

Aplicação dos métodos de amortecimento exponencial para previsão de demanda de clientes em oficina mecânica automotiva

Luiz Justino da Silva Junior (UESC) luizjustinosj@hotmail.com
Flávio Pietrobon Costa (UESC) pietrobon.costa@pq.cnpq.br

Resumo:

A constante prestação de serviço de alta qualidade é essencial para que as companhias consigam se manter vivas em ambientes competitivos e com nível elevado de exigência dos clientes. Apesar de diversas empresas utilizarem amplamente os métodos quantitativos de previsão de demanda para tomada de decisões, há companhias que não os utilizam adequadamente. Este artigo estabelece um estudo comparativo entre os métodos de ajustamento exponencial, sendo eles *amortecimento exponencial simples*, *Holt* e *Holt-Winters*, para a previsão de demanda de clientes em uma oficina mecânica automotiva. Tais modelos foram desenvolvidos no Excel, minimizando o erro quadrático médio, a fim de se obter a curva melhor ajustada aos dados reais. Com os resultados obtidos foi possível identificar o método que apresentou maior precisão, selecionando-o como mais adequado para a previsão dos dados futuros ao longo dos meses.

Palavras-chave: Previsão de demanda, Série temporal, Métodos de amortecimento exponencial, Erros de previsão.

Applications of exponential smoothing methods for clients' demand forecasting in automotive mechanical workshop

Abstract

Continuous service provision, with high level of quality, is essential for companies stay alive in competitive environments, also considering the level of client's requirement. In spite of many corporations use widely the demand forecasting quantitative methods for decision making, there are firm not using properly. This paper set a comparative study between exponential smoothing methods, theses being *single exponential smoothing*, *Holt* and *Holt-Winters*, for clients' demand forecasting in automotive mechanical workshop. Such models were developed in Excel, minimizing the mean squared error, in order to get the curve better fitted to real data. With the results obtained were possible to identify the most accurate method, selecting it as the most adequate for the forecasting of future data over the months.

Keywords: Demand forecasting, Time series, Exponential smoothing methods, Forecasting errors.

1. Introdução

O surgimento de novos entrantes no segmento de serviço automotivo, tais como oficinas mecânicas, proporcionam uma elevação na concorrência local. Este fator gera uma competição entre tais companhias, onde se busca captar a maior parcela possível de clientes atendidos por tal segmento. As empresas necessitam planejar e administrar corretamente suas

operações de modo a obter serviços de maior qualidade, constante satisfação do público alvo e vantagem competitiva. À vista disso, os métodos quantitativos de previsão de demanda são instrumentos bastante úteis para apoio à tomada de decisões, controle de capacidade, aumento de produtividade na atividade a qual está trabalhando e precisão nas estimativas futuras da variável de interesse.

Previsão é a arte e ciência de prever eventos futuros (HEIZER; RENDER, 2011). Previsão deve envolver tomar dados históricos e projetá-los no futuro com algum tipo de modelo matemático (HEIZER; RENDER, 2011). Dos métodos quantitativos de previsão, aquele estudado neste artigo é o de amortecimento exponencial, onde são incluídos os modelos *exponencial simples*, *Holt* e *Holt-Winters*.

Neste estudo é analisada uma série temporal, correspondente a uma demanda de clientes, de uma oficina mecânica automotiva do interior da Bahia. Uma breve análise inicial é necessária a fim de se verificar a presença de tendência e sazonalidade no respectivo histórico de dados.

Tal trabalho possui como objetivo (1) adquirir familiaridade com os conceitos envolvidos nos métodos de amortecimento exponencial, (2) implementar o modelo em estudo, (3) fazer um comparativo entre os padrões encontrados e (4) estabelecer aquele que melhor representa os dados reais.

2. Previsão de demanda

De acordo Slack, Chambers e Johnston (2002), qualquer que seja o grau de sofisticação do processo de previsão numa empresa, é sempre difícil utilizar dados históricos para prever futuras tendências, ciclos ou sazonalidades. Já para Ballou (1993), prever qual a quantidade de produto que os clientes deverão comprar é assunto vital para todo o planejamento empresarial. Por isso, grande esforço tem sido dedicado ao desenvolvimento de métodos de previsão.

