

PREVISÃO EM REMANUFATURA DE EXTINTORES DE INCÊNDIO

FORECAST AT REMANUFACTURING OF FIRE EXTINGUISHER

Erica Caroline Martinho Ortiz^{1,*}, Juliana Veiga Mendes¹, Adelson Martins Figueiredo²

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. Esse é o caso da recarga de extintores de incêndio no Brasil. Ter previsibilidade sobre o retorno dos extintores é fundamental para as atividades de planejamento do negócio. Essa previsibilidade pode ser obtida com a adoção de modelos específicos para remanufatura que incorporam características dos produtos e são, normalmente, 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. Com isso, através de um estudo de caso, selecionou-se uma empresa de remanufatura de extintores de incêndio localizada no sudeste brasileiro para aplicação dos modelos suavização exponencial e Box-Jenkins para previsão de retorno de matéria-prima. Os resultados do estudo apontaram que os modelos, apesar de normalmente não apresentarem bons níveis de adequação, neste caso, apresentaram níveis aceitáveis de precisão. O nível de adequação pode estar associado a estabilidade e consolidação do setor de remanufatura de extintores de incêndio no Brasil e da legislação do setor.

Palavras-Chaves: Remanufatura, Previsão, Extintores.

ABSTRACT

Remanufacturing can be defined as industrial process in which products are refurbished to obtain a longer lifespan. The raw material used in remanufacturing comes largely from products sold to consumers and returned (even without any use), or when its useful life is over (broken pieces, obsolete), or when the consumer wants to replace the product (outdated systems, new technologies). This is the case of fire extinguishers in Brazil. Having predictability on the return of extinguishers is critical to the planning activities of the business. This predictability can be achieved with the adoption of specific models for remanufacturing that incorporate characteristics of the products and are usually difficult to implement and use in enterprise environments. In turn, the conventional manufacturing, there are several models to forecast demand which are widely disseminated and used. Thus, through a case study, a remanufacturing fire extinguishers company located in southeastern Brazil was selected for the application of exponential smoothing and Box-Jenkins models to forecast return of

¹Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR. Sorocaba. Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, Sorocaba. Brasil.

*Autor para correspondência: ericaortiz02@gmail.com.

raw materials. Although these models usually do not present good fitness levels to forecast, results showed high levels of accuracy in this study. The fitness level may be associated with stability and consolidation of the remanufacturing sector of fire extinguishers in Brazil and the strong legislation of the sector.

Keywords: Remanufacturing, Forecast, Fire Extinguisher

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.

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 *et al.*, 2008).

No Brasil, o segmento de remanufatura de extintores, ou ainda, recarga de extintores, é amparado por normas específicas e órgãos fiscalizadores como a norma NBR 12962 (ABNT,1998). Uma das características dos extintores remanufaturados no Brasil é que o tempo de retorno do produto é instituído na norma. Segundo a NBR 12962, o retorno do produto varia de acordo com o seu conteúdo de 6 a 12 meses.

Os extintores de incêndio são equipamentos de segurança essenciais para preservar a vida e danos ao patrimônio causados pelo fogo (Liu *et al.*, 2007). Os extintores estão presentes em situações diversas, como itens obrigatórios de segurança para uso residencial e industrial, devido à sua eficácia, portabilidade e facilidade de manuseio.

Normalmente a remanufatura, apresentam características bem diferentes quando comparadas ao processo de manufatura convencional. Porém, assim como é na manufatura convencional, é essencial na remanufatura que haja previsibilidade no retorno de produtos para assim poder prever toda a cadeia produtiva da administração do sistema de produção.

Além disso, para operações sustentáveis, como a remanufatura, é essencial 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).

Na literatura, estimar a previsão de retorno de matéria-prima na remanufatura, pode se tornar uma questão complexa (Stindt & Sahamie, 2014) e isso pode dificultar a administração das informações nesse sistema produtivo.

Buscando uma maior acuracidade na previsão de retorno de matéria-prima, alguns autores propõem modelos que relacionam as vendas passadas do produto e o seu respectivo retorno. Alguns exemplos são Clottey *et al.* (2012), Kelle & Silver (1989), Krapp *et al.* (2013), Goh & Varaprasad (1986), Marx-gomes *et al.* (2002) e Toktay *et al.* (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 *et al.*, 2000; Krapp *et al.*, 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 *et al.*, 2000), fotocopiadoras (Marx-gomes *et al.*, 2002) e produtos eletrônicos (Clottey *et al.*, 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 já bastante utilizados, 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 as particularidades do segmento de remanufatura de extintores do sudeste brasileiro e as dificuldades de obtenção de dados externos através dos modelos existentes para previsão de retorno de matéria-prima na literatura, esse estudo irá aplicar modelos para previsão de demanda e verificar sua adequação através de um estudo de caso.

