



APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES DE SOBRESSALENTES UTILIZANDO A SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Lidiane Borges Silverio^{1,2}
Edwin Benito Mitacc Meza^{1,3}
Dalessandro Soares Vianna^{1,4}
Iara Tammela^{1,5}
Marcilene de Fátima Dianin Vianna^{1,6}

¹Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciência e Tecnologia
Rua Recife, s/n – Jardim Bela Vista – CEP: 28890-000 – Rio das Ostras, RJ – Brasil

²lidi.silverio@gmail.com, ³emitacc@id.uff.br, ⁴dalessandrosoares@yahoo.com.br,
⁵iaratammela@gmail.com, ⁶marcilenedianin@id.uff.br

RESUMO

A competitividade tem levado às empresas a otimizar cada vez mais seus custos, dentre eles os custos de manutenção de estoques. Neste contexto, a gestão da cadeia de suprimentos é fundamental para a otimização de processos e na redução dos custos de aquisição e estocagem. No entanto, a gestão de estoques sobressalentes ainda é um desafio devido à complexidade do tema, que trata da problemática dos itens de demanda intermitente e irregular. Sendo assim, o presente trabalho realizou estudo da gestão de estoques de sobressalentes de equipamentos de uma empresa petrolífera. Cenários alternativos foram experimentados através da simulação, conseguindo-se melhora significativa dos níveis de serviço do modelo através da utilização dos métodos de previsão de demanda de Croston e SES. Concluiu-se com o estudo, que com a utilização destes métodos de previsão é possível aumentar a disponibilidade dos equipamentos, sem que para isto seja necessário aumentar os custos de estoque.

PALAVRAS CHAVE: Gestão de Estoques Sobressalentes. Simulação. Previsão de Demanda.

Tópicos: SIM – Simulação, IND - PO na Indústria, P&G - PO na Área de Petróleo & Gás,

ABSTRACT

Competition have made companies optimize your costs, including inventory costs. In this context, the supply chain management is fundamental for process optimization and the reduction of acquisition and storage costs. However, the management of spare parts inventory is still a challenge due to the complexity of the issue, which deals with lumpy items. Thus, the current work presents a study of the inventory management of equipments spare parts of an oil & gas company. Alternative scenarios were experimented through simulation and significant improvement of service levels was achieved through the use of Croston and SES forecasting methods. This study concluded that these forecasting methods can increase the availability of equipments without increasing inventory costs.

KEYWORDS. Spare Parts Inventory. Simulation. Forecasting.

Paper topics: SIM – Simulation, IND - OR in Industry, P & G - OR in Oil & Gas



1. Introdução

Os estoques têm importante função na cadeia de suprimentos e sua otimização é busca constante das organizações corporativas. De acordo com [Chopra e Meindl 2007], os estoques têm o papel de aumentar a quantidade de demanda que pode ser satisfeita ao se ter o produto pronto e disponível quando o cliente o requer. Cenários complexos e altamente dinâmicos, no entanto, dificultam a tomada de decisões em relação às políticas ótimas de estoque. É o que ocorre principalmente na gestão de estoques de manutenção dos sobressalentes que geralmente possuem perfil de demanda errática e intermitente [Altay e Litteral 2011].

A gestão de estoques de sobressalentes é um tema complexo devido à especificidade das peças de reposição, que podem ter diferentes funções, aplicações, padrão de consumo e criticidade. A gestão também se torna mais complicada porque a falta de sobressalentes em estoque pode levar a maiores ou menores impactos a depender de particularidades como a existência de item substituto ou similar, do processo de produção em que o equipamento está inserido e a existência de equipamento *standby*, por exemplo. De acordo com [Basten e Houtum 2014], estocar a quantidade adequada é difícil, especialmente para componentes de alto valor, que falham com pouca frequência e tem um longo *lead time* de reposição.

A otimização dos estoques de sobressalentes se insere na grande evolução que ocorreu nas últimas décadas no conceito de manutenção em todo o mundo, função que se tornou vital para a competitividade e sobrevivência das empresas. Desde os primórdios da manutenção, quando se atuava apenas no conserto após a quebra e a manutenção era vista como um dispêndio necessário, até o surgimento do novo conceito de Manutenção Centrada no Negócio, em que o objetivo da manutenção se torna maximizar o lucro. Assim, a manutenção tem assumido papel central no atingimento dos objetivos corporativos das organizações. Nesse contexto, os estoques sobressalentes bem como a atividade de manutenção devem ser estudados de forma integrada com o processo produtivo.

[Moncrief et al. 2005] afirmam que as companhias de ponta que têm se beneficiado de estratégias modernas de gestão de estoques sobressalentes e suas ferramentas, estão sofrendo transformações benéficas no tamanho e composição de seus estoques. Em contraponto, o trabalho de [Bacchetti e Sacconi 2012] revela que apesar do aumento da relevância da gestão de sobressalentes, não tem sido dada grande atenção ao tema até muito recentemente, existindo uma grande distância entre teoria e prática.

Sendo assim, o presente estudo tem o objetivo de selecionar métodos de previsão de demanda para calcular parâmetros de estoque dos itens sobressalentes de uma empresa de produção de petróleo e gás. Para tanto, é utilizada a simulação discreta, como forma de analisar, para cada método de previsão de demanda, os impactos que a falta do equipamento mantido pode causar para a atividade de produção.

Está sendo utilizada a ferramenta de simulação porque os itens de estoque estudados possuem demanda intermitente e irregular, além da grande variabilidade de tempo nas etapas de manutenção e aquisição dos sobressalentes. Isto torna mais difícil a proposição de um modelo analítico. [Law e Kelton 2000] afirmam que a maioria dos sistemas do mundo real são muito complexos para permitir que modelos realísticos sejam avaliados analiticamente, por isso esses modelos devem ser estudados através da simulação.

