

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MARCOS ROGÉRIO DA SILVA SANTOS

**APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON PARA DETERMINAÇÃO DE
ESTOQUE MÍNIMO DE ITENS DE MRO DE BAIXO GIRO APLICADOS EM
MANUTENÇÃO DE ATIVOS INDUSTRIAIS**

Bauru, 2015

MARCOS ROGÉRIO DA SILVA SANTOS

**APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON PARA DETERMINAÇÃO DE
ESTOQUE MÍNIMO DE ITENS DE MRO DE BAIXO GIRO APLICADOS EM
MANUTENÇÃO DE ATIVOS INDUSTRIAIS**

Dissertação de Mestrado
apresentada ao programa de
Pós-Graduação em Engenharia
de Produção da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus Bauru,
como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Antônio
Fernando Crepaldi.

BAURU

2015

Santos, Marcos Rogério da Silva.

Aplicação da Distribuição de Poisson para
Determinação de Estoque Mínimo de Itens de MRO de
Baixo Giro Aplicados em Manutenção de Ativos
Industriais / Marcos Rogério da Silva Santos, 2015
115 f.

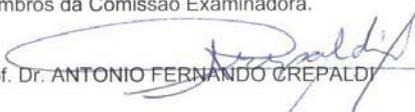
Orientador: Antônio Fernando Crepaldi

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015

1. Gestão de estoques. 2. Nível de serviço. 3.
Custos de estoque. 4. Distribuição de Poisson I.
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE MARCOS ROGÉRIO DA SILVA SANTOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 03 dias do mês de julho do ano de 2015, às 10:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação, da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO CREPALDI do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. FERNANDO BERNARDI DE SOUZA do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru, Profa. Dra. DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade de São Paulo, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de MARCOS ROGÉRIO DA SILVA SANTOS, intitulado "APLICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE POISSON PARA DETERMINAÇÃO DE ESTOQUE MÍNIMO DE ITENS DE MRO DE BAIXO GIRO APLICADOS EM MANUTENÇÃO DE ATIVOS INDUSTRIAIS". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO CREPALDI


Prof. Dr. FERNANDO BERNARDI DE SOUZA


Profa. Dra. DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO

Dedico este trabalho a minha família, a quem pertenciam estas horas de dedicação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, sem Ele não haveria força capaz de superar as dificuldades encontradas.

Aos meus familiares que estiveram ao meu lado, acreditando junto comigo, me dando força para continuar, sempre.

Ao amigo Gláucio Dias Cardozo, especial motivador e estudioso do tema abordado, sempre solícito a desenvolver e contribuir com pesquisas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Fernando Crepaldi e ao Prof. Dr. Manoel Henrique Salgado, por terem pavimentado meus caminhos ao longo dessa jornada, sempre disponíveis e eficientes em suas contribuições.

“Conhecer o caminho não dispensa o percurso”.

(Provérbio francês)

RESUMO

O forte cenário competitivo entre as organizações motiva-as a serem mais eficientes em reduzir custos operacionais, sem comprometer a qualidade dos produtos ou serviços prestados. Essa redução de custos envolve vários setores, entre eles, a manutenção dos ativos industriais, que têm como função primária manter a capacidade produtiva de uma organização. O impacto dessas reduções pode gerar restrições severas, como paradas não planejadas e redução do nível de serviço, como as que ocorrem por ruptura do estoque de sobressalentes de MRO (Manutenção, Reparo e Operação). Por outro lado, se a falta de estoque de itens denominados *slow moving*, intermitentes, de alto custo agregado causa perda direta e lucro cessante, o erro de previsibilidade da demanda pode significar a imobilização de alto valor de capital em estoques, gerando um alto custo de oportunidade, representado pela taxa de juros aplicada sobre o valor dos estoques. Esse *trade off* é o propósito desta pesquisa, em que se faz um estudo de caso com dados reais de demandas e custos de empresas que possuem operações com ativos industriais, utilizando-se a distribuição de Poisson no estudo do comportamento da variável custo total. O resultado obtido foi uma relação direta entre a variável custo total e o nível de serviço, mostrando que há um ponto de mínimo na curva custo total com o aumento da quantidade de itens projetados, determinando o ponto de menor custo de estoque. A conclusão na observação dessas variáveis é que o menor custo total nem sempre representa o melhor nível de serviço.

Palavras Chaves: Gestão de estoques, nível de serviço, custos de estoque, Distribuição de Poisson.

ABSTRACT

The strong competitive environment between organizations motivate them to be more efficient to reduce operating costs without compromising the products or services quality. This cost reduction involves various sectors, including the maintenance of industrial assets, whose its primary function is to maintain the productive capacity of an organization. The impact of these reductions can lead to severe restrictions, such as unplanned downtime and reduced fill rate, which occurs due to rupture of MRO stock (Maintenance, Repair and Operation). On the other hand, the lack of inventory items denominated slow moving, intermittent, high added cost cause direct profits losses, the demand predictability error can mean the immobilization of high-value capital in inventory, thus generating a high opportunity cost, represented by the interest rate applied to the inventories value. This trade off is the purpose of this research, which is a case study with real data demands and costs of companies that have operations using industrial assets, using the Poisson distribution, and the study of the variable total cost behavior. The results obtained was a direct relationship between the variable total cost and the fill rate showing that there is a minimum point on the curve total cost by increasing the projected amount, determining the point of least cost of stock. The conclusion on the observation of these variables is that the lowest total cost is not always the best level of service.

