



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

LUÍS FERNANDO DE SOUZA CARDOSO

**MELHORIA DO PLANEJAMENTO PARA O FORNECIMENTO DE MATERIAIS
DE MODIFICAÇÕES EM AERONAVES EXECUTIVAS**

Guaratinguetá

2013

LUÍS FERNANDO DE SOUZA CARDOSO

MELHORIA DO PLANEJAMENTO PARA O FORNECIMENTO DE MATERIAIS DE
MODIFICAÇÕES EM AERONAVES EXECUTIVAS

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Fernando Augusto Silva Marins

Guaratinguetá

2013

C268m

Cardoso, Luís Fernando de Souza

Melhoria do planejamento para o fornecimento de materiais de modificações em aeronaves executivas / Luís Fernando de Souza Cardoso – Guaratinguetá : [s.n], 2013.

45 f : il.

Bibliografia: f. 45

Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

1. Planejamento 2. Eficiência industrial 3. Indústria aeronáutica

I. Título

CDU 658.5

LUÍS FERNANDO DE SOUZA CARDOSO

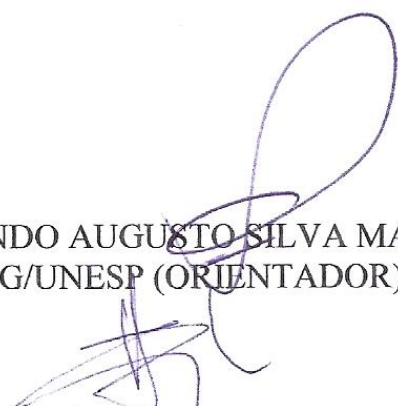
**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA"**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA**



Prof. Dr. FRANCISCO ALEXANDRE DE OLIVEIRA
Coordenador

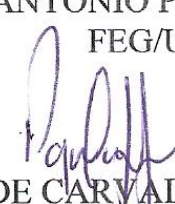
BANCA EXAMINADORA:



FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS
FEG/UNESP (ORIENTADOR)



VALÉRIO ANTÔNIO PAMPLONA SALOMON
FEG/UNESP



RAFAEL DE CARVALHO FERREIRA LEITE
EMBRAER

Dedico este trabalho aos meus pais Demétrio e Goreti, a minha avó Berenice e aos meus irmãos Leonardo e Ana Laura.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, *Demétrio e Goreti* que são minha inspiração, minha vida e sempre lutaram para me oferecer o melhor.

Aos meus irmãos, *Leonardo e Ana Laura* que assim como meus pais são uma parte de mim.

Ao *Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins* por sua disposição e dedicação em me orientar no Trabalho de Graduação, contribuindo para a finalização da minha graduação.

Aos meus tutores de estágio *Rafael e Alexandre* que me apoiaram durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

"Tenha sempre em mente que a sua própria
resolução para o sucesso é mais importante do
que qualquer outra coisa."

Abraham Lincoln

CARDOSO, L. F. S. **Melhoria do Planejamento para o Fornecimento de Materiais de Modificações em Aeronaves Executivas**. 2013. 45 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de previsão de demanda de materiais para modificações de aeronaves executivas, para determinar uma cadencia de fornecimento de materiais na forma de *kit* para que menos itens ficassem em estoque, mas ao mesmo tempo, de uma forma que o atendimento ao cliente não seja impactado. Para a resolução do problema foi utilizada a probabilidade da distribuição de Poisson e as medidas de erro MPE, MAPE e MSE. Ao final, após alguns ajustes, encontrou-se um modelo satisfatório para o problema em questão.

PALAVRAS-CHAVE: planejamento, previsão de demanda, peças de reposição, aviação executiva,

CARDOSO, L. F. S. **Planning improvement to supply materials for executives aircrafts modifications.** 2013. 45 f. Undergraduation monograph (Degree in Mechanical Production Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

This paper presents a material demand forecasting to executive aircrafts modifications, the objective was to determinate a cadence of kits of materials in order reduce over stock, but also keeping the customer quality support. This work was motivated by the strong tendency that the market has to cut costs, especially those that do not add value to the product, waste. To solve the problem the Poisson probability distribution was used and also the error measures MPE, MAPE and MSE. At the end, after some adjustments, we found a satisfactory model for the problem.

KEYWORDS: planning, forecasting, spare parts, executive aviation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O conceito do planejamento e controle JIT (SLACK et al. , 2006).....	17
Figura 2 - Etapas do processo de previsão de demanda (LUTOSA et al. , 2008).....	19
Figura 3 – Exemplos de demanda (a) Demanda estacionária (b) Demanda com tendência (c) Demanda estacionária sazonal (d) Demanda com tendência e sazonalidade (LUTOSA et al. , 2008).....	20
Figura 4 – Exemplo de métodos de previsão de demanda (LUTOSA et al. , 2008)	21
Figura 5 – Gráfico de dispersão do percentual médio de demanda do programa A1.....	27
Figura 6 – Gráfico de aderência do modelo do programa A1.....	30
Figura 7 – Gráfico do erro de previsão mês a mês do programa A1.....	31
Figura 8 – Gráfico de dispersão do percentual médio de demanda do programa A2.....	32
Figura 9 – Gráfico de aderência do modelo, programa A2.	34
Figura 10 – Gráfico do erro de previsão mês a mês para o programa A2.	35
Figura 11 – Gráfico de dispersão do percentual médio de demanda do programa A2, com frotistas..	36
Figura 12 – Gráfico de aderência do modelo do programa A2, considerando frotistas.....	38
Figura 13 – Gráfico do erro de previsão mês a mês do programa A2, considerando frotistas.	39
Figura 14 – Gráfico de aderência do modelo do programa A2, considerando frotistas e nível de serviço de 90%.	40
Figura 15 – Gráfico do erro de previsão mês a mês do programa A2, considerando frotistas e nível de serviço de 90%.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela1- Percentual médio de demanda do programa A1	26
Tabela 2 – Probabilidade acumulada de Poisson para o primeiro ano para o programa A1	27
Tabela 3 – Probabilidade acumulada de Poisson para o segundo ano para o programa A1.....	28
Tabela 4 – Demanda de material do programa A1	29
Tabela 5 – Demanda de kits ao longo dos meses do programa A1	29
Tabela 6 – Percentual de demanda de kits ao longo dos meses para o programa A1	29
Tabela 7 – Erros de previsão para o programa A1	30
Tabela8- Percentual médio de demanda do programa A2	32
Tabela 9 – Probabilidade acumulada de Poisson para o primeiro ano do programa A2.....	32
Tabela 10 – Probabilidade acumulada de Poisson para o segundo ano do programa A2.....	33
Tabela 11 – Demanda de material do programa A2.	33
Tabela 12 – Demanda de kits ao longo dos meses, programa A2.	34
Tabela 13 – Percentual de demanda de kits ao longo dos meses, programa A2.	34
Tabela 14 – Erros de previsão do programa A2.	35
Tabela 15 - Percentual médio de demanda do programa A2, levando em consideração frotistas.....	36
Tabela 16 – Probabilidade acumulada de Poisson para o primeiro ano do programa A2, considerando frotistas	37
Tabela 17 – Demanda de material para o programa A2, considerando frotistas.....	37
Tabela 19 – Erros de previsão do programa A2, considerando frotistas.	38
Tabela 20 – Demanda de material do programa A2, considerando frotistas e nível de serviço de 90%.	39
Tabela 21 – Erros de previsão do programa A2, , considerando frotistas e nível de serviço de 90%. ..	40
Tabela 22 – Custos de produção dos kits.....	41
Tabela 23 – Estoque de kits ao longo dos meses.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Apresentação do problema.....	12
1.2	Objetivos	13
1.3	Justificativa do trabalho	13
1.4	Estrutura do trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	Planejamento e controle de estoques	15
2.2	A produção enxuta	15
2.3	A filosofia <i>Just in time</i>	16
2.4	Teoria das restrições	17
2.5	Previsão de demanda	18
2.6	Padrões de demanda	19
2.7	Métodos de previsão.....	20
2.8	Distribuição de Poisson	21
2.9	Métodos de avaliação do erro	22
3	ESTUDO DE CASO: SOLUÇÕES, RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
3.1	A Empresa estudada.....	24
3.2	Suporte logístico e de materiais no pós-vendas	24
3.3	O Planejamento de boletins de serviço	24
3.4	Descrição do problema e do método de solução	25
3.5	Os resultados do programa A1.....	26
3.6	Os resultados para o programa A2.....	31
3.7	O resultado do programa A2 levando em consideração os pedidos de frotistas	36
3.8	Ganhos financeiros da utilização do modelo.	41
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
4.1	Conclusões.....	43
4.2	Verificação dos objetivos	44
4.3	Propostas de futuros estudos	44
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do problema

O ciclo de vida de um produto é dividido em quatro fases: introdução, crescimento, maturidade e declínio. Durante as fases de introdução e crescimento é comum que as empresas realizem melhorias na qualidade ou acrescentem novas características ao produto (KOTLER; KELLER; 2006). Segundo Asmussen (2008), esta substituição de componentes obsoletos ou inadequados é chamada de *retrofit*.

Pode-se associar às melhorias na qualidade um custo de qualidade. No caso de produtos que já foram entregues ao cliente, pode-se chamar este custo de custo das falhas externas.

Englobam-se nos custos das falhas externas todas as despesas com atendimento ao cliente, mão de obra para consertar, recuperar e substituir o lote dos produtos, sucatear as unidades sem condição de recuperação, transportes decorrentes da devolução ou reclamação expedição, custos dos produtos devolvidos, gastos com embalagens, etiquetas, fita adesiva danificadas, descontos, vendas perdidas, custos de garantia, ações indenizatórias (MENDONÇA et al., 2012, p. 3).

Neste contexto podemos associar o custo com materiais para realizar as modificações que ocorrem em prol da melhoria da qualidade do produto como um custo de falha externa.

Uma forma de minimizar o custo das melhorias de qualidade do produto é planejar de forma ordenada os materiais necessários para a realização desta. Segundo Slack (1996), planejamento e controle exigem uma conciliação entre o fornecimento e a demanda em termos de volume, quantidade, tempo e qualidade.

Para Contador (1998) a necessidade de estoque está relacionada com as características internas do sistema e do seu entorno. Ainda segundo este autor, os estoques podem ser classificados em estoque em processo, estoque cíclico, estoque sazonal, estoque de segurança e estoque de componentes intermediários. Uma forma de disponibilizar estes materiais para que os clientes os utilizem no momento e local em que julgarem adequados é através da criação de estoques.

Em contrapartida, segundo Dennis (2008) estoques são considerados desperdícios, pois o cliente não está disposto a pagar por materiais que ficam parados. Desta forma para reduzir este tipo de desperdício, faz-se necessário utilizar um sistema puxado ao invés de um sistema empurrado. Uma forma de adquirir somente os materiais necessários, na quantidade necessária e no momento certo é por meio do *Just-in-time*.