2. Revisão Bibliográfica

Os sobressalentes são tratados com diferentes expressões na literatura brasileira e internacional. No Brasil são utilizados termos como peças de reposição [Rego e Mesquita 2011 ; Gomes e Wanke 2008], sobressalentes [Dias e Correa 1998] e itens M.R.O. – Manutenção, Reparo e Operação [Lara e Rodrigues 2012]. Internacionalmente, os termos *spare parts* [Dekker et. al. 1998; Syntetos et al. 2009] e *Service Parts* [Botter e Fortuin 2000; Altay e Litteral 2011] são os mais aplicados.



Segundo [Kennedy et al. 2002], a função do estoque de peças de reposição é assistir à manutenção em manter os equipamentos em condições de operar. [Van Horenbeek et al. 2013] afirmam que a principal razão para as companhias manterem estoque de sobressalentes é realizar a manutenção de forma a reestabelecer o sistema para que ele possa desempenhar a função requerida. [Kennedy et al. 2002] citam alguns fatores que tornam a gestão de estoques sobressalentes diferenciada em relação aos estoques de produtos acabados, como a influência das políticas de manutenção utilizadas, o nível de informações de confiabilidade disponíveis para a predição de falhas, o atendimento de demanda através de canibalismo de equipamentos, a obsolescência e dificuldade de quantificar custo da falta.

O padrão de demanda dos sobressalentes é um dado importante para seleção do método de previsão de demanda a ser utilizado. De acordo com [Ghobbar e Friend 2003], a previsão de demanda forma a base para o planejamento dos níveis de estoque e é, provavelmente o maior desafio na indústria de reparo e manutenção. [Bacchetti e Sacconi 2012] citam as características intermitentes e irregulares da demanda de sobressalentes, como um dos motivos que contribuem para a complexidade do tema. A demanda intermitente e irregular é chamada na literatura internacional de *lumpy*, definida por [Bartezzaghi et al. 1999] como uma demanda com grande diferença de quantidade solicitadas entre períodos e com um grande número de períodos com demanda nula.

Os métodos de previsão de demanda mais utilizados para este tipo de demanda são o Ajustamento Exponencial Simples, citado por [Willemain et al. 2004] como um dos métodos mais robustos e provavelmente o mais utilizado para previsão de demanda intermitente, o método de Croston, [Croston 1972] e o método de Syntetos-Boylan Approximation – SBA, [Syntetos et al. 2005].

Para mensurar a precisão do modelo e, desta forma, validá-lo ou não são utilizadas medidas de precisão como as citadas por [Eaves 2002]: MAD – Desvio Médio Absoluto, MAPE – Média Absoluta Percentual dos Erros e MSE - Média Quadrada dos Erros. O MAPE possui uma desvantagem para demandas intermitentes pois não admite valores nulos na série, conforme citaram [Willemain et al. 2004].

2.1 Ajustamento Exponencial Simples (SES)

É calculado da seguinte forma (MAKRIDAKIS; WHEELRIGHT; HYNDMAN, 1998):

$$Y_{t+1} = Y_t + \alpha(X_t - Y_t) \quad (1)$$

$$Y_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)Y_t, \quad (2)$$

Onde:

α é uma constante entre 0 e 1

Y_t – previsão para o período t

Y_{t+1} - previsão para o período posterior a t

X_t – demanda real para o período t

X_{t-1} – demanda real do período anterior a t

Ao substituir a previsão de demanda Y_t pela equação equivalente de ajustamento exponencial, percebe-se o comportamento exponencial dos pesos em cada parcela

$$Y_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)[\alpha X_{t-1} + (1 - \alpha)Y_{t-1}] = \alpha X_t + \alpha(1 - \alpha)X_{t-1} + (1 - \alpha)^2 Y_{t-1} \quad (3)$$

Repetindo o processo, teremos a equação expandida abaixo:

$$Y_{t+1} = X_t + \alpha(1 - \alpha)X_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 X_{t-2} + \dots + \alpha(1 - \alpha)^{t-1} X_1 + (1 - \alpha)^t Y_1 \quad (4)$$

Quanto menor o parâmetro α , mais suavizada fica a curva, e menor o efeito de grande variação na demanda. Quanto maior o alfa, menor o tempo de reação da série a mudanças bruscas na demanda. Desta forma, antes de implementar um modelo, diferentes valores de α devem ser testados de acordo com as medidas de erro da previsão.



2.2 Método de Croston

Apesar da grande utilização do SES para demandas intermitentes, [Croston 1972] provou que o Ajustamento Exponencial Único (SES) não é apropriado para demandas intermitentes, pois pode provocar estoques maiores do que o necessário. Ele propõe então um modelo em que estima separadamente o tamanho da demanda e a frequência em que a demanda irá ocorrer, onde z_t representa o tamanho da demanda, p é o intervalo entre demandas e x_t representa a ocorrência de demanda. [Croston 1972] assume que a demanda ocorre como um processo de Bernoulli e o intervalo entre demandas é geometricamente distribuído.

$$Y_t = x_t \cdot z_t \quad (5)$$

$$x_t = \begin{cases} 1, & \text{prob}(1/p) \text{ quando a demanda ocorre} \\ 0, & \text{prob}(1 - 1/p) \end{cases} \quad (6)$$

$$z_t \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (7)$$

x'_t e z'_t são calculados com o método de ajustamento exponencial e são atualizados apenas quando a demanda ocorre no período. O nível de reabastecimento R_t do estoque é então calculado:

$$R_t = z'_t + km_t \quad (8)$$

k = fator de segurança

m_t = desvio absoluto médio estimado do erro de previsão, calculado por [Eaves 2002]:

$$m_t = (1 - \alpha)m_{t-1} + \alpha|e_t| \quad (9)$$

[Eaves 2002] também explica como é feita cada iteração do método, onde q é o intervalo desde a última demanda:

$$\begin{aligned} \text{Se } Y_t = 0 \\ p'_t &= p'_{t-1} \\ z'_t &= z'_{t-1} \\ q &= q + 1 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{Se } Y_t \neq 0 \\ p'_t &= p'_{t-1} + \alpha(q - p'_{t-1}) \\ z'_t &= z'_{t-1} + \alpha(y_t - z'_{t-1}) \\ q &= 1 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{Desta forma: } Y'_t = z'_t / p'_t \quad (12)$$

