	2,64
167	2,99	2,66	2,72	2,63	2,73	2,65	2,73	2,71	2,73	2,65	2,64	2,70	2,71
168	3,01	2,85	3,04	2,96	2,97	2,96	3,00	3,04	3,05	2,84	2,95	3,03	3,04
169	2,50	2,85	2,80	2,82	2,74	2,79	2,78	2,88	2,84	2,84	2,78	2,79	2,88
170	2,99	2,72	2,61	2,65	2,72	2,68	2,70	2,66	2,65	2,70	2,67	2,60	2,63
171	2,98	2,85	2,97	2,95	2,93	2,94	2,95	2,92	2,96	2,84	2,94	2,96	2,89
172	2,57	2,84	2,79	2,81	2,74	2,78	2,75	2,81	2,78	2,84	2,78	2,78	2,79
173	2,32	2,73	2,65	2,68	2,73	2,71	2,71	2,65	2,65	2,72	2,70	2,63	2,62
174	2,98	2,67	2,70	2,63	2,72	2,65	2,72	2,70	2,71	2,65	2,64	2,69	2,66
175	2,97	2,84	3,03	2,95	2,97	2,95	3,00	3,01	3,04	2,84	2,94	3,02	2,99
176	3,01	2,84	2,79	2,80	2,73	2,78	2,77	2,87	2,82	2,84	2,77	2,78	2,84
177	2,98	2,85	2,81	2,89	2,87	2,89	2,86	2,81	2,82	2,85	2,88	2,80	2,77
178	3,05	2,84	2,79	2,84	2,76	2,81	2,76	2,75	2,76	2,84	2,81	2,78	2,72
179	3,06	2,86	2,82	2,89	2,85	2,89	2,81	2,75	2,77	2,86	2,88	2,81	2,74
180	3,06	2,87	2,80	2,87	2,78	2,85	2,75	2,72	2,74	2,86	2,85	2,80	2,73
181	3,14	2,87	2,79	2,88	2,82	2,87	2,75	2,70	2,72	2,86	2,87	2,79	2,73
182	3,03	2,89	2,82	2,91	2,82	2,89	2,75	2,71	2,73	2,89	2,89	2,82	2,78
183	2,99	2,86	2,76	2,85	2,77	2,83	2,68	2,65	2,66	2,86	2,83	2,76	2,75
184	2,98	2,85	2,78	2,86	2,80	2,85	2,71	2,66	2,68	2,85	2,85	2,78	2,79

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série S5

Observação	S5	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	2,25	2,14	2,14	2,13	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,25	2,25	2,25	2,25
2	2,27	2,19	2,19	2,18	2,19	2,20	2,19	2,19	2,19	2,25	2,25	2,25	2,26
3	2,26	2,21	2,19	2,17	2,19	2,19	2,18	2,19	2,19	2,28	2,28	2,27	2,27
4	2,22	2,20	2,17	2,17	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,26	2,26	2,25	2,25
5	2,09	2,17	2,15	2,14	2,16	2,16	2,15	2,16	2,15	2,22	2,22	2,21	2,21
6	1,98	2,10	2,07	2,08	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,08	2,08	2,12	2,12
7	2,15	2,04	2,02	2,05	2,03	2,03	2,04	2,03	2,03	1,98	1,98	2,08	2,08
8	2,27	2,13	2,17	2,17	2,18	2,18	2,19	2,18	2,18	2,17	2,17	2,23	2,24
9	2,27	2,20	2,21	2,17	2,20	2,20	2,19	2,20	2,20	2,27	2,27	2,25	2,27
10	2,27	2,20	2,18	2,17	2,18	2,19	2,17	2,19	2,19	2,27	2,27	2,21	2,20
11	2,26	2,20	2,18	2,17	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,27	2,27	2,22	2,17
12	2,11	2,19	2,17	2,16	2,18	2,18	2,16	2,18	2,18	2,25	2,25	2,22	2,17
13	2,01	2,11	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,09	2,09	2,11	2,10
14	2,15	2,05	2,04	2,07	2,05	2,05	2,06	2,05	2,05	2,01	2,01	2,09	2,11
15	2,26	2,13	2,17	2,16	2,18	2,17	2,18	2,17	2,17	2,17	2,17	2,22	2,26
16	2,24	2,19	2,20	2,17	2,19	2,19	2,18	2,19	2,19	2,26	2,26	2,24	2,29
17	2,24	2,19	2,16	2,15	2,16	2,17	2,16	2,17	2,17	2,24	2,24	2,19	2,21
18	2,24	2,19	2,17	2,17	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,25	2,25	2,21	2,18
19	2,13	2,19	2,17	2,16	2,17	2,18	2,16	2,17	2,17	2,24	2,24	2,21	2,17
20	1,98	2,12	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,11	2,11	2,13	2,11
21	2,04	2,04	2,01	2,04	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	1,97	1,97	2,06	2,06
22	2,19	2,07	2,10	2,11	2,11	2,10	2,12	2,10	2,10	2,06	2,06	2,15	2,16
23	2,23	2,16	2,19	2,16	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,20	2,20	2,23	2,25
24	2,21	2,18	2,18	2,16	2,17	2,17	2,16	2,17	2,17	2,23	2,23	2,20	2,21
25	2,22	2,17	2,15	2,15	2,15	2,16	2,16	2,16	2,16	2,21	2,21	2,17	2,14
26	2,09	2,18	2,16	2,16	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,23	2,23	2,19	2,13
27	1,95	2,10	2,07	2,07	2,06	2,07	2,06	2,06	2,06	2,07	2,07	2,09	2,06
28	2,09	2,02	2,00	2,04	2,01	2,01	2,02	2,01	2,01	1,95	1,95	2,04	2,02
29	2,24	2,10	2,14	2,14	2,15	2,14	2,16	2,15	2,15	2,11	2,11	2,18	2,18
30	2,21	2,18	2,21	2,17	2,19	2,19	2,18	2,20	2,20	2,24	2,24	2,23	2,27
31	2,24	2,17	2,15	2,13	2,14	2,15	2,13	2,14	2,14	2,20	2,20	2,15	2,18
32	2,21	2,18	2,17	2,17	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,24	2,24	2,19	2,16
33	2,05	2,17	2,15	2,13	2,15	2,15	2,13	2,15	2,15	2,20	2,20	2,17	2,14
34	1,90	2,08	2,04	2,06	2,04	2,05	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,06	2,05
35	2,09	1,99	1,97	2,01	1,98	1,98	1,99	1,98	1,98	1,89	1,89	2,01	2,01
36	2,21	2,10	2,15	2,16	2,17	2,16	2,17	2,16	2,16	2,12	2,12	2,19	2,20
37	2,19	2,17	2,19	2,14	2,17	2,17	2,16	2,17	2,17	2,21	2,21	2,20	2,24
38	2,18	2,16	2,14	2,14	2,14	2,15	2,13	2,14	2,14	2,19	2,19	2,14	2,14
39	2,26	2,15	2,14	2,14	2,15	2,15	2,16	2,15	2,15	2,18	2,18	2,15	2,10
40	2,05	2,19	2,19	2,18	2,20	2,20	2,19	2,20	2,20	2,27	2,27	2,21	2,16
41	1,92	2,08	2,03	2,03	2,01	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,04	2,03
42	2,09	2,00	1,99	2,04	2,01	2,01	2,01	2,00	2,00	1,92	1,92	2,01	2,01
43	2,22	2,10	2,15	2,14	2,16	2,15	2,18	2,15	2,15	2,12	2,12	2,18	2,20
44	2,16	2,18	2,20	2,16	2,18	2,18	2,16	2,18	2,18	2,23	2,23	2,20	2,26
45	2,19	2,14	2,12	2,11	2,11	2,12	2,12	2,12	2,12	2,15	2,15	2,11	2,14
46	2,19	2,16	2,15	2,16	2,17	2,17	2,17	2,16	2,16	2,20	2,20	2,16	2,13
47	2,06	2,16	2,15	2,13	2,14	2,15	2,14	2,14	2,14	2,18	2,18	2,16	2,12
48	1,91	2,08	2,05	2,07	2,05	2,06	2,05	2,05	2,05	2,05	2,05	2,07	2,05
49	2,06	1,99	1,97	2,01	1,98	1,98	1,99	1,98	1,98	1,90	1,90	1,99	1,99
50	2,21	2,08	2,13	2,14	2,15	2,14	2,15	2,14	2,14	2,10	2,10	2,16	2,16
51	2,18	2,17	2,19	2,15	2,17	2,17	2,17	2,17	2,18	2,21	2,21	2,20	2,23
52	2,18	2,15	2,13	2,13	2,13	2,14	2,12	2,13	2,13	2,18	2,18	2,13	2,14
53	2,11	2,15	2,14	2,14	2,16	2,16	2,17	2,15	2,15	2,19	2,19	2,14	2,11
54	1,98	2,11	2,09	2,09	2,09	2,09	2,07	2,09	2,09	2,10	2,10	2,09	2,06
55	1,96	2,04	2,02	2,04	2,02	2,02	2,03	2,02	2,02	1,97	1,97	2,02	2,00
56	2,03	2,02	2,03	2,06	2,04	2,04	2,05	2,04	2,04	1,96	1,96	2,05	2,05
57	2,25	2,07	2,10	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,04	2,04	2,10	2,12
58	2,27	2,19	2,23	2,21	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,27	2,27	2,23	2,24
59	2,15	2,20	2,19	2,15	2,17	2,18	2,16	2,18	2,18	2,26	2,26	2,17	2,17
60	2,24	2,13	2,09	2,11	2,10	2,11	2,10	2,10	2,10	2,14	2,14	2,08	2,05
61	2,17	2,19	2,19	2,19	2,22	2,21	2,23	2,21	2,21	2,26	2,26	2,21	2,16
62	2,04	2,14	2,11	2,09	2,10	2,10	2,08	2,10	2,10	2,14	2,14	2,12	2,14
63	2,11	2,07	2,04	2,07	2,05	2,06	2,06	2,05	2,05	2,03	2,03	2,06	2,10

Continua na próxima página.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S5* (continuação).