Keywords: Inventory Management, Fill Rate, Stock Costs, Poisson distribution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Delimitação da pesquisa	21
Figura 2:	Dimensionamento do estoque de segurança estatístico.....	36
Figura 3:	Curva de estocagem.....	38
Figura 4:	Comparação do comportamento padrão de estoque de produtos acabados com comportamento padrão de estoque de MRO.....	42
Figura 5:	Representação gráfica de estoque zero.....	50
Figura 6:	Representação gráfica de estoque unitário.....	51
Figura 7:	Gráfico de intermitência: item#1, item#2 e Item#3	63
Figura 8:	Gráfico de intermitência: item#4, item#5 e Item#6.....	63
Figura 9:	Gráfico de intermitência: item#7, item#8 e Item#9.....	63
Figura 10:	Gráfico de intermitência: item#10, item#11 e Item#12.....	63
Figura 11:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#1.....	70
Figura 12:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#2.....	71
Figura 13:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#3.....	72
Figura 14:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#4.....	73
Figura 15:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#5.....	74
Figura 16:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#6.....	75
Figura 17:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#7.....	76
Figura 18:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#8.....	77
Figura 19:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#9.....	78
Figura 20:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#10.....	79
Figura 21:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#11.....	80
Figura 22:	Gráfico da Distribuição de Poisson para o item#12.....	81
Figura 23:	Gráficos dos custos associados – item#1.....	87
Figura 24:	Gráficos dos custos associados – item#2.....	88
Figura 25:	Gráficos dos custos associados – item#3.....	89
Figura 26:	Gráficos dos custos associados – item#4.....	90
Figura 27:	Gráficos dos custos associados – item#5.....	91
Figura 28:	Gráficos dos custos associados – item#6.....	92
Figura 29:	Gráficos dos custos associados – item#7.....	93
Figura 30:	Gráficos dos custos associados – item#8.....	94
Figura 31:	Gráficos dos custos associados – item#9.....	95
Figura 32:	Gráficos dos custos associados – item#10.....	96
Figura 33:	Gráficos dos custos associados – item#11.....	97
Figura 34:	Gráficos dos custos associados – item#12.....	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Custos envolvidos em estoque.....	29
Quadro 2 – Classificação de demanda no <i>lead time</i> – Willians.....	32
Quadro 3 – Classificação de demanda no <i>lead time</i> – Silver et al.....	33
Quadro 4 – Contribuições de autores para cálculo da demanda.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Seleção de itens.....	62
Tabela 2 –	Consumo dos itens.....	64
Tabela 3 –	Custo diretos e indiretos dos itens.....	67
Tabela 4 –	Demanda e <i>lead time</i> dos itens.....	68
Tabela 5 –	Aplicação de Poisson – item#1.....	70
Tabela 6 –	Aplicação de Poisson – item#2.....	71
Tabela 7 –	Aplicação de Poisson – item#3.....	72
Tabela 8 –	Aplicação de Poisson – item#4.....	73
Tabela 9 –	Aplicação de Poisson – item#5.....	74
Tabela 10 –	Aplicação de Poisson – item#6.....	75
Tabela 11 –	Aplicação de Poisson – item#7.....	76
Tabela 12 –	Aplicação de Poisson – item#8.....	77
Tabela 13 –	Aplicação de Poisson – item#9.....	78
Tabela 14 –	Aplicação de Poisson – item#10.....	79
Tabela 15 –	Aplicação de Poisson – item#11.....	80
Tabela 16 –	Aplicação de Poisson – item#12.....	81
Tabela 17 –	Custo ótimo – item#1.....	86
Tabela 18 –	Custo ótimo – item#2.....	87
Tabela 19 –	Custo ótimo – item#3.....	88
Tabela 20 –	Custo ótimo – item#4.....	89
Tabela 21 –	Custo ótimo – item#5.....	90
Tabela 22 –	Custo ótimo – item#6.....	91
Tabela 23 –	Custo ótimo – item#7.....	92
Tabela 24 –	Custo ótimo – item#8.....	93
Tabela 25 –	Custo ótimo – item#9.....	94
Tabela 26 –	Custo ótimo – item#10.....	95
Tabela 27 –	Custo ótimo – item#11.....	96
Tabela 28 –	Custo ótimo – item#12.....	97
Tabela 29 –	Resumo do custo ótimo para os 12 itens.....	98
Tabela 30 –	Custo ótimo para os 12 itens.....	101
Tabela 31 –	Estudo do efeito da intermitência para os 12 itens.....	102
Tabela 32 –	Quantidade e nível de serviço com a redução da taxa de mercado	103
Tabela 33 –	Redução do <i>lead time</i> em 20%.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CG	Capital de giro
ERP	Enterprise Resource Planning
EOQ	<i>Economic Order Quantity</i>
ES	Estoque de Segurança
JIT	Just in Time
LCC	<i>Life Cost Cycle</i>
LE	Lote Econômico
LEC	Lote Econômico de Compras
LR	Lote de Reposição
LT	Lead Time
LTD	Demanda Tempo de Suprimento (<i>Lead Time Demand</i>)
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MP	Matéria Prima
MRO	Manutenção Reparo e Operação
NS	Nível de Serviço (fill rate)
PA	Produto Acabado
PEP	Produção em processo
PDA	Periodic Demand Approach
PR	Ponto de ressuprimento
RCM	<i>Reliability-Centered Maintenance</i>
SDA	Single Demand Approach
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
WIP	<i>Work in Process</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	18
1.2	OBJETIVO DA PESQUISA	20
1.3	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1	HISTÓRICO DA GESTÃO DE ESTOQUES.....	23
2.2	A GESTÃO DE ESTOQUES.....	25
2.3	TIPOS DE ESTOQUES.....	26
2.4	CUSTOS DE ESTOQUE.....	28
2.5	CLASSIFICAÇÃO DE ESTOQUE QUANTO A DEMANDA.....	30
2.6	CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA DE ESTOQUE.....	33
2.7	ESTOQUE DE SEGURANÇA E PONTO DE RESSUPRIMENTO....	35
2.8	LOTE DE REPOSIÇÃO (LR).....	37
2.9	MODELAGEM NO LTD (<i>Lead Time Demand</i>).....	38
2.10	ITENS <i>SLOW MOVING</i>	40
2.11	ITENS DE MRO.....	41
2.12	NÍVEL DE SERVIÇO.....	44
2.13	MANUTENÇÃO DE ATIVOS INDUSTRIAIS.....	45
2.14	GESTÃO DE ESTOQUE PARA ITENS DE BAIXO GIRO.....	48
2.14.1	Política de estoque zero.....	49
2.14.2	Política de estoque unitário.....	50
2.15	A DISTRIBUIÇÃO DE POISSON.....	52
3	MÉTODO DE PESQUISA.....	56
3.1	MÉTODO UTILIZADO.....	57
3.1.1	Coleta de dados.....	57
3.1.2	Tratamento de dados – histórico dos itens.....	58
3.1.3	Tratamento de dados – custo dos itens.....	58
3.1.4	Aplicação do modelo de previsão (Poisson) no <i>lead time</i>	59
3.1.5	Distribuição de probabilidades – pontos de equilíbrio.....	59
4	RESULTADOS.....	61
4.1	ESCOLHA DOS ITENS.....	61
4.2	CARACTERIZAÇÃO DE INTERMITÊNCIA DOS ITENS.....	62
4.3	LEVAMENTO DOS CUSTOS DOS ITENS.....	64
4.4	DEMANDA E <i>LEAD TIME</i> DOS ITENS.....	67
4.5	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DEMANDA NO LT.....	68
4.6	DEFINIÇÃO DOS CUSTOS.....	82