Esse estudo apresenta uma contribuição na área, pois verifica a utilização de modelos tradicionais para previsão de demanda que devido às particularidades do segmento podem começar a se tornar adequados no ambiente remanufatureiro. Além disso, há uma lacuna na literatura na utilização de modelos de previsão de retorno de matéria-prima no segmento de remanufatura de extintores de incêndio.

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.

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) (Hatcher *et al.*, 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 (Chen *et al.*, 2014).

Dentre as vantagens econômicas, a remanufatura pode ser um processo rentável, com custos menores do que a manufatura convencional 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 (Clotey *et al.*, 2014), devido a dificuldades com a obtenção de produtos usados, que são sua matéria-prima (Ostlin *et al.*, 2009).

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 (Ostlin *et al.*, 2009). Para Ostlin *et al.* (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 (Clotley *et al.*, 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 (Clotley *et al.*, 2012; Krapp *et al.*, 2013; Marx-Gomes *et al.*, 2002).

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

MATERIAL E MÉTODOS

Afim de verificar o desempenho dos métodos tradicionais de previsão de demanda no ambiente de remanufatura foi utilizado um estudo de caso neste ambiente.

Será analisada uma empresa de remanufatura de extintores de incêndio localizada no sudeste brasileiro. A escolha pela remanufatura de extintores ocorreu em virtude das características deste segmento. Essas características podem tornar a utilização de métodos de previsão de demanda adequadas. Dentre as características presentes no segmento encontram-se: a consolidação do processo no mercado brasileiro, as normas específicas com abrangência nacional que detalham e especificam o processo e os órgãos fiscalizadores atuantes, que verificando a conformidade desses processos passam confiabilidade ao consumidor. 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 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.

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.

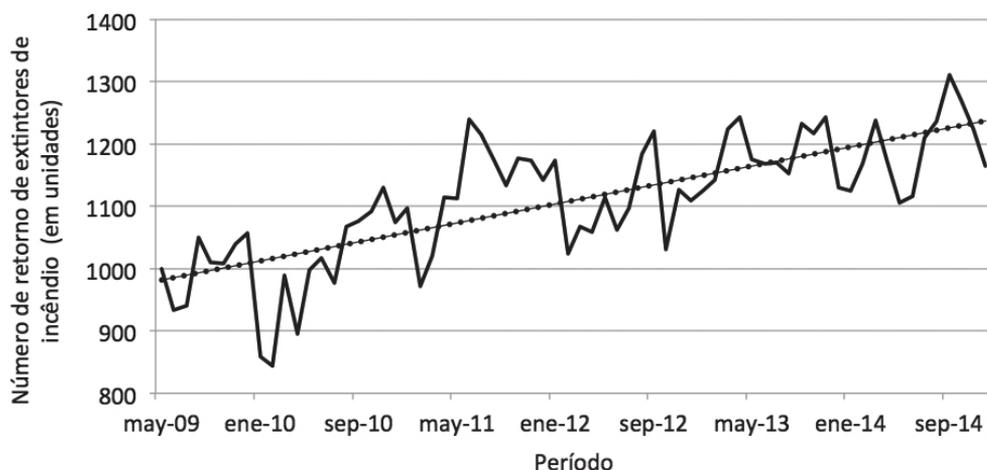


Figura 1. Dados históricos de vendas de extintores da empresa em unidades.
 Fonte: autor

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.

Tabela 1. Estatísticas descritivas da série de dados

	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

Fonte: autor

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.