2.3 Método Syntetos-Boylan Approximations (SBA)

O método de Croston ficou conhecido por lidar bem com demandas intermitentes, porém [Syntetos et al. 2005] mostraram que o método de Croston é tendencioso. Os autores propuseram então uma modificação para o método de Croston eliminando a tendência em [Syntetos et al. 2005], ficando conhecido como Syntetos-Boylan Approximation – SBA.

Neste método, Y_t é calculado como na equação 17, onde T'_t e Z'_t também são encontrados através de ajustamento exponencial - SES. T'_t estima o intervalo entre demandas e Z'_t estima o tamanho da demanda [Synteto et al., 2010].

$$Y_t = \left(1 - \frac{\delta}{2}\right) \frac{Z'_t}{T'_t} \quad (13)$$

$$Z'_t = Z'_{t-1} + \lambda(Z_t - Z'_{t-1}) \quad (14)$$

$$T'_t = T'_{t-1} + \delta(T_t - T'_{t-1}) \quad (15)$$

δ e λ são constantes de ajustamento entre 0 e 1, semelhantes ao α do Método de Croston.



3. Descrição do Problema

O presente artigo apresenta a aplicação de métodos de previsão de demanda para cálculo de parâmetros de ressuprimento do estoque de itens sobressalentes de uma empresa produtora de óleo e gás. Foi escolhida, como foco do estudo, a atividade de manutenção *offshore* das turbomáquinas, que são os equipamentos rotativos responsáveis pela geração de energia para o processo produtivo e também pela compressão do gás produzido pelas unidades operacionais. Periodicamente estes equipamentos precisam ser removidos de suas instalações e encaminhados para revisão geral em centro de manutenção.

Os sobressalentes envolvidos na manutenção em estudo podem ser de dois tipos: os do tipo troca obrigatória, que são obrigatoriamente substituídos em todas as manutenções, como vedações e parafusos e os passíveis de inspeção cuja substituição é definida somente após inspeção da peça, como as palhetas, mancais, sapatas e etc. Os passíveis de inspeção ainda podem ter perfil de demanda intermitente, quando a quantidade substituída a cada manutenção se mantém constante, ou perfil irregular, quando além da demanda intermitente, os itens podem sofrer variação na quantidade utilizada a cada manutenção.

Os processos da atividade de manutenção que impactam diretamente na gestão dos estoques, e que por isso serão simulados, são o processo de manutenção propriamente dita e o processo de aquisição de sobressalentes. As Figuras 1 e 2 apresentam o modelo conceitual do processo, conforme simbologia IDEF-SIM apresentada por [Leal et al. 2008]. Os dois processos são interconectados, como pode ser visto nas Figuras 1 e 2, através dos conectores A e B.

Na Figura 1, que representa o processo de manutenção, o equipamento é representado pela entidade E1 que entra no sistema. A primeira atividade executada é a solicitação dos sobressalentes de troca obrigatória, cuja compra será processada através do processo de aquisição de sobressalentes. Após a solicitação destes itens, inicia-se a primeira fase da manutenção denominada de Fase A, na qual o equipamento é desmontado e suas peças são triadas e inspecionadas. São solicitados então os sobressalentes passíveis de inspeção que foram reprovados na inspeção, que serão encaminhados para compra e o equipamento segue para a Fase B da manutenção, que consiste na execução dos reparos identificados na Fase A durante inspeção. Após esta fase, o equipamento só é encaminhado para a Montagem, que é a Fase C, quando todas as peças solicitadas estão disponíveis. Após a montagem o equipamento está revisado e aguarda então o momento de retornar à operação, quando deixará o sistema.

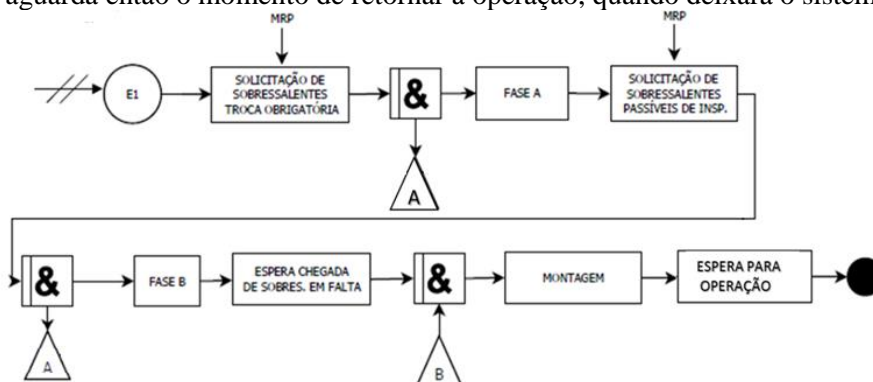


Figura 1 – Processo de Manutenção dos Equipamentos. Fonte: Próprio Autor

Uma vez que os equipamentos estudados são primordiais para a produção de petróleo e gás e as revisões gerais envolvem longos tempos de manutenção, a empresa possui um *pool* de equipamentos reservas para substituição dos que são removidos para manutenção. Os equipamentos reservas evitam que a produção seja interrompida por muito tempo quando ocorre uma quebra ou quando um equipamento precisa ser removido para manutenção preventiva. Se um equipamento não finalizar sua manutenção e não houver outro equipamento reserva disponível, caso ocorra uma quebra, haverá perda de produção. Quando o equipamento em operação é encaminhado para manutenção pode se tornar reserva, se após o término da



manutenção não houver necessidade de operação do mesmo, ou retornar direto para a operação caso não haja outro equipamento reserva. No último caso incorre a perda de produção.

Na Figura 2 está representado o processo de aquisição de sobressalentes. Caso a solicitação de material provoque a necessidade de aquisição de sobressalentes, é gerada uma Requisição de Compra no sistema MRP da empresa. As requisições de compra são encaminhadas para a área responsável pelas contratações da empresa, que irá realizar a Análise da Requisição de Compra representada pela entidade E2 (RC). A análise consiste em verificar se as informações da RC estão adequadas, se existe estoque excedente do material em algum armazém da empresa ou se há contrato disponível para a aquisição. Após esta etapa, as requisições de compra são agrupadas em processos de compra (Entidade E3) de acordo com similaridade e são enviadas para um comprador que irá realizar o processo de compra, através da análise de cotações e emissão do Pedido de Compras (Entidade E4) com o fornecedor vencedor da licitação.

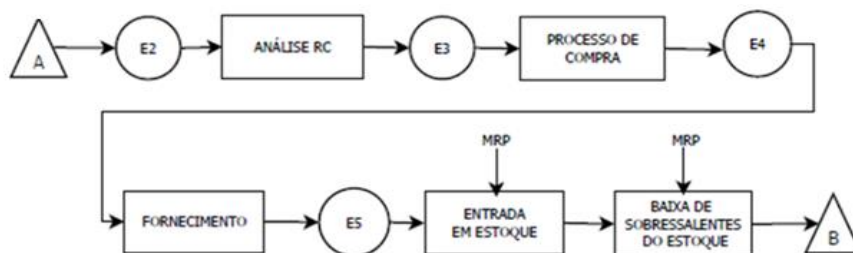


Figura 2 – Processo de Aquisição de Sobressalentes. Fonte: Próprio Autor

Após o processamento da compra, será necessário aguardar pela entrega do material pelo fornecedor, de acordo com o prazo de fornecimento estabelecido no pedido de compra, o que se constitui da fase de Fornecimento do Pedido de Compra, cujos materiais fornecidos estão representados pela Entidade E5. Por fim, o setor de armazenagem recebe os materiais, confere a documentação, verifica se não há divergências e seleciona um depósito e posição para armazenagem. Este processo pode durar alguns dias e é a chamada fase de Entrada em Estoque.

A empresa estudada se utiliza atualmente do tempo de ressuprimento da última compra, da demanda planejada de manutenções para os períodos futuros e do conhecimento empírico dos técnicos dos equipamentos para estimar seus níveis de estoque. É utilizada a política de revisão contínua de estoques do tipo (s,S) [Sarker e Haque 2000]. Não foi realizado estudo prévio para verificar qual a melhor maneira de estimar a demanda e os parâmetros atuais de estoque não absorvem as grandes flutuações que ocorrem de *leadtime*. Desta forma, espera-se otimizar os parâmetros de estoque dos sobressalentes através da previsão de demanda e da simulação.

4. Modelagem do Problema

Para possibilitar a simulação do problema, foi realizada a modelagem do problema real através da construção do modelo conceitual, da coleta e tratamento dos dados e da implementação do modelo no Software FlexSim. O modelo conceitual foi elaborado utilizando os diagramas das Figuras 1 e 2 já descritas, que definiram as fronteiras do sistema a ser simulado, entidades e processos envolvidos. Foi escolhido um modelo de equipamento específico para realização das simulações.

As principais premissas adotadas foram a de que os equipamentos não precisam deixar o sistema na mesma ordem que entraram, visto que há um *pool* de equipamentos reservas, a previsão de remanejamento de peças de um equipamento menos prioritário para outro mais prioritário, a simulação apenas de manutenções preventivas, para as quais existem mais dados disponíveis e o não detalhamento no modelo dos recursos envolvidos nos processos de manutenção e aquisição de sobressalentes, visto que não é foco do trabalho otimizar estes processos e sim, os parâmetros de estoque de sobressalentes.

As medidas de desempenho escolhidas para análise do modelo foram:



- Custo Total de Pedido: Representa o custo total gasto com emissão de pedidos de compra para os sobressalentes durante o período de simulação.
- Custo de Manutenção dos Estoques: Representa o custo total gasto com a manutenção dos estoques de sobressalentes durante o período de simulação considerando os custos de armazenagem e de oportunidade através do custo médio ponderado de capital.
- Fill-Rate: Representa o percentual de demandas que foram atendidas imediatamente através do estoque em relação ao total de demandas solicitadas.
- Custo da Falta: Estimado a partir da mão-de-obra ociosa devido a manutenções interrompidas por falta de sobressalentes.

Devido a dificuldade de medir o custo de perda de produção relacionado à falta de materiais, haja vista a existência de equipamentos reservas, às diferentes funções que um mesmo equipamento pode desempenhar e ao grande número de unidades de produção que pode atender, a modelagem será acompanhada através de duas medidas de desempenho auxiliares:

- Tempo sem máquina reserva disponível (dias): Quantifica o risco de perda de produção caso haja a quebra de algum equipamento, já que não há equipamento reserva disponível para substituição
- Tempo com Máquina Aguardando para Iniciar Manutenção Preventiva (dias): Caso não haja equipamentos reservas disponíveis, pode ocorrer atrasos nas manutenções preventivas programadas, o que representa um risco ainda maior de quebra de equipamento, associado a perda de produção.