4.6.1	Custo de estoque.....	82
4.6.2	Custo da falta.....	82
4.6.2.1	Custo do pedido.....	83
4.6.2.2	Custo de máquina parada.....	84
4.6.2.3	Custo de urgência total.....	84
4.6.3	Custo total.....	85
4.7	CUSTOS TOTAIS E A DISTRIBUIÇÃO DE POISSON.....	86
4.7.1	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#1.....	86
4.7.2	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#2.....	87
4.7.3	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#3.....	88
4.7.4	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#4.....	89
4.7.5	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#5.....	90
4.7.6	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#6.....	91
4.7.7	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#7.....	92
4.7.8	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#8.....	93
4.7.9	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#9.....	94
4.7.10	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#10.....	95
4.7.11	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#11.....	96
4.7.12	Distribuição de Poisson com a variável custo – item#12.....	97
4.7.13	Resumos dos resultado obtidos para os 12 itens.....	98
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	99
5.1	RESULTADOS DE OBSERVAÇÕES DIRETAS.....	99
5.2	SIMULAÇÃO DOS RESULTADOS NAS SÉRIES TEMPORAIS.....	101
5.3	COMPARAÇÃO DO ERRO EM RELAÇÃO A INTERMITÊNCIA.....	102
5.4	EFEITO DA VARIAÇÃO DO CUSTO DE CAPITAL.....	103
5.5	EFEITO DA VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i>	104
6	CONCLUSÃO.....	106
	REFERÊNCIAS.....	109
	APÊNDICE – A.....	115

1. INTRODUÇÃO

A manutenção de ativos industriais é uma área importante nas empresas de manufatura, pois tem por finalidade manter a continuidade da operação industrial.

Essa relação direta dos ativos com a produção evidencia a Gestão de Estoques de peças de MRO (Manutenção, Reparo e Operação), que deve estar preparada para manter a operacionalidade dos equipamentos, alinhada sempre com duas variáveis importantes: o custo do estoque e o nível de serviço para manter a disponibilidade de seus equipamentos.

Os itens de estoque de MRO, em geral, apresentam elevados custos de aquisição. Em muitos casos, os valores armazenados superam até mesmo o lucro das empresas (SANDVIG; ALLAIRE, 1998) e, por isso, sempre serão variáveis significativas em decisões econômicas e financeiras nas empresas. Para muitas companhias, reduzir estoque de peças de reposição sem comprometer a disponibilidade de produtos é fundamental para sua competitividade (PINÇE; DEKKER, 2011).

O impacto do custo de estoques de MRO é bastante significativo para os resultados das organizações. Segundo Sandvig e Allaire (1998), uma empresa de bens de consumo costuma ter, em média, armazenado em seus estoques, um valor entre U\$ 5 e 15 milhões em peças de reposição, com um custo de oportunidade entre 20% e 40% do valor do estoque.

Diferentemente de materiais de processos – *WIP (Work in Process)* e dos produtos acabados, que têm suas demandas diretamente associadas ao consumidor final, as peças de reposição são mantidas em estoque para suportar as operações de manutenção e proteger os equipamentos contra falhas (PORRAS; DEKKER, 2008). Essa relação é fonte de aleatoriedade em quase todas as variáveis de controle, dificultando ainda mais a previsibilidade e o histórico de consumo de peças de reposição, para um determinado subgrupo denominado de itens de baixo giro (*Slow Moving*), limitado a poucas ocorrências e longas sequências de valores nulos de consumo (WILLEMAIN; SMART; SCHWARZ, 2004).

Por outro lado, a descontinuidade produtiva de um ativo, por falta de um componente, pode gerar lucros cessantes e grandes prejuízos. No caso, além da

perda de produção por máquina parada, soma-se o custo da recuperação do ativo por manutenção corretiva (AZEVEDO, 2007). Essa descontinuidade, atrelada aos altos tempos de suprimento dos itens de MRO, pode, inclusive, levar a ruptura de oferta do produto final, o que possibilita a perda de participação em mercados quando estes apresentam alta competitividade.

O gerenciamento de estoque de peças sobressalentes de baixo giro e alto custo tem sido objeto de muitas pesquisas nas últimas décadas e, no que diz respeito à demanda de peças e partes de equipamentos, desde 1965 aparecem casos de estudos na literatura (PORRAS; DEKKER, 2008). O caráter estocástico dos itens de MRO não adere à distribuição normal, pois não gera simetria em relação à média e concentram os eventos em poucos pontos, não podendo ser geradas classes de distribuição. Para esses casos não aderentes à distribuição normal, aplicam-se modelos robustos de maior complexidade matemática, tais como: Bernoulli, distribuição Gama, cadeia de Markov, entre outros, também de significativa relevância (WANKE; SALIBY, 2005).

Em todos os modelos e padrões estabelecidos para determinação de demanda, busca-se a redução de perdas de estoque e otimização do nível de serviço. Embora esses modelos sejam muitas vezes complexos e de difícil aplicabilidade, eles cumprem a função primária do estoque, que é a de equalizar a diferença entre demanda e fornecimento (SLACK et al., 2009).

Os modelos utilizados para itens de MRO com demanda intermitente são bastante particularizados. Alguns autores diminuem a janela de tempo (*time bucket*) para calcular a demanda e, com isto, as demandas tornam-se mais esporádicas proporcionalmente à redução deste tempo. Uma maior precisão para determinar o tamanho desta janela, está no fato de utilizar o próprio *lead time* e suas variáveis como quantidade demandada no *lead time* e os intervalos entre ocorrências e o próprio *lead time*. Estes modelos são denominado como *Lead Time Demand* – LTD (KREVER, et al., 2005).

Um modelo matemático deve ser simples, pois em modelos muito complexos necessita-se de muito esforço na coleta de dados e principalmente em sua aplicação (JAARSVELD; DEKKER, 2011). Assim, por sua simplicidade matemática e aderência a itens de baixo giro com intermitência em sua série de consumo, a

distribuição de Poisson é uma ferramenta importante para previsão de demanda dessa classe de itens.

Desta forma, delimita-se o escopo da análise, segregando o estudo somente para itens de MRO, que possuam demandas intermitentes (grande sequências de valores nulos na cadeia de consumo), com alto custo de aquisição e estocagem, assim como, o baixo giro.

1.1. JUSTIFICATIVA E PROBLEMA DE PESQUISA

A grande demanda por resultados, a forte concorrência de mercado, o desenvolvimento tecnológico e a globalização em muitos setores da economia são variáveis que pressionam os meios produtivos a serem mais eficientes, tanto técnica, tecnológica como economicamente. Assim, a continuidade de produção e a otimização de custos tornam-se variáveis importantes no cenário exposto.

Estoque é definido como a quantidade de itens tangíveis em poder da organização, com objetivo de equilibrar a demanda e o fornecimento (BERTAGLIA, 2005). Kuehne (2008) afirma que o objetivo principal da gestão de estoques é manter a estabilidade e o nível econômico ótimo dos investimentos, mantendo baixos níveis de estoques, sem que isso provoque riscos de rupturas, garantindo o equilíbrio entre disponibilidade e o consumo.

Pelas definições citadas, pode-se concluir que o planejador deve equilibrar a demanda e o fornecimento de materiais da maneira mais economicamente viável. No entanto, para os diversos tipos de estoques existentes é possível definir claramente os sujeitos, sendo os clientes que geram as demandas e os fornecedores que suprem as necessidades de materiais. Para cada categoria de estoque, estes sujeitos definem de forma direta suas necessidades. Para peças sobressalentes, o cliente é geralmente um equipamento, que gera uma demanda com aleatoriedade complexa, em geral, relacionada às questões técnicas operacionais de sua própria concepção, causando maior desequilíbrio no binômio demanda-fornecimento.

A continuidade de produção e a otimização de custo em itens de MRO são forças contrapostas, nas quais, de um lado, apresenta-se a tendência por geração

de despesas e disponibilidade total de materiais para manutenção dos ativos industriais e, de outro, a busca por um estoque mínimo que gere menor custo. Nota-se, então, que existe uma dicotomia motivada por interesses divergentes e internos das organizações, em que, os setores de Contabilidade e Finanças olham os volumes de capital imobilizados em prateleiras de estoque e pressionam para reduzi-los. E, em contraposição, os setores da Operação, Manutenção e Produção pressionam por segurança operacional e disponibilidade total de seus equipamentos. No meio dessa divergência, o planejamento de materiais se depara com seu principal *trade-off*: manter o equilíbrio entre aumentar a disponibilidade e reduzir custo.

Em geral, o custo que afeta diretamente o caixa das organizações é o desembolso para aquisição de bens de consumo, que resulta no comprometimento direto do capital disponível. Por outro lado, custos também relevantes são os que afetam indiretamente o caixa, como o custo de armazenamento, de mão de obra, de embalagens, de juros não recebidos do capital imobilizado, dos impostos recorrentes do ativo, do custo de interrupção da produção e, ainda, o custo subjetivo, representado pela percepção do cliente sobre a descontinuidade de fornecimento de produtos e serviços.

Pode-se agregar ainda a essas perdas compensatórias (*trade off*), outros fatores, tais como variáveis da administração moderna que entram nesse cenário para aumentar a complexidade: o Zero Defeito, os Seis Sigmas, a Análise de Valor. Na vertente operacional, pode-se citar a implantação de ferramentas tecnológicas como a automação industrial, as técnicas de manutenção preditiva, a manutenção centrada na confiabilidade, a atualização e a modernização de equipamentos, entre outras. Todas essas metodologias de gestão da qualidade e da operação, quando aplicadas nas organizações, buscam melhorar a eficiência dos processos de gestão e aumentar a eficiência operacional e os lucros, evidenciando ainda mais a gestão de sobressalentes para sucesso e resultado efetivos dessas concepções.

Entre os itens de MRO, encontra-se uma subcategoria de itens ainda mais complexos, os itens *slow moving* que, em geral, possuem custos mais elevados, alta criticidade para o equipamento e uma demanda intermitente. Sobre esse tema podem-se encontrar alguns modelos teóricos, mas poucos estudos de casos reais, ou aplicação, usando-se dados empíricos (PORRAS; DEKKER, 2008).

No comportamento temporal de itens de MRO, em que uma sequência de demanda apresenta intermitência e valores baixos de consumo, é indicada a utilização do modelo de Poisson (WANKE, 2011). Essa indicação é possível devido a ser uma distribuição discreta, o pressuposto de que há independência entre os eventos, e a variância do consumo ser igual ao consumo médio dentro do período. Isso possibilita o cálculo da probabilidade de ocorrência de um determinado nível de consumo baseado na média histórica.

Os comportamentos descritos são aderentes à própria definição de Poisson: “A distribuição de Poisson é uma distribuição de variável aleatória discreta que expressa a probabilidade de uma série de eventos ocorrer em certo período de tempo. Uma das premissas desta distribuição é que os eventos ocorrem independentemente uns dos outros, isto é, o fato de um evento ter ocorrido não influencia a ocorrência de um novo evento” (OLIVEIRA, 2013).

Assim, a questão de pesquisa direcionada ao tema é: Aplicando a distribuição de probabilidades de Poisson para itens de MRO, baixo giro, alto valor agregado e alta criticidade, em dados reais, qual o comportamento da variável do custo total sobre esse resultado?

Em busca da resposta, dada a importância do tema para otimização de custos nas organizações, justifica-se, então, o estudo do método baseado na aplicação da distribuição de Poisson para previsibilidade de demanda de itens críticos, de baixo giro e com alto custo agregado, analisando-se a variável custo total.

1.2. OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo desta pesquisa é aplicar o modelo de distribuição de Poisson para determinar a demanda para itens de MRO, de baixo giro (*Slow Moving*), de alto valor agregado e alta criticidade, com comportamento de consumo intermitente e, a partir dessa previsão de demanda, estudar a variável custo total, e encontrar a quantidade ótima para ressuprimento no LT (*Lead Time*), de forma a balancear o custo total e o nível de serviço.

1.3. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A delimitação do tema parte do todo para o específico, ou seja, desmembra os níveis maiores de classificação até o foco específico do tema a ser abordado - uma segregação que contenha as características particulares e específicas que possam receber a aplicação da teoria proposta, no caso, a Distribuição de Poisson.

Definido o modelo, a segregação segue para os diversos tipos de estoque existentes nas organizações e, num primeiro nível, isola os itens MRO. Numa segunda abordagem, focando os itens de MRO, a pesquisa se limita aos itens de baixo giro com intermitência e, por fim, segregando os itens com alto valor agregado e com alta criticidade para o ativo industrial em que é empregado. Nesse último nível, aplica-se a ferramenta matemática proposta. A figura 1 apresenta um *framework* da delimitação da pesquisa.

Figura 1: Delimitação da pesquisa



Fonte: O Autor

Para determinação do custo total consideraram-se os seguintes custos: custo de armazenagem, custo de capital, custo de perda, custo unitário, custo do pedido, custo da urgência e custo de máquina parada.

Portanto, qualquer outro tipo de estoque que não seja de MRO, ou qualquer outro custo não mencionado, está fora do escopo desta pesquisa.

Todos os dados apresentados, tanto de custo como de demanda, são reais, obtidos de duas empresas, uma do setor de produção de energia e outra do setor siderúrgico. A identificação destas empresas torna-se irrelevante para o objetivo da pesquisa, mantendo-se, assim, a confidencialidade para apresentação dos números.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo traz tópicos relacionados à gestão de estoques, com definições e conceitos importantes para o entendimento do tema e a sustentação desta pesquisa. A revisão de literatura aqui proposta, além de fundamentar uma base conceitual, busca explorar o que já foi escrito sobre o tema e permitir uma contextualização da pesquisa, partindo do grande tema - Gestão de Estoques - até a aplicação do modelo de Poisson e sua aderência ao objeto do estudo - a variável custo total.

2.1. HISTÓRICO DA GESTÃO DE ESTOQUE

O conceito de armazenagem está relacionado com o contexto das necessidades das gerações, sobretudo, determinado pela evolução histórica da humanidade. Práticas administrativas e práticas de armazenagem avançaram motivadas pela evolução da sociedade no domínio da agricultura, em períodos de guerra, de escassez de alimentos e na evolução de hábitos produtivos (GEORGE JR., 1974, p. 22 – 50).

Contudo, a partir de 1920 o conceito da administração de materiais começa a tomar forma na administração moderna, traçando a seguinte cronologia (SIQUEIRA, 2005):

- de 1920 a 1950: predominância dos controles internos;
- de 1950 a 1960: foco no controle de preços;
- de 1960 a 1980: conceito de redução de preço pelo controle dos fornecedores;
- de 1980 a 1990: conceito ultrapassando as fronteiras das organizações, e migra para a gestão dos fornecedores;
- de 1990 a 2000: o conceito de parcerias estratégicas entre fornecedores e compradores fortalecendo o conceito de compras estratégicas.

O conceito de SCM - *Supply Chain Management*, ou gerenciamento da cadeia de suprimentos, foi cunhado no início da década de 80 (GRIPSRUD et al., 2006). Esse conceito foi adotado pela comunidade acadêmica como sendo o

gerenciamento do canal de suprimentos, o relacionamento de fornecedores, o gerenciamento da demanda e a administração do fluxo de valor (COUSINS et al., 2006)

Desta maneira, nota-se que o conceito de gerenciamento de demanda e administração dos materiais é uma parte integrante da cadeia de suprimentos e, por sua latente importância, ainda segue evoluindo. O impacto direto na gestão de operações, bem como a relação com custos operacionais, tem feito com que a estratégia de SCM muitas vezes se confunda com a própria estratégia da organização (NEZAMODDINI et al. 2011). O pensamento estratégico de uma organização deve ser um alinhamento de cada área nela constituída para alcançar posições competitivas, e o fato de uma organização superar outra é exatamente o alinhamento da estratégia organizacional com a estratégia de SCM (KETCHEN; GIUNIPERO, 2004).

As decisões que estabelecem os rumos a longo prazo das organizações são as decisões estratégicas. Essas decisões são as mais abrangentes e regem todas outras decisões mais específicas (REID; SANDERS, 2003, p.4).

Os níveis de estoque estão diretamente relacionados com o grau de atendimento desejado, definido previamente no objetivo estratégico (LOPES et al., 2006, p.100)

Outra evolução do conceito preconizado atualmente é a sustentabilidade na cadeia de suprimentos, visto que muitos problemas sociais e de sustentabilidade são diretamente ou indiretamente ligados ao consumo de materiais ou ao seu fluxo (LINDAHL et al., 2014).

Nessa evolução, algumas mudanças têm sido observadas. Por exemplo, no passado, ter estoques significava uma boa estratégia de mercado e segurança no preço (MOURA, 2004). A partir do surgimento da teoria do JIT (*Just in Time*), na década de 50, e a ampla divulgação dessa técnica no Ocidente, ocorrida nos anos 70, os estoques tornaram-se itens de destaque nas organizações, a tendência inverteu-se e o foco passou a ser a redução dos seus níveis e uma produção mais enxuta. Nas décadas de 1980 a 2000, a gestão de materiais passou a fazer parte das estratégias corporativas e, atualmente, a preocupação socioambiental rege as ações nesse sentido, com ações “verdes” e sustentáveis na gestão da cadeia de suprimentos.

2.2. A GESTÃO DE ESTOQUES

O objetivo principal de uma organização é perpetuar-se e, para isso, ela busca como meta principal a maximização dos lucros sobre qualquer capital investido em materiais e equipamentos. Nesse contexto, a função da administração de materiais é maximizar a produção com a utilização dos recursos materiais investidos e simultaneamente minimizar o capital total investido (DIAS, 1993, p. 23).

O capital investido em estoque gera custo de oportunidade, é caro e, por isso, deve ser visto com cuidado pelo administrador de materiais. Sem estoque é impossível uma empresa trabalhar: ela precisa dele para equilibrar suas operações entre a demanda e o fornecimento (BERTÁGLIA, 2005).

A missão do gestor de materiais se fundamenta em dois pilares: o atendimento, que assegura adequado padrão de qualidade no fornecimento das necessidades aos clientes internos ou externos; e a produtividade, que assegura e aumenta a capacidade da empresa, passando pela administração de materiais, processos, recursos e as informações relacionadas (GASNIER, 2005, p. 31),

Na gestão de materiais, a tomada de decisão é uma atividade diária, configurando-se uma das atividades mais importantes dentro de uma empresa (POZO, 2004). Para Rosa (2010, p. 35), a administração de materiais é um conjunto de atividades que tem por finalidade o abastecimento de uma organização no tempo certo e na quantidade certa, com a qualidade requerida, e tudo isso, ao menor custo.

Ballou (2001, p. 43) refere-se às decisões de gerenciar estoques como:

As decisões na área de estoques referem-se à maneira através da qual os estoques são gerenciados.

Alocar (empurrar) estoques para os pontos de estocagem versus puxá-los para o ponto de estocagem através de regras de reabastecimento representam duas estratégias. Outras são localizar seletivamente vários itens na linha de produção da planta, no armazém regional ou no campo, ou gerenciar níveis de estoques por vários métodos de revisão contínua de estoque. A política singular que a empresa usa afetará as decisões de localização de instalações e, por isso, deve ser considerada na estratégia logística.

No gerenciamento de estoque, a variável de impacto é o custo. Vários modelos de gestão são baseados em modelos financeiros, os quais evidenciam: os

custos de aquisição, o custo de oportunidade, os custos de manutenção de estoque, - entre outras variáveis indiretamente ligadas a custo, como por exemplo, o lote econômico de compra (LEC), o estoque de segurança (ES), a cobertura de estoque e o giro. Muitas dessas variáveis geram uma segmentação de acordo com o tipo de estoque e necessidade de gestão individualizada, evidenciando mais ou menos algumas delas (GASNIER, 2005).

2.3. TIPOS DE ESTOQUE

Na literatura é recorrente a utilização do termo “material” de forma generalizada, equalizando todas as categorias de itens; portanto, muitos autores segmentam de acordo com suas funções para a empresa.

Para Gasnier (2005), as classificações são dadas pela funcionalidade dentro do processo, e as segmentações mais usuais são:

- Matérias primas (MP);
- Materiais complementares;
- Componentes (peças);
- Ingredientes;
- Insumos;
- Material em processo ou *WIP (work-in-process)*;
- Conjuntos e subconjuntos;
- Materiais para embalagens;
- Materiais para expediente;
- Produtos acabados (PA);
- Mercadorias (no varejo);
- Equipamentos produtivos;
- Veículos;
- Ferramentas;
- Instrumentos;
- Materiais de manutenção (MRO); e
- Materiais auxiliares.

Para Reid e Sanders (2003, p.237), a segregação - mais aglutinada em macrocategorias, caracterizadas pelas etapas do processo - é definida da seguinte maneira:

“A maioria das empresas manufatureiras utiliza os tipos de estoque relacionados a seguir.

Matérias-primas são os itens comprados ou materiais extraídos que são transformados em componentes ou produtos. Componentes são peças ou submontagens usadas na elaboração do produto final. Produção em processo (PEP) refere-se a todos os itens em processamento em toda a instalação. Depois que o produto está pronto, torna-se um produto acabado. A distribuição de estoque consiste em produtos acabados e peças sobressalentes em diversos pontos do sistema de distribuição. Estoques de manutenção, estoque de reparos e estoque operacional (MRO) são suprimentos utilizados na manufatura mas que não se tornam parte do produto acabado”.

Uma classificação simples e bastante ampla quanto aos itens de estoque é citada por Lustosa et al. (2008). Nela, eles concatenam 4 grandes grupos relacionados à aplicação no processo de produção:

- estoque de matéria prima e componentes (MP);
- estoque de materiais indiretos necessários para operação dos processos (*MRO – Maintenance, Repair and Operating*);
- estoque de materiais em processo de transformação (*WIP – Work in Process*);
- estoque de produtos acabados (PA)

Segundo Ballou (2001, p.251), os estoques são classificados em cinco diferentes categorias, voltadas à sua finalidade, a saber:

1. Estoque de canal: estoque em trânsito entre os pontos de estocagem ou em produção.
2. Estoque de especulação: estoque em geral para atender interesses financeiros, concentrado em *comodities*, como ouro, cobre, etc.
3. Estoque cíclico ou regular: estoque para atender as demandas no *lead time*. As quantidades de reabastecimento dependem do tamanho do lote, das quantidades viáveis para embarque, das limitações de espaço em armazenagem, dos tempos, dos custos diretos e indiretos.
4. Estoque de segurança: estoque destinado a suportar variações da demanda ou prazo de entrega dentro do tempo de ressuprimento.

5. Estoque obsoleto (morto): estoque de itens inservíveis, danificados, em desuso, com validade vencida, roubados ou perdidos.

Na segregação definida por Lopes et al. (2006, p. 84), classificam-se os tipos de estoque em: estoque de antecipação, estoque flutuante, estoque de tamanho de lote, estoque de transporte, estoque especulativo e, acrescenta-se ainda, estoque de MRO, que, para algumas empresas, gera grande impacto em suas operações. Os itens de MRO possuem, em geral, variações em suas demandas e nos prazos de fornecimento, suas características próprias e especiais.

Há, como mostrado, diversas formas de classificação de estoques, podendo ser por finalidade e aplicação, posição na cadeia ou etapas do processo. Em todas elas, pode-se enquadrar direta ou indiretamente os itens de MRO, que, pelas suas características de aplicabilidade, demanda ou custos, podem ser segregados das demais tipologias existentes.

2.4. CUSTOS DE ESTOQUE

O nível de estoque de uma organização invariavelmente está ligado ao seu nível de serviço; portanto, sua estratégia operacional irá direcionar os custos envolvidos com o estoque.

Atingir maiores níveis de serviço acarreta maiores valores financeiros mobilizados e custos diretos e indiretos relacionados a essa estratégia. Muitas vezes o efeito revés pode ser pior que a obtenção do máximo nível de serviço (AROZO, 2006).

A descrição geral desses custos tem poucas variações, por se tratarem de conceitos diretos que envolvem as atividades de aquisição, manutenção, movimentação e consumo do estoque.

Apesar de ter suas definições alavancadas em conceitos simples, uma das dificuldades em solucionar os problemas existentes entre nível de serviço e custos está na falta de sistemas adequados para gestão dos custos inerentes aos processos de controle de estoque (BRECCIA, 1997).

O custo de estoque está inserido no contexto dos custos totais logísticos, sendo parte integrante, entre o custo de transporte e processamento de pedidos

(BALLOU, 1995). Portanto, o custo de estoque integra necessariamente os custos logísticos, tal como, representa o quadro 1, com todos os custos associados ao estoque mencionados por Gasnier (2005).

Quadro 1: Custos associados ao estoque

CUSTO LOGÍSTICO TOTAL			
CUSTO DE AQUISIÇÃO	CUSTO OPERACIONAL	CUSTO FINANCEIRO	DESPESAS DE DISTRIBUIÇÃO
Custo do material	Custo de armazenagem	Custo do capital de giro	Despesa administrativa
Custo de impostos	Custo de movimentação	Custo do capital próprio	Despesa com frota própria
Custo de transporte	Custo de obsolescência	Custo do capital de terceiros	Despesa com transportadoras
Custo de embalagem	Custo Administrativo	Custo de oportunidade	
Custo administrativo			

Fonte: Adptado de Gasnier (2005).

O custo do material é o preço de aquisição do item, determinado pelo mercado, diretamente afetado pela busca contínua por fornecedores e lotes econômicos. Em geral, sobre esse custo incidem os impostos, muitos deles não recuperáveis.

Os desembolsos relacionados ao transporte de entrega entre origem e destino, na aquisição, são os custos de transporte. Para a preservação do produto, é importante que ele seja acondicionado de forma eficiente, gerando os custos de embalagens que, embora muitas vezes menosprezados, são uma importante oportunidade de economia.

Os custos administrativos envolvem os processos de planejamento e controle. Inclui-se, nesse custo, o custo da tecnologia da informação.

A operacionalização da estrutura de estoque gera o custo de movimentação interna, envolvendo a depreciação dos ativos de movimentação, a armazenagem, que é a depreciação das instalações e aluguéis e, por último, o custo da obsolescência, referente a materiais em desuso ou tecnologicamente defasados.

No âmbito financeiro, o custo do capital de giro envolve o montante monetário investido em materiais. O custo financeiro do capital de giro é uma parcela do resultado a pagar por utilizar capital de terceiros, ou mesmo o capital próprio. Salienta-se, ainda, que o custo de oportunidade também deve ser computado, equivalendo-se a investir o montante em estoque em projetos que sejam mais rentáveis.

As despesas diretas devido ao estoque são, em geral, valores envolvidos na distribuição interna dos produtos, na utilização de frota própria ou de terceiros.

Um custo muito importante, e que muitas vezes gera dificuldade para determiná-lo, é o custo da falta de estoque, ocorrida quando a demanda excede o estoque disponível. Esse custo pode ser determinado diretamente pelo custo da perda, pela desistência do cliente; porém, o mesmo custo tem um componente subjetivo, que é determinar a imagem negativa gerada pela falta do produto. Em mercados cada vez mais competitivos, a falta de um produto pode induzir um cliente a fazer a substituição dele por um produto concorrente.

No contexto das operações, o custo da falta pode significar parada da produção por falta de matérias-primas ou sobressalentes, gerando atrasos e distúrbios que onerem outros custos, tais como ágio sobre o transporte, movimentações internas adicionais, embalagens, armazenamentos, entre outros.

Considerando particularmente os itens de manutenção, reparo e operação, pode-se inferir que a elevação dos estoques gera risco de obsolescência, aumento do custo de armazenagem e aumento do custo do estoque. Porém, a sua falta pode provocar paradas não desejadas de equipamentos e elevação do custo, devido à ruptura do estoque e lucros cessantes.

Apesar de os conceitos dos custos relacionados ao estoque serem bem definidos, existe uma grande dificuldade no meio corporativo em determinar e controlar esses custos de forma eficiente, o que pode elevar o nível de incerteza na análise de resultados (LENARD; ROY, 1995).

2.5. CLASSIFICAÇÃO DE ESTOQUE QUANTO À DEMANDA

Os estoques também são classificados em relação ao comportamento da demanda. Muitos aspectos concorrem para aumentar a complexidade da classificação de estoque quanto à demanda, principalmente em se tratando de peças de reposição (BACCHETTI; SACCANI, 2012):

- a presença de intermitência ou padrões de demandas irregulares (BOYLAN; SYNTETOS, apud BACCHETTI; SACCANI, 2012);
- o alto número de itens de peças de reposição e risco de obsolescência (COHEN; AGRAWAL, apud BACCHETTI; SACCANI, 2012);
- alta assertividade requerida devido a custo de perdas por clientes (MORTHY et al. apud BACCHETTI; SACCANI, 2012).

Classificações mais comuns subdividem a demanda em dois grupos: dependente e independente (CORREA et al., 1999). A variável de dependência está relacionada diretamente à produção e a fatores internos, ou seja, o aumento da produção interfere diretamente na quantidade utilizada, alterando a demanda. A independência se dá, quando não é possível estabelecer essa relação.

A classificação exposta por Correa (1999) pode ser adequada aos itens de MRO, porque tais itens nem sempre são diretamente relacionados à produção de bens de consumo, e sim, aos equipamentos e ativos utilizados no processo de produção desses bens. A perda do relacionamento direto entre produção e demanda classifica-se como demanda independente. As demandas independentes deixam mais complexas as previsões, delas decorrendo, portanto, a necessidade de escrevê-las por meio de modelagens de séries temporais, decompostas em quatro variáveis: sazonalidade, aleatoriedade, tendência e ciclicidade (MAKRIDAKIS et al., 1998)

Ballou (2001, p. 252) classifica o comportamento das demandas em quatro tipos, e todas elas determinadas pