

Aplicação de modelos clássicos de previsão de demanda no setor de remanufatura

Erica Caroline Martinho Ortiz (UFSCAR- campus Sorocaba) ericaortiz02@gmail.com
Juliana Veiga Mendes (UFSCAR- campus Sorocaba) juveiga@ufscar.br
Adelson Martins Figueiredo (UFSCAR- campus Sorocaba) martinsfigueiredo2@gmail.com

Resumo:

A remanufatura pode ser definida como o processo industrial onde produtos são restaurados obtendo uma nova vida útil. A matéria-prima utilizada na remanufatura é, grande parte, proveniente do regresso de produtos que foram vendidos ao consumidor e retornam, ou quando a sua vida útil é encerrada, ou quando o consumidor quer substituir o produto. Ter previsibilidade sobre o retorno de material é fundamental para as atividades de planejamento da remanufatura. Essa previsibilidade é obtida com a adoção de modelos específicos que incorporam características dos produtos e são de difícil implementação e utilização nos ambientes empresariais. Por sua vez, na manufatura convencional, há diversos modelos para previsão de demanda que são amplamente difundidos e utilizados. Considerando isso, o estudo irá analisar uma aplicação de modelos clássicos de previsão para o retorno de matéria-prima em um ambiente de remanufatura. Foram aplicados os modelos de suavização exponencial e ARIMA, avaliados através das medidas estatísticas de desempenho. Os resultados do estudo apontaram que os modelos tradicionais apresentaram níveis aceitáveis de precisão, porém, esses resultados devem ser contextualizados às particularidades do estudo em questão, não permitindo generalizações sobre a adequação do uso em ambientes de remanufatura. Como estudos futuros, sugere-se a replicação da análise aqui proposta em outros cenários de remanufatura.

Palavras chave: Remanufatura, Previsão, Previsão de Retorno de Produtos.

Application of classical models of demand forecast at remanufacturing sector

Abstract

The remanufacturing may be defined as industrial process where products are restored obtaining a new lifetime. The raw material used in remanufacturing is largely derived from the return of products that were sold to consumers and return, when its useful life is over, or the consumer wants to replace the product. Predictability about the return of material is critical to remanufacturing planning activities. This predictability is achieved with the adoption of specific models that incorporate characteristics of the products and are difficult to implement and use in enterprise environments. Instead, in conventional manufacturing, there are several models for demand forecasting which are widely disseminated and used. Considering this, the study will examine an application of classical models forecast the return of raw materials in a remanufacturing environment. Models of exponential smoothing, and ARIMA, evaluated through the performance of statistical measures were applied. The study results presented that the traditional models had acceptable levels of precision, however, these results have be put into context the particularities of the present study do not allow generalizations about the suitability of use in remanufacturing environments. In future studies, it is suggested that the analysis of replication in other proposed here remanufacturing scenarios.

Key-words: Remanufacturing, Forecast, Forecasting Product Returns.

1. Introdução

O aumento do interesse da sociedade na recuperação e retorno de bens descartados tem motivado o desenvolvimento de estudos com o objetivo de reduzir os impactos causados pela disposição inadequada dos produtos (SAAVEDRA et al., 2013; SEITZ, 2007). Seguindo essa tendência, a recuperação de produtos e materiais usados tornou-se uma importante área de atuação, com rápido crescimento (FLEISCHMANN et al., 2001).

Dentre as diversas formas de recuperação de produtos usados encontra-se a remanufatura, que pode ser definida como o processo industrial onde produtos desgastados, quebrados ou usados, são restaurados obtendo uma nova vida útil (OSTLIN; SUNDIN; BJORKMAN, 2008). Esse processo tem como objetivo conservar a identidade original do produto através da recuperação de seu valor agregado (IJOMAH et al., 2007; OH; WANG, 2006).

A remanufatura pode apresentar benefícios nos três pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) porque pode proporcionar além dos benefícios ambientais, como a redução dos impactos de operações industriais e redução do consumo de matéria-prima, pode estar associado a programas de desenvolvimento econômico e social (GUARNIERI et al, 2014).

Além disso, a remanufatura apresenta características bem diferentes quando comparadas ao processo de manufatura convencional, o que pode dificultar a administração do sistema de produção (OSTLIN; SUNDIN; BJORKMAN, 2008).

Geralmente, a remanufatura trabalha com lotes menores, pouca automação e a quantidade de trabalho manual é maior em relação à manufatura convencional. Além destes, a matéria-prima utilizada na remanufatura, é grande parte proveniente do regresso de produtos que foram vendidos ao consumidor e retornam, ou quando a sua vida útil é encerrada, ou quando o consumidor quer substituir o produto (CLOTTEY; BENTON JR; SRIVASTAVA, 2012). Com isso, há grandes incertezas em relação a quantidade, qualidade e em que períodos serão retornados esses produtos (GUIDE JR, 2000; OSTLIN; SUNDIN; BJORKMAN, 2008; UMEDA; KONDOH; SUGINO, 2005).