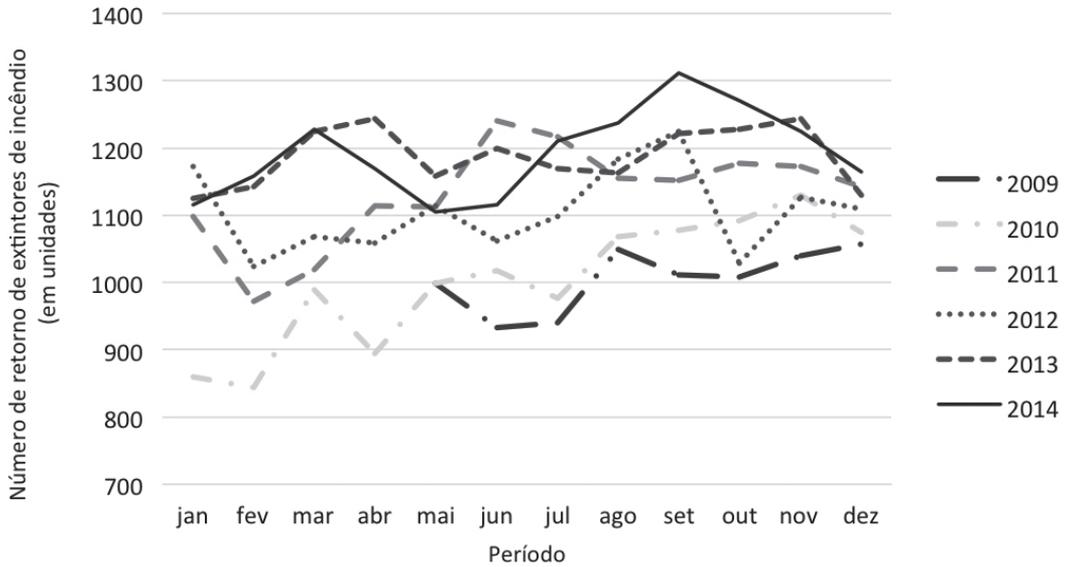


Figura 2. Análise mensal de retorno de extintores de incêndio.

Fonte: autor

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 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.

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.

Tabela 2. Métodos de Suavização Exponencial

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 3. Notação para os 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).

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.

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. 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 & Toloí, 2006). A equação 1 descreve o modelo ARIMA (p,d,q).

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

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).

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. Dentre essas, podemos citar o MAE descrito conforme equação 2, o MAPE descrito na equação 3 e RMSE descrito

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

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

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

na equação 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.

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.

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.

Tabela 4. Comparação dos resultados dos modelos aplicados a série

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

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.

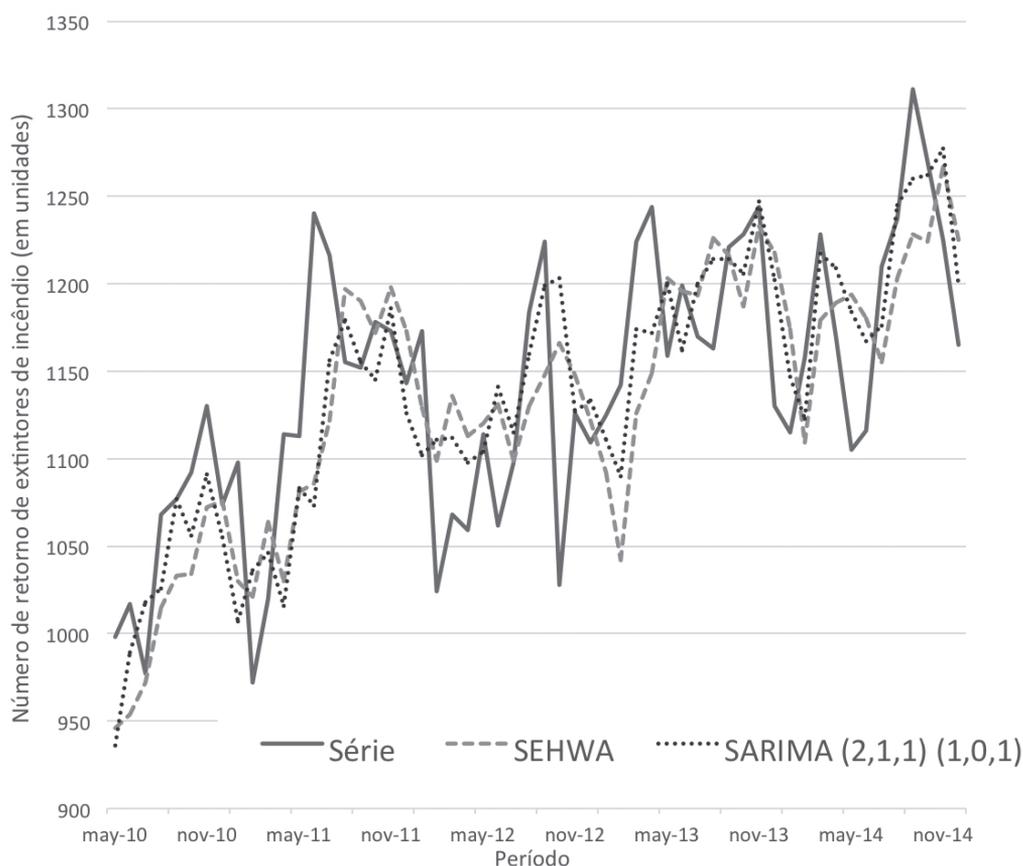


Figura 3. Dados históricos de vendas de extintores da empresa e suas estimativas em unidades.