Observação	<i>S5</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
64	2,16	2,11	2,13	2,13	2,14	2,13	2,15	2,14	2,14	2,12	2,12	2,15	2,21
65	2,12	2,14	2,15	2,13	2,14	2,14	2,12	2,14	2,14	2,16	2,16	2,16	2,24
66	2,23	2,12	2,10	2,11	2,10	2,11	2,11	2,11	2,11	2,12	2,12	2,11	2,16
67	2,17	2,18	2,20	2,19	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21	2,25	2,25	2,21	2,20
68	2,12	2,15	2,12	2,10	2,11	2,11	2,10	2,11	2,11	2,15	2,15	2,13	2,11
69	1,86	2,11	2,10	2,12	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,12	2,12	2,11	2,07
70	2,03	1,97	1,92	1,94	1,91	1,91	1,92	1,91	1,91	1,82	1,82	1,94	1,92
71	2,18	2,06	2,12	2,16	2,15	2,14	2,15	2,14	2,14	2,08	2,08	2,15	2,12
72	2,14	2,15	2,18	2,12	2,16	2,15	2,16	2,15	2,16	2,17	2,17	2,19	2,21
73	2,13	2,13	2,11	2,12	2,11	2,12	2,08	2,11	2,11	2,14	2,14	2,10	2,11
74	2,11	2,12	2,12	2,12	2,13	2,12	2,16	2,13	2,12	2,13	2,13	2,11	2,08
75	1,98	2,11	2,10	2,10	2,10	2,10	2,07	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,06
76	1,81	2,03	2,01	2,03	2,01	2,01	2,03	2,01	2,01	1,96	1,96	2,01	1,99
77	2,01	1,94	1,92	1,97	1,93	1,92	1,93	1,92	1,92	1,79	1,79	1,93	1,92
78	2,23	2,05	2,12	2,14	2,14	2,13	2,15	2,13	2,13	2,05	2,05	2,13	2,12
79	2,16	2,18	2,23	2,17	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,24	2,24	2,20	2,22
80	2,16	2,14	2,12	2,11	2,10	2,11	2,08	2,11	2,11	2,15	2,15	2,08	2,07
81	2,18	2,14	2,13	2,14	2,15	2,15	2,17	2,15	2,14	2,17	2,17	2,11	2,04
82	1,97	2,15	2,15	2,14	2,15	2,15	2,13	2,15	2,15	2,18	2,18	2,14	2,09
83	1,89	2,03	1,98	2,00	1,97	1,98	1,98	1,98	1,98	1,94	1,94	1,97	1,97
84	1,89	1,98	1,99	2,04	2,00	2,00	2,02	2,00	2,00	1,89	1,89	1,99	2,01
85	1,87	1,98	2,01	2,01	2,00	1,99	2,00	2,00	2,00	1,88	1,88	2,00	2,06
86	1,88	1,97	2,00	2,02	1,98	1,98	1,99	1,99	1,99	1,87	1,87	1,97	2,03
87	1,86	1,98	2,01	2,02	2,00	1,99	2,01	2,00	2,00	1,88	1,88	1,97	1,97
88	1,89	1,97	2,00	2,01	1,98	1,98	1,98	1,98	1,98	1,86	1,86	1,95	1,88
89	1,83	1,98	2,02	2,03	2,01	2,00	2,02	2,01	2,01	1,89	1,89	1,96	1,84
90	1,73	1,95	1,97	1,98	1,95	1,95	1,96	1,95	1,95	1,82	1,82	1,90	1,76
91	1,76	1,89	1,91	1,95	1,90	1,90	1,91	1,90	1,90	1,72	1,72	1,83	1,70
92	1,75	1,91	1,96	1,99	1,95	1,94	1,97	1,95	1,95	1,76	1,76	1,87	1,77
93	1,95	1,90	1,94	1,96	1,92	1,91	1,92	1,92	1,92	1,74	1,74	1,84	1,79
94	2,05	2,02	2,09	2,10	2,09	2,08	2,11	2,09	2,09	1,98	1,98	1,99	1,94
95	2,06	2,08	2,11	2,08	2,09	2,08	2,08	2,09	2,09	2,05	2,05	1,99	1,96
96	2,02	2,08	2,09	2,10	2,08	2,08	2,07	2,08	2,08	2,06	2,06	1,96	1,93
97	1,89	2,06	2,06	2,06	2,05	2,05	2,07	2,05	2,05	2,01	2,01	1,94	1,92
98	2,02	1,99	1,98	2,00	1,97	1,97	1,96	1,97	1,97	1,88	1,88	1,87	1,88
99	2,30	2,06	2,11	2,12	2,12	2,11	2,14	2,11	2,11	2,05	2,05	2,02	2,05
100	2,38	2,22	2,28	2,22	2,26	2,26	2,25	2,26	2,26	2,32	2,32	2,18	2,27
101	2,32	2,26	2,25	2,21	2,23	2,24	2,22	2,24	2,24	2,37	2,37	2,15	2,26
102	2,22	2,23	2,18	2,18	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,31	2,31	2,11	2,19
103	2,08	2,17	2,13	2,14	2,14	2,15	2,13	2,15	2,14	2,21	2,21	2,09	2,16
104	1,93	2,09	2,06	2,08	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,04	2,14
105	2,08	2,01	1,99	2,02	1,99	1,99	2,00	1,99	1,99	1,92	1,92	1,98	2,11
106	2,20	2,09	2,14	2,15	2,15	2,15	2,16	2,15	2,15	2,11	2,11	2,14	2,26
107	2,16	2,16	2,19	2,14	2,17	2,17	2,16	2,17	2,17	2,20	2,20	2,17	2,28
108	2,17	2,14	2,12	2,12	2,12	2,13	2,11	2,12	2,12	2,16	2,16	2,10	2,14
109	2,18	2,15	2,14	2,14	2,15	2,15	2,16	2,15	2,15	2,17	2,17	2,13	2,08
110	2,02	2,15	2,14	2,13	2,14	2,14	2,13	2,14	2,14	2,17	2,17	2,14	2,07
111	1,89	2,06	2,03	2,04	2,02	2,03	2,03	2,02	2,02	2,00	2,00	2,02	1,98
112	2,04	1,98	1,97	2,01	1,98	1,98	1,99	1,98	1,98	1,88	1,88	1,98	1,96
113	2,20	2,07	2,12	2,13	2,13	2,12	2,14	2,13	2,13	2,07	2,07	2,13	2,14
114	2,18	2,16	2,19	2,15	2,18	2,17	2,17	2,18	2,18	2,20	2,20	2,18	2,23
115	2,20	2,15	2,14	2,13	2,13	2,13	2,12	2,13	2,13	2,18	2,18	2,11	2,14
116	2,19	2,16	2,16	2,16	2,17	2,17	2,18	2,17	2,17	2,21	2,21	2,15	2,12
117	2,05	2,16	2,14	2,13	2,14	2,14	2,13	2,14	2,14	2,19	2,19	2,14	2,11
118	1,91	2,07	2,04	2,05	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,03	2,03	2,04	2,03
119	1,90	1,99	1,98	2,02	1,99	1,99	2,00	1,99	1,99	1,90	1,90	1,99	2,00
120	2,10	1,99	2,01	2,04	2,02	2,01	2,02	2,01	2,01	1,91	1,91	2,02	2,05
121	2,24	2,10	2,16	2,15	2,16	2,15	2,16	2,15	2,15	2,12	2,12	2,16	2,19
122	2,21	2,18	2,21	2,17	2,19	2,19	2,18	2,19	2,19	2,24	2,24	2,18	2,20
123	2,19	2,17	2,14	2,14	2,14	2,15	2,13	2,14	2,14	2,20	2,20	2,12	2,08
124	2,09	2,16	2,14	2,15	2,16	2,16	2,16	2,15	2,15	2,20	2,20	2,13	2,05
125	1,95	2,10	2,07	2,08	2,07	2,07	2,06	2,07	2,07	2,08	2,08	2,07	2,02
126	2,07	2,02	2,00	2,03	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	1,94	1,94	2,00	2,00

Continua na próxima página.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S5* (continuação).

Observação	<i>S5</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
127	2,08	2,09	2,13	2,13	2,14	2,13	2,15	2,13	2,13	2,10	2,10	2,14	2,17
128	2,09	2,09	2,10	2,07	2,08	2,08	2,07	2,08	2,08	2,07	2,07	2,09	2,17
129	2,18	2,10	2,10	2,12	2,11	2,11	2,11	2,11	2,11	2,10	2,10	2,09	2,14
130	2,03	2,15	2,17	2,15	2,17	2,17	2,18	2,17	2,17	2,19	2,19	2,16	2,17
131	1,51	2,06	2,03	2,03	2,01	2,02	1,99	2,01	2,01	2,00	2,00	2,01	2,00
132	2,24	1,76	1,69	1,78	1,68	1,69	1,71	1,69	1,69	1,45	1,45	1,67	1,64
133	2,23	2,19	2,38	2,40	2,44	2,41	2,48	2,43	2,43	2,38	2,38	2,40	2,28
134	2,21	2,18	2,16	2,00	2,05	2,06	2,01	2,06	2,06	2,14	2,14	2,10	2,14
135	2,19	2,17	2,15	2,24	2,19	2,21	2,18	2,20	2,20	2,26	2,26	2,10	2,05
136	2,04	2,16	2,14	2,08	2,14	2,12	2,20	2,13	2,13	2,15	2,15	2,11	2,05
137	1,85	2,07	2,03	2,08	2,03	2,05	1,94	2,04	2,04	2,04	2,04	2,01	2,00
138	2,09	1,96	1,94	1,96	1,95	1,94	2,04	1,94	1,94	1,82	1,82	1,93	1,96
139	2,21	2,10	2,17	2,19	2,18	2,18	2,13	2,18	2,18	2,14	2,14	2,17	2,22
140	2,19	2,17	2,19	2,12	2,16	2,15	2,19	2,16	2,16	2,19	2,19	2,16	2,26
141	2,17	2,16	2,14	2,15	2,14	2,15	2,11	2,14	2,14	2,20	2,20	2,11	2,16
142	2,18	2,15	2,13	2,12	2,14	2,14	2,16	2,14	2,14	2,16	2,16	2,11	2,10
143	2,09	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,14	2,15	2,15	2,19	2,19	2,14	2,10
144	1,96	2,10	2,08	2,07	2,07	2,08	2,07	2,08	2,08	2,08	2,08	2,07	2,05
145	2,12	2,02	2,00	2,04	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	1,95	1,95	2,00	2,01
146	2,27	2,12	2,16	2,16	2,18	2,17	2,18	2,17	2,17	2,15	2,15	2,17	2,19
147	2,29	2,20	2,22	2,18	2,21	2,20	2,20	2,21	2,21	2,27	2,27	2,22	2,27
148	2,26	2,22	2,20	2,18	2,20	2,20	2,18	2,20	2,20	2,29	2,29	2,19	2,23
149	2,23	2,20	2,17	2,16	2,18	2,18	2,18	2,17	2,17	2,25	2,25	2,17	2,17
150	2,12	2,18	2,16	2,16	2,17	2,17	2,15	2,17	2,17	2,23	2,23	2,17	2,17
151	1,99	2,12	2,08	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,10	2,10	2,11	2,13
152	2,19	2,04	2,02	2,05	2,03	2,03	2,02	2,03	2,03	1,98	1,98	2,05	2,10
153	2,37	2,16	2,20	2,20	2,22	2,21	2,23	2,22	2,22	2,23	2,23	2,24	2,29
154	2,31	2,26	2,27	2,21	2,26	2,26	2,24	2,26	2,26	2,37	2,37	2,29	2,35
155	2,34	2,23	2,19	2,17	2,18	2,20	2,17	2,19	2,19	2,30	2,30	2,20	2,23

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S6*

Observação	<i>S6</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	2,31	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,29	2,31	2,31	2,31	2,31
2	2,33	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,31	2,32	2,32	2,32
3	2,24	2,31	2,31	2,30	2,31	2,31	2,31	2,31	2,30	2,34	2,32	2,32	2,32
4	2,10	2,26	2,23	2,23	2,22	2,23	2,22	2,22	2,21	2,21	2,22	2,21	2,21
5	2,20	2,18	2,15	2,19	2,15	2,16	2,15	2,16	2,18	2,09	2,15	2,15	2,15
6	2,32	2,24	2,28	2,29	2,30	2,29	2,30	2,30	2,32	2,24	2,27	2,29	2,30
7	2,31	2,31	2,34	2,30	2,32	2,31	2,33	2,32	2,33	2,32	2,30	2,32	2,30
8	2,27	2,30	2,29	2,29	2,28	2,29	2,27	2,29	2,24	2,31	2,28	2,25	2,25
9	2,29	2,28	2,26	2,27	2,27	2,27	2,28	2,27	2,29	2,27	2,26	2,24	2,25
10	2,20	2,29	2,29	2,30	2,30	2,30	2,29	2,30	2,30	2,30	2,29	2,28	2,29
11	1,96	2,23	2,21	2,21	2,20	2,20	2,20	2,20	2,18	2,17	2,19	2,20	2,19
12	2,12	2,10	2,06	2,10	2,04	2,06	2,04	2,05	2,07	1,93	2,04	2,05	2,05
13	2,31	2,19	2,26	2,30	2,29	2,28	2,29	2,29	2,33	2,19	2,25	2,28	2,29
14	2,30	2,30	2,35	2,29	2,32	2,30	2,34	2,31	2,35	2,30	2,27	2,32	2,29
15	2,25	2,29	2,29	2,29	2,27	2,28	2,24	2,28	2,19	2,30	2,26	2,22	2,22
16	2,28	2,27	2,25	2,26	2,26	2,26	2,28	2,26	2,31	2,24	2,23	2,20	2,22
17	2,15	2,28	2,29	2,30	2,29	2,29	2,28	2,29	2,31	2,29	2,27	2,25	2,26
18	1,96	2,20	2,18	2,17	2,16	2,16	2,16	2,16	2,11	2,11	2,14	2,14	2,14
19	2,06	2,10	2,08	2,13	2,07	2,08	2,06	2,08	2,12	1,95	2,06	2,06	2,06
20	2,23	2,15	2,21	2,23	2,22	2,21	2,23	2,22	2,28	2,10	2,17	2,21	2,21
21	2,21	2,25	2,31	2,28	2,28	2,28	2,29	2,28	2,27	2,24	2,23	2,26	2,25
22	2,22	2,24	2,24	2,23	2,22	2,22	2,20	2,22	2,20	2,19	2,18	2,16	2,16
23	2,21	2,25	2,26	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,29	2,24	2,23	2,19	2,21
24	2,13	2,24	2,25	2,24	2,24	2,23	2,24	2,24	2,25	2,20	2,19	2,18	2,19
25	1,90	2,19	2,19	2,20	2,17	2,18	2,16	2,18	2,15	2,12	2,14	2,13	2,13
26	2,09	2,06	2,04	2,06	2,01	2,02	2,02	2,02	2,07	1,85	1,98	1,99	1,98
27	2,24	2,17	2,26	2,30	2,28	2,28	2,27	2,29	2,31	2,18	2,22	2,23	2,25
28	2,27	2,26	2,31	2,24	2,27	2,25	2,30	2,26	2,32	2,22	2,19	2,23	2,21
29	2,23	2,28	2,28	2,31	2,27	2,29	2,24	2,28	2,19	2,30	2,24	2,18	2,19
30	2,26	2,25	2,25	2,23	2,25	2,23	2,27	2,24	2,31	2,20	2,18	2,16	2,17
31	2,22	2,27	2,28	2,31	2,29	2,30	2,27	2,29	2,30	2,29	2,25	2,22	2,23
32	2,04	2,25	2,24	2,22	2,23	2,22	2,23	2,23	2,19	2,19	2,18	2,18	2,17
33	2,20	2,14	2,11	2,15	2,09	2,11	2,09	2,10	2,14	2,02	2,07	2,06	2,06
34	2,31	2,24	2,30	2,32	2,33	2,32	2,33	2,33	2,35	2,26	2,27	2,28	2,29
35	2,32	2,30	2,33	2,27	2,29	2,28	2,32	2,29	2,32	2,29	2,23	2,26	2,24
36	2,38	2,31	2,30	2,32	2,30	2,32	2,27	2,31	2,23	2,34	2,28	2,23	2,24
37	2,36	2,34	2,35	2,33	2,37	2,35	2,39	2,35	2,41	2,39	2,31	2,29	2,31
38	2,34	2,33	2,31	2,31	2,30	2,31	2,29	2,31	2,29	2,36	2,28	2,26	2,27
39	2,10	2,32	2,30	2,31	2,32	2,32	2,31	2,32	2,25	2,35	2,30	2,28	2,29
40	2,28	2,18	2,12	2,13	2,10	2,10	2,11	2,10	2,18	2,04	2,09	2,11	2,09
41	2,41	2,28	2,34	2,39	2,38	2,38	2,36	2,39	2,34	2,37	2,36	2,36	2,38
42	2,42	2,36	2,39	2,30	2,36	2,34	2,41	2,34	2,41	2,38	2,31	2,37	2,34
43	2,43	2,37	2,35	2,37	2,35	2,37	2,30	2,36	2,26	2,45	2,36	2,32	2,32
44	2,49	2,37	2,35	2,32	2,37	2,35	2,40	2,35	2,37	2,41	2,34	2,34	2,35
45	2,37	2,40	2,40	2,40	2,41	2,42	2,40	2,41	2,43	2,52	2,42	2,40	2,41
46	2,15	2,33	2,28	2,26	2,28	2,27	2,27	2,27	2,20	2,31	2,28	2,29	2,28
47	2,28	2,20	2,15	2,20	2,15	2,17	2,15	2,16	2,17	2,13	2,19	2,19	2,19
48	2,48	2,28	2,32	2,34	2,36	2,34	2,36	2,35	2,42	2,32	2,35	2,39	2,40
49	2,48	2,40	2,44	2,39	2,43	2,42	2,44	2,42	2,40	2,50	2,42	2,47	2,45
50	2,41	2,40	2,37	2,35	2,37	2,38	2,35	2,37	2,30	2,47	2,39	2,37	2,37
51	2,42	2,36	2,31	2,32	2,33	2,33	2,34	2,33	2,36	2,40	2,35	2,33	2,35
52	2,26	2,36	2,35	2,35	2,37	2,37	2,37	2,37	2,35	2,43	2,39	2,40	2,40
53	2,10	2,27	2,22	2,22	2,21	2,21	2,20	2,21	2,18	2,21	2,24	2,27	2,25
54	2,31	2,17	2,14	2,20	2,15	2,16	2,14	2,16	2,17	2,09	2,19	2,21	2,21
55	2,41	2,30	2,36	2,36	2,39	2,37	2,40	2,38	2,44	2,36	2,38	2,44	2,43
56	2,40	2,36	2,38	2,32	2,35	2,34	2,35	2,34	2,33	2,40	2,35	2,40	2,37
57	2,40	2,35	2,33	2,34	2,34	2,35	2,32	2,34	2,26	2,41	2,37	2,34	2,34
58	2,40	2,35	2,33	2,33	2,35	2,34	2,38	2,34	2,42	2,39	2,36	2,35	2,37
59	2,30	2,35	2,33	2,33	2,34	2,34	2,32	2,34	2,30	2,40	2,37	2,36	2,36
60	2,24	2,30	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,21	2,28	2,29	2,30	2,29
61	2,30	2,26	2,24	2,27	2,25	2,26	2,25	2,25	2,32	2,24	2,28	2,29	2,29
62	2,45	2,29	2,31	2,30	2,32	2,31	2,32	2,31	2,29	2,31	2,33	2,36	2,35
63	2,47	2,38	2,41	2,39	2,42	2,41	2,42	2,41	2,39	2,48	2,43	2,44	2,44

Continua na próxima página.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S6* (continuação).