Na remanufatura, estimar a previsão de retorno de matéria-prima, pode se tornar uma questão complexa (STINDT; SAHAMIE, 2014) e isso pode dificultar a administração das informações nesse sistema produtivo. Porém, a sua realização é importante, pois impacta em diversas áreas críticas, como aquisição de novas unidades fabris, planejamento da capacidade produtiva, gerenciamento da disposição de resíduos (CLOTTEY; BENTON JR; SRIVASTAVA, 2012) e em outras diversas etapas administrativas do sistema produtivo.

Além disso, é essencial para operações sustentáveis, como a remanufatura, que as quantidades de matérias-primas, componentes e peças estejam no volume e momento correto, para que as atividades restantes que agregam valor ao produto possam dar prosseguimento (GUNASEKARAN; SPALANZANI, 2012).

Buscando uma maior acuracidade na previsão de retorno de matéria-prima, diversos autores propõem modelos que relacionam às vendas passadas do produto e o seu respectivo retorno. Alguns exemplos são Clotey, Benton Jr e Srivastava (2012), Kelle e Silver (1989), Krapp, Johanes e Ramin (2013), Goh e Varaprasad (1986), Marx-gomes et al. (2002) e Toktay, Wein e Zenios (2000). Alguns ainda relacionam os padrões de comportamento do consumidor e do ciclo de vida do produto (MARX-GOMES et al., 2002). Dentre alguns modelos de previsão de retorno sugeridos, encontram-se a estatística Bayesiana (TOKTAY; WEIN; ZENIOS,

2000; KRAPP; JOHANES; RAMIN, 2013), o RNA-Fuzzy (MARX-GOMES et al., 2002) e o Box-Jenkins adaptado (GOH; VARAPRASAD, 1986). Esses modelos são testados em diferentes produtos como containers reusáveis (GOH; VARAPRASAD, 1986; KELLE; SILVER, 1989), câmeras descartáveis (TOKTAY; WEIN; ZENIOS, 2000), fotocopiadoras (MARX-GOMES et al., 2002) e produtos eletrônicos (CLOTTEY; BENTON JR; SRIVASTAVA, 2012). Contudo, a aquisição de dados externos ao produto, como volume de vendas e ciclo de vida, deve ser fornecida por seus fabricantes originais ou grandes distribuidores, e isso nem sempre pode ser possível, ou de fácil acesso, inviabilizando a previsão de retorno através desses modelos. Essa dificuldade é relatada em Marx-gomes et al. (2002).

Em contrapartida, encontramos na manufatura convencional, diversos modelos considerados como clássicos, para previsão de demanda, que se baseiam exclusivamente em dados históricos da série, ou seja, sem depender de dados externos para a realização da previsão. Alguns exemplos são: modelos ARIMA e modelos de Suavização Exponencial (PETROPOULOS et al., 2014). Esses modelos são facilmente aplicados para previsão da demanda produtiva através de softwares popularmente conhecidos ou pacotes de extensões em sistemas ERP/MRP.

Considerando a dificuldade para a obtenção de dados externos através dos modelos existentes para previsão de retorno de matéria-prima, combinado a facilidade de implementação dos modelos clássicos de previsão de demanda, esse estudo irá analisar a aplicação de modelos clássicos de previsão de demanda, e avaliar a resposta desses, para previsão de retorno de matéria-prima no ambiente de remanufatura.

Tal pesquisa contribui com estudos que verificam a adequação de técnicas tradicionais de gestão, amplamente difundidas no ambiente industrial tradicional, para ambientes de remanufatura.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: primeiramente apresenta-se uma breve caracterização teórica sobre o ambiente de remanufatura. No tópico seguinte detalha-se a metodologia, os modelos de previsão de demanda e as medidas de desempenho estatísticos aplicados neste estudo, além de breves comentários sobre o estudo de caso realizado. Posteriormente, os resultados são relatados e discutidos, e finalmente, as considerações finais são apresentadas, concluindo o trabalho e propondo sugestões para trabalhos futuros.

2. Remanufatura

A remanufatura vem recebendo grande interesse acadêmico e industrial devido a identificação de diversos benefícios relacionados aos pilares da sustentabilidade (ambiental, social e econômica) (GIUNTINI; GAUDETTE, 2003; HATCHER; IJOMAH; WINDMILL, 2011, SAAVEDRA et al., 2013).

No Brasil, a importância da remanufatura tende a aumentar devido à implementação de legislação específica, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que entrou em vigor em agosto de 2014. A PNRS determina diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos para minimizar a quantidade dos mesmos através da destinação e tratamento adequado. Essa lei destaca a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, incluindo, além dos geradores e do poder público, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Além disso, em comparação com a manufatura de novos produtos, a remanufatura apresenta diversas vantagens econômicas e ambientais (BRAS; MCINTOSH, 1999; CHEN et al., 2014;

IJOMAH et al., 2007).