A Tabela 4 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.

Os resultados apresentados pelos modelos, são viáveis para implementação de previsão de retorno de matéria-primo caso da empresa analisada. Ressalta-se, que o ambiente remanufatureiro possui como característica, muita incerteza com a qualidade e quantidade de matéria-prima (Ostlin *et al.*, 2008; Umeda *et al.*, 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 Clotley *et al.* (2012), Krapp *et al.* (2013), Marx-Gomes *et al.* (2002) sobre a não adequação dos modelos tradicionais de previsão de demanda para ambientes de remanufatura.

Além disso, os resultados apresentados pelos modelos para previsão de demanda já utilizados na manufatura convencional, no ambiente de remanufatura, como o de extintores de incêndio no Brasil, pode sinalizar mudanças na forma como a remanufatura vem se adaptando em resposta ao aumento da demanda. Esse aumento da demanda pode ser consequência da legislação que vem se ampliando e solidificando neste segmento, ou da consciência em relação à sustentabilidade pelos consumidores.

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 remanufatura dos 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 do 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., and REINSEL, G. Time series analysis: Forecasting and control. 3.ed. New York: Prentice Hall, 1994. 592 p.

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. [on line] [Acesso em: 2014.02.25], Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>.

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

CLOTTEY, T., BENTON JR, W. C., and SRIVASTAVA, R. Determining core acquisition quantities when products have long return lags. *IIE Transactions*, 2014, vol. 46, no. 9, p. 880-893.

CLOTTEY, T., BENTON JR, W. C., and SRIVASTAVA, R. Forecasting Product Returns for Remanufacturing Operations. *Journal of the Decision Sciences*, 2012, vol. 43, no. 4, p. 589-613.

GARDNER Jr., E.S. Exponential Smoothing: The State of Art – Part II. *International Journal of Forecasting*, 2006, vol. 22, no. 4, p. 637-666.

GARDNER Jr., E.S. Exponential Smoothing: The State of Art. *Journal of Forecasting*, 1985, vol. 4, p.1- 28.

GOH, T. N., and VARAPRASAD, N. A statistical methodology for the analysis of the life-cycle of reusable containers. *IIE Transactions*, 1986, vol. 18, no. 1, p. 42-47.

GUNASEKARAN, A., and SPALANZANI, A.; Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 2012, vol. 140, p. 35-47.

HATCHER, G. D., IJOMAH, W. L., and WINDMILL, J. F. C. Design for remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 2011, vol.19, p. 2000-2014.

KELLE, P., and SILVER, E. Forecasting the returns of reusable containers. *Journal of Operations Management*, 1989, vol. 8, no. 1, p. 17-35.

KRAPP, M., JOHANNES, N., and RAMIN S. Forecasting product returns in closed-loop supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2013, vol. 43, no. 8, p. 614-637.

KORZENOWSKI, A. L. et al. Predictive models with endogenous variables for quality control in customized scenarios affected by multiple setups. *Computers & Industrial Engineering*, 2013, vol. 65, p. 729-736.

LIU, Z., and KIM, A.K., and CARPENTER, D. A study of portable water mist fire extinguishers used for extinguishment of multiple fire types. *Fire Safety Journal*, 2007, vol. 42, p. 25-42.

MARX-GOMEZ J., et al. Neuro-Fuzzy approach to forecast returns of scrapped products to recycling and remanufacturing. *Knowledge-Based Systems*, 2002, vol. 15, p.119-128.

MORETTIN, P.A., and TOLOI, C.M.C. *Análise de Séries Temporais*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

OSTLIN, J., SUNDIN, E., and BJORKMAN, M. Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 2008, vol. 115, no. 2, p.336-348.

OSTLIN, J., SUNDIN, E., and BJORKMAN, M. Product life-cycle implications for remanufacturing strategies. *Journal of Cleaner Production*, 2009, vol. 17, p. 999-1009.

PETROPOULOS F., et al. Horses for Courses' in demand forecasting. *European Journal of Operational Research*, 2014, vol. 237, p. 152-163.

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.

TOKTAY, B., WEIN, L., and ZENIOS, S. Inventory management of remanufacturing products. *Management Science*, 2000, vol. 46, no. 11, p. 1412-1426.

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

SEITZ, M. A. A critical assessment of motives for product recovery: the case of engine remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 2007, vol. 15, no. 11-12, p. 1147–1157.

STINDT, D., and 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., and SUGINO, T. Proposal of "Marginal Reuse Rate" for Evaluating Reusability of Products. Em: International Conference on Engineering Design, Melbourne, 2005.