O Just-in-time tem como propósito principal o de permitir que a empresa atenda à demanda com o máximo de rapidez, informando o momento exato, o material certo e a quantidade precisa de produção ou reposição. Com isso, torna possível

minimizar os estoques de matéria-prima, de peças em processo (semi-acabados) e até mesmo de produtos acabados (CONTADOR, 1998, p.207).

A previsão de demanda é uma das maneiras que as empresas possuem para direcionar suas atividades. Elas são utilizadas pelo planejamento tanto para estratégias de longo prazo, como em ações de curto prazo (TUBINO, 2007). A partir desta previsão é possível ter uma visão dos momentos e quantidades corretas para fornecer o material, reduzindo assim os estoques.

Este trabalho apresenta uma proposta de planejamento de materiais para modificações de aeronaves para uma fabricante brasileira baseado na análise de demanda de dados históricos.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral elaborar um modelo de previsão de demanda baseado no histórico de pedidos de *kits* para atender boletins de serviço que fazem ou fizeram parte de campanhas de *retrofit* para os dois programas com maior número de aeronaves produzidas em uma empresa brasileira do setor aeroespacial.

Neste sentido, o trabalho tem como objetivos específicos, para a empresa que foi objeto do estudo:

- Identificar um método de previsão que descreva bem o comportamento da demanda, visto que os itens estudados apresentam baixa rotatividade e há poucos dados históricos sobre a sua demanda;
- Fazer uma análise de sensibilidade para identificar se existem grupos de itens com comportamentos diferenciados de demanda;
- Validar o modelo, especialmente nos primeiros meses onde a demanda é mais crítica;
- Fazer propostas de futuros estudos para os demais programas existentes.

1.3 Justificativa do trabalho

A produção enxuta surgiu como um sistema de manufatura cujos objetivos são: operar o sistema da produção de forma simples; otimizar os processos e procedimentos através da redução contínua de desperdícios, como, por exemplo, excesso de estoques entre as estações de trabalho, bem como tempos de espera elevados; operar com lotes reduzidos, sem estoques, até atingir a condição de produzir somente de acordo com a demanda (LUTOSA et al., 2008, p. 29).

Ainda segundo Shingo (2005), existem sete tipos de desperdícios que devem ser cortados, são eles: superprodução, espera, transporte excessivo, processos inadequados, estoques desnecessários, movimentação desnecessária, produtos defeituosos.

Neste contexto, na empresa estudada observou-se uma oportunidade de melhoria no processo de planejamento de *kits* de boletins de serviços para reduzir os estoques e evitar gastos com transportes prioritários ou de emergência.

Atualmente não existe um modelo de previsão de demanda de incorporação das modificações. Desta forma os materiais que são fornecidos na forma de *kits*, são disponibilizados em sua totalidade aos centros de distribuição em poucos meses após a publicação do boletim de serviço, gerando assim grandes estoques de peças armazenadas, impactos na produção, dificuldade de negociar melhores prazos de fornecimento com compradores e perda de materiais.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. O Capítulo 2 visa apresentar os principais conceitos e métodos utilizados neste trabalho. Neste capítulo serão apresentados conceitos de manufatura enxuta, a relação entre a manufatura enxuta e o planejamento, a importância da previsão de demanda, os padrões de demanda, alguns métodos de demanda, a distribuição de Poisson e os métodos de avaliação de erro em modelos de previsão de demanda.

O Capítulo 3 consiste no estudo de caso. Neste capítulo será apresentado o problema, a forma como é feita o planejamento atualmente, os resultados do programa A, os resultados do programa B e a discussão dos resultados.

O Capítulo 4 apresentará as considerações finais. Dentro deste capítulo encontram-se as conclusões do trabalho, a verificação dos objetivos e a indicação de futuros estudos com base neste trabalho. Finalmente apresenta-se as referências bibliográficas utilizadas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Planejamento e controle de estoques

“Estoque é definido como a acumulação armazenada de recursos materiais em um sistema de transformação. Algumas vezes, estoque também é usado para descrever qualquer recurso armazenado.” (SLACK et al., 1996, p.381).

Segundo Contador (1998) o nível de estoque em que um sistema opera é uma das principais funções do planejamento. Para Slack et al. (1996) a existência de estoques está associada a uma taxa de fornecimento que excede a taxa de demanda. Para ele a operação deve fazer todos os esforços para casar as taxas de fornecimento e demanda.

Para Contador (1998) e Slack et al. (1996) existem três tipos de estoques, são eles:

- Estoque de ciclo ou estoque cíclico: ocorre quando os produtos são fabricados em lotes com quantidade superior a demanda.
- Estoque de segurança ou estoque isolador: utilizado para compensar as incertezas do fornecimento e da demanda.
- Estoque no canal de distribuição ou estoque intermediário: ocorrem devido a incapacidade de se transportar o material entre o fornecimento e a demanda, seja internos ou externos a empresa.

Contador (1998) ressalta que a gestão dos estoques visa minimizar seu custo total. Segundo ele existem, basicamente, três custos associados ao estoque, são eles:

- Custo de obtenção: custo associado a compra do lote ou a ordem de produção.
- Custo associado à existência do estoque: este custo pode ser subdividido em custos de estocagem e movimentação, de seguro, de obsolescência, de depreciação e de oportunidade de capital.
- Custo associado à falta de estoque: custo associado à penalização, perda ou atraso da venda, de não fornecer ao cliente o produto no prazo desejado.

2.2 A produção enxuta

O conceito de produção enxuta surgiu do modelo Toyota de produção. Seus principais objetivos são: operar o sistema de produção de forma simples, eliminando tudo aquilo que

não agrega valor ao produto ou serviço. Cabe ressaltar que o conceito de valor é definido como tudo aquilo que o cliente final está disposto a pagar. (DENNIS, 2008)

Segundo Shingo (2005) existem sete tipos de desperdícios. São eles:

- Superprodução: produzir em excesso ou antes da necessidade do cliente;
- Espera: período de ociosidade de recursos humanos, materiais ou informação;
- Transporte excessivo: movimentação excessiva de pessoas, materiais ou informação;
- Processos inadequados: utilização de ferramentas ou procedimentos complexos quando algo mais simples pode ser utilizado;
- Movimentação desnecessária: movimentar recursos ou informação sem que haja necessidade;
- Produto defeituoso: problemas de qualidade do produto ou entrega de produto errado ao cliente.

Como pode ser notado, a produção enxuta, na visão do planejamento, resume-se em entregar o produto certo, no momento correto, na quantidade solicitada pelo cliente e dentro das especificações de qualidade exigidas.

2.3 A filosofia *Just in time*

O *Just in time* (JIT) é uma filosofia de produção de origem japonesa que permite reduzir estoques, pois visa disponibilizar o material necessário no momento e na quantidade que ele será utilizado (WANKE, 2003). O conceito nasceu na linha de produção onde a falta ou o excesso do material causa um custo de desperdício, Este conceito pode ser aplicado também no setor de serviços onde a falta de um material além de causar custo de desperdício também causa uma insatisfação do cliente (LUTOSA et al., 2008). “No planejamento e controle JIT visa atender à demanda instantaneamente, com qualidade perfeita e sem desperdícios.” (SLACK et al., 2006, p.473). A Figura 1 ilustra o conceito do planejamento e controle JIT.

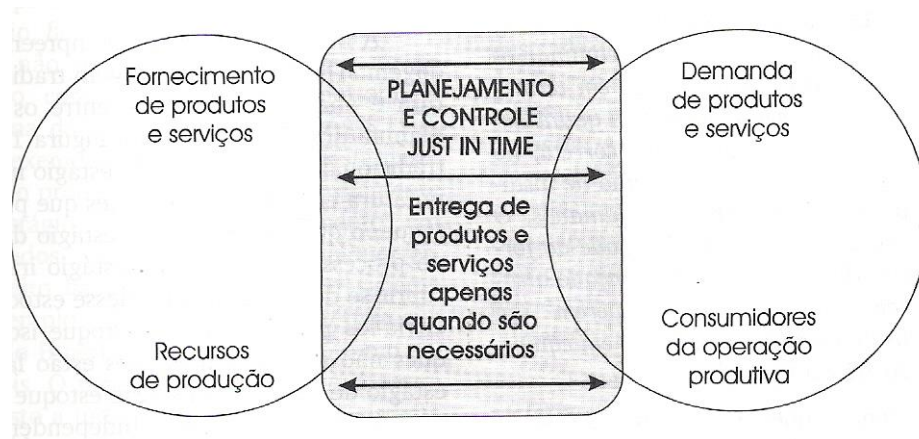


Figura 1 – O conceito do planejamento e controle JIT (SLACK et al., 2006)

Segundo Lutosa et al. (2008) para o bom funcionamento do sistema, em linhas de produção, são necessários alguns pressupostos básicos, são eles:

- Redução dos tempos de preparação;
- Padronização das operações;
- Reorganização dos layouts da fábrica;
- Utilização de uma força de trabalho altamente capacitada.

Ainda segundo Lutosa et al. (2008) para que o sistema seja bem sucedido são necessárias algumas características básicas:

- Deve-se atender somente o que é necessário no momento necessário;
- Os problemas de qualidade que geram sucatas ou retrabalho devem ser controlados e combatidos;
- Os estoques devem ser minimizados ou combatidos, pois eles além de serem desperdícios por si só também mascaram outros problemas;
- Deve existir um compromisso em trabalhar com lotes cada vez menores;
- Deve-se aproveitar corretamente os recursos como equipamentos e mão de obra.

2.4 Teoria das restrições

A Teoria das Restrições (TOC) considera que a meta das empresas é aumentar seu capital a curto e longo prazo. Todas suas demais ações são decorrentes desta meta (LUTOSA et al., 2008).

Segundo Wanke (2003) existem cinco passos para a aplicação da TOC:

- Identificar a restrição do sistema. Numa empresa industrial de processos discretos, a restrição pode ser o tempo disponível ou a capacidade de uma máquina, de um departamento ou de uma estação de trabalho. Para empresas de serviços ou de alta tecnologia, a restrição pode ser o tempo disponível dos funcionários mais capacitados.
- Calcular a rentabilidade por unidade de recursos consumida na restrição. Este valor é obtido pela divisão da rentabilidade ou margem de contribuição unitária pelo consumo de recursos da restrição para produzir um produto. A chave para maximizar o lucro é concentrar na produção e na comercialização de produtos com a maior rentabilidade por unidade de recurso consumida na restrição.
- Subordinar o sistema à restrição. Os recursos e estoques devem ser gerenciados de modo a prover exatamente o necessário para atingir os objetivos definidos para a restrição. Esse passo pode implicar a ociosidade de recursos que não são restrições. Normalmente, o sistema é subordinado à restrição através de um método de programação e controle da produção.
- Romper ou elevar a restrição do sistema. Através da melhoria contínua das operações, da aquisição de capacidade ou de flutuações na demanda, por exemplo, a restrição do sistema pode ser rompida ou elevada, de modo que esta restrição deixe de sê-lo. Uma nova restrição assumirá o papel da restrição anterior.
- Identificar a nova restrição do sistema caso a restrição seja rompida.