Observação	<i>S6</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
64	2,49	2,39	2,37	2,34	2,37	2,37	2,37	2,36	2,38	2,45	2,39	2,38	2,38
65	2,48	2,40	2,38	2,39	2,40	2,41	2,40	2,40	2,33	2,50	2,44	2,40	2,42
66	2,33	2,40	2,37	2,35	2,39	2,38	2,40	2,38	2,40	2,47	2,41	2,41	2,41
67	2,24	2,31	2,25	2,27	2,25	2,26	2,24	2,25	2,23	2,30	2,31	2,30	2,30
68	2,35	2,26	2,23	2,26	2,25	2,25	2,25	2,25	2,22	2,24	2,30	2,31	2,31
69	2,43	2,32	2,35	2,35	2,37	2,36	2,38	2,36	2,44	2,38	2,39	2,43	2,43
70	2,41	2,37	2,37	2,34	2,37	2,36	2,36	2,36	2,32	2,43	2,40	2,42	2,40
71	2,42	2,36	2,33	2,33	2,34	2,34	2,33	2,34	2,28	2,40	2,38	2,37	2,37
72	2,42	2,37	2,35	2,35	2,37	2,37	2,38	2,37	2,43	2,43	2,41	2,40	2,41
73	2,35	2,37	2,35	2,34	2,35	2,35	2,35	2,35	2,31	2,42	2,39	2,40	2,40
74	2,19	2,32	2,29	2,29	2,30	2,30	2,29	2,29	2,25	2,34	2,34	2,34	2,34
75	2,29	2,23	2,18	2,20	2,18	2,19	2,18	2,19	2,24	2,16	2,23	2,25	2,24
76	2,37	2,29	2,32	2,35	2,35	2,35	2,34	2,35	2,32	2,34	2,38	2,40	2,41
77	2,32	2,33	2,35	2,30	2,33	2,32	2,35	2,32	2,35	2,35	2,35	2,39	2,37
78	2,33	2,31	2,29	2,30	2,28	2,30	2,26	2,29	2,24	2,33	2,33	2,31	2,31
79	2,26	2,31	2,31	2,30	2,32	2,32	2,34	2,32	2,32	2,33	2,35	2,34	2,35
80	2,27	2,27	2,25	2,25	2,24	2,24	2,23	2,24	2,27	2,24	2,27	2,28	2,27
81	2,17	2,28	2,28	2,30	2,30	2,30	2,29	2,30	2,25	2,29	2,33	2,32	2,33
82	2,21	2,22	2,20	2,19	2,17	2,17	2,19	2,17	2,23	2,13	2,20	2,22	2,21
83	2,36	2,24	2,27	2,30	2,28	2,29	2,25	2,29	2,26	2,25	2,31	2,30	2,31
84	2,27	2,33	2,37	2,33	2,37	2,35	2,40	2,36	2,39	2,37	2,36	2,38	2,37
85	2,28	2,27	2,24	2,24	2,21	2,23	2,20	2,22	2,20	2,24	2,25	2,23	2,22
86	2,31	2,28	2,29	2,31	2,32	2,32	2,31	2,32	2,27	2,31	2,33	2,29	2,32
87	2,12	2,30	2,31	2,28	2,30	2,29	2,32	2,29	2,39	2,30	2,30	2,31	2,30
88	1,95	2,19	2,15	2,17	2,12	2,14	2,09	2,13	2,05	2,08	2,15	2,14	2,13
89	2,07	2,09	2,08	2,13	2,08	2,08	2,09	2,08	2,10	1,94	2,09	2,09	2,10
90	2,41	2,16	2,23	2,24	2,23	2,22	2,23	2,23	2,36	2,11	2,21	2,24	2,24
91	2,35	2,36	2,45	2,41	2,45	2,43	2,45	2,44	2,37	2,47	2,41	2,43	2,42
92	2,34	2,32	2,29	2,24	2,25	2,25	2,26	2,25	2,23	2,30	2,24	2,21	2,20
93	2,31	2,32	2,30	2,35	2,34	2,35	2,31	2,34	2,34	2,38	2,35	2,26	2,30
94	2,30	2,30	2,28	2,25	2,28	2,26	2,31	2,26	2,30	2,27	2,25	2,25	2,25
95	2,11	2,29	2,29	2,32	2,29	2,31	2,26	2,31	2,24	2,33	2,31	2,27	2,29
96	2,28	2,18	2,14	2,13	2,13	2,12	2,15	2,12	2,18	2,05	2,12	2,13	2,12
97	2,45	2,28	2,34	2,39	2,37	2,38	2,36	2,38	2,36	2,38	2,37	2,36	2,38
98	2,40	2,38	2,41	2,33	2,40	2,37	2,42	2,38	2,42	2,42	2,36	2,39	2,37

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S7*

Observação	<i>S7</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	1,65	1,64	1,64	1,63	1,63	1,64	1,64	1,64	1,64	1,65	1,65	1,65	*
2	1,60	1,65	1,64	1,63	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,65	1,65	1,65	
3	1,58	1,60	1,59	1,60	1,59	1,60	1,60	1,59	1,60	1,59	1,59	1,59	
4	1,55	1,59	1,58	1,61	1,59	1,58	1,58	1,57	1,58	1,57	1,57	1,57	
5	1,52	1,56	1,56	1,59	1,58	1,56	1,56	1,55	1,56	1,55	1,55	1,55	
6	1,50	1,54	1,53	1,58	1,55	1,53	1,53	1,52	1,53	1,51	1,51	1,51	
7	1,48	1,52	1,52	1,57	1,55	1,52	1,52	1,51	1,52	1,50	1,50	1,50	
8	1,45	1,50	1,50	1,56	1,53	1,50	1,50	1,49	1,50	1,47	1,47	1,47	
9	1,38	1,47	1,47	1,55	1,51	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,44	1,44	
10	1,54	1,41	1,40	1,51	1,45	1,40	1,40	1,42	1,40	1,36	1,36	1,36	
11	1,54	1,56	1,60	1,65	1,65	1,59	1,58	1,58	1,59	1,57	1,57	1,57	
12	1,55	1,55	1,55	1,54	1,56	1,54	1,57	1,58	1,56	1,54	1,55	1,55	
13	1,57	1,56	1,56	1,63	1,55	1,56	1,55	1,59	1,54	1,55	1,55	1,54	
14	1,71	1,58	1,58	1,58	1,64	1,58	1,58	1,61	1,60	1,57	1,57	1,58	
15	1,71	1,70	1,73	1,72	1,71	1,72	1,73	1,74	1,71	1,73	1,73	1,73	
16	1,74	1,70	1,70	1,62	1,67	1,70	1,71	1,73	1,71	1,72	1,72	1,73	
17	1,75	1,73	1,73	1,71	1,70	1,73	1,72	1,75	1,71	1,75	1,74	1,73	
18	1,78	1,74	1,74	1,66	1,72	1,74	1,74	1,76	1,75	1,76	1,76	1,77	
19	1,75	1,76	1,76	1,71	1,72	1,76	1,76	1,77	1,75	1,78	1,78	1,78	
20	1,74	1,74	1,73	1,65	1,70	1,73	1,73	1,74	1,74	1,75	1,75	1,75	
21	1,72	1,73	1,72	1,69	1,69	1,73	1,72	1,72	1,72	1,74	1,74	1,73	
22	1,71	1,71	1,70	1,65	1,67	1,70	1,70	1,69	1,71	1,71	1,71	1,72	
23	1,74	1,70	1,70	1,67	1,68	1,70	1,70	1,68	1,69	1,71	1,71	1,70	
24	1,73	1,73	1,73	1,67	1,71	1,73	1,73	1,71	1,74	1,74	1,74	1,75	
25	1,72	1,72	1,71	1,67	1,68	1,71	1,72	1,69	1,71	1,73	1,73	1,73	
26	1,73	1,71	1,71	1,67	1,68	1,71	1,70	1,68	1,71	1,72	1,72	1,72	
27	1,67	1,72	1,71	1,67	1,70	1,71	1,71	1,68	1,72	1,73	1,73	1,73	
28	1,59	1,67	1,65	1,63	1,62	1,65	1,65	1,63	1,65	1,66	1,66	1,66	
29	1,58	1,60	1,58	1,60	1,58	1,58	1,58	1,56	1,58	1,57	1,57	1,57	
30	1,50	1,58	1,58	1,61	1,61	1,58	1,58	1,55	1,58	1,57	1,57	1,57	
31	1,44	1,52	1,50	1,55	1,52	1,50	1,51	1,48	1,50	1,48	1,49	1,49	
32	1,39	1,46	1,45	1,55	1,49	1,46	1,45	1,44	1,45	1,43	1,42	1,42	
33	1,42	1,42	1,42	1,51	1,49	1,42	1,42	1,41	1,42	1,38	1,38	1,39	
34	1,52	1,44	1,45	1,55	1,50	1,45	1,45	1,44	1,45	1,42	1,42	1,42	
35	1,56	1,54	1,57	1,60	1,61	1,55	1,56	1,55	1,56	1,54	1,54	1,55	
36	1,58	1,57	1,58	1,59	1,59	1,57	1,58	1,59	1,57	1,57	1,57	1,57	
37	1,61	1,59	1,59	1,62	1,59	1,59	1,59	1,61	1,59	1,59	1,59	1,58	
38	1,65	1,61	1,62	1,62	1,63	1,61	1,61	1,63	1,62	1,61	1,61	1,61	
39	1,67	1,65	1,66	1,65	1,64	1,65	1,65	1,67	1,65	1,66	1,66	1,65	
40	1,68	1,66	1,67	1,64	1,66	1,66	1,67	1,68	1,67	1,67	1,67	1,67	
41	1,70	1,67	1,67	1,65	1,66	1,67	1,67	1,69	1,67	1,68	1,68	1,68	
42	1,72	1,70	1,70	1,66	1,68	1,70	1,70	1,71	1,70	1,71	1,71	1,71	
43	1,72	1,71	1,71	1,67	1,69	1,71	1,71	1,72	1,71	1,73	1,73	1,73	
44	1,68	1,71	1,71	1,67	1,68	1,71	1,71	1,72	1,71	1,73	1,73	1,72	
45	1,68	1,68	1,67	1,64	1,65	1,67	1,67	1,68	1,67	1,68	1,68	1,68	
46	1,71	1,68	1,68	1,66	1,66	1,68	1,67	1,67	1,68	1,68	1,68	1,68	
47	1,68	1,70	1,70	1,66	1,69	1,70	1,70	1,69	1,71	1,71	1,71	1,71	
48	1,73	1,68	1,67	1,64	1,64	1,67	1,67	1,66	1,67	1,68	1,68	1,68	
49	1,66	1,71	1,72	1,69	1,71	1,72	1,72	1,70	1,72	1,73	1,73	1,73	
50	1,65	1,66	1,64	1,61	1,62	1,64	1,65	1,64	1,65	1,65	1,65	1,65	
51	1,55	1,65	1,64	1,66	1,63	1,65	1,64	1,63	1,64	1,64	1,64	1,64	
52	1,52	1,56	1,53	1,55	1,56	1,54	1,54	1,53	1,55	1,52	1,53	1,53	
53	1,47	1,54	1,53	1,61	1,55	1,54	1,53	1,52	1,52	1,51	1,51	1,51	
54	1,43	1,49	1,49	1,53	1,53	1,49	1,49	1,48	1,50	1,46	1,46	1,47	
55	1,38	1,46	1,45	1,56	1,48	1,45	1,45	1,45	1,44	1,42	1,42	1,41	
56	1,46	1,41	1,41	1,50	1,47	1,41	1,41	1,42	1,42	1,37	1,37	1,38	
57	1,40	1,48	1,50	1,59	1,56	1,50	1,49	1,50	1,49	1,47	1,46	1,46	
58	1,47	1,43	1,43	1,49	1,46	1,42	1,44	1,46	1,43	1,40	1,40	1,41	
59	1,59	1,49	1,51	1,61	1,55	1,50	1,49	1,52	1,49	1,47	1,47	1,46	
60	1,63	1,60	1,63	1,62	1,68	1,62	1,63	1,65	1,64	1,62	1,62	1,63	
61	1,63	1,63	1,64	1,64	1,61	1,63	1,65	1,68	1,63	1,65	1,65	1,64	
62	1,61	1,63	1,63	1,62	1,63	1,63	1,63	1,68	1,64	1,64	1,64	1,64	

Continua na próxima página.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S7* (continuação).