Segundo Gaither e Fraizer (2002), é imperativo que as empresas tenham abordagens eficazes para prever, e que a previsão seja parte integrante do planejamento dos negócios. O primeiro passo no planejamento é, portanto, prever, ou estimar a demanda futura por produtos e serviços e os recursos necessários para produzi-los.

Conforme Makridakis, Wheelwright e Hyndman (1998), algumas das áreas na qual previsão atualmente desempenha uma importante tarefa são:

- a) Programação: Eficiente uso de recursos requer a programação da produção, transporte, dinheiro, pessoal, e assim por diante. Previsão do nível de demanda, material, tarefa, financiamento, ou serviço é uma essencial entrada para tal programação;
- b) Aquisição de recursos: O tempo de espera para adquirir matérias-primas, contratação de pessoal, comprar maquinaria e equipamento pode variar de alguns dias a vários anos. Previsão é necessária para determinar a exigência de recursos futuros;
- c) Determinação do requerimento de recursos: Todas as organizações devem determinar quais recursos elas querem ter em longo prazo. Tais decisões dependem das oportunidades de mercado, fatores ambientais, desenvolvimento interno do financeiro, humano, produto, e recursos tecnológicos. Essas determinações todas requerem boas previsões e gestores que possam interpretá-las e tomar decisões apropriadas.

2.1 Modelos quantitativos de previsão para séries temporais

Segundo Morettin e Toloi (2006), série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo. De acordo com Heizer e Render (2011), a decomposição das séries temporais é feita da seguinte forma:

- a) Tendência é o gradual movimento ascendente ou descendente dos dados ao longo do tempo;
- b) Sazonalidade são os padrões de dados que se repetem após um período de dias, semanas, meses ou trimestres;
- c) Ciclos são padrões nos dados que ocorrem a cada ano ou período em anos;
- d) Variação aleatória são desvios nos dados causados por situações incomuns. Não seguem nenhum padrão perceptível, logo não podem ser previstos.

Em muitos casos reais, a série temporal é composta pela combinação desses padrões de dados. A verificação desses padrões de dados na série temporal é importante para a correta escolha do método de previsão, proporcionando selecionar o mais apropriado.

Segundo Gaither e Fraizer (2002), os modelos quantitativos de previsão são modelos matemáticos baseados em dados históricos. Esses modelos supõem que dados passados são relevantes para o futuro. Alguns dados relevantes quase sempre podem ser encontrados.

Os modelos apresentados nesse estudo estão inseridos na categoria *métodos de amortecimento exponencial*, sendo estes do tipo lineares, com facilidade de implementação e não necessitando de alto custo computacional.

2.1.1 Modelo de amortecimento exponencial simples

De acordo com Heizer e Render (2011), o modelo amortecimento exponencial simples é um método da média móvel ponderada sofisticado. Segundo Yaffee e McGee (2000), usa média ponderada dos dados passados, sendo que o efeito das recentes observações é esperado a declinar exponencialmente ao longo do tempo. A previsão para o próximo período e dado por:

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t \quad (1)$$

Onde:

t → período de tempo atual

α → constante de amortecimento

Y_t → observação no período t

F_t → previsão para o período t

F_{t+1} → previsão para o período seguinte a t

A constante de amortecimento varia de 0 a 1. Menor constante de amortecimento fornece maior peso às observações mais distantes. Maior constante de amortecimento fornece maior peso as observações mais recentes.

2.1.2 Modelo de Holt (Amortecimento exponencial duplo)

Conforme Makridakis, Wheelwright e Hyndman (1998), Holt estendeu o amortecimento exponencial simples para amortecimento exponencial linear, a fim de permitir previsão dos dados com tendência. A previsão do amortecimento exponencial linear de Holt é encontrado usando duas constantes de amortecimento, α e β (valores entre 0 e 1), e três equações:

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3)$$

$$F_{t+m} = L_t + b_t m \quad (4)$$

Onde:

L_t → nível da série no período t

b_t → tendência no período t

α → constante de amortecimento para o nível

β → constante de amortecimento para a tendência

F_{t+m} → previsão para o período considerado

m → números de período à frente a ser previsto

2.1.3 Modelo de Holt-Winters (Amortecimento exponencial triplo)

De acordo com Makridakis, Wheelwright e Hyndman (1998), o método de Holt foi estendido por Winters para capturar a sazonalidade diretamente. O modelo de Holt-Winters em três equações de amortecimento, sendo uma para a tendência, uma para o nível e uma para a sazonalidade. Este modelo é similar ao de Holt, com a adição de uma equação para a sazonalidade.