2.5 Previsão de demanda

Entende-se por demanda a disposição dos clientes ao consumo de bens e serviços ofertados por uma organização. Essa demanda é influenciada por uma série de fatores que se estendem desde as condições macroeconômicas até questões operacionais, como a disponibilidade do produto e preço, no ponto-de-venda (LUTOSA et al. , 2008, p. 49).

Segundo Tubino (2007) dentro do planejamento as previsões de demanda são utilizadas para planejar o sistema produtivo e para planejar o uso deste sistema.

Os processos de previsão de demanda podem ser classificados em quantitativos ou qualitativos. Os processos quantitativos são aqueles baseados em opiniões e conhecimento tácito, enquanto os qualitativos são obtidos por meio de técnicas estatísticas e com base no histórico de demanda.

Todo processo de previsão possui um erro. Este erro pode ser minimizado dependendo da técnica de previsão utilizada. Segundo Lutosa et al. (2008) a incerteza das previsões também é maior quanto maior o horizonte de planejamento ou menor a especificação dos itens, previsões de um item específico tem menos incertezas que de uma família de itens.

O processo de previsão de demanda é dividido em três etapas: a definição do método, a realização dos testes e a avaliação da confiabilidade. A Figura 2 mostra as etapas do processo de previsão para o planejamento.

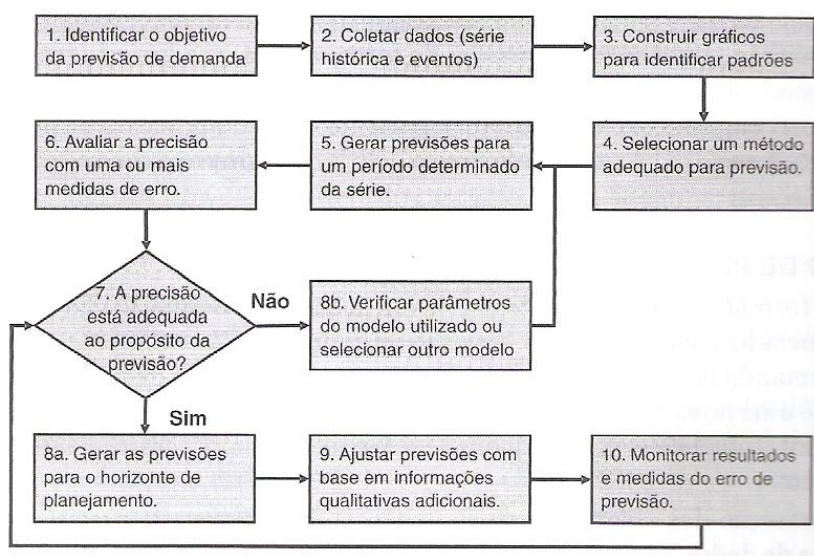


Figura 2 - Etapas do processo de previsão de demanda (LUTOSA et al., 2008)

2.6 Padrões de demanda

As demandas podem ser classificadas em pontuais ou repetitivas. São demandas pontuais aquelas que apresentam um pico e depois desaparecem ou diminuem drasticamente em um curto intervalo de tempo. Já as repetitivas são aquelas que seguem constantes ou variam lentamente ao longo do tempo. Pode-se dividir as demandas repetitivas em dependentes, aquelas que dependem de outro produto, como por exemplo, matéria-prima e produto final, e independentes. As demandas independentes ainda podem ser classificadas em estacionárias, quando apresentam pouca ou nenhuma variação ao longo do tempo, ou com tendência, quando a demanda tende a aumentar ou diminuir ao longo do tempo (LUTOSA et al., 2008).

Segundo Lutosa et al. (2008), outro aspecto que as demandas independentes podem possuir é a sazonalidade. Este aspecto consiste em determinados vales e picos ao longo de um

ciclo. Este conceito pode ser associado a demanda estacionária ou com tendência. A Figura 3 ilustra exemplos de demandas ao longo do tempo.

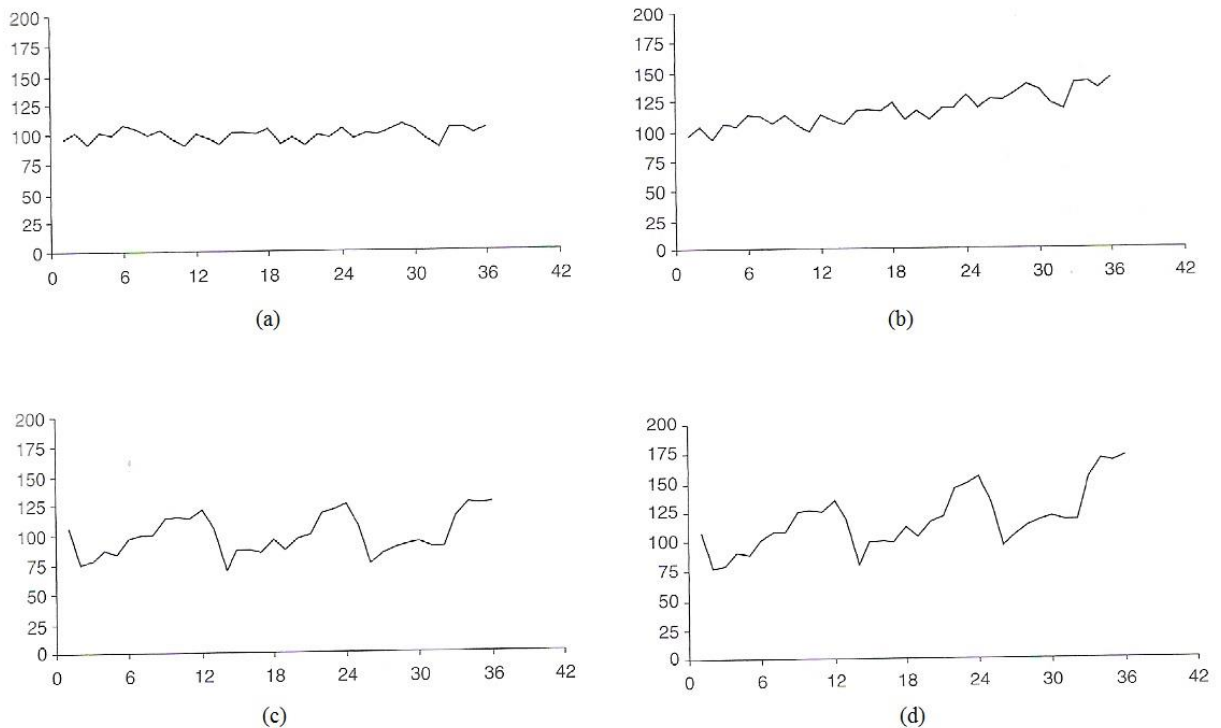


Figura 3 – Exemplos de demanda (a) Demanda estacionária (b) Demanda com tendência (c) Demanda estacionária sazonal (d) Demanda com tendência e sazonalidade (LUTOSA et al., 2008)

2.7 Métodos de previsão

Como citado anteriormente os métodos de previsão são classificados em qualitativos e quantitativos. Existem diversos métodos dentro destas classificações, como mostra a Figura 4. Segundo Wanke (2003), todos estes métodos são ditos métodos tradicionais, utilizados quando a distribuição do consumo no tempo segue uma distribuição normal. Uma solução para estes casos é considerar a distribuição do consumo no tempo aderente a uma distribuição de Poisson.

As propriedades dessa distribuição de probabilidades a tornam particularmente interessante para o entendimento de como diferentes níveis de ponto de pedido e estoque de segurança afetariam a probabilidade de não faltar estoque, especialmente em ambientes de baixo consumo, ou seja, entre 1 e 300 unidades por ano (WANKE, 2003, p.129).



Figura 4 – Exemplo de métodos de previsão de demanda (LUTOSA et al., 2008)

Basicamente, o método consiste em calcular a probabilidade acumulada de não haver falta de materiais no período t estudado, adotando uma distribuição de Poisson como modelo.

2.8 Distribuição de Poisson

A distribuição de Poisson é uma distribuição de probabilidade de variável aleatória discreta que é utilizada quando estamos interessados no número de sucessos em um intervalo contínuo, seja um intervalo de tempo, de comprimento, de superfície, entre outros (COSTA NETO; CYMBALISTA, 2005).

Costa Neto e Cymbalista (2005) citam que para se chegar à expressão da probabilidade de Poisson é preciso admitir que:

- Eventos definidos em intervalos não sobrepostos são independentes;
- Em intervalos de mesmo tamanho, são iguais as probabilidade de ocorrência de um mesmo número de sucesso;
- Em intervalos muito pequenos, a probabilidade de mais de um sucesso é desprezível;

- Em intervalos muito pequenos, a probabilidade de um sucesso é proporcional ao tamanho do intervalo.

Para o cálculo da probabilidade da distribuição de Poisson utiliza-se (1).

$$P_{X(t)} = \frac{(\lambda.t)^X . e^{-(\lambda.t)}}{X!} \quad (1)$$

Com X sendo o consumo de peças por intervalo de tempo, t é o intervalo de tempo considerado, λ a taxa de consumo médio por unidade de tempo e $P_{X(t)}$ a probabilidade de haver X solicitações durante o intervalo de tempo t.

A média de uma distribuição de Poisson é idêntica à sua variância, conforme expresso em (2) e (3).

$$E_{(X)} = \sum_{X=0}^{\infty} \frac{X.(\lambda.t)^X . e^{-(\lambda.t)}}{X!} = \lambda . t \quad (2)$$

$$\sigma^2_{(X)} = \sum_{X=0}^{\infty} \frac{X^2.(\lambda.t)^X . e^{-(\lambda.t)}}{X!} - (\lambda . t)^2 = \lambda . t \quad (3)$$

2.9 Avaliação do erro

O erro de previsão é basicamente a diferença entre o valor real R_t e o previsto P_t no período estudado.

Quando n períodos são estudados, pode-se calcular o erro médio (*Mean Deviation – MD*) por meio da equação de (4) (LUTOSA et al., 2008):

$$MD = \frac{\sum_{t=1}^n (R_t - P_t)}{n} \quad (4)$$

O erro médio possui um grande ponto desfavorável, pois neste cálculo os erros positivos e negativos se anulam, desta forma para um n grande encontra-se um valor de MD próximo a zero.

Pode-se também calcular a dispersão da previsão em torno do valor efetivo. Para isto são utilizados o Erro Absoluto Médio (*Mean Absolut Deviation – MAD*), calculado conforme (5) e o Erro Quadrático Médio (*Mean Squared Error – MSE*), calculado conforme (6) (LUTOSA et al., 2008) :

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |R_t - P_t|}{n} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (R_t - P_t)^2}{n} \quad (6)$$

O MAD trabalha com o módulo dos erros, evitando que um valor negativo cancele um positivo; enquanto o MSE traz um conceito análogo ao da variância, elevando cada erro ao quadrado pelo mesmo motivo. Neste ponto é preciso tomar cuidado retirando os *outliers*, valores discrepantes que se distanciam da média, para obter valores mais confiáveis.