Dentre as vantagens econômicas, a remanufatura pode ser um processo rentável, com custos menores do que a manufatura convencional (TOFFEL, 2004) e entre as vantagens ambientais, podem ocorrer reduções do uso das matérias primas e energia, ou ao menos, a remanufatura garante que somente uma fração dos produtos necessite ser reciclada (SEITZ, 2007).

Por outro lado, a remanufatura encontra grande dificuldade de garantir uma oferta suficiente de produtos para apoiar as suas atividades (CLOTTEY; BENTON JR; SRIVASTAVA, 2014), devido a dificuldades com a obtenção de produtos usados, que são sua matéria-prima (OSTLIN; SUNDIN; BJORKMAN, 2009; TOFFEL, 2004).

Essa dificuldade com o retorno dos produtos usados pode criar variações em relação à capacidade da planta processadora e com o fluxo do processo, sendo necessário realizar um balanço entre a quantidade dos produtos recolhidos e a demanda do consumidor (GUIDE, 2000; OSTLIN; SUNDIN; BJORKMAN, 2009). Para Ostlin, Sundin e Bjorkman. (2009) as empresas de remanufatura devem se concentrar no desenvolvimento de modelos que podem fazer retornos previsíveis. A previsão exata das devoluções dos produtos usados pode ajudar a gerir de forma eficaz diversas atividades neste ambiente (CLOTTEY; BENTON JR; SRIVASTAVA, 2014).

Alguns autores citam que modelos clássicos de previsão de demanda não podem ser aplicados ou são inadequados no segmento de remanufatura, pois baseiam exclusivamente nos dados passados e não conseguem integrar características específicas dos produtos e interdependências (CLOTTEY; BENTON JR; SRIVASTAVA, 2012; KRAPP; JOHANES; RAMIN, 2013; MARX-GOMES et al., 2002).

A seguir apresenta-se a condução metodológica do estudo desenvolvido.

3. Metodologia

A fim de verificar o desempenho dos métodos clássicos de previsão de demanda no ambiente de remanufatura foi utilizado um estudo de caso neste ambiente. Yin (2001) aponta que um estudo de caso é uma investigação empírica que averigua um fenômeno contemporâneo em seu contexto real, principalmente quando seus limites ainda não estão bem definidos.

Será analisada uma empresa de remanufatura de extintores de incêndio localizada no sudeste brasileiro. No Brasil, o segmento de remanufatura de extintores de incêndio é consolidado no mercado, visto que sua atuação é amparada por normas específicas com abrangência nacional e órgãos fiscalizadores, que atribuem confiabilidade ao processo. Além disso, esse segmento pode apresentar previsibilidade do retorno de matéria-prima visto que o conteúdo dos extintores mais utilizados (gás carbônico, água e pó químico) nas edificações brasileiras, deve ser inspecionado entre o período de seis a doze meses (ABNT, 1998). A empresa não trabalha com lotes mínimos de fabricação dos produtos.

A remanufatura dos extintores corresponde ao processo onde o extintor com validade vencida retorna para a empresa remanufatureira e esta realiza a substituição do seu conteúdo e de algumas peças que possam apresentar avarias ou inconfiabilidade, e finaliza por retornar ao consumidor com nova validade. O processo executado internamente pela empresa brevemente corresponde às etapas de desmontagem e limpeza do extintor, seguido de testes e avaliações de suas peças, substituição do seu conteúdo, montagem com a substituição de peças avariadas e por último a lacração final.

Os dados foram coletados em visita à unidade de análise onde foram obtidas 68 observações referentes ao histórico mensal de vendas que compreendem o período de maio de 2009 à

dezembro de 2014. A quantidade de dados foi limitada à disponibilidade dos bancos de dados da fonte de origem.

4. Análise Preliminar dos Dados

Como os processos e materiais utilizados na remanufatura são muito semelhantes, confeccionados na mesma linha de produção, considerou-se os diversos tipos de extintores como um único modelo. A Figura 1 apresenta o gráfico com as observações da série selecionada. De acordo com a Figura 1 pode-se verificar que a série apresenta tendência de crescimento, indicada pela linha pontilhada do gráfico. A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas apresentadas na série de dados. O desvio padrão e a variância encontrados na Tabela 1 indicam que há na série a presença de variabilidade e dispersão em relação à média.

A Figura 2 apresenta o gráfico sazonal da série. Na análise da Figura 2 pode-se verificar o um possível comportamento sazonal dos dados evidenciado pelo padrão de demanda relacionado aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro que em sua maioria apresentam queda da demanda mensal, seguida de súbito aumento no mês de março. A presença de datas comemorativas, férias coletivas e aumento do número de funcionários em férias, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, pode ser o fator resultante para a queda da demanda neste período.