Observação	<i>S7</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
64	1,67	1,64	1,64	1,64	1,63	1,64	1,64	1,67	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
65	1,70	1,66	1,67	1,64	1,67	1,67	1,67	1,70	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
66	1,74	1,69	1,70	1,67	1,68	1,70	1,70	1,73	1,70	1,71	1,71	1,71	1,71
67	1,70	1,72	1,73	1,67	1,70	1,73	1,73	1,75	1,73	1,75	1,75	1,75	1,75
68	1,67	1,69	1,68	1,65	1,66	1,69	1,69	1,71	1,68	1,70	1,70	1,70	1,70
69	1,70	1,67	1,66	1,64	1,64	1,66	1,65	1,68	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
70	1,64	1,69	1,69	1,66	1,69	1,69	1,69	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
71	1,67	1,64	1,63	1,61	1,61	1,63	1,64	1,64	1,63	1,63	1,64	1,64	1,64
72	1,77	1,67	1,67	1,67	1,66	1,67	1,66	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
73	1,80	1,76	1,78	1,70	1,77	1,77	1,78	1,76	1,78	1,79	1,79	1,79	1,80
74	1,77	1,78	1,79	1,70	1,72	1,78	1,79	1,78	1,78	1,81	1,82	1,81	1,81
75	1,66	1,75	1,74	1,67	1,69	1,74	1,74	1,73	1,74	1,76	1,76	1,76	1,76
76	1,61	1,66	1,63	1,62	1,62	1,64	1,63	1,63	1,63	1,64	1,64	1,64	1,64
77	1,56	1,61	1,60	1,62	1,60	1,60	1,59	1,58	1,60	1,59	1,59	1,59	1,59
78	1,55	1,57	1,56	1,59	1,59	1,56	1,56	1,55	1,57	1,55	1,55	1,55	1,55
79	1,51	1,56	1,56	1,60	1,58	1,56	1,56	1,54	1,56	1,55	1,55	1,55	1,55
80	1,49	1,53	1,52	1,56	1,54	1,52	1,52	1,51	1,52	1,50	1,50	1,51	1,51
81	1,48	1,51	1,51	1,58	1,54	1,51	1,51	1,50	1,51	1,49	1,49	1,49	1,49
82	1,56	1,50	1,50	1,55	1,54	1,50	1,50	1,49	1,50	1,47	1,47	1,47	1,48
83	1,61	1,57	1,59	1,63	1,62	1,59	1,59	1,58	1,58	1,57	1,57	1,57	1,57
84	1,73	1,61	1,62	1,61	1,63	1,61	1,63	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
85	1,73	1,72	1,75	1,72	1,73	1,74	1,74	1,74	1,74	1,76	1,76	1,75	1,75
86	1,68	1,71	1,71	1,63	1,68	1,71	1,72	1,72	1,72	1,73	1,74	1,74	1,74
87	1,72	1,68	1,66	1,66	1,63	1,67	1,66	1,68	1,65	1,68	1,67	1,66	1,66
88	1,67	1,71	1,72	1,67	1,72	1,72	1,71	1,71	1,73	1,73	1,72	1,73	1,73
89	1,70	1,67	1,65	1,63	1,63	1,66	1,66	1,66	1,65	1,66	1,67	1,66	1,66
90	1,71	1,69	1,70	1,68	1,67	1,70	1,69	1,68	1,69	1,70	1,70	1,70	1,70
91	1,63	1,70	1,70	1,65	1,71	1,70	1,71	1,69	1,71	1,71	1,72	1,72	1,72
92	1,62	1,63	1,61	1,61	1,57	1,62	1,62	1,62	1,61	1,62	1,62	1,62	1,62
93	1,70	1,62	1,62	1,63	1,63	1,62	1,61	1,60	1,62	1,61	1,61	1,61	1,61
94	1,71	1,69	1,71	1,68	1,72	1,71	1,71	1,68	1,71	1,72	1,71	1,72	1,72
95	1,74	1,70	1,70	1,65	1,65	1,69	1,71	1,68	1,70	1,71	1,72	1,71	1,71
96	1,74	1,73	1,73	1,69	1,71	1,73	1,73	1,71	1,73	1,75	1,75	1,74	1,74

* Não foi possível ajustar o modelo ARIMA (2,1,2) para série *S7*, pois a parte AR não é estacionária, conforme teste realizado no R.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S8*

Observação	<i>S8</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
1	2,91	2,86	2,87	2,86	2,86	2,86	2,86	2,87	2,88	2,91	2,91	2,91	2,91
2	2,77	2,88	2,86	2,87	2,88	2,88	2,88	2,86	2,84	2,91	2,89	2,87	2,87
3	2,61	2,81	2,75	2,78	2,77	2,77	2,77	2,75	2,72	2,74	2,75	2,71	2,71
4	2,93	2,73	2,71	2,74	2,70	2,72	2,70	2,72	2,77	2,60	2,70	2,69	2,71
5	2,91	2,89	3,04	2,98	3,01	2,99	3,01	3,00	2,90	3,03	2,99	3,05	3,03
6	2,96	2,88	2,84	2,80	2,82	2,81	2,83	2,89	2,96	2,84	2,81	2,84	2,90
7	2,93	2,90	2,90	2,96	2,93	2,96	2,92	2,89	2,93	3,02	2,97	2,91	2,91
8	2,85	2,89	2,85	2,83	2,88	2,85	2,89	2,84	2,84	2,89	2,86	2,86	2,86
9	2,66	2,85	2,80	2,86	2,82	2,85	2,81	2,78	2,74	2,85	2,84	2,80	2,79
10	2,66	2,76	2,70	2,71	2,71	2,70	2,72	2,71	2,71	2,60	2,69	2,69	2,70
11	2,99	2,76	2,81	2,81	2,77	2,79	2,77	2,81	2,81	2,70	2,78	2,81	2,81
12	3,00	2,92	3,06	2,97	3,02	2,99	3,02	3,04	2,95	3,05	3,00	3,06	3,06
13	3,02	2,92	2,88	2,87	2,89	2,88	2,89	2,93	3,00	2,96	2,89	2,89	2,94
14	2,96	2,93	2,89	2,95	2,95	2,96	2,94	2,88	2,93	3,05	2,98	2,91	2,90
15	2,86	2,90	2,83	2,85	2,88	2,86	2,89	2,80	2,80	2,92	2,88	2,85	2,83
16	2,54	2,85	2,79	2,85	2,82	2,84	2,82	2,75	2,70	2,85	2,84	2,80	2,77
17	2,51	2,70	2,61	2,63	2,60	2,61	2,62	2,62	2,69	2,46	2,60	2,60	2,62
18	2,66	2,69	2,77	2,76	2,70	2,73	2,70	2,76	2,79	2,56	2,71	2,75	2,76
19	3,00	2,76	2,89	2,78	2,79	2,78	2,80	2,94	2,95	2,67	2,76	2,88	2,93
20	3,02	2,92	3,07	3,00	3,01	3,01	3,00	3,11	3,03	3,09	3,01	3,06	3,11
21	3,00	2,93	2,89	2,86	2,91	2,88	2,91	2,96	2,97	2,97	2,89	2,89	2,96
22	2,91	2,92	2,87	2,94	2,93	2,94	2,92	2,87	2,82	3,03	2,95	2,87	2,86
23	2,67	2,88	2,81	2,82	2,85	2,84	2,86	2,78	2,69	2,86	2,83	2,81	2,78
24	2,69	2,76	2,68	2,74	2,69	2,72	2,69	2,67	2,67	2,64	2,71	2,68	2,67
25	3,06	2,77	2,83	2,81	2,80	2,80	2,81	2,80	2,80	2,72	2,80	2,82	2,80
26	3,02	2,95	3,10	3,02	3,06	3,04	3,06	3,06	2,98	3,14	3,04	3,10	3,07
27	3,05	2,93	2,86	2,85	2,87	2,86	2,87	2,89	3,04	2,95	2,87	2,86	2,90
28	3,01	2,95	2,91	2,99	2,98	3,00	2,98	2,87	2,96	3,10	3,01	2,92	2,88
29	2,85	2,93	2,86	2,86	2,91	2,88	2,92	2,80	2,80	2,96	2,89	2,87	2,82
30	2,58	2,85	2,76	2,84	2,80	2,83	2,79	2,71	2,67	2,83	2,83	2,77	2,73
31	2,65	2,72	2,64	2,67	2,65	2,65	2,66	2,63	2,67	2,52	2,65	2,65	2,64
32	3,05	2,75	2,85	2,83	2,79	2,81	2,79	2,82	2,82	2,71	2,81	2,85	2,83
33	3,00	2,95	3,11	3,00	3,06	3,03	3,06	3,09	3,00	3,12	3,04	3,12	3,11
34	3,01	2,92	2,85	2,85	2,86	2,86	2,86	2,91	3,05	2,94	2,87	2,86	2,92
35	3,02	2,93	2,89	2,96	2,96	2,97	2,95	2,86	2,95	3,05	2,98	2,90	2,88
36	2,80	2,93	2,88	2,89	2,94	2,91	2,94	2,83	2,77	2,99	2,92	2,90	2,86
37	2,64	2,82	2,71	2,79	2,75	2,77	2,74	2,69	2,65	2,76	2,78	2,73	2,71
38	2,60	2,75	2,72	2,75	2,73	2,73	2,74	2,69	2,67	2,63	2,73	2,73	2,71
39	3,03	2,73	2,77	2,75	2,72	2,73	2,72	2,77	2,83	2,60	2,73	2,78	2,79
40	3,04	2,93	3,12	3,04	3,07	3,06	3,06	3,09	3,01	3,14	3,07	3,13	3,11
41	2,99	2,94	2,89	2,84	2,90	2,87	2,90	2,94	3,06	2,96	2,88	2,90	2,96
42	3,00	2,91	2,85	2,94	2,91	2,94	2,90	2,84	2,94	3,02	2,95	2,86	2,86
43	2,79	2,92	2,89	2,89	2,95	2,91	2,96	2,84	2,76	2,99	2,92	2,91	2,86
44	2,62	2,82	2,72	2,78	2,74	2,77	2,73	2,70	2,64	2,74	2,77	2,73	2,72
45	2,68	2,74	2,70	2,74	2,71	2,72	2,71	2,68	2,68	2,60	2,72	2,71	2,70
46	2,92	2,77	2,85	2,81	2,80	2,80	2,80	2,83	2,85	2,71	2,80	2,86	2,85
47	3,01	2,88	3,00	2,92	2,95	2,93	2,94	3,00	3,02	2,97	2,94	3,01	3,02
48	2,94	2,93	2,93	2,90	2,93	2,92	2,93	2,96	3,05	3,00	2,93	2,94	2,98
49	2,97	2,89	2,83	2,87	2,87	2,88	2,87	2,84	2,93	2,93	2,89	2,84	2,86
50	2,76	2,91	2,89	2,92	2,93	2,92	2,93	2,85	2,74	2,99	2,93	2,90	2,87
51	2,49	2,80	2,71	2,74	2,73	2,73	2,73	2,71	2,63	2,69	2,73	2,72	2,72
52	2,37	2,67	2,63	2,68	2,61	2,64	2,61	2,64	2,68	2,46	2,64	2,63	2,65
53	2,46	2,62	2,69	2,64	2,59	2,61	2,61	2,73	2,83	2,36	2,60	2,68	2,73
54	2,97	2,66	2,82	2,72	2,68	2,69	2,68	2,90	2,99	2,49	2,69	2,81	2,90
55	2,98	2,91	3,16	3,02	3,06	3,03	3,06	3,22	3,04	3,09	3,04	3,16	3,22
56	2,96	2,91	2,88	2,82	2,85	2,84	2,85	3,01	2,94	2,90	2,84	2,87	3,01
57	2,80	2,90	2,86	2,94	2,91	2,94	2,90	2,90	2,77	3,00	2,94	2,86	2,89
58	2,59	2,83	2,75	2,75	2,78	2,76	2,80	2,77	2,66	2,73	2,75	2,75	2,76
59	2,64	2,72	2,68	2,74	2,66	2,70	2,65	2,69	2,68	2,58	2,69	2,67	2,68
60	3,04	2,75	2,83	2,78	2,78	2,77	2,79	2,83	2,83	2,66	2,77	2,82	2,83
61	3,02	2,94	3,11	3,03	3,06	3,04	3,05	3,10	3,00	3,14	3,04	3,11	3,10
62	2,99	2,93	2,87	2,84	2,88	2,87	2,88	2,93	3,05	2,96	2,87	2,87	2,93
63	2,99	2,92	2,86	2,95	2,93	2,95	2,92	2,85	2,94	3,02	2,95	2,86	2,84

Continua na próxima página.

APÊNDICE A – Ajuste dos modelos ARIMA para a série *S8* (continuação).

Observação	<i>S8</i>	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	ARMA(1,1)	ARMA(1,2)	ARMA(2,1)	ARMA(2,2)	ARIMA(1,1,1)	ARIMA(1,1,2)	ARIMA(2,1,1)	ARIMA(2,1,2)
64	2,77	2,92	2,87	2,87	2,92	2,90	2,93	2,82	2,76	2,96	2,90	2,87	2,83
65	2,59	2,81	2,71	2,78	2,73	2,76	2,73	2,69	2,65	2,73	2,75	2,71	2,69
66	2,62	2,72	2,69	2,72	2,69	2,70	2,70	2,68	2,68	2,57	2,69	2,69	2,67
67	3,01	2,74	2,82	2,78	2,76	2,76	2,76	2,82	2,85	2,64	2,76	2,81	2,82
68	2,98	2,93	3,10	3,00	3,04	3,02	3,03	3,09	3,01	3,10	3,02	3,09	3,09
69	2,99	2,91	2,86	2,83	2,86	2,85	2,87	2,93	3,05	2,92	2,85	2,86	2,92
70	2,96	2,92	2,88	2,95	2,93	2,95	2,92	2,87	2,93	3,03	2,96	2,88	2,87
71	2,80	2,90	2,85	2,85	2,90	2,87	2,91	2,82	2,75	2,92	2,87	2,85	2,82
72	2,60	2,82	2,75	2,81	2,77	2,80	2,76	2,73	2,64	2,78	2,79	2,75	2,73
73	2,65	2,73	2,69	2,70	2,68	2,69	2,69	2,68	2,69	2,56	2,68	2,68	2,68
74	3,01	2,75	2,83	2,81	2,77	2,79	2,78	2,83	2,86	2,68	2,78	2,83	2,82
75	3,01	2,92	3,08	2,98	3,03	3,01	3,03	3,07	3,02	3,08	3,01	3,08	3,07
76	2,96	2,93	2,88	2,87	2,89	2,88	2,89	2,94	3,05	2,97	2,88	2,89	2,94
77	2,93	2,90	2,84	2,91	2,90	2,91	2,89	2,84	2,92	2,97	2,91	2,84	2,84
78	2,84	2,89	2,84	2,86	2,89	2,87	2,90	2,81	2,73	2,91	2,87	2,85	2,81
79	2,56	2,84	2,80	2,84	2,82	2,83	2,81	2,77	2,64	2,83	2,83	2,80	2,77
80	2,63	2,71	2,63	2,66	2,62	2,64	2,63	2,65	2,70	2,49	2,63	2,63	2,64
81	3,00	2,74	2,84	2,83	2,79	2,81	2,79	2,83	2,87	2,70	2,80	2,84	2,83
82	2,96	2,92	3,08	2,97	3,03	2,99	3,03	3,08	3,03	3,06	2,99	3,08	3,08
83	2,92	2,90	2,85	2,85	2,85	2,85	2,84	2,92	3,04	2,92	2,85	2,85	2,91
84	2,94	2,88	2,84	2,90	2,89	2,90	2,89	2,84	2,90	2,94	2,90	2,84	2,84

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para as séries *S1* e *S2*

<i>S1</i>		<i>S2</i>	
Resíduo	ARMA(2,2)	Resíduo	ARMA(2,2)
1	0,01	1	-0,02
2	-0,19	2	-0,30
3	0,01	3	-0,02
4	0,20	4	0,06
5	-0,49	5	-0,11
6	-0,19	6	0,02
7	-0,04	7	-0,08
8	0,18	8	0,17
9	-0,03	9	0,09
10	0,07	10	0,05
11	0,07	11	-0,30
12	0,05	12	-0,06
13	-0,01	13	-0,10
14	-0,06	14	-0,04
15	0,02	15	-0,09
16	-0,22	16	0,18
17	0,11	17	0,27
18	-0,05	18	-0,08
19	-0,09	19	-0,16
20	0,11	20	-0,11
21	-0,11	21	-0,25
22	-0,16	22	-0,14
23	-0,43	23	-0,47
24	0,21	24	0,35
25	-0,02	25	-0,23
26	-0,15	26	-0,22
27	-0,17	27	-0,04
28	-0,15	28	-0,02
29	0,06	29	0,01
30	0,30	30	0,23
31	0,07	31	-0,05
32	0,08	32	0,02
33	-0,20	33	-0,27
34	0,10	34	0,13
35	0,20	35	0,17
36	0,16	36	0,14
37	0,06	37	-0,04
38	0,00	38	0,01
39	0,08	39	0,01
40	-0,01	40	-0,03
41	0,05	41	0,11
42	-0,10	42	0,04
43	0,11	43	-0,08
44	-0,07	44	0,04
45	0,06	45	0,03
46	-0,02	46	-0,07
47	0,01	47	0,15
48	0,00	48	-0,14
49	0,02	49	-0,15
50	0,18	50	-0,01
51	-0,03	51	-0,02
52	-0,04	52	0,05
53	0,14	53	0,18
54	0,11	54	0,07
55	0,04	55	0,02
56	0,14	56	0,07
57	0,00	57	0,01
58	-0,02	58	0,14
59	0,06	59	-0,05

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para as séries *S3* e *S4*

<i>S3</i>		<i>S4</i>	
Resíduo	ARMA(2,2)	Resíduo	ARIMA(2,1,2)
1	-0,10	1	0,00
2	0,09	2	0,02
3	0,06	3	-0,01
4	0,07	4	0,02
5	0,08	5	-0,48
6	-0,11	6	-0,28
7	-0,02	7	0,22
8	-0,04	8	-0,08
9	-0,02	9	0,06
10	0,02	10	0,14
11	-0,19	11	0,19
12	-0,07	12	-0,17
13	0,10	13	-0,33
14	-0,04	14	0,28
15	-0,04	15	-0,04
16	-0,11	16	0,07
17	0,09	17	0,13
18	-0,01	18	0,14
19	-0,03	19	-0,46
20	0,01	20	0,31
21	0,06	21	-0,02
22	0,06	22	0,05
23	0,03	23	0,05
24	-0,04	24	0,13
25	-0,03	25	-0,65
26	0,10	26	-0,24
27	-0,04	27	0,10
28	0,01	28	-0,12
29	0,00	29	-0,02
30	0,07	30	-0,35
31	0,01	31	-0,24
		32	-0,51
		33	-0,52
		34	0,12
		35	-0,07
		36	0,16
		37	0,30
		38	0,37
		39	0,00
		40	-0,12
		41	0,39
		42	0,10
		43	0,17
		44	0,25
		45	0,28
		46	-0,16
		47	-0,34
		48	0,31
		49	-0,02
		50	0,08
		51	0,18
		52	0,22
		53	-1,09
		54	0,32
		55	-0,06
		56	-0,04
		57	0,17
		58	0,29
		59	0,28
		60	-0,04
		61	-0,20
		62	0,37
		63	0,01
		64	0,15

Continua na próxima página *S4*.

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para a série *S4* (continuação).

<i>S4</i>	
Resíduo	ARIMA(2,1,2)
65	0,21
66	0,26
67	-0,03
68	-0,33
69	0,34
70	-0,03
71	0,11
72	0,16
73	0,16
74	-0,42
75	-0,38
76	0,18
77	-0,17
78	0,01
79	0,11
80	0,15
81	-0,26
82	-0,44
83	0,31
84	-0,11
85	0,07
86	0,11
87	0,18
88	-0,21
89	-0,22
90	0,23
91	-0,04
92	0,06
93	-0,36
94	0,31
95	0,08
96	-0,55
97	0,37
98	0,06
99	0,15
100	0,17
101	0,21
102	-0,18
103	-0,31
104	0,23
105	-0,14
106	0,03
107	0,09
108	0,10
109	-0,27
110	-0,25
111	0,18
112	-0,09
113	0,02
114	0,09
115	0,12
116	-0,31
117	-0,53
118	0,34
119	-0,20
120	0,08
121	0,07
122	0,13
123	-0,37
124	-0,39
125	0,21
126	-0,01
127	-0,01
128	0,20
129	0,32
130	-0,35

Continua na próxima página *S4*.

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para a série *S4* (continuação).

<i>S4</i>	
Resíduo	ARIMA(2,1,2)
131	-0,28
132	-0,02
133	0,00
134	-0,04
135	0,12
136	0,16
137	-0,16
138	-0,26
139	0,34
140	0,05
141	0,14
142	0,26
143	0,20
144	-0,25
145	-0,41
146	-0,29
147	0,04
148	-0,08
149	0,08
150	0,25
151	-0,25
152	-0,31
153	0,43
154	0,03
155	0,15
156	0,23
157	0,34
158	-0,18
159	-0,06
160	0,29
161	0,11
162	-0,41
163	0,37
164	0,06
165	-0,32
166	-0,34
167	0,29
168	-0,03
169	-0,39
170	0,36
171	0,09
172	-0,22
173	-0,30
174	0,32
175	-0,01
176	0,16
177	0,21
178	0,33
179	0,33
180	0,33
181	0,40
182	0,25
183	0,24
184	0,19

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para as séries *S5* e *S6*

<i>S5</i>		<i>S6</i>	
Resíduo	ARIMA(2,1,2)	Resíduo	ARMA(2,2)
1	0,00	1	0,02
2	0,02	2	0,03
3	-0,01	3	-0,06
4	-0,03	4	-0,11
5	-0,11	5	0,02
6	-0,14	6	0,01
7	0,06	7	-0,02
8	0,03	8	0,03
9	0,00	9	0,00
10	0,07	10	-0,11
11	0,09	11	-0,21
12	-0,06	12	0,05
13	-0,09	13	-0,03
14	0,05	14	-0,05
15	0,00	15	0,07
16	-0,05	16	-0,03
17	0,03	17	-0,16
18	0,07	18	-0,14
19	-0,04	19	-0,06
20	-0,12	20	-0,06
21	-0,01	21	-0,06
22	0,04	22	0,02
23	-0,02	23	-0,08
24	0,00	24	-0,12
25	0,09	25	-0,24
26	-0,04	26	0,03
27	-0,10	27	-0,07
28	0,07	28	-0,05
29	0,06	29	0,04
30	-0,06	30	-0,04
31	0,06	31	-0,07
32	0,04	32	-0,15
33	-0,09	33	0,07
34	-0,15	34	-0,04
35	0,08	35	0,00
36	0,02	36	0,15
37	-0,05	37	-0,05
38	0,04	38	0,05
39	0,15	39	-0,15
40	-0,10	40	0,10
41	-0,11	41	0,08
42	0,09	42	0,01
43	0,02	43	0,16
44	-0,09	44	0,12
45	0,05	45	-0,07
46	0,06	46	-0,05
47	-0,06	47	0,11
48	-0,14	48	0,06
49	0,08	49	0,09
50	0,05	50	0,11
51	-0,05	51	0,06
52	0,05	52	-0,09
53	0,00	53	-0,08
54	-0,07	54	0,14
55	-0,05	55	-0,02
56	-0,01	56	0,07
57	0,13	57	0,14
58	0,03	58	-0,02
59	-0,02	59	0,01
60	0,19	60	0,03
61	0,01	61	-0,02
62	-0,10	62	0,16

Continua na próxima página.

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para as séries *S5* e *S6* (continuação).

<i>S5</i>		<i>S6</i>	
Resíduo	ARIMA(2,1,2)	Resíduo	ARMA(2,2)
63	0,01	63	0,08
64	-0,04	64	0,10
65	-0,11	65	0,15
66	0,07	66	-0,07
67	-0,03	67	0,00
68	0,01	68	0,14
69	-0,22	69	-0,01
70	0,11	70	0,08
71	0,06	71	0,15
72	-0,06	72	0,00
73	0,02	73	0,05
74	0,03	74	-0,06
75	-0,08	75	0,05
76	-0,18	76	0,05
77	0,10	77	-0,03
78	0,12	78	0,09
79	-0,05	79	-0,06
80	0,09	80	0,01
81	0,14	81	-0,08
82	-0,12	82	-0,02
83	-0,09	83	0,10
84	-0,12	84	-0,12
85	-0,19	85	0,08
86	-0,15	86	0,04
87	-0,11	87	-0,27
88	0,00	88	-0,10
89	-0,01	89	-0,03
90	-0,03	90	0,06
91	0,05	91	-0,02
92	-0,02	92	0,11
93	0,16	93	-0,03
94	0,12	94	0,00
95	0,09	95	-0,12
96	0,09	96	0,11
97	-0,03	97	0,09
98	0,14	98	-0,02
99	0,25		
100	0,11		
101	0,06		
102	0,03		
103	-0,08		
104	-0,20		
105	-0,03		
106	-0,05		
107	-0,11		
108	0,03		
109	0,09		
110	-0,05		
111	-0,09		
112	0,09		
113	0,06		
114	-0,04		
115	0,06		
116	0,07		
117	-0,06		
118	-0,12		
119	-0,10		
120	0,04		
121	0,05		
122	0,01		
123	0,11		
124	0,04		

Continua na próxima página *S5*.

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para a série *S5* (continuação).

<i>S5</i>	
Resíduo	ARIMA(2,1,2)
125	-0,06
126	0,07
127	-0,09
128	-0,08
129	0,04
130	-0,14
131	-0,49
132	0,60
133	-0,05
134	0,07
135	0,14
136	-0,01
137	-0,15
138	0,13
139	-0,02
140	-0,08
141	0,01
142	0,08
143	0,00
144	-0,09
145	0,12
146	0,08
147	0,02
148	0,03
149	0,06
150	-0,05
151	-0,14
152	0,10
153	0,08
154	-0,04
155	0,11

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para as séries *S7* e *S8*

<i>S7</i>		<i>S8</i>	
Resíduo	ARMA(2,1)	Resíduo	ARMA(2,2)
1	0,01	1	0,04
2	-0,04	2	-0,06
3	-0,01	3	-0,11
4	-0,02	4	0,17
5	-0,03	5	0,00
6	-0,02	6	-0,01
7	-0,03	7	0,00
8	-0,04	8	0,01
9	-0,09	9	-0,08
10	0,13	10	-0,05
11	-0,05	11	0,18
12	-0,03	12	0,05
13	-0,02	13	0,02
14	0,10	14	0,03
15	-0,03	15	0,05
16	0,00	16	-0,16
17	0,00	17	-0,17
18	0,02	18	-0,13
19	-0,02	19	0,06
20	0,00	20	-0,01
21	-0,01	21	0,03
22	0,02	22	0,08
23	0,05	23	-0,02
24	0,02	24	0,02
25	0,03	25	0,26
26	0,04	26	0,04
27	-0,01	27	0,01
28	-0,04	28	0,05
29	0,02	29	0,05
30	-0,05	30	-0,09
31	-0,04	31	-0,02
32	-0,04	32	0,23
33	0,01	33	0,00
34	0,08	34	-0,04
35	0,01	35	0,06
36	0,00	36	0,02
37	0,00	37	-0,01
38	0,01	38	-0,07
39	0,00	39	0,20
40	-0,01	40	0,02
41	0,01	41	-0,07
42	0,01	42	0,06
43	0,00	43	0,03
44	-0,03	44	-0,02
45	0,01	45	0,00
46	0,04	46	0,07
47	-0,01	47	-0,01
48	0,06	48	-0,11
49	-0,04	49	0,04
50	0,01	50	0,01
51	-0,08	51	-0,15
52	-0,01	52	-0,30
53	-0,04	53	-0,37
54	-0,05	54	-0,01
55	-0,06	55	-0,06
56	0,04	56	0,01
57	-0,09	57	0,03
58	0,01	58	-0,07
59	0,07	59	-0,05
60	-0,01	60	0,21
61	-0,04	61	0,02
62	-0,07	62	-0,06

Continua na próxima página.

APÊNDICE B – Amostra de Resíduos para as séries *S7* e *S8* (continuação).

<i>S7</i>		<i>S8</i>	
Resíduo	ARMA(2,1)	Resíduo	ARMA(2,2)
63	-0,01	63	0,05
64	-0,01	64	0,01
65	0,01	65	-0,06
66	0,01	66	-0,06
67	-0,05	67	0,16
68	-0,04	68	-0,03
69	0,02	69	-0,06
70	-0,05	70	0,03
71	0,03	71	0,05
72	0,10	72	-0,04
73	0,04	73	-0,05
74	-0,01	74	0,15
75	-0,07	75	-0,01
76	-0,03	76	-0,09
77	-0,02	77	0,01
78	0,01	78	0,11
79	-0,03	79	-0,08
80	-0,01	80	-0,07
81	-0,02	81	0,13
82	0,07	82	-0,07
83	0,03	83	-0,12
84	0,11	84	0,04
85	-0,01		
86	-0,04		
87	0,04		
88	-0,04		
89	0,04		
90	0,03		
91	-0,06		
92	0,01		
93	0,10		
94	0,03		
95	0,06		
96	0,04		

APÊNDICE C – Amostra de Resíduos de $S4$ com autocorrelação e sem autocorrelação

Resíduo	ARIMA(2,1,2)	
	ARIMA(2,1,2)	Após aplicar MNPL com defasagem $b=3$
1	0,00	0,00
2	0,02	-0,25
3	-0,01	0,07
4	0,02	0,05
5	-0,48	-0,03
6	-0,28	0,11
7	0,22	-0,06
8	-0,08	0,07
9	0,06	-0,26
10	0,14	-0,16
11	0,19	-0,42
12	-0,17	0,07
13	-0,33	0,22
14	0,28	0,12
15	-0,04	0,23
16	0,07	-0,07
17	0,13	0,08
18	0,14	-0,18
19	-0,46	0,02
20	0,31	0,18
21	-0,02	0,06
22	0,05	0,21
23	0,05	-0,01
24	0,13	0,08
25	-0,65	-0,22
26	-0,24	0,01
27	0,10	0,00
28	-0,12	-0,08
29	-0,02	0,12
30	-0,35	-0,07
31	-0,24	-0,11
32	-0,51	-0,05
33	-0,52	0,19
34	0,12	0,07
35	-0,07	-0,07
36	0,16	0,07
37	0,30	-0,11
38	0,37	0,01
39	0,00	-0,24
40	-0,12	0,07
41	0,39	-0,06
42	0,10	-0,06
43	0,17	0,17
44	0,25	-0,22
45	0,28	0,02
46	-0,16	-0,09
47	-0,34	0,18
48	0,31	0,07
49	-0,02	-0,22
50	0,08	0,08
51	0,18	-0,04
52	0,22	0,14
53	-1,09	0,04
54	0,32	0,00
55	-0,06	0,04
56	-0,04	-0,03
57	0,17	0,02
58	0,29	-0,07
59	0,28	0,12
60	-0,04	0,33
61	-0,20	0,27

Continua na próxima página.

APÊNDICE C – Amostra de Resíduos de $S4$ com autocorrelação e sem autocorrelação (continuação).

Resíduo	ARIMA(2,1,2)	
	ARIMA(2,1,2)	Após aplicar MNPL com defasagem $b=3$
62	0,37	
63	0,01	
64	0,15	
65	0,21	
66	0,26	
67	-0,03	
68	-0,33	
69	0,34	
70	-0,03	
71	0,11	
72	0,16	
73	0,16	
74	-0,42	
75	-0,38	
76	0,18	
77	-0,17	
78	0,01	
79	0,11	
80	0,15	
81	-0,26	
82	-0,44	
83	0,31	
84	-0,11	
85	0,07	
86	0,11	
87	0,18	
88	-0,21	
89	-0,22	
90	0,23	
91	-0,04	
92	0,06	
93	-0,36	
94	0,31	
95	0,08	
96	-0,55	
97	0,37	
98	0,06	
99	0,15	
100	0,17	
101	0,21	
102	-0,18	
103	-0,31	
104	0,23	
105	-0,14	
106	0,03	
107	0,09	
108	0,10	
109	-0,27	
110	-0,25	
111	0,18	
112	-0,09	
113	0,02	
114	0,09	
115	0,12	
116	-0,31	
117	-0,53	
118	0,34	
119	-0,20	
120	0,08	
121	0,07	

Continua na próxima página.

APÊNDICE C – Amostra de Resíduos de *S4* com autocorrelação e sem autocorrelação (continuação).

Resíduo	ARIMA(2,1,2)	
	ARIMA(2,1,2)	Após aplicar MNPL com defasagem $b=3$
122	0,13	
123	-0,37	
124	-0,39	
125	0,21	
126	-0,01	
127	-0,01	
128	0,20	
129	0,32	
130	-0,35	
131	-0,28	
132	-0,02	
133	0,00	
134	-0,04	
135	0,12	
136	0,16	
137	-0,16	
138	-0,26	
139	0,34	
140	0,05	
141	0,14	
142	0,26	
143	0,20	
144	-0,25	
145	-0,41	
146	-0,29	
147	0,04	
148	-0,08	
149	0,08	
150	0,25	
151	-0,25	
152	-0,31	
153	0,43	
154	0,03	
155	0,15	
156	0,23	
157	0,34	
158	-0,18	
159	-0,06	
160	0,29	
161	0,11	
162	-0,41	
163	0,37	
164	0,06	
165	-0,32	
166	-0,34	
167	0,29	
168	-0,03	
169	-0,39	
170	0,36	
171	0,09	
172	-0,22	
173	-0,30	
174	0,32	
175	-0,01	
176	0,16	
177	0,21	
178	0,33	
179	0,33	
180	0,33	
181	0,40	

Continua na próxima página.

APÊNDICE C – Amostra de Resíduos de S_4 com autocorrelação e sem autocorrelação (continuação).

Resíduo	ARIMA(2,1,2)	ARIMA(2,1,2)
		Após aplicar MNPL com defasagem $b=3$
182	0,25	
183	0,24	
184	0,19	

APÊNDICE C – Amostra de Resíduos de *S5* com autocorrelação e sem autocorrelação

Resíduo	ARIMA(2,1,2)	ARIMA(2,1,2)
		Após aplicar MNPL com defasagem $b=2$
1	0,00	0,01
2	0,02	-0,02
3	-0,01	-0,12
4	-0,03	0,05
5	-0,11	0,03
6	-0,14	0,01
7	0,06	-0,02
8	0,03	-0,03
9	0,00	0,05
10	0,07	-0,08
11	0,09	0,01
12	-0,06	-0,01
13	-0,09	0,02
14	0,05	-0,02
15	0,00	0,00
16	-0,05	0,05
17	0,03	-0,12
18	0,07	0,05
19	-0,04	0,00
20	-0,12	0,03
21	-0,01	-0,01
22	0,04	-0,03
23	-0,02	0,06
24	0,00	-0,10
25	0,09	0,06
26	-0,04	0,00
27	-0,10	-0,04
28	0,07	-0,03
29	0,06	0,08
30	-0,06	0,08
31	0,06	-0,04
32	0,04	-0,02
33	-0,09	-0,02
34	-0,15	-0,01
35	0,08	-0,05
36	0,02	0,00
37	-0,05	0,03
38	0,04	-0,13
39	0,15	0,11
40	-0,10	0,02
41	-0,11	0,01
42	0,09	-0,10
43	0,02	-0,17
44	-0,09	-0,05
45	0,05	-0,02
46	0,06	0,02
47	-0,06	0,14
48	-0,14	0,09
49	0,08	0,06
50	0,05	0,18
51	-0,05	0,04
52	0,05	-0,14
53	0,00	-0,04
54	-0,07	-0,04
55	-0,05	0,02
56	-0,01	0,00
57	0,13	0,01
58	0,03	0,07
59	-0,02	-0,09
60	0,19	-0,03
61	0,01	0,03

Continua na próxima página.

APÊNDICE C – Amostra de Resíduos de *S5* com autocorrelação e sem autocorrelação
(continuação.)

Resíduo	ARIMA(2,1,2)	ARIMA(2,1,2)
		Após aplicar MNPL com defasagem $b=2$
62	-0,10	0,07
63	0,01	0,01
64	-0,04	-0,08
65	-0,11	-0,05
66	0,07	0,06
67	-0,03	0,01
68	0,01	0,07
69	-0,22	-0,01
70	0,11	-0,05
71	0,06	0,05
72	-0,06	0,04
73	0,02	0,01
74	0,03	0,05
75	-0,08	0,04
76	-0,18	-0,10
77	0,10	0,09
78	0,12	0,03
79	-0,05	
80	0,09	
81	0,14	
82	-0,12	
83	-0,09	
84	-0,12	
85	-0,19	
86	-0,15	
87	-0,11	
88	0,00	
89	-0,01	
90	-0,03	
91	0,05	
92	-0,02	
93	0,16	
94	0,12	
95	0,09	
96	0,09	
97	-0,03	
98	0,14	
99	0,25	
100	0,11	
101	0,06	
102	0,03	
103	-0,08	
104	-0,20	
105	-0,03	
106	-0,05	
107	-0,11	
108	0,03	
109	0,09	
110	-0,05	
111	-0,09	
112	0,09	
113	0,06	
114	-0,04	
115	0,06	
116	0,07	
117	-0,06	
118	-0,12	
119	-0,10	
120	0,04	
121	0,05	

Continua na próxima página.

APÊNDICE C – Amostra de Resíduos de *S5* com autocorrelação e sem autocorrelação
(continuação.)

Resíduo	ARIMA(2,1,2)	
	ARIMA(2,1,2)	Após aplicar MNPL com defasagem $b=2$
122	0,01	
123	0,11	
124	0,04	
125	-0,06	
126	0,07	
127	-0,09	
128	-0,08	
129	0,04	
130	-0,14	
131	-0,49	
132	0,60	
133	-0,05	
134	0,07	
135	0,14	
136	-0,01	
137	-0,15	
138	0,13	
139	-0,02	
140	-0,08	
141	0,01	
142	0,08	
143	0,00	
144	-0,09	
145	0,12	
146	0,08	
147	0,02	
148	0,03	
149	0,06	
150	-0,05	
151	-0,14	
152	0,10	
153	0,08	
154	-0,04	
155	0,11	

ANEXO A - Código fonte desenvolvido no R para cálculo do ARL do gráfico de controle CUSUM com resposta inicial rápida (RIR)

```
# http://rss.acs.unt.edu/Rdoc/library/spc/html/xcusum.arl.html
# one-sided and two-sided CUSUM with possible headstarts
# Livro Montgomery pág 263 - Tabela 8-5

rm(list=ls(all=TRUE))
require(spc)

k <- .5
h <- 5
mu <- c(0,.25,.5,.75,1,1.5,2,2.5,3,4,5)
arl1 <- sapply(mu,k=k,h=h,sided="two",xcusum.arl)
arl2 <- sapply(mu,k=k,h=h,hs=h/2,sided="two",xcusum.arl)

round(cbind(mu,arl1,arl2),digits=3)
```

ANEXO B - Código fonte desenvolvido no R para cálculo do ARL do gráfico de controle CUSUM

```
# CUSUM.R
# http://rss.acs.unt.edu/Rdoc/library/spc/html/xcusum.arl.html
# one-sided and two-sided CUSUM with possible headstarts
# Livro Montgomery pág 261 - Tabela 8-3

rm(list=ls(all=TRUE))
require(spc)

k1 <- .5
k2 <- .5
h1 <- 4
h2 <- 5
mu <- c(0,.25,.5,.75,1,1.5,2,2.5,3,4,5)
arl1 <- sapply(mu,k=k1,h=h1,sided="two",xcusum.arl)
arl2 <- sapply(mu,k=k2,h=h2,sided="two",xcusum.arl)

round(cbind(mu,arl1,arl2),digits=2)
```

ANEXO C - Código fonte desenvolvido no R para cálculo do ARL do gráfico de controle EWMA

```
#EWMA.R
# http://rss.acs.unt.edu/Rdoc/library/spc/html/xewma.arl.html
# two-sided EWMA
# Livro Montgomery pág 271 - Tabela 8-10

rm(list=ls(all=TRUE))
require(spc)

#l=lambda
#c=L

l1 <- .4
l2 <- .25
c1 <- 3.054
c2 <- 2.998
mu <- c(0,.25,.5,.75,1,1.5,2,2.5,3,4)
arl1 <- sapply(mu,l=l1,c=c1,sided="two",xewma.arl)
arl2 <- sapply(mu,l=l2,c=c2,sided="two",xewma.arl)
round(cbind(mu,arl1,arl2),digits=2)
```