Outra forma para o cálculo da dispersão é utilizando os erros percentuais, o erro percentual médio (*Mean Percentual Error* – MPE), calculado conforme (7), e o erro percentual médio absoluto (*Mean Absolute Percentual Error* – MAPE), calculado conforme (8):

$$MPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{(R_t - P_t)}{R_t}}{n} \quad (7)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|R_t - P_t|}{R_t}}{n} \quad (8)$$

Os conceitos do MPE e MAPE são análogos ao MD e MAD, respectivamente. A vantagem de se trabalhar com o percentual do erro é que ele possibilita a análise quando o volume total da demanda é desconhecido, ao contrário das medidas em valores absolutos.

3 ESTUDO DE CASO: SOLUÇÕES, RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 A Empresa estudada

A empresa que foi objeto do estudo é uma empresa aeronáutica-com sede no Vale do Paraíba no Estado de São Paulo e presença em outros cinco países: China, Estados Unidos, França, Portugal e Cingapura. A Empresa é dividida em três áreas de negócio: aviação comercial, aviação executiva e defesa e segurança.

3.2 Suporte logístico e de materiais no pós-vendas

A empresa em questão possui mais de sessenta centros de serviços próprios e autorizados espalhados pelo planeta. Estes centros de serviços são abastecidos pelos centros de distribuição que estão localizados: no Brasil (para atender a América do Sul e Central), Estados Unidos (para atender a América do Norte), França (para atender Europa e oriente médio), Cingapura (para atender Ásia) e China (exclusivo para o atendimento da frota chinesa).

O trabalho do planejamento de peças de reposição é garantir que o cliente encontre o material certo no momento certo e no centro de distribuição mais próximo possível de onde surgir a necessidade de atendimento.

A área de planejamento de peças de reposição é dividida em quatro grupos: o planejamento propriamente dito; a engenharia de suporte ao planejamento; a equipe de boletins de serviço e modificações do produto; e a equipe de preços.

3.3 O Planejamento de boletins de serviço

Dentro do planejamento de peças de reposição existe uma equipe focada em modificações do produto. Esta equipe trabalha em contato com a engenharia de desenvolvimento para buscar as modificações e planejá-las para atender toda a efetividade da frota de jatos executivos.

Grande parte das modificações é feitas via boletins de serviços, que por sua vez são constituídos, em sua maioria, por *kits*. Os materiais que formam os *kits* podem ser de uso

contínuo, ou seja, utilizados como peça de reposição ou na linha de produção, ou exclusivos para a modificação.

O planejamento dos materiais começa na análise da ordem de engenharia. Neste momento um documento é liberado pela engenharia descrevendo a modificação e os conjuntos de peças necessários para que ela ocorra. Uma vez sendo conhecida a lista de peças os fornecedores internos e externos são acionados para suprir a demanda de materiais.

Quando o boletim de serviço é liberado, o planejamento cria ordens de vendas para os centros de distribuição e os *kits* são montados e enviados para estes até que o centro de serviço, onde o cliente fará sua manutenção, coloque uma ordem de compra no centro de distribuição e o material seja entregue.

A grande dificuldade do processo está em prever a demanda, pois o cliente muitas vezes faz a incorporação da modificação fora de sua parada programada. Neste contexto, é comum que sejam criados grandes estoques nos centros de distribuição para garantir que o cliente encontre o material quando desejar. Além do problema de estoque, algumas vezes uma demanda de um material produzido internamente pode impactar na produção de outros componentes atrasando a montagem final do *kit*.

3.4 Descrição do problema e do método de solução

Para obter um modelo estatístico de previsão de demanda foi utilizada a probabilidade acumulada de uma distribuição de Poisson para não se faltar peça no estoque. Foi criado um modelo diferente para testar a demanda de cada um dos dois programas com maiores frotas da aviação executiva.

Como raramente dois boletins de serviço possuem a mesma efetividade, o modelo foi desenvolvido em cima do percentual aplicado mês a mês. Ainda para se limitar o modelo foram estudados apenas boletins de serviço que já fizeram parte de campanhas de *retrofit* e possuem alta efetividade.

Para o método foi considerado que o intervalo t desejado é de um mês, pois este é o *lead time* médio dos componentes que constituem os *kits*. Foi calculado o consumo médio percentual de cada intervalo e foi fixada a probabilidade de se ter o material em estoque em 98%, padrão de excelência exigido pela empresa. Desta forma, foram alterados os valores de X , percentual de *kits* em estoque, até se obter um valor igual ou superior a 98%.

Inicialmente foram listados quais os boletins de serviço eram sem custo para o cliente a partir de uma planilha de incorporação do suporte ao cliente. Uma vez conhecidos os boletins

de serviço foi verificado quais deles possuem *kits* e qual o *part number* destes *kits*. Com esta informação extraiu-se um relatório da ferramenta chamada *Servigistics* com todas as ordens de clientes fechadas desde a publicação do boletim de serviço até abril de 2013. Os dados extraídos do *Servigistics* foram a entrada para uma macro em Excel que foi criada para compilar quantos materiais foram pedidos mês a mês após a publicação do boletim.

Uma vez conhecido quantos pedidos foram feitos por mês e conhecendo a efetividade do boletim de serviço foi extraída a média de pedidos de cada mês e calculado o percentual desta média. O valor deste percentual foi considerado a taxa de consumo médio por unidade de tempo para se aplicar a equação da probabilidade de uma distribuição de Poisson

Notou-se que alguns boletins de serviço possuíam baixa demanda. Em geral estes boletins são boletins onde a aeronave precisa ficar um longo tempo parada em manutenção ou são recomendados em alguma parada específica, pois exigem aberturas específicas na aeronave.

Para o programa A1 foram considerados boletins de serviço de alta demanda aqueles com efetividade superior a 50 aeronaves, com taxa de incorporação superior a 40% e publicados entre 2008 e 2012. Os dados de histórico de demanda foram extraídos, por meio de relatórios da ferramenta *Servigistics*, no período de 01 de janeiro de 2008 a 01 de maio de 2013.

Para o programa A2 foram considerados boletins de serviço de alta demanda aqueles com mais de 80 aeronaves na efetividade, com taxa de incorporação superior a 70% no intervalo de tempo considerado e que foram publicados entre 2008 e 2012. Os dados de histórico de demanda foram extraídos, da mesma forma do programa A1, no período de 01 de janeiro de 2008 a 22 de agosto de 2013.

3.5 Os resultados do programa A1.

A Tabela 1 mostra o consumo médio mensal utilizado para o modelo ao longo de 24 meses. É possível notar tanto na Tabela 1 como na Figura 5 (gráfico do percentual médio de demanda), que a demanda é maior nos primeiros meses e praticamente se estagna próxima de zero após 12 meses.

Tabela1- Percentual médio de demanda do programa A1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
λ	10,9	6,3	5,7	4,2	3,0	4,8	2,9	4,1	2,1	1,4	1,9	1,4	3,1	1,5	0,4	0,5	0,2	0,6	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0

	16	94,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	17	97,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	18	98,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	19	99,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	20	99,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	21	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	22	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	23	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela 3 – Probabilidade acumulada de Poisson para o segundo ano para o programa A1

		Mês											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Quantidade	0	4,3%	23,2%	64,5%	60,0%	80,3%	55,8%	100,0%	93,0%	100,0%	93,0%	100,0%	100,0%
	1	17,9%	57,1%	92,8%	90,6%	97,9%	88,3%	100,0%	99,7%	100,0%	99,7%	100,0%	100,0%
	2	39,3%	81,9%	99,0%	98,5%	99,9%	97,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	3	61,6%	93,9%	99,9%	99,8%	100,0%	99,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	4	79,1%	98,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5	90,1%	99,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	6	95,9%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7	98,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	8	99,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	9	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	11	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	12	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	13	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	14	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	15	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	16	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	17	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	18	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	19	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	20	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	21	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	22	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	23	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Com base nas Tabelas 2 e 3 podemos extrair o modelo de demanda, quantidade necessária para que a probabilidade de não faltar material em estoque seja de 98%. A tabela 4 apresenta o resultado obtido.

Tabela 4 – Demanda de material do programa A1

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Porcentagem em estoque	18	12	11	9	7	10	7	8	6	5	6	1

Portanto pode-se concluir que o modelo prevê que a totalidade dos *kits* devem ser fornecidos no período de 1 ano, fornecendo 18% dos *kits* no primeiro mês, 12% no segundo, 11% no terceiro e assim por diante.

Para se avaliar o modelo foram selecionados 3 *kits* que fazem parte de boletins de serviço publicados a partir de março de 2013. Nenhum destes boletins foi utilizado para a modelagem. A Tabela 5 apresenta os resultados da demanda dos *kits* em unidades e a Tabela 6 em percentual, comparando com o modelo.

Tabela 5 – Demanda de kits ao longo dos meses do programa A1

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kit A	7	8	5	14	0	0	0	-	-	-	-	-
Kit B	6	2	8	0	3	0	-	-	-	-	-	-
Kit C	5	4	3	5	2	2	1	3	-	-	-	-

Tabela 6 – Percentual de demanda de kits ao longo dos meses para o programa A1

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Modelo	18	12	11	9	7	10	7	8	6	5	6	1
Kit A	18	21	13	37	0	0	0	-	-	-	-	-
Kit B	23	8	31	0	11	0	-	-	-	-	-	-
Kit C	15	12	9	15	6	6	3	9	-	-	-	-

A partir da Figura 6 é possível comparar a aderência dos resultados obtidos na prática com os propostos pelo modelo.