Há dos tipos de modelo de Holt-Winters, o multiplicativo e o aditivo. O modelo de Holt-Winters multiplicativo é descrito da seguinte forma:

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (5)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (6)$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (7)$$

$$F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \quad (8)$$

Onde:

L_t → nível no período t

b_t → tendência no período t

S_t → componente sazonal no período t

F_{t+m} → previsão para m períodos à frente

α → constante de amortecimento para o nível

β → constante de amortecimento para a tendência

γ → constante de amortecimento para a sazonalidade

Já o modelo de Holt-Winter aditivo é representado como segue:

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (9)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (10)$$

$$S_t = \gamma(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (11)$$

$$F_{t+m} = L_t + b_t m + S_{t-s+m} \quad (12)$$

A diferença deste com relação ao anterior é que os índices sazonais estão agora adicionados e subtraídos em vez de multiplicados e divididos.

2.2 Erros de previsão

Segundo Heizer e Render (2011), a precisão da previsão de alguns modelos de previsão pode ser determinada comparando os valores previstos com o valor observado ou atual. Várias medidas são usadas na prática para calcular o erro de previsão total. Essas medidas podem ser usadas para se comparar diferentes modelos de previsão. Quando a previsão fica muito próxima dos dados reais, se diz que ela tem alta precisão e que o erro de previsão é baixo (GAITHER; FRAIZER, 2002). Três das mais utilizadas medidas para previsão são o erro absoluto médio (EAM), o erro quadrático médio (EQM) e o erro absoluto médio percentual (EAMP).

2.2.1 Erro Absoluto Médio (EAM)

O erro absoluto médio é calculado tomando o valor absoluto da diferença entre o valor real e a previsão estimada do mesmo período de modo que os valores negativos não podem ser cancelados (YAFFEE; MCGEE, 2000). Sendo n o número total de observações, o EAM é representado da seguinte maneira:

$$EAM = \sum_{i=1}^n \frac{|Real_i - Previsão_i|}{n} \quad (13)$$

2.2.2 Erro Quadrático Médio (EQM)

Aqui os erros são estabelecidos positivos pela quadratura de cada um, então a partir dos erros quadrados é feito o cálculo da média (Makridakis; Wheelwright; Hyndman, 1998). Ainda conforme os mesmos autores, este tipo de erro é mais fácil de manusear matematicamente. O EQM é representado como segue:

$$EQM = \sum_{i=1}^n \frac{(Real_i - Previsão_i)^2}{n} \quad (14)$$

2.2.3 Erro Absoluto Médio Percentual (EAMP)

Um problema apresentado nos dois erros anteriormente citados é que seus valores dependem da magnitude dos dados a serem previstos, onde ambos pode apresentar valores muito altos (HEIZER; RENDER, 2011). Para evitar este tipo de problema é utilizado o erro absoluto médio percentual, que possui a seguinte equação:

$$EAMP = 100 \sum_{i=1}^n \frac{|(Real_i - Previsão_i) / Real_i|}{n} \quad (15)$$

3. Metodologia

3.1 Definição do problema

O problema sob análise está baseado na necessidade de se prever a quantidade estimada de clientes que será atendida na oficina mecânica em estudo, para o mês correspondente. Esta

microempresa realiza serviços atendendo aos automóveis das mais variadas marcas presente no mercado brasileiro. A previsão de demanda é importante à medida que se busca aumentar o nível de serviço ao cliente de tal oficina, compatibilizando a capacidade de veículos, em manutenção no local, com o número de mecânicos disponíveis, proporcionando eficiência de entrega no tempo certo e redução de atrasos nos serviços dos veículos.