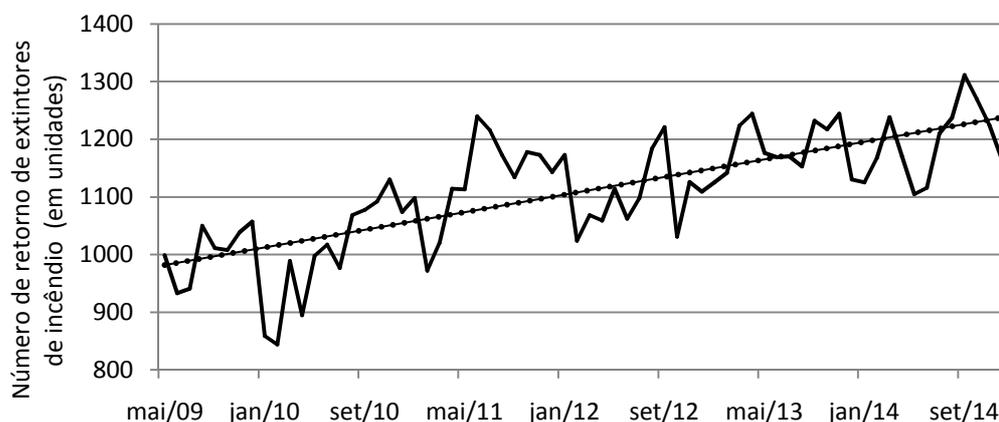


Figura 1. Dados históricos de vendas de extintores da empresa em unidades

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Mínimo	933	844	972	1024	1125	1105	844
Máximo	1057	1130	1240	1221	1244	1311	1311
Média	1004,75	1001,67	1131,17	1105,75	1185,5	1195	1109,8
Mediana	937	997	1228	1080	1169,5	1163	1305,5
Variância	2177,93	8867,7	5845,42	3842,93	1979,36	4119,45	10098,46
Desvio Padrão	46,67	94,17	76,45	61,99	44,49	64,18	100,49

Tabela 1. Estatísticas descritivas da série de dados

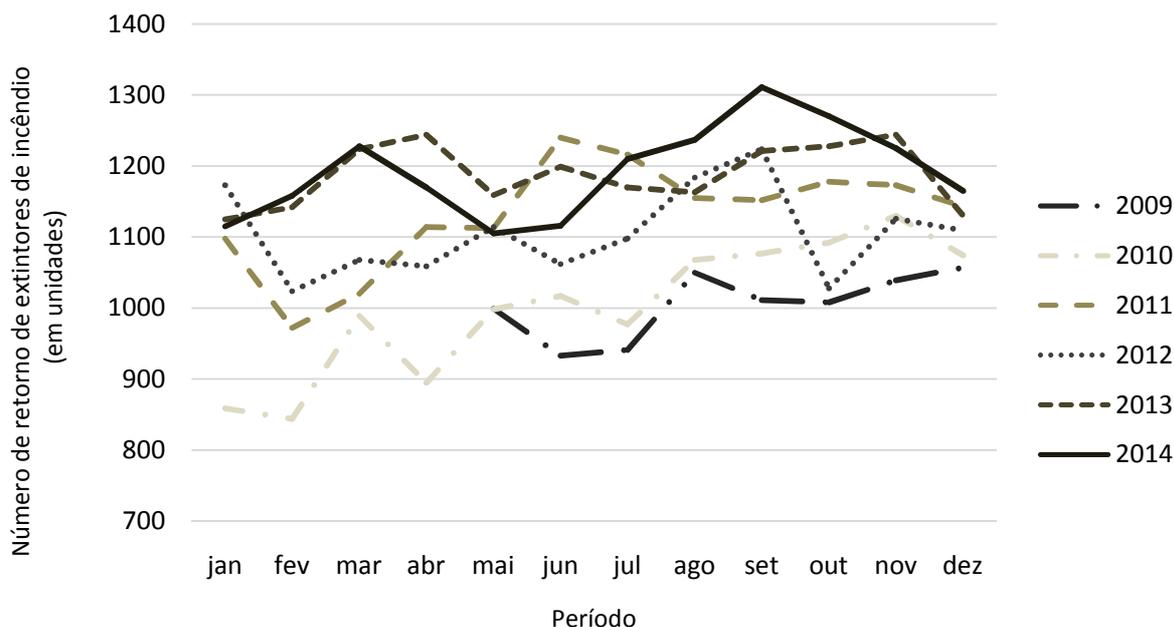


Figura 2. Análise mensal de retorno de extintores de incêndio

A análise das figuras 1 e 2, sobre as curvas de demanda, sugerem uma demanda com tendência de crescimento e uma possível sazonalidade anual. Assim serão analisados o modelo de Suavização Exponencial de Holt, para séries com tendência, o modelo de Suavização Exponencial de Holt-Winter e ARIMA, para situações com tendência e sazonalidade. Segundo Marx-gomez et al. (2002) e Petropoulos et al. (2014) esses modelos possuem certa popularidade na manufatura convencional. Para medir o desempenho dos modelos optou-se por utilizar como medida estatística o erro absoluto médio (MAE), o erro absoluto médio percentual (MAPE) e a raiz do erro médio quadrático (RMSE). Para a realização da modelagem dos dados utilizou-se como ferramenta computacional o programa Forecast Pro XE versão 6. Todos os modelos e medidas de desempenho adotadas nesse estudo serão discutidos a seguir.