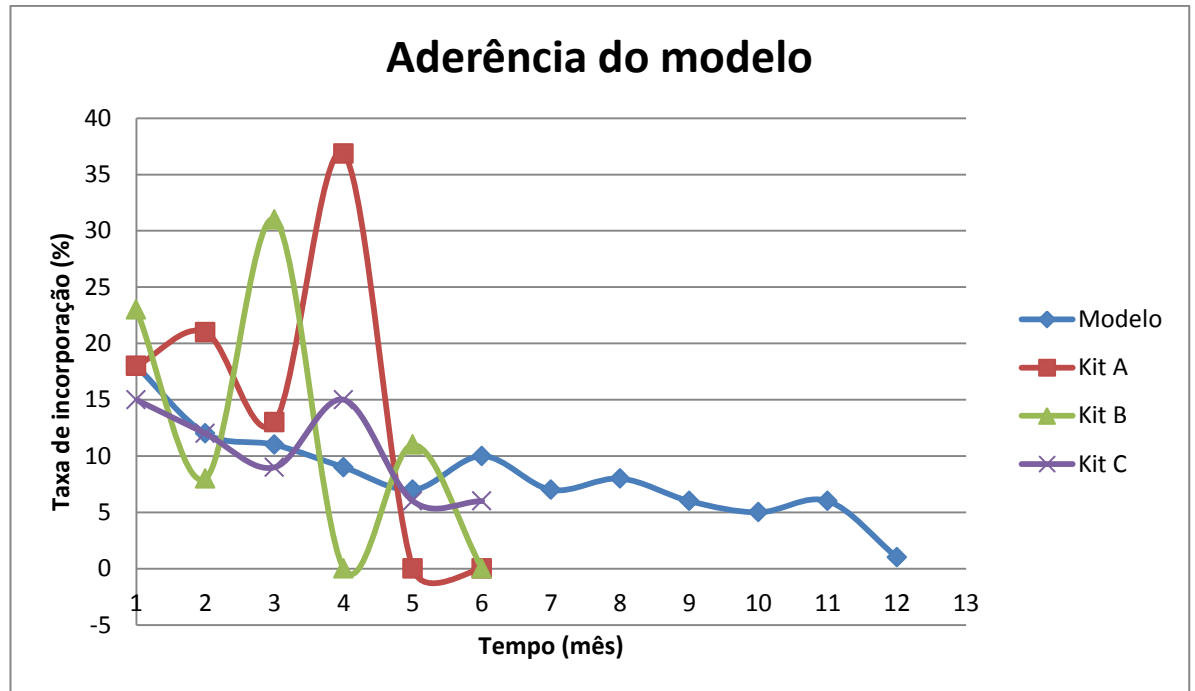


Figura 6 – Gráfico de aderência do modelo do programa A1.

É possível notar que os *kits* A e B possuem um pico no quarto e terceiro mês após sua publicação, respectivamente. Este pico é devido a uma campanha de incorporação feita pela equipe de suporte ao cliente com apoio da alta direção da empresa. Pois ambos os *kits* reparavam um problema que poderia impossibilitar o voo da aeronave.

Foram escolhidas três medidas de erro para mensurar o desvio, MPE, MAPE e MSE. Todos os cálculos de desvios foram feitos considerando o número de unidades, ou seja, para este cálculo o percentual obtido no modelo foi convertido de acordo com a efetividade de cada um dos boletins. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos do cálculo do desvio até outubro de 2013 e a Figura 7 mostra a variação do erro ao longo dos meses.

Tabela 7 – Erros de previsão para o programa A1

	MPE	MAPE	MSE
Kit A	0,34	0,34	41,25
Kit B	0,10	0,27	6,83
Kit C	-0,20	0,30	1,00

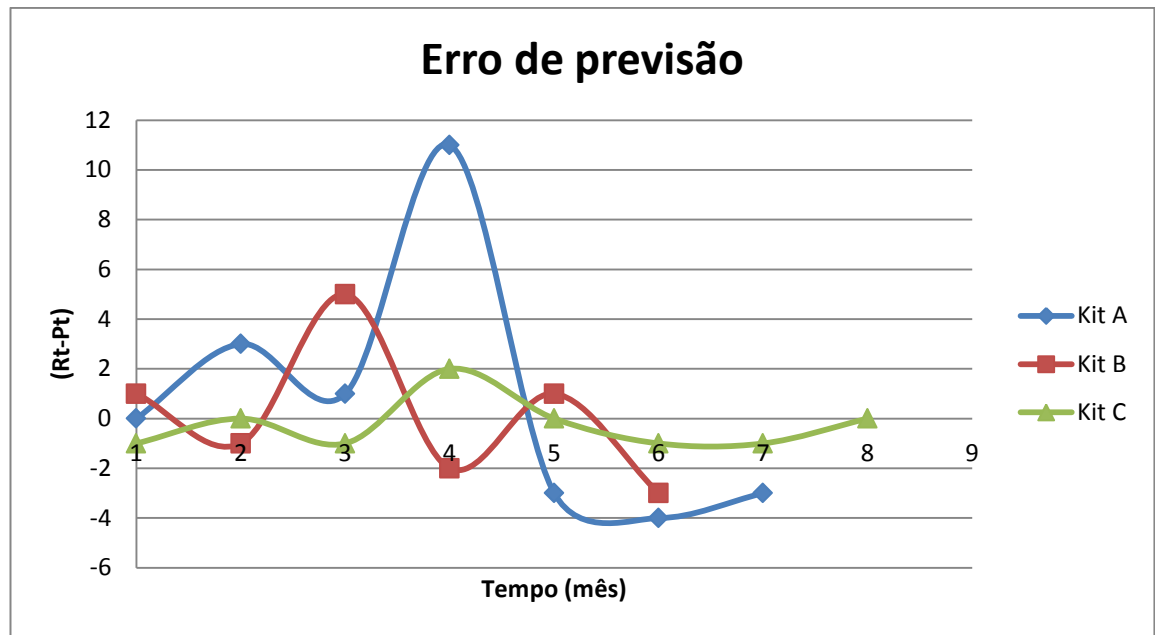


Figura 7 – Gráfico do erro de previsão mês a mês do programa A1.

Analisando a Tabela 7 é possível concluir que o modelo é satisfatório, pois ambos os erros MPE e MAPE estão próximos de zero e o erro MSE possui um valor pequeno, mesmo com o outlier sendo levado em consideração para o cálculo dos erros. A partir da Figura 7 pode-se concluir que para os kits B e C, durante o intervalo estudado, o cliente sempre encontraria material em estoque quando solicitasse. Para o kit A o mesmo não ocorreria, pois as demandas no segundo e terceiro mês foram superiores à previsão, tal fato ressalta uma alerta que para boletins de serviço considerados de pronto socorro, aqueles em que a não incorporação pode ocasionar uma falha que impossibilite a aeronave de decolar, o material deve ser fornecido rapidamente aos centros de distribuição.

3.6 Os resultados para o programa A2

Para o programa A2 inicialmente foi utilizada a mesma estratégia do programa A1. Calculou-se a demanda percentual média com base em alguns boletins de serviço que satisfaziam as condições descritas.

O resultado da demanda média percentual ao longo dos 24 meses está apresentado na Tabela 8 e Figura 8.

Tabela8- Percentual médio de demanda do programa A2 .

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
λ	12,8	7,3	8,5	12,7	7,0	4,2	3,3	2,3	2,2	1,5	1,7	2,2	0,5	0,8	0,5	0,1	0,2	0,5	0,1	0,3	0,0	0,1	0,3	0,1

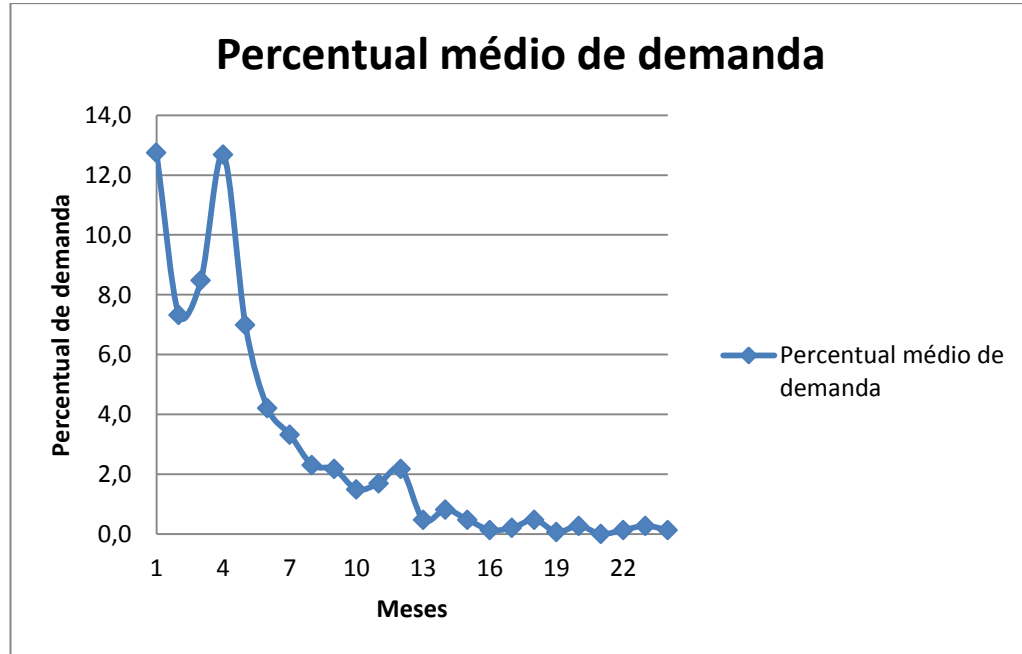


Figura 8 – Gráfico de dispersão do percentual médio de demanda do programa A2.

Analogamente ao apresentado para o programa A1, foram utilizados os dados da Tabela 8 para calcular a probabilidade acumulada de Poisson mês a mês. Neste sentido, a Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para os primeiros 12 meses e a Tabela 10 o resultado do décimo terceiro mês até o vigésimo quarto, seguindo a mesma lógica daquela utilizada nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 9 – Probabilidade acumulada de Poisson para o primeiro ano do programa A2.

		Mês											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Quantidade	1	0,0%	0,5%	0,2%	0,0%	0,7%	7,8%	15,6%	32,9%	36,2%	56,0%	49,4%	36,2%
	2	0,0%	2,3%	0,9%	0,0%	3,0%	20,9%	35,5%	59,4%	63,1%	81,1%	75,8%	63,1%
	3	0,1%	6,6%	3,1%	0,1%	8,2%	39,4%	57,5%	79,8%	82,5%	93,5%	90,7%	82,5%
	4	0,4%	14,5%	7,5%	0,5%	17,4%	58,9%	75,8%	91,5%	93,1%	98,2%	97,1%	93,1%
	5	1,3%	26,1%	15,1%	1,3%	30,2%	75,2%	88,0%	97,0%	97,6%	99,6%	99,2%	97,6%
	6	3,0%	40,2%	25,8%	3,1%	45,2%	86,7%	94,7%	99,1%	99,3%	99,9%	99,8%	99,3%
	7	6,1%	55,0%	38,8%	6,4%	60,1%	93,6%	97,9%	99,7%	99,8%	100,0%	100,0%	99,8%
	8	11,2%	68,6%	52,6%	11,5%	73,1%	97,2%	99,3%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	9	18,3%	79,6%	65,6%	18,8%	83,2%	98,9%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10	27,3%	87,7%	76,6%	28,0%	90,2%	99,6%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

11	37,9%	93,0%	85,0%	38,6%	94,7%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
12	49,0%	96,3%	91,0%	49,8%	97,3%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
13	60,0%	98,2%	94,9%	60,7%	98,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14	70,0%	99,2%	97,3%	70,7%	99,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15	78,5%	99,6%	98,6%	79,1%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16	85,3%	99,8%	99,4%	85,7%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
17	90,3%	99,9%	99,7%	90,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
18	93,9%	100,0%	99,9%	94,2%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
19	96,4%	100,0%	99,9%	96,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
20	97,9%	100,0%	100,0%	98,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
21	98,8%	100,0%	100,0%	98,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
22	99,4%	100,0%	100,0%	99,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
23	99,7%	100,0%	100,0%	99,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabela 10 – Probabilidade acumulada de Poisson para o segundo ano do programa A2.

		Mês											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Quantidade	1	91,7%	80,4%	91,7%	99,2%	98,2%	91,7%	99,8%	96,9%	100,0%	99,2%	96,9%	99,2%
	2	98,7%	95,1%	98,7%	100,0%	99,9%	98,7%	100,0%	99,7%	100,0%	100,0%	99,7%	100,0%
	3	99,9%	99,0%	99,9%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	4	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	5	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	6	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	7	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	8	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	9	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	10	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	11	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

A partir dos dados das Tabelas 9 e 10 foi possível prever o percentual de demanda do modelo. Os percentuais de demanda, e consequentemente, as quantidades de material que devem ser enviadas a cada mês estão na Tabela 11.

Tabela 11 – Demanda de material do programa A2.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8
Porcentagem em estoque	21	13	15	20	13	9	8	1

Diferentemente do modelo proposto para o programa A1, o modelo do programa A2 prevê a distribuição da totalidade dos materiais em um período de oito meses. Enviando 21% dos kits no primeiro mês, 13% no segundo, 15% no terceiro e assim por diante.

Para se avaliar o modelo também foram selecionados 3 *kits* que fazem parte de boletins de serviço publicados a setembro de março de 2012. Nenhum destes boletins foi utilizado para a modelagem. A Tabela 12 apresenta os resultados da demanda dos kits em unidades e a Tabela 13 em percentual, comparando com o modelo.

Tabela 12 – Demanda de kits ao longo dos meses, programa A2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kit D	24	22	41	17	18	15	21	18	9	8	10	9	-
Kit E	8	18	10	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kit F	63	30	35	22	17	10	11	18	10	7	11	9	10

Tabela 13 – Percentual de demanda de kits ao longo dos meses, programa A2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kit D	10	9	16	7	7	6	8	7	4	3	4	4	-
Kit E	5	10	6	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kit F	25	12	14	9	7	4	4	7	4	3	4	4	4

Na Figura 9 é possível comparar a aderência dos resultados obtidos na prática com os propostos pelo modelo.

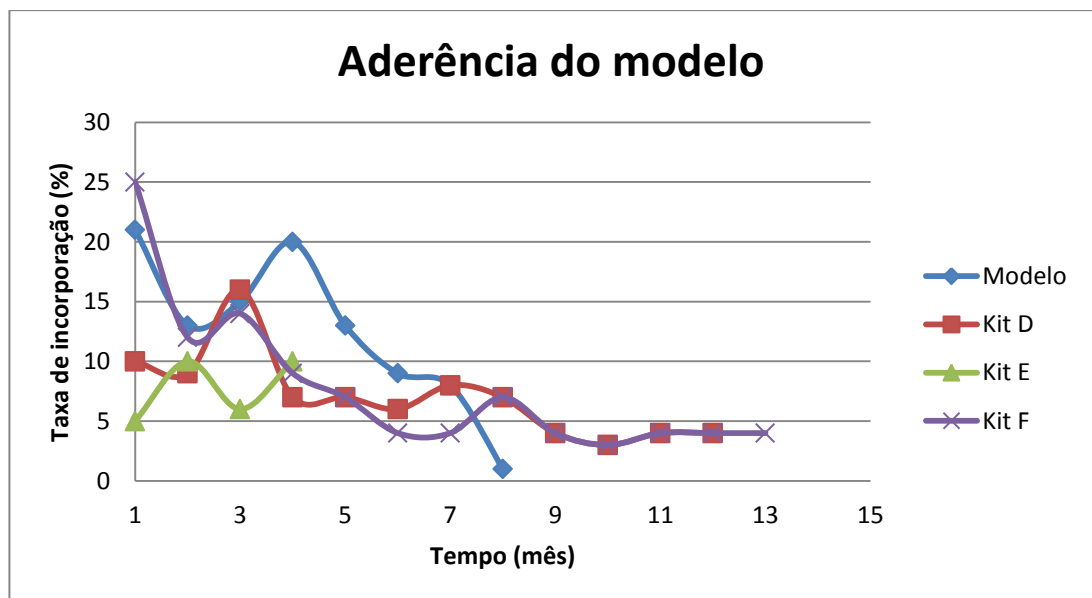


Figura 9 – Gráfico de aderência do modelo, programa A2.

Para efeito de mensuração de erro, a Tabela 14 apresenta os resultados das medidas de erro MPE, MAPE e MSE, e a Figura 10 mostra as variações observadas. Como é possível

notar o modelo é pouco aderente a realidade. Nota-se também que tanto o modelo quanto o *kit* D possuem um pico de demanda entre o terceiro e o quarto mês.

Tabela 14 – Erros de previsão do programa A2.

	MPE	MAPE	MSE
Kit D	0,00	0,83	243,43
Kit E	-1,58	1,58	338,18
Kit F	0,11	0,81	163,36

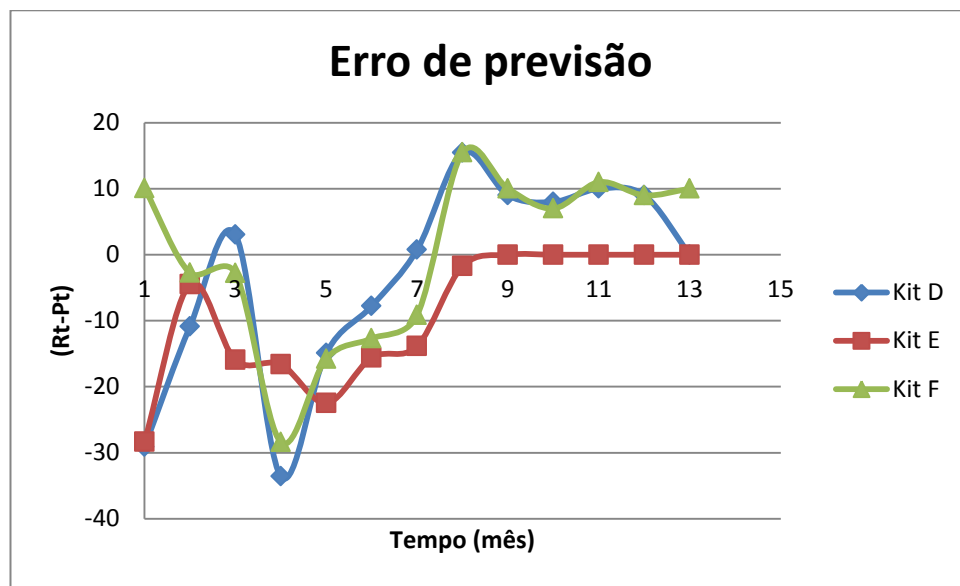


Figura 10 – Gráfico do erro de previsão mês a mês para o programa A2.

Embora as medidas MPE e MAPE apresentem valores pequenos é possível notar a grande variação do erro com o auxílio do MSE e do gráfico da Figura 10.

Ao observar o mesmo fenômeno dos picos para o programa A2 identificou-se uma possível causa.

Quando um cliente frotista, aquele que possui mais de uma aeronave, faz o pedido dos materiais, ele faz o pedido para todas as suas aeronaves, mesmo que ele incorpore a modificação meses depois. Desta forma foi direcionado um estudo para avaliar quem são estes clientes frotistas e em que momentos deve ser disponibilizado o material para eles.

3.7 O resultado do programa A2 levando em consideração os pedidos de frotistas

Para identificar quais são os pedidos de frotistas seria necessário analisar a cada ordem de venda qual o número de série da aeronave associado. Porém a extração dessa informação não foi possível com os relatórios disponíveis atualmente na empresa. Desta forma, para efeito de estimativa, foram classificados como pedidos de frotistas todos os pedidos de um mesmo kit feito em uma mesma data por um mesmo centro de serviço. A demanda média foi calculada por uma média ponderada dos pedidos de frotistas e não frotistas. Os resultados das demandas médias percentuais ao longo dos meses estão na Tabela 15 e na Figura 11.

Tabela 15 - Percentual médio de demanda do programa A2, levando em consideração frotistas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
λ Frotista	0,17	0,12	0,19	0,16	0,16	0,10	0,07	0,06	0,05	0,02	0,02	0,02
λ Não Frotista	0,09	0,04	0,04	0,10	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
λ Médio	0,11	0,06	0,08	0,11	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02

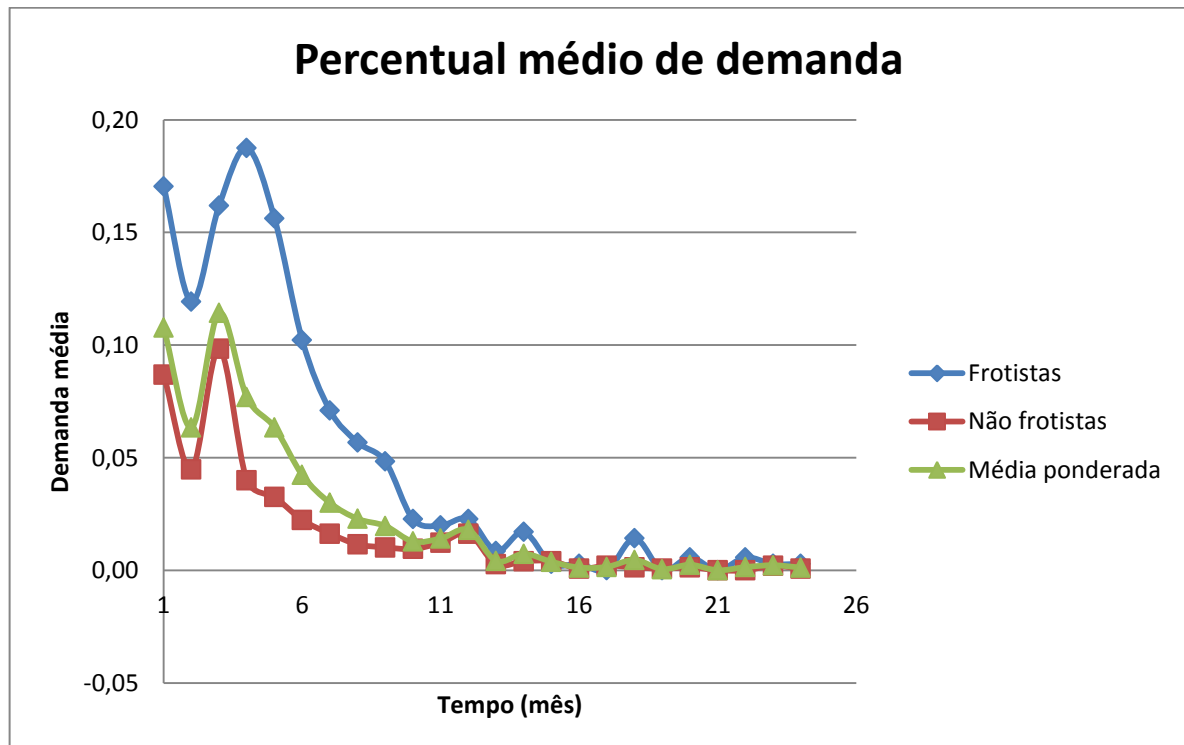


Figura 11 – Gráfico de dispersão do percentual médio de demanda do programa A2, com frotistas.

Como é possível notar nestes resultados da Tabela 15 e Figura 11, para os frotistas existe um pico de demanda no quarto mês, enquanto para os pedidos de não frotistas tem um

pico de demanda no terceiro mês e em seguida ela segue constante. Com os dados de demanda média de cada mês foi calculado quantas peças são precisos em estoque para garantir um nível de serviço de 98%. Os resultados deste cálculo estão presentes na Tabela 16.

Tabela 16 – Probabilidade acumulada de Poisson para o primeiro ano do programa A2, considerando frotistas

		Mês											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Quantidade	0	0%	0%	0%	0%	0%	1%	5%	10%	14%	28%	24%	17%
	1	0%	1%	0%	0%	1%	8%	20%	33%	41%	63%	59%	47%
	2	0%	5%	0%	2%	5%	21%	42%	60%	68%	86%	83%	73%
	3	1%	12%	0%	5%	12%	39%	65%	80%	86%	96%	94%	89%
	4	2%	24%	1%	12%	24%	58%	82%	92%	95%	99%	99%	96%
	5	4%	39%	3%	22%	39%	75%	92%	97%	98%	100%	100%	99%
	6	9%	55%	6%	35%	55%	86%	97%	99%	100%	100%	100%	100%
	7	16%	70%	12%	50%	69%	93%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
	8	25%	81%	20%	64%	81%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	9	37%	89%	30%	75%	89%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	10	49%	94%	41%	85%	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	11	61%	97%	53%	91%	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	12	71%	99%	64%	95%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	13	80%	99%	74%	97%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	14	87%	100%	82%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	15	92%	100%	88%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	16	95%	100%	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	17	97%	100%	96%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	18	99%	100%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	19	99%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	20	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

A partir dos dados das Tabelas 16 foi possível prever o percentual de demanda dos modelos. Os percentuais de demanda, e consequentemente, a quantidade de material que deve ser enviada a cada mês estão na Tabela 17.

Tabela 17 – Demanda de material para o programa A2, considerando frotistas.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Porcentagem em estoque	17	11	18	13	11	8	6	5	5	4	2

Com o modelo ajustado a distribuição de material que anteriormente era feita em oito meses passou a ser feita em onze. Comparando as Tabelas 11 e 17, pode-se notar que os picos de demanda do modelo foram minimizados, embora tenham acontecido nos mesmos meses. É possível ainda concluir que a demanda mais crítica ocorre durante os cinco primeiros meses.

Comparando o modelo desenvolvido com os mesmos *kits* selecionados para avaliar no tópico anterior (*kits* D, E e F) foi traçado um gráfico comparando a aderência destes com o novo modelo, como está na Figura 12.

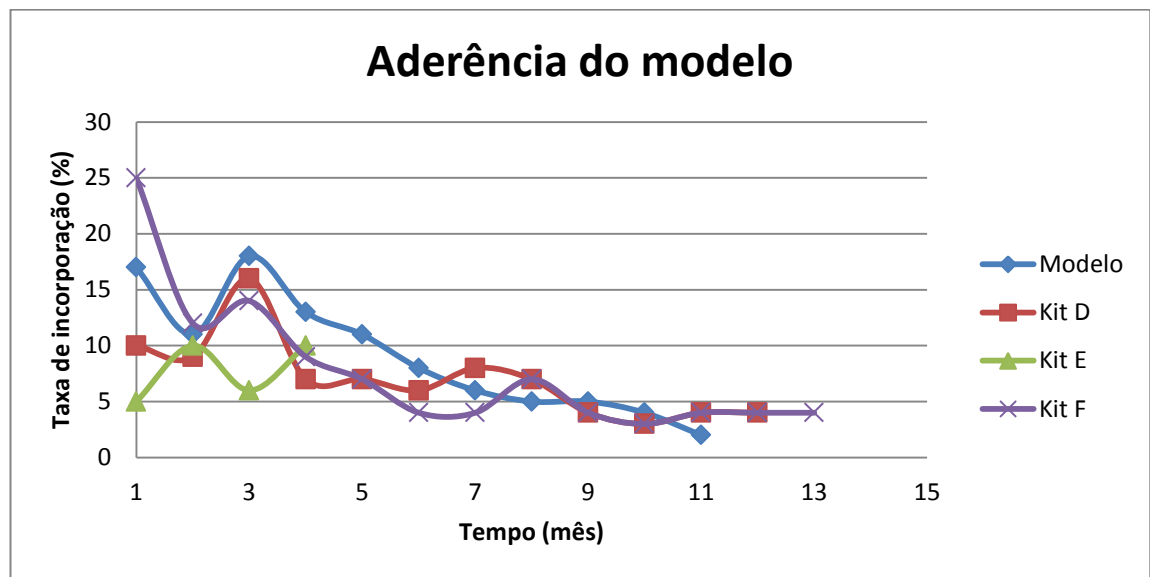


Figura 12 – Gráfico de aderência do modelo do programa A2, considerando frotistas.

A Tabela 19 mostra os erros do novo modelo. Comparando os dados da Tabela 15 com os da Tabela 19 nota-se que os resultados, de uma forma geral, foram melhores para todos os *kits*.

Tabela 19 – Erros de previsão do programa A2, considerando frotistas.

	MPE	MAPE	MSE
Kit D	-0,13	0,47	80,23
Kit E	-1,27	1,27	231,63
Kit F	-0,02	0,52	87,33

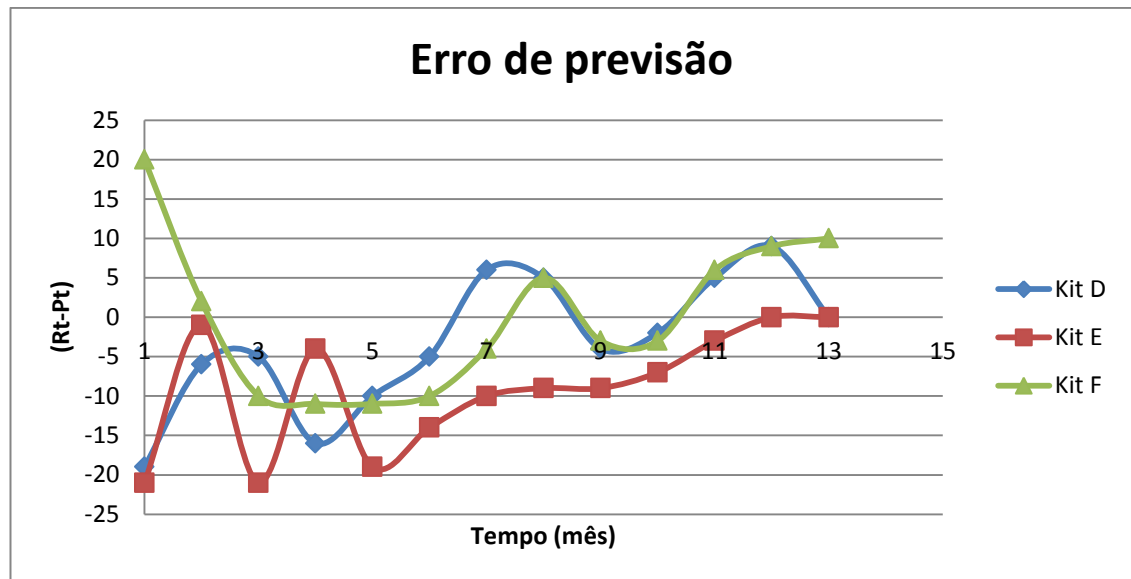


Figura 13 – Gráfico do erro de previsão mês a mês do programa A2, considerando frotistas.

Embora o resultado tenha sido melhor que o modelo anterior, ainda assim não foi tão satisfatório quanto o modelo do programa A1. Desta forma pode-se concluir que para o programa A2 existem vários comportamentos diferentes de demanda e seria necessário conhecer as particularidades de cada *kit* para descrever um modelo mais adequado.

A fim de obter um resultado mais próximo do real escolheu-se reduzir o nível de serviço do modelo de 98% para 90%. Desta forma o percentual esperado de demanda muda conforme a Tabela 20.

Tabela 20 – Demanda de material do programa A2, considerando frotistas e nível de serviço de 90%.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Porcentagem em estoque	15	10	16	11	10	7	5	4	4	3	3	4	1	2	1	1	1	1	1

Comparando o modelo nesta situação com os dados históricos, conforme Figura 14, pode-se notar que o modelo ficou mais aderente aos dados reais.

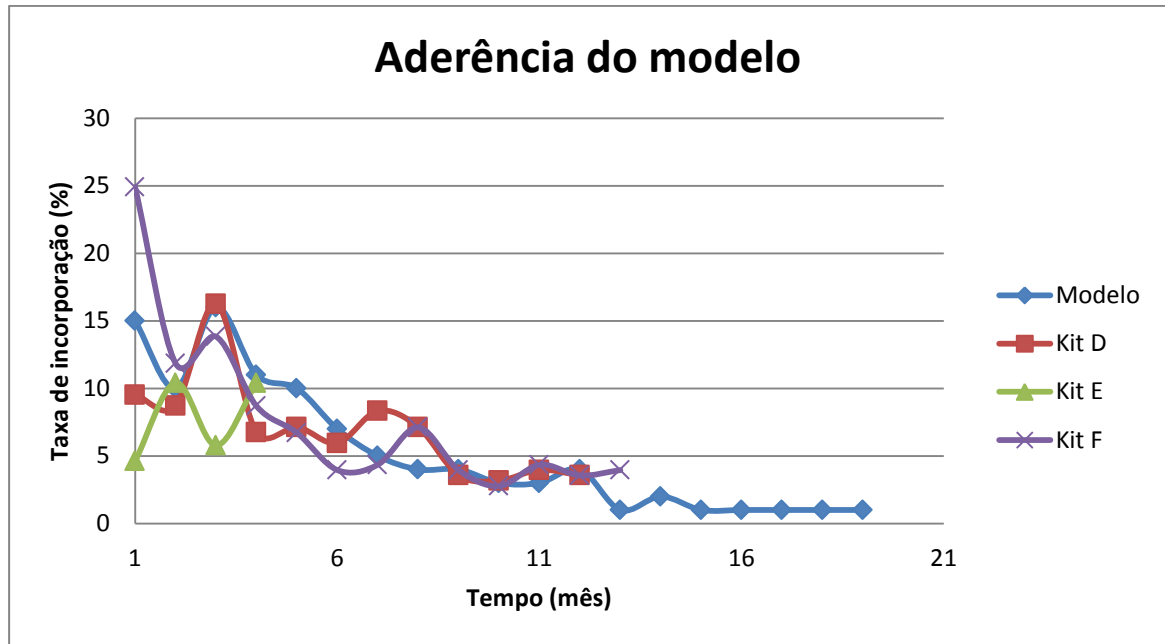


Figura 14 – Gráfico de aderência do modelo do programa A2, considerando frotistas e nível de serviço de 90%.