3.2 Coleta de dados

Solicitou-se o histórico de clientes atendidos em uma oficina mecânica automotiva, localizada na cidade de Ipiaú-Ba, de março de 2012 a julho de 2014. O recebimento do documento foi feito por meio impresso e posteriormente inseridos no Microsoft Excel para uma análise inicial.

3.3 Análise preliminar

A análise preliminar foi o ponto de partida para se avaliar o comportamento da demanda de clientes ao longo do tempo. Com os dados reais postos na planilha Excel, construiu-se o gráfico da demanda em função dos meses, a fim de obter uma inspeção visual, permitindo identificar a presença ou não de tendência, ciclo e sazonalidade. Os picos também foram identificados nessa análise, com a visualização da quantidade máxima e mínima de veículos em manutenção em determinado período.

3.4 Desenvolvimento dos modelos

Os modelos de amortecimento exponencial foram implementados no Microsoft Excel, sendo eles o exponencial simples, Holt, Holt-Winters multiplicativo e Holt-Winters aditivo. O primeiro dos citados possui o formato mais simples, não apresentando tendência nem sazonalidade. O segundo modelo possui representação para a tendência. Já o modelo de Holt-Winters (tanto o multiplicativo como o aditivo) representa a tendência e a sazonalidade.

Durante a implementação utilizou-se os nove primeiros meses como dados de inicialização, a fim de se obter consistência na previsão para os meses posteriores (vinte meses subsequentes), sendo estes o conjunto teste. Com os modelos implementados, buscou-se fazer um comparativos entre tais. Para isso avaliou-se o método com menor EQM, conforme teoria. Também foram analisados o EAM e EAMP.

Com respeito às constantes de amortecimentos envolvidas nos modelos em estudo, estas foram manipuladas de forma a minimizar o EQM para cada método, utilizando a ferramenta Solver presente no Excel.

3.5 Interpretação dos resultados

Os resultados foram avaliados e interpretados de forma a escolher o melhor modelo de representação da demanda de clientes da oficina mecânica, fazendo um levantamento dos prós e contras do método escolhido.

4. Resultados e discussões

4.1 Análise preliminar

Elaborou-se o gráfico da série temporal em estudo, conforme Figura 1, para uma avaliação inicial do comportamento do conjunto de dados observados.

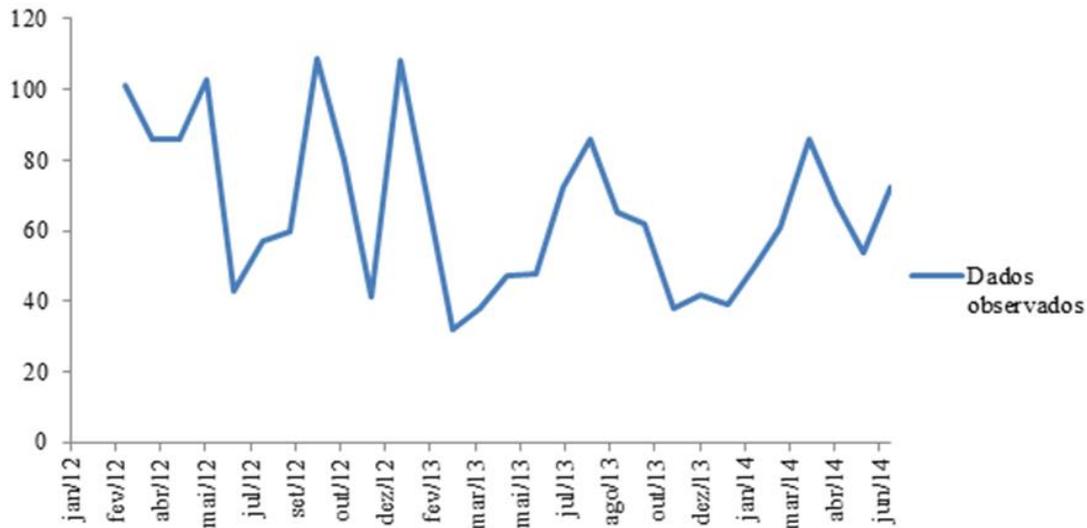


Figura 1 – Demanda de clientes da oficina mecânica ao longo dos meses

Nos meses iniciais da observação (março a junho de 2012) a demanda de clientes na oficina mecânica apresentou um período de alta, com número de clientes variando de 83 a 103. Após o mês de junho do mesmo ano, a demanda apresentou uma queda e posterior alta em um intervalo de tempo de quatro meses. A série temporal voltou a apresentar uma máxima demanda no mês de janeiro de 2013. Nos períodos seguintes os picos máximos de demanda apresentaram uma queda com relação aos anteriores, exibindo valores de 86 e 86 para os meses de agosto de 2013 e abril de 2014 respectivamente. Notou-se que o intervalo de meses entre esses picos de demanda foram maiores quando comparados aos picos mais antigos (ano de 2012, por exemplo). Com respeito ao período observado, a série temporal apresentou tendência linear decrescente, ou seja, a demanda de clientes em tal estabelecimento diminuiu ao longo dos anos.

A empresa poderia investir em uma análise do cenário local, a fim de se buscar explicações referentes à queda da demanda na oficina, avaliando a concorrência presente e determinados fatores que tenham influenciado nesta redução de serviços prestados.

4.2 Comparativo entre os modelos aplicados

Aplicou-se os modelos de amortecimento exponencial em estudo e buscou-se identificar o mais adequado. A Figura 2 exibe um comparativo entre os dados observados e os modelos aplicados.

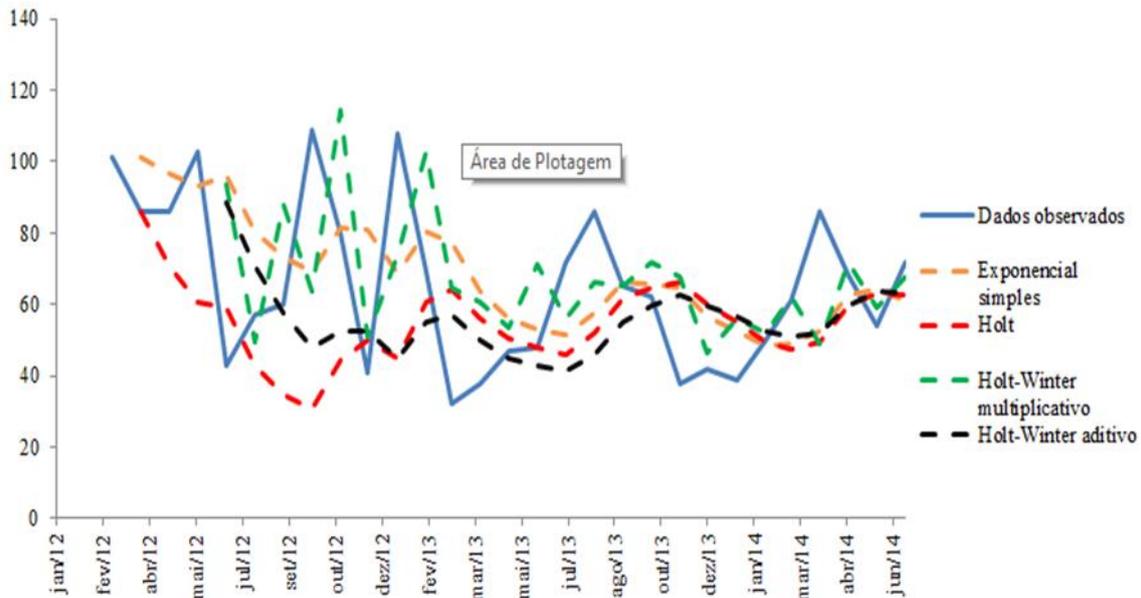


Figura 2 – Comparativo entre os modelos e a demanda real

Para o ajuste de curvas, procurou-se minimizar o erro quadrático médio, de forma a se obter a representação mais adequada, da demanda de clientes, para cada um dos modelos. O método de amortecimento exponencial otimizado obteve constante de amortecimento α igual a 0,301. Já para o de Holt, os melhores resultados foram encontrados com α e β valendo 0,231 e 0,279 respectivamente. Holt-Winters multiplicativo apresentou 0,282 como valor de α , 1,000 como valor de β e γ valendo 0,000. O método de Holt-Winters aditivo apresentou α , β e γ com os correspondentes 0,177, 0,356 e 0,000.

Analisando os erros de previsão, identificou-se o melhor modelo dentro os avaliados. Para análise dos resultados numéricos, trabalhou-se com três casas decimais. A Tabela 1 permite visualizar os modelos com seus respectivos erros.

Modelo	EAM	EAMP	EQM
Exponencial simples	19,621	37,557%	606,359
Holt	17,042	30,051%	524,033
Holt-Winters multiplicativo	15,695	29,697%	399,255
Holt-Winters aditivo	14,416	29,699%	522,876

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 1 – Comparativo entre os erros de previsão

A partir do comparativo entre os modelos, observou-se que Holt-Winters multiplicativo é aquele que melhor representa a demanda de clientes da oficina mecânica. Tal método apresentou não só o menor erro quadrado médio como também o menor erro absoluto médio percentual. O modelo mais adequado aqui encontrado é o mais indicado para validação, pois descreve o fenômeno levando em consideração a tendência e a sazonalidade. Vale mencionar que o exponencial simples ignoram os parâmetros ditos anteriormente, e o de Holt ignora a sazonalidade, influenciando, deste modo, em maiores erros de previsão.

Foi proposta a validação do modelo de Holt-Winters multiplicativo para a previsão de demanda dos clientes da microempresa, de forma a aumentar significativamente o rendimento

na prestação de serviço de tal companhia. Assim sendo, a oficina mecânica poderá controlar a capacidade de serviço prestado aos veículos automotivos, não sobrecarregando os funcionários e conseqüentemente gerenciando o tempo de serviço, com a entrega dos automóveis no tempo certo, de modo que os clientes fiquem satisfeitos.

5. Conclusões

Fez-se neste trabalho um estudo da demanda de clientes de uma oficina mecânica através dos métodos de amortecimento exponencial, analisando, implementando e interpretando os modelos que representam a série temporal, a fim de minimizar o erro quadrático médio para a aquisição da melhor solução. As curvas descreveram o melhor ajustamento para cada um dos métodos utilizados, onde por meio do comparativo dessas, visualizou-se o mais indicado para a previsão de demanda dos meses subsequentes, que foi o modelo de Holt-Winters multiplicativo.

Os resultados obtidos foram de grande relevância para a análise da precisão do período futuro, no intuito de se identificar a viabilidade do método em médio prazo. Além da validação do modelo, pretende-se, como trabalhos futuros, aplicar métodos de previsão de demanda mais sofisticados, tal como a metodologia de Box-Jenkins, averiguando o custo benefício de tal proposta quando comparado ao Holt-Winters multiplicativo.

Assim sendo, os métodos quantitativos são essenciais para empresas de serviço que necessitam cada vez mais elevar sua confiabilidade no ambiente competitivo, proporcionando maior atratividade com respeito aos clientes. Microempresas, como é o caso da oficina mecânica estudada, têm sua clientela constantemente comprometida por novas companhias, introduzidas na região local, ou por realizar uma tarefa de má qualidade. Portanto, tais empresas necessitam investir de forma rigorosa em ferramentas que propiciem um aumento de produtividade, com ganho de segurança na prestação de serviço e com conseqüente diferenciação em relação à concorrência, cenário a qual está inserida.

Referências

- BALLOU, R.H.** *Logística Empresarial. Transporte, Administração, Distribuição Física*. São Paulo: Atlas, 1993.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G.** *Administração da Produção e Operações*. 8. ed. São Paulo: Thomson, 2002.
- HEIZER, J.; RENDER, B.** *Operations Management*. 10. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2011.
- MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.C.; HYNDMAN R.J.** *Forecasting: Methods and Applications*. 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 1998.
- MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M.C.** *Análise de Séries Temporais*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2006.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.** *Administração da Produção*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- YAFFE, R.A.; MCGEE, M.** *Introductions to Times Series Analysis and Forecasting with Applications of SAS and SPSS*. New York: Academic Press, 2000.