4.1 Modelos de suavização exponencial (SE)

Os modelos de suavização exponencial (SE) possuem como função atribuir menor grau de significância aos dados mais antigos, fazendo com que os dados mais afastados possuam importância exponencialmente menor no resultado da previsão (TEIXEIRA, 2004). As técnicas específicas desse tipo assumem que os valores extremos da série representam a aleatoriedade e, assim, por meio da suavização desses extremos, pode-se identificar o padrão básico da série analisada. A grande popularidade desses modelos é atribuída devido à simplicidade, à eficiência computacional e à sua razoável precisão (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Dentre os modelos existentes destacam-se o Modelo de Suavização Exponencial Simples (SES), Modelo de Holt (SEH), o Modelo de Holt-Winter para Efeitos Sazonais Multiplicativos (SEHWM) e o Modelo de Holt-Winter para Efeitos Sazonais Aditivos (SEHWA) (GARDNER, 2006). A Tabela 2 contém as equações desses modelos baseado em Gardner (1985). A notação utilizada encontra-se na Tabela 3.

Modelo	Fórmula
Modelo de Suavização Exponencial Simples (SES)	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t$
Modelo de Holt (SEH)	$S_t = \alpha X_t + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t$
Modelo de Holt-Winter para Efeitos Sazonais Multiplicativos (SEHWM)	$S_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-p}} + (1 - \alpha) (S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$ $I_t = \gamma \frac{X_t}{S_t} + (1 - \gamma)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = (S_t + mT_t) I_{t-p+m}$
Modelo de Holt-Winter para Efeitos Sazonais Aditivos (SEHWA)	$S_t = \alpha (X_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha) (S_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta (S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$ $I_t = \gamma (X_t - S_t) + (1 - \gamma)I_{t-p}$ $\hat{X}_t(m) = S_t + mT_t + I_{t-p+m}$

Fonte: Adaptado de Gardner (1985).

Tabela 2. Métodos de Suavização Exponencial

Símbolo	Definição
α	Parâmetro de suavização para o nível
β	Parâmetro de suavização para a tendência
γ	Parâmetro de suavização para índices sazonais
X_t	Valor observado na série no período t
S_t	Suavização em nível da série, calculado após X_t for observado.
$\hat{X}_t(m)$	Previsão para m períodos a frente desde a origem t
T_t	Suavização de tendência no final do período t
I_t	Suavização do índice sazonal no final do período t
M	Número de períodos na previsão do prazo de entrega
p	Número de períodos no ciclo sazonal

Fonte: Adaptado de Gardner (1985).

Tabela 3. Notação para os métodos de suavização exponencial

4.2 Modelos ARIMA

Os modelos ARIMA são classificados como um modelo geral para a análise de séries temporais onde parte-se do princípio que cada valor da série temporal pode ser explicado por seus valores prévios (BOX; JENKINS; REINSEL, 1994).

O modelo ARIMA é composto por uma estrutura subdividida em uma porção auto regressiva e uma porção de médias móveis (KORZENOWSKI et al., 2013). A porção auto regressiva (AR) relaciona dados das séries temporais que estão fortemente correlacionados com seus valores antecessores e sucessores (ENDERS, 1995). A porção de médias móveis (MA) utilizam-se das médias ponderadas das perturbações ou erros aleatórios de determinadas defasagens. Para séries que não apresentam estacionariedade na média, mas que possuem em geral um comportamento homogêneo, com a ocorrência de tendências que se repetem, podemos representar essa série por um processo estacionário com d níveis de diferenciações (MORETTIN; TOLOI, 2006). A equação 1 descreve o modelo ARIMA (p,d,q).

$$\phi(B)\Delta^d X_t = \theta(B)a_t + \sum_{i=1}^k D_{it} \quad (1)$$

Onde $\phi(B)$ é a porção auto regressiva; Δ^d é o operador de diferenciação, sendo d o número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária e $d \geq 0$; X_t é a série com os dados coletados; $\theta(B)a_t$ é porção de médias móveis; $\sum_{i=1}^k D_{it}$ é a somatória da regressão de variáveis dummies e a_t é um elemento ruído branco identicamente e normalmente distribuído (i.n.d).

4.3 Medidas de Desempenho Estatísticos

Para obtermos a seleção do melhor método de previsão, podemos comparar uma ou mais medidas de desempenho estatísticos sobre os erros de previsão (LEMOS, 2006). Dentre essas, podemos citar o MAE descrito conforme equação 2, o MAPE descrito na equação 3 e RMSE descrito na equação 4.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |\hat{X}_t - X_t| \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - \hat{X}_t}{X_t} \right| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\hat{X}_t - X_t)^2}{n}} \quad (4)$$

onde \hat{X}_t é a previsão para o período t ; X_t é o valor observado na série no período t e n é o número de períodos incluídos na série histórica.

Poliwal e Kumar (2009) observaram que as medidas estatísticas de desempenho MAE e MAPE são largamente utilizadas em diferentes estudos para medir o desempenho de diferentes modelos de previsão. Hyndman e Koehler (2006) consideraram o RMSE como uma medida estatística de desempenho bastante popular.

5. Resultados e discussões

A seguir será realizada a aplicação dos modelos de previsão selecionados à série de retorno de matéria prima, e a respectiva análise dos resultados encontrados.

5.1 Análise dos Modelos de Previsão

Com a análise preliminar da série, iniciou-se o processo de modelagem através dos modelos de suavização exponencial (Tabela 2) e ARIMA.

Em relação aos modelos de SE, o modelo SEHWA apresentou o melhor ajustamento, reforçando a suspeita da análise inicial referente a presença de sazonalidade e tendência. As medidas estatísticas de desempenho apresentadas pelo modelo foram MAE de 50,77 unidades, MAPE de 4,63% e RMSE de 60,51, apresentados na Tabela 4.

Para os modelos ARIMA, indicando também a presença de sazonalidade e tendência, concluiu-se que o modelo SARIMA (2,1,1) (1,0,1)₁₂ apresentou a melhor adequação com resultados para as medidas de desempenho estatístico de MAE com 42,59 unidades, MAPE com 3,94% e RMSE com 55,79. A Tabela 4 apresenta os resultados comparativos entre os modelos.

A Figura 3 apresenta as previsões dos modelos SARIMA (2,1,1) (1,0,1)₁₂ e de SEHWA, em comparação com as observações da série selecionada. Destaca-se que esses modelos (SEHWA e ARIMA) apresentaram erros ao capturar as aleatoriedades do modelo e nos grandes picos da série.

A Tabela 3 evidencia que os modelos apresentaram de forma geral níveis aceitáveis de precisão e boa resposta em relação às medidas de desempenho estatísticos com resultados para MAPE que oscilaram entre 3,94% à 4,77%, MAE entre 42,59 e 51,77 unidades e RMSE

entre 55,79 e 65,48. Sendo que o modelo SARIMA (2,1,1) (1,0,1)₁₂ apresentou a melhor adequação a série de dados.

Modelos	MAPE (%)	MAE (Unid.)	RMSE	R ² (ajustado)	BIC
SES	4,77	51,77	65,48	0,57	67,54
SEH	4,77	51,79	65,45	0,56	69,64
SEHWM	4,67	51,13	61,02	0,61	66,98
SEHWA	4,63	50,77	60,51	0,62	66,41
SARIMA (2,1,1)(1,0,1)₁₂	3,94	42,59	55,79	0,67	65,15

Tabela 4. Comparação dos resultados dos modelos aplicados a série

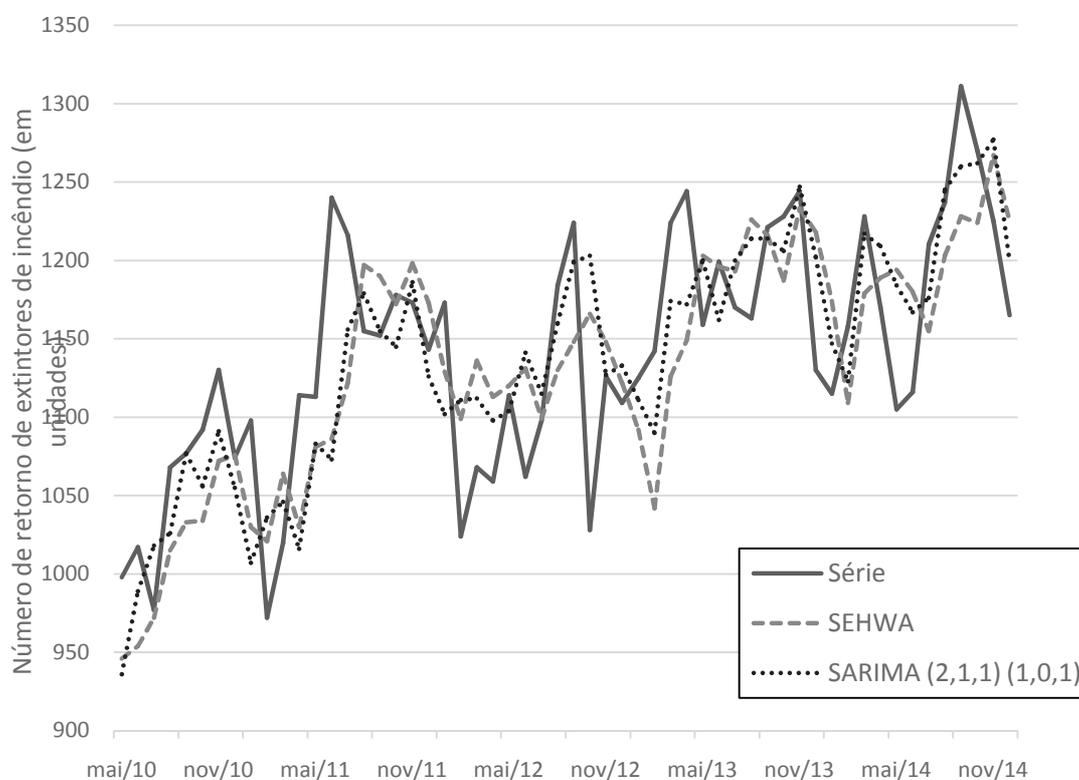


Figura 3. Dados históricos de vendas de extintores da empresa e suas estimativas em unidades

Os resultados apresentados pelos modelos, são viáveis para implementação de previsão de retorno de matéria-prima no caso da empresa analisada. Ressalta-se, que o ambiente remanufatureiro possui como característica, muita incerteza com a qualidade e quantidade de matéria-prima (GUIDE JR, 2000; OSTLIN; SUNDIN; BJORKMAN, 2008; UMEDA; KONDOH; SUGINO, 2005), e isso pode atribuir grande aleatoriedade nas séries, mas que não ocorreu com grande intensidade nesta série de dados conforme percebemos nos valores apresentados de variância e desvio-padrão da tabela 1.

Esse caso revela que existem particularidades no ambiente de remanufatura onde os modelos clássicos de previsão de demanda podem se tornar aceitáveis, não corroborando com as

proposições de Clotey, Benton Jr. e Srivastava. (2012), Krapp, Johanes e Ramin (2013), Marx-Gomes et al. (2002) sobre a não adequação dos modelos tradicionais de previsão de demanda para ambientes de remanufatura.

As grandes vantagens da utilização dos modelos clássicos de previsão de demanda para previsão de retorno de matéria-prima estão na facilidade de aplicação desses através de softwares computacionais, e a não-dependência de dados externos ao produto como ciclo de vida.

6. Considerações finais

Com a finalidade de verificar o desempenho de modelos clássicos para a previsão de demanda utilizadas na manufatura convencional, quando esses são submetidos ao ambiente de remanufatura para previsão de retorno de matéria-prima, este artigo realizou um estudo de caso em uma empresa de remanufatura de extintores de incêndio, onde foram aplicados os modelos de Suavização Exponencial e ARIMA. Estes foram avaliados através das medidas de desempenho estatísticos MAE, MAPE e RMSE. O modelo SARIMA (2,1,1) (1,0,1)₁₂ apresentou o melhor desempenho com MAPE de 3,94%.

Os resultados obtidos evidenciam que estudos relacionados a previsão de retorno para a remanufatura não devem ser generalizados. Existem particularidades nesses ambientes que permitem que a adoção de modelos clássicos de previsão de demanda sejam aceitáveis. Os métodos comumente aplicados na manufatura convencional e baseados exclusivamente em dados históricos podem possuir níveis aceitáveis de precisão com MAPE em torno de 4,5% e boa adequação a série de dados.

Os resultados apresentados pelos métodos neste estudo podem estar associados a estabilidade e consolidação do setor de remanufatura de extintores de incêndio no Brasil e a auto correlação dos dados pode ser consequência do fato de que no Brasil os extintores de incêndio mais utilizados (gás carbônico, água e pó químico) devem ser inspecionados e remanufaturados obrigatoriamente entre o período de seis meses à doze meses (ABNT, 1998) o que pode facilitar a previsibilidade dos dados.

O estudo foi realizado em somente uma empresa e entende-se que isso, é uma limitação deste trabalho. Destaca-se que, com esses resultados, não se tem a intenção de generalizar a informação obtida, mas explorar o cenário de remanufatura e suas particularidades e propiciar maior compreensão sobre o assunto.

Como sugestão de trabalho futuro propõe-se o aprofundamento em estudos sobre técnicas de previsão de demanda para ambientes de remanufatura e a caracterização dos ambientes estudados.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Inspeção, manutenção e recarga em extintores de incêndio - Procedimento*. NBR 12962. Rio de Janeiro: 1998.

BOX, G.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. *Time series analysis: Forecasting and control*. 3.ed. New York: Prentice Hall, 1994. 592 p.

BRAS, B., MCINTOSH, M.W. *Product, process, and organizational design for remanufacture - an overview of research*. Robotics and Computers-Integrated Manufacturing, Vol. 15, n. 3, p. 167-178, 1999.

BRASIL. *Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 25 fev. 2014.

CHEN, C., et al. *A review on remanufacture of dies and moulds*. Journal of Cleaner Production, Vol. 64, p. 13-23, 2014.

- CLOTTEY, T.; BENTON JR. W. C.; SRIVASTAVA, R.** *Determining core acquisition quantities when products have long return lags.* IIE Transactions, Vol. 46, n. 9, p. 880-893, 2014.
- CLOTTEY, T.; BENTON JR. W. C.; SRIVASTAVA, R.** *Forecasting Product Returns for Remanufacturing Operations.* Journal of the Decision Sciences, Vol. 43, n. 4, p. 589-613, 2012.
- ENDERS, W.** *Applied Econometric Time Series.* New York: John Wiley & Sons, 1995. 433p.
- FLEISCHMANN, M., et al.** *The Impact of Product Recovery on Logistics Network Design.* Production and Operations Management, Vol. 10, n. 2, p. 156-173, 2001.
- GARDNER Jr., E.S.** *Exponential Smoothing: The State of Art – Part II.* International Journal of Forecasting Vol. 22, n. 4, p. 637-666, 2006.
- GARDNER Jr., E.S.** *Exponential Smoothing: The State of Art.* Journal of Forecasting, Vol. 4, p.1- 28, 1985.
- GIUNTINI, R.; GAUDETTE, K.,** *Remanufacturing: The next great opportunity for boosting US productivity.* Bussiness Horizon, Vol. 46, n.6, p.41-48, 2003.
- GOH, T. N., VARAPRASAD, N.** *A statistical methodology for the analysis of the life-cycle of reusable containers.* IIE Transactions., Vol. 18, n. 1, p. 42-47, 1986.
- GUARNIERI, P., et al.** *The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case.* Journal of Cleaner Production, p. 1-11, 2014.
- GUIDE JR., V. D. R.** *Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs.* Journal of Operations Management, Vol. 18, p. 467-483, 2000.
- GUNASEKARAN, A.; SPALANZANI, A.;** *Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications.* International Journal of Production Economics, Vol. 140, p. 35-47, 2012.
- HATCHER, G. D.; IJOMAH, W. L.; WINDMILL, J. F. C.;** *Design for remanufacturing.* Journal of Cleaner Production, Vol.19, p. 2000-2014. 2011.
- HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B.** *Another look at measures of forecast accuracy.* International Journal of Forecasting, Vol. 22, p. 284-299, 2006.
- IJOMAH, W. L., et al.** *Development of design for remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing.* Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 23, n. 6, p. 712-719, 2007.
- KELLE, P. SILVER, E.;** *Forecasting the returns of reusable containers.* Journal of Operations Management, Vol. 8, n. 1, p. 17-35, 1989.
- KRAPP, M.; JOHANNES, N.; RAMIN S.;** *Forecasting product returns in closed-loop supply chains.* International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 43, n. 8, p. 614-637, 2013.
- KORZENOWSKI, A. L. et al.** *Predictive models with endogenous variables for quality control in customized scenarios affected by multiple setups.* Computers & Industrial Engineering, Vol. 65, p. 729-736, 2013.
- LEMOS, F. O.** *Metodologia para seleção de métodos de previsão de demanda.* 2006. 152 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
- MARX-GOMEZ J., et al.;** *Neuro-Fuzzy approach to forecast returns of scrapped products to recycling and remanufacturing.* Knowledge-Based Systems, Vol. 15, p.119-128. 2002.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C.** *Análise de Séries Temporais.* 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- OH, Y. H.; WANG, H.** *Deterministic inventory model for recycling system.* Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 17, n. 4, p. 423-428, 2006.
- OSTLIN, J.; SUNDIN, E.; BJORKMAN, M.;** *Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing.* International Journal of Production Economics, Vol. 115, n. 2, p.336-348, 2008.
- OSTLIN, J.; SUNDIN, E.; BJORKMAN, M.;** *Product life-cycle implications for remanufacturing strategies.* Journal of Cleaner Production, Vol. 17, p. 999-1009, 2009.
- PETROPOULOS F., et al.;** *'Horses for Courses' in demand forecasting.* European Journal of Operational Research, Vol. 237, p. 152-163, 2014.
- POLIWAL, M., KUMAR, U. A.** *Neural networks and statistical techniques: A review of applications.* Expert Systems with Applications, Vol. 36, p. 2-17, 2009.

TEIXEIRA, J. A. J. *Metodologia para implementação de um sistema de gestão de estoques baseado em previsão de demanda.* Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

TOFFEL, M. W.; *Strategic management of product recovery.* California Management Review, Vol. 46, n. 2, p. 120-141, 2004.

TOKTAY, B.; WEIN, L.; ZENIOS, S. *Inventory management of remanufacturing products.* Management Science, Vol. 46, n. 11, p. 1412-1426, 2000.

SAAVEDRA, Y. M. B., et al. *Remanufacturing in Brazil: case studies on the automotive sector.* Journal of Cleaner Production, Vol. 53, p. 267-276, 2013.

SEITZ, M. A. *A critical assessment of motives for product recovery: the case of engine remanufacturing.* Journal of Cleaner Production, Vol. 15, n. 11-12, p. 1147-1157, 2007.

STINDT, D.; SAHAMIE, R.; *Review of research on closed loop supply chain management in the process industry.* Flexible Service Manufacturing Journal. 2014, Vol. 26, p. 268-293.

UMEDA, Y.; KONDOH, S.; SUGINO, T. *Proposal of "Marginal Reuse Rate" for Evaluating Reusability of Products.* International Conference on Engineering Design, Melbourne, 2005.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e método*. s. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 200p.