Com o modelo mais aderente foram recalculados os desvios para cada *kit*, ver Tabela 21. Quando se compara estes resultados com aqueles das Tabelas 19 e 14 pode-se concluir que os valores das medidas de erro chegaram bem próximos de zero, com exceção do *kit* E que teve valor -1,01 e 1,03 para o MPE e MAPE, respectivamente. O resultado do *kit* E se deve ao baixo número de amostras.

Tabela 21 – Erros de previsão do programa A2, , considerando frotistas e nível de serviço de 90%.

	MPE	MAPE	MSE
Kit D	-0,08	0,28	43,05
Kit E	-1,01	1,03	159,08
Kit F	0,00	0,32	75,06

Quando se analisa o MSE e o compara com o encontrado na Tabela 7, para o programa A1, nota-se que estes ainda foram muito maiores que aqueles. Isto ocorre porque existe uma grande variação entre os resultados esperado e aquele que foi encontrado.

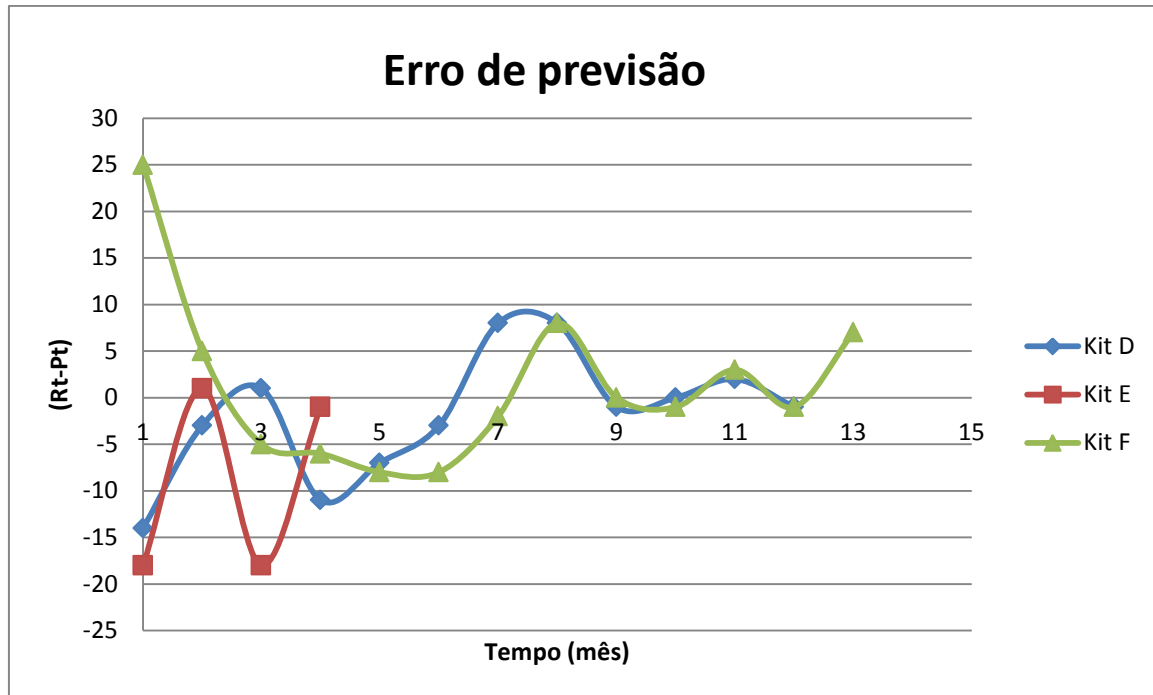


Figura 15 – Gráfico do erro de previsão mensal do programa A2, considerando frotistas e nível de serviço de 90%.

3.8 Ganhos financeiros da utilização do modelo.

Para calcular o ganho da utilização do método de previsão de demanda o custo de produção dos *kits* foi convertido para uma unidade de monetária imaginária, UMI. Desta forma a Tabela 22 apresenta o custo de produção em UMI dos *kits* utilizados na validação dos métodos.

Tabela 22 – Custos de produção dos kits.

KIT	Custo de produção (UMI)
A	9,90
B	0,71
C	5,21
D	4,34
E	33,59
F	179,55

Considerando que a cada vez que a quantidade de pedidos é maior que o planejado são enviados mais *kits* de forma a não ficar pendências para o mês seguinte, tem-se na Tabela 23 a quantidade de material em estoque ao longo dos meses.

Tabela 23 – Estoque de kits ao longo dos meses

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kit A	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-
kit B	0	1	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Kit C	1	1	2	0	0	1	2	2	-	-	-	-	-
Kit D	14	17	16	27	34	37	28	21	22	22	20	21	-
Kit E	18	17	35	36	-	-	-	-	-	-	-		
Kit F	0	0	5	11	19	27	29	21	21	22	19	20	13

Desta forma quando se associa o estoque sobressalente com o custo de produção de cada *kit* encontra-se atualmente em estoque um valor de 3644,95 UMI. Caso a totalidade dos materiais tivesse sido mandada no primeiro mês o valor do estoque sobressalente destes seis *kits* hoje seria de 4257,06 UMI.

Considerando que atualmente o estoque total de *kits* está em 17375 UMI, o envio de forma desordenada dos *kits* levaria a um investimento inicial de 300% do valor do estoque, em contrapartida, utilizando o modelo, o investimento inicial seria de 70% do valor do estoque. Na data da última medida, utilizando o modelo o estoque teve um aumento de 21%, caso os kits tivessem sido disponibilizados todos no primeiro mês este aumento na data da última medida seria de 24,5%.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 Conclusões

Embora a modelagem estatística não descreva o comportamento da demanda com total precisão, esta é uma boa ferramenta para uma primeira estimativa. Um fator notado no decorrer do trabalho que pode interferir e que, conseqüentemente, deve ser levado em consideração no momento do planejamento são os fatores externos, interesse da empresa em incorporar a modificação em um curto prazo, e o risco da falta da modificação impossibilitar que a aeronave seja utilizada.

Também foi possível concluir que quanto mais específico o grupo de estudo melhores são as previsões de demanda. No caso do programa A2 ficou evidente o melhor comportamento da previsão quando levado em consideração os pedidos de alguns clientes específicos.

Para o programa A1 os resultados obtidos foram muito satisfatórios pois obtiveram erros muito baixos com pequenas oscilações ao redor do valor estimado, excetuando-se os casos onde houve uma influencia externa para o aumento da incorporação da modificação. O comportamento dos kits do programa A1 se comportarem de forma mais constante pode estar associada a maturidade do produto.

Para o programa A2 o resultado foi bastante interessante quando se considerou o impacto médio de alguns clientes que possuem diversas aeronaves na demanda de materiais. O resultado ficou ainda mais satisfatório quando diminuiu o nível de serviço para 90%, apesar da diferença entre o esperado e o encontrado de alguns meses ter sido alta.

Outro fator que contribuiria para um melhor desempenho da técnica de previsão de demanda é separar os *kits*, que são base do modelo, de acordo com a tecnologia. Por exemplo, criar um modelo para todos os kits que são para modificar a estrutura da aeronave. Deve-se destacar ainda que a demanda pode ser impactada de acordo com tempo em que a aeronave precisa ficar parada para incorporar a modificação. Modificações que exigem acessos mais complexos na aeronave tendem a ser menos solicitadas.

Também é importante salientar a importância de ter a informação de quais pedidos foram feitos para cada aeronave. Desta forma, evitam-se demandas duplicadas, e também se pode conhecer melhor o comportamento de frotistas e assim conseqüentemente planejar em conjunto com estes uma melhor forma de distribuição de materiais.

A vantagem de possuir um modelo de previsão além de diminuir estoques desnecessários e o investimento inicial em materiais é também diminuir os desperdícios de *kits*. Pois foi notado diversas vezes que os boletins de serviço passam por modificações nas quais diversas vezes mudaram-se os materiais necessários. Desta forma os componentes antigos que já foram colocados em estoque são sucateados.

4.2 Verificação dos objetivos

Quanto aos objetivos conclui-se que todos os objetivos específicos propostos foram atendidos, pois foi desenvolvido um modelo que descreve de forma satisfatória o comportamento da demanda, mesmo que este modelo tenha focado em um grupo específico de *kits*.

Também foram atingidos os objetivos de identificar os meses mais críticos quanto à demanda de materiais e de reduzir para próximo de zero as medidas de erro.

4.3 Propostas de futuros estudos

Em continuidade ao presente trabalho, propõem-se, entre outros, os seguintes estudos:

- Estudo de controle do modelo atual para conhecer o momento exato em que este deve sofrer modificações
- Estudo de necessidade de cada cliente específico, onde pode ser conhecido o momento exato da demanda de cada cliente.
- Aplicação do método para kits que tem característica de melhoria e que são a custo do cliente.
- Expansão para os demais programas da aviação executiva e para futuras entradas em serviço.
- Elaboração de um modelo que mostre a demanda por programa e por região, criando os estoques nos centros de distribuição mais próximos e consequentemente diminuindo o tempo para o atendimento ao cliente.

Além destes estudos propõem-se também a criação de uma ferramenta de gestão do modelo integrada com o sistema de planejamento, bem como a criação de relatórios e gráficos de acompanhamento com detalhamento por material e por número de série das aeronaves.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASMUSSEN, M. W. Renovação agressiva – e contínua ao longo da vida útil – como meio eficaz de assegurar a manutenção da competitividade em empreendimentos de Real Estate. **Revista Construção e Mercado**, São Paulo, fev. 2008. Disponível em:<http://www.realestate.br/images/File/arquivosPDF/Pini_colunadeFevereiro08_Michael.pdf>. Acesso em: 20 out. 2013.

CONTADOR, J. C. **Gestão de operações: A engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. 2ª Ed. São Paulo: Fundação Carlos Alberto Vanzolini, 1998. 593p.

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada**. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 184p.

KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de marketing**. 12ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006. 750p.

LUTOSA, L.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008, 353p.

MENDONÇA, J. S.; CASTRO, S. I. M. DE; CALHADO, P. M.; ELIAS, S. J. B.; NUNES, F. R. DE M. *Aumento da capacidade competitiva e da lucratividade através da melhoria da qualidade dos calçados de plástico policloreto de vinila (PVC)*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXII., 2012, Bento Gonçalves. **Anais do XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Rio de Janeiro: ABEPRO, 2012.

COSTA NETO, P. L. DE O. **Estatística**. 2ª Ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2002. 266p.

COSTA NETO, P. L. DE O.; CYMBALISTA, M. **Probabilidades**. 2ª Ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2005. 185p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1996. 725p.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção: Teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2007. 190p.

WANKE, P. **Gestão de estoques na cadeia de suprimento: decisões e modelos quantitativos**. São Paulo: Atlas, 2003, 170p.