4.1 Coleta e Tratamento dos Dados

Os dados de entrada do modelo foram coletados com base em registros históricos do sistema ERP da empresa, foi realizado o tratamento dos dados coletados com auxílio do software *SPSS Statistics* e o ajuste das curvas através do software *ExperFit*. As ferramentas utilizadas para análise dos dados foram *BoxPlot* para determinar os *outliers* e Correlograma e *ScatterPlot* para verificar a estacionariedade das séries. No software *Experfit* foram utilizados os testes de aderência Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. A Figura 3 apresenta a aplicação das ferramentas citadas de tratamento dos dados para o Tempo de Análise das RC's. A Tabela 1 lista os dados de entrada coletados para mensuração dos tempos de cada etapa do sistema e os métodos utilizados para aplicação dos dados ao modelo.

Também foram coletados dados dos sobressalentes aplicados no modelo selecionado para o estudo. Como não é possível realizar a simulação para os 929 itens que compõem o equipamento, foram selecionados 15 itens que representam os diferentes grupos similares de sobressalentes aplicados ao equipamento e os três diferentes tipos de demanda encontrados. Os itens foram nomeados de A a O, sendo os itens de A a E os itens de troca obrigatória e os demais os passíveis de inspeção. A Tabela 2 apresenta os detalhes dos itens passíveis de inspeção selecionados. Para cada material passível de inspeção foram coletados dados históricos de consumo dos últimos 10 anos para calcular a previsão de demanda. Foram levantados também os tempos de fornecimento de cada grupo similar de material.

Dados de Entrada	Método Utilizado	Distribuição Utilizada
Tempo de Análise de RC's (dias)	Teste de aderência	Jonhson
Tempo de Processo de Compra (dias)	Teste de aderência	Jonhson
Tempo de Entrada de Materiais em Estoque (dias)	Teste de aderência	Binomial
Fase A (dias)	Teste de aderência	Jonhson
Fase B (dias)	Teste de aderência	Beta
Montagem (dias)	Média Estimada por Especialistas e aderência	Normal
Tempo entre chegada de Equipamentos (dias)	Dados Históricos	-

Tabela 1 – Dados de Entrada dos Processos de Manutenção. Fonte: Próprio Autor

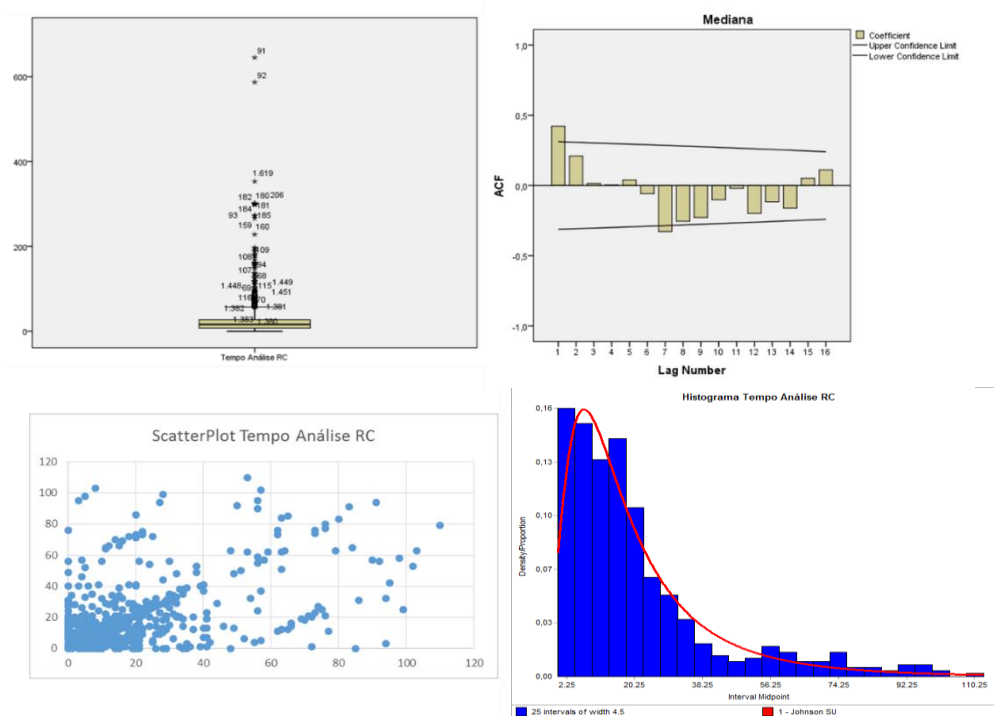


Figura 3 – Ferramentas utilizadas para tratamento dos dados coletados para o Tempo de Análise das Requisições de Compra. Fonte: Próprio Autor

Item	F	G	H	I	J
Descrição	Mancal Axial	Mola	Chaveta	Espaçador	Sapata
Classificação	Passível de Inspeção	Passível de Inspeção	Passível de Inspeção	Passível de Inspeção	Passível de Inspeção
Tipo Demanda	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Lumpy	Lumpy
Grupo	Atuador/Mancal	Mola/Trava/Rodizio	Chaveta/Pino/Placa/Tubo/Joelho	Bucha/Espaçador	Sapata/Capa de Mancal
Distribuição de Probab. do Grupo	Erlang	Beta	Gamma	Jonhson	Jonhson
Item	K	L	M	N	O
Descrição	Estojo	Freno	Palheta de Turbina.	Sapata	Palheta de Compr.
Classificação	Passível de Inspeção	Passível de Inspeção	Passível de Inspeção	Passível de Inspeção	Passível de Inspeção
Tipo Demanda	Intermitente	Intermitente	Por lote	Lumpy	Lumpy
Grupo	Estojo	Freno	Palheta	Sapata/Capa de Mancal	Palheta
Distribuição de Probab. do Grupo	Beta	Jonhson	Beta	Jonhson	Beta

Tabela 2 – Sobressalentes Selecionados para o estudo. Fonte: Próprio Autor.

5. Implementação do Modelo

O modelo conceitual foi implementado utilizando-se a versão acadêmica do software FlexSim 7.3. A medida em que o modelo foi sendo construído, suas etapas foram sendo testadas para verificação do perfeito funcionamento. Ao final da construção do modelo, todo o sistema foi novamente verificado para garantir o correto funcionamento e sua validação conduzida por especialistas. Foi definido um período de 4 anos de simulação e foram realizadas 5 replicações, calculando-se então as médias móveis de status das variáveis de saída do modelo em instantes periódicos capturados durante a simulação de maneira a observar a evolução das medidas de desempenho nos instantes iniciais de simulação para determinar o tempo de aquecimento, que foi fixado então em 400 dias. A partir daí foram definidas as precisões desejadas para cada medida de desempenho para um grau de confiança de 95% de forma a determinar o número de replicações necessárias do modelo. As precisões desejadas foram atingidas com 160 replicações.



Para o cálculo dos parâmetros de ressurgimento, foram utilizados os três diferentes métodos de previsão de demanda citados na Revisão de Literatura: SES, Croston e SBA. Todos os três métodos utilizam constantes de ajustamento α , que foram otimizadas de forma a minimizar o MAD – Desvio Médio Absoluto - dos períodos em que ocorreu demanda. Esta metodologia utilizada foi semelhante a utilizada por [Eaves 2002]. O autor afirma que é possível medir o erro apenas dos períodos em que ocorreu demanda para os sistemas com revisão contínua de demanda, pois os pedidos só são colocados após a ocorrência de demanda. Da mesma maneira, o autor calcula a medida de precisão para a média de demanda que ocorreu durante o tempo de ressurgimento, ao invés de calculá-la apenas com o valor que ocorreu de demanda no período. Isto faz sentido, pois a estimativa de demanda fornecida pelos métodos de Croston e SBA já é uma estimativa de demanda média por período.

Foi escolhido otimizar os coeficientes de ajustamento utilizando o MAD pois esta medida de precisão possui a vantagem de lidar melhor com *outliers*, conforme explica [Eaves 2002]. Como o MAD servirá apenas para otimizar o desempenho da previsão, ou seja, não será comparado o desempenho de previsões entre materiais diferentes, esta medida se mostrou satisfatória. Não foi utilizado o MAPE porque ele tende a ser menor para valores muito abaixo da demanda do que para valores muito acima da demanda, conforme [Eaves 2002].

As demandas foram agrupadas por trimestre e foram calculadas suas previsões pelos métodos de SES, Croston e SBA. Para o método de SBA, as constantes de suavização δ e λ foram consideradas iguais, da mesma forma que em [Syntetos et al. 2010], e denominadas de λ . Os métodos de Croston e SBA foram validados de acordo com 4 testes citados em [Eaves 2002] que sinalizam os seguintes desvios na previsão de demanda: intervalo entre demandas muito maior do que o esperado; ocorrência de demandas antes do esperado; tamanho de demanda fora de controle e existência de tendência nos dados.

A Tabela 3 apresenta os resultados da previsão de demanda e a colocação dos três métodos para os 4 sobressalentes de demanda intermitente e irregular. Como os métodos melhores colocados foram os de SES e Croston, os mesmos foram escolhidos para cálculo dos parâmetros e foram simulados cenários em que foi utilizado o método de SES sempre que possível (a exceção foi o material I) e cenários em que foi utilizado o método de Croston (a única exceção foi o material J), atribuindo para k - fator de segurança - os valores de 2, 3, 4 e 5. Para os demais itens foram mantidos os parâmetros atuais utilizados pela empresa. Os resultados comparativos dos métodos de SES e Croston podem ser vistos na Figura 4, onde percebe-se que tantos os custos, quanto o *fill-rate* e tempos sem máquina reserva e com máquina aguardando início da manutenção tiveram melhores resultados com o método de Croston. Verifica-se também um melhor resultado para $k=4$ e $k=5$.

Sendo assim, foi adotada a estratégia de se utilizar sempre que possível o método de Croston, o método de SBA e por último o método de SES nas previsões de demanda para cálculo dos parâmetros de estoque dos itens passíveis de inspeção. A Tabela 4 mostra os resultados da previsão de demanda para os 6 sobressalentes passíveis de inspeção de demanda intermitente.

Item	Método	Constante de Suavização	MAD	MAD demanda média	Colocação	Item	Método	Constante de Suavização	MAD	MAD demanda média	Colocação
I	Croston	$\alpha=0,806$	2,098	0,066	1°	N	Croston	$\alpha=0,128$	6,598	1,786	2°
	SES	$\alpha=0$	Inadequado		Descartado		SES	$\alpha=0,024$	5,621	1,761	1°
	SBA	$\lambda=0,5$	1,625	0,219	2°		SBA	$\lambda=0,204$	6,737	1,838	3°
J	Croston	Reprovado T4			Descartado	O	Croston	$\alpha=0,471$	8,4725	0,6548	2°
	SES	$\alpha=0,035$	5,956	1,153	1°		SES	$\alpha=0,116$	7,6583	0,125	1°
	SBA	Reprovado T4			Descartado		SBA	$\lambda=0,589$	8,6561	0,6964	3°

Tabela 3 – Previsão de Demandas para Itens de demanda intermitente e irregular (lumpy)

Fonte: Próprio Autor



Item	Método	Constante de Suavização	MAD	MAD demanda média	Colocação
F	Croston	Reprovado Teste 4			Descartado
	SES	$\alpha=1$	0,833	0,196	2°
	SBA	$\lambda=0,46$	0,934	0,367	1°
G	Croston	$\alpha=0$	Inadequado		Descartado
	SES	$\alpha=1$	0,667	0,161	1°
	SBA	Reprovado Teste 4			Descartado
H	Croston	$\alpha=1$	Inadequado		Descartado
	SES	$\alpha=0,099$	0,267	0,168	1°
	SBA	Reprovado Teste 4			Descartado
K	Croston	$\alpha=0,394$	0,827	0,328	2°
	SES	$\alpha=1$	0,786	0,139	1°
	SBA	$\lambda=0,426$	0,912	0,436	3°
L	Croston	$\alpha=0,466$	0,874	0,28	2°
	SES	$\alpha=1$	0,75	0,131	1°
	SBA	$\lambda=0,478$	0,929	0,296	3°
M	Croston	$\alpha=0$	Inadequado		Descartado
	SES	$\alpha=1$	70,88	14,103	1°
	SBA	$\lambda=0$	Inadequado		Descartado

Tabela 4 – Resultados Previsão de Demanda Itens Demanda Intermitente. Fonte: Próprio Autor

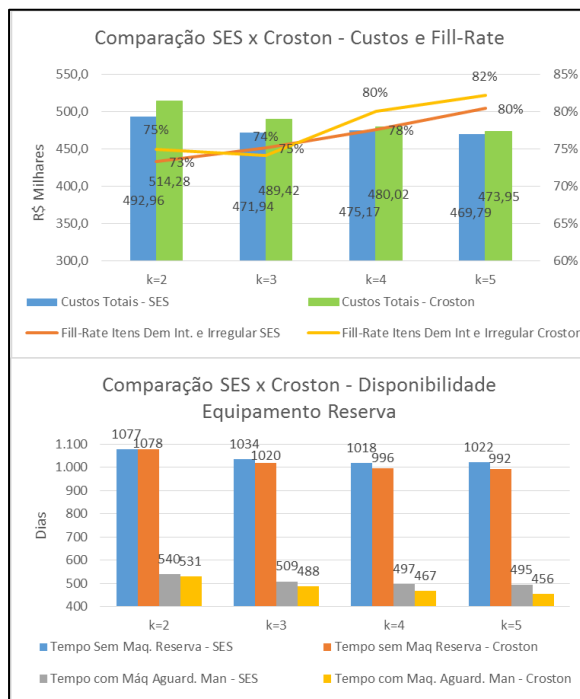


Figura 4 – Resultados Comparativo SESxCroston. Fonte: Próprio Autor

6. Resultados e Conclusões

A Tabela 5 apresenta o resultado de todas as medidas de desempenho das simulações realizadas, comparando os métodos de previsão de demanda utilizados para os itens passíveis de inspeção (para $k=4$ e $k=5$) com os parâmetros de estoque utilizados hoje na empresa (cenário atual). A Figura 5 apresenta também comparação dos *fill-rates* individuais dos itens entre o cenário atual e o cenário com previsões de demanda para $k=5$.

Medidas de Desempenho	Cenário Atual	Previsão de Demanda	
		k=4	k=5
Custo Total de Pedido	R\$ 113.722,86	R\$ 127.925	R\$126.992
Custo de Manutenção dos Estoques	R\$ 178.298,54	R\$ 182.721,50	R\$201.871,94
Custo da Falta de Materiais	R\$ 191.740,30	R\$ 179.858,45	R\$160.989,23
Custos Totais	R\$ 483.761,74	R\$ 490.505,91	R\$489.852,82
Tempo com Máq Aguardando Manutenção (dias)	493	355	339
Tempo Sem Maquina Reserva Disponível (dias)	1015	780	788
Fill-Rate Itens de Demanda Intermitente	62%	77%	78%
Fill-Rate Itens de Demanda Intermitente e Irregular	84%	79%	83%

Tabela 5 – Resultados das Medidas de Desempenho. Fonte: Próprio Autor

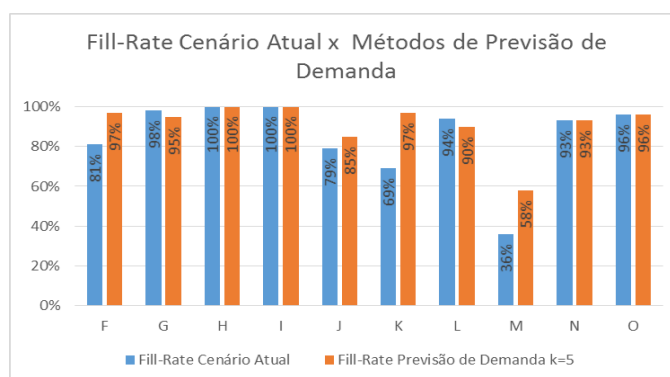


Figura 5 – *Fill-Rate* Individual dos Itens Passíveis de Inspeção. Fonte: Próprio Autor



Percebe-se que os cenários em que se utilizou previsão de demanda, houve uma melhora muito acentuada dos tempos sem máquina reserva e de máquina aguardando desembarque. O *Fill-Rate* dos itens de demanda intermitente também teve aumento significativo, enquanto que o dos itens de demanda intermitente e irregular se manteve quase constante. Com relação aos custos totais, os mesmos cresceram um pouco nas simulações finais em função do aumento dos custos de manutenção dos estoques, que foram em parte compensados pela diminuição do custo de falta. O melhor cenário encontrado foi o último cenário com $k=5$, em que os tempos sem máquina reserva caíram 22%, o que equivale a dizer que em 50% do tempo de simulação, houve máquina reserva disponível, contra 30% no cenário atual. Além disto os tempos de máquina aguardando desembarque caíram 31%, enquanto que os custos totais subiram 1,2%.

Desta forma, pode-se afirmar, para o modelo estudado, que a medida de precisão MAD da demanda média é uma boa medida para configuração dos parâmetros de suavização dos métodos de previsão de demanda e que o método de previsão de demanda de Croston traz melhores resultados para a gestão de estoques do que o de SES, podendo-se adotar a estratégia de se calcular os parâmetros de ressurgimento através da previsão de demanda de Croston preferencialmente, e na impossibilidade de aplicar este método, utilizar o SBA e SES nesta sequência. Através desta estratégia é possível chegar a resultados muito satisfatórios, em que são minimizados os custos totais de estoque, aumentando o nível de serviço do modelo.

Conclui-se também que a simulação discreta se mostrou uma excelente ferramenta para lidar com os cenários alternativos possíveis e auxiliar nas tomadas de decisões inerentes a gestão de estoques de sobressalentes. O estudo permitiu enfatizar a importância de estudos mais aprofundados e técnicos na área de gestão de estoques de sobressalentes, uma vez que ainda existe grande distância entre teoria e prática.

Por fim destaca-se o desempenho inferior apresentado pelos materiais I e M, que devem ser analisados mais profundamente em trabalhos futuros, a fim de se identificar seus padrões de demanda e quais métodos são mais adequados ao perfil deste tipo de materiais. Também podem ser desenvolvidos estudos utilizando dois diferentes parâmetros de suavização para o método de previsão de demanda SBA, de forma a melhorar o desempenho deste método.

Referências

- ALTAY, N.; LEWIS LITTERAL. **Service Parts management**. 3. ed. New York: Springer, 2011.
- BACCHETTI, A.; SACCANI, N. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. **Omega**, v. 40, n. 6, 2012.
- BARTEZZAGHI, E.; VERGANTI, R.; ZOTTERI, G. Simulation framework for forecasting uncertain lumpy demand. **International Journal of Production Economics**, v. 59, n. 1, 1999.
- BASTEN, R. J. I.; VAN HOUTUM, G. J. System-oriented inventory models for spare parts. **Surveys in Operations Research and Management Science**, v. 19, n. 1, p. 34–55, 2014.
- BOTTER, R.; FORTUIN, L. Stocking strategy for service parts – a case study. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 20, n. 6, p. 656–674, jun. 2000.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **SUPPLY CHAIN MANAGEMENT Strategy, Planning, and Operation**. 3ª Edição ed. Upper Saddle River: [s.n.].
- CROSTON, J. D. **FORECASTING AND STOCK CONTROL FOR INTERMITTENT DEMANDS**. **Operational Research Quarterly**, 1972.
- DEKKER, R.; KLEIJN, M. J.; DE ROOIJ, P. J. A spare parts stocking policy based on equipment criticality. **International Journal of Production Economics**, v. 56-57, 1998.



DIAS, G. P. P.; CORRÊA, H. L. **Uso de simulação para dimensionamento e gestão de estoques de peças sobressalentes**SIMPOI. Anais...1998

EAVES, C. **FORECASTING FOR THE ORDERING AND STOCK- HOLDING OF CONSUMABLE SPARE PARTS**. [s.l.] Lancaster University, 2002.

GHOBBAR, A. A.; FRIEND, C. H. Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model. **Computers & Operations Research**, v. 30, n. 14, p. 2097–2114, dez. 2003.

GOMES, A. V. P.; WANKE, P. Modelagem da gestão de estoques de peças de reposição através de cadeias de Markov. **Gestao e Producao**, v. 15, n. 1, p. 57–72, 2008.

KENNEDY, W. J.; PATTERSON, W. J.; FREDENDALL, L. D. An overview of recent literature on spare parts inventories. **International Journal of Production Economics**, v. 76, n. 2. 2002.

LARA, M.; RODRIGUES, C. Descrição para a criação da área de planejamento de estoques de peças MRO. **Revista Tecnológica**, v. Março, p. 82–88, 2012.

LAW, A.; KELTON, D. W. **Simulation Modeling And Analysis**. 3. ed. McGraw Hill, 2000.

LEAL, F.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para simulação através de elementos do IDEF. XL SBPO. Anais. João Pessoa: 2008.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting - Methods And Applications**. 3ª Edição ed. New York: Jonh Wiley, 1998.

MONCRIEF, E. C.; SCHRODER, R. M.; REYNOLDS, M. P. **Production Spare Parts: optimizing the MRO inventory asset**. 1ª Edição ed. New York: [s.n.].

REGO, J. R. DO; MESQUITA, M. A. DE. Controle de estoque de peças de reposição em local único: uma revisão da literatura. **Produção**, v. 21, n. 4, p. 645–666, 2011.

SARKER, R.; HAQUE, A. Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation. **Applied Mathematical Modelling**, v. 24, n. 10, p. 751–760, ago. 2000.

SYNTETOS, A. A. et al. Forecasting and stock control: A study in a wholesaling context. **International Journal of Production Economics**, v. 127, n. 1, p. 103–111, 2010.

SYNTETOS, A. A.; BOYLAN, J. E.; CROSTON, J. D. On the categorization of demand patterns. **Journal of the Operational Research Society**, v. 56, n. 5, p. 495–503, 25 ago. 2005.

SYNTETOS, A. A.; KEYES, M.; BABAI, M. Z. Demand categorisation in a European spare parts logistics network. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 29, n. 3, p. 292–316, 20 fev. 2009.

VAN HORENBEEK, A.; BURÉ, J.; CATTRYSSSE, D.; PINTELON, L.; VANSTEENWEGEN, P. Joint maintenance and inventory optimization systems: A review. **International Journal of Production Economics**, v. 143, n. 2, p. 499–508, jun. 2013.

WILLEMAIN, T. R.; SMART, C. N.; SCHWARZ, H. F. A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. **International Journal of Forecasting**, v. 20, n. 3, p. 375–387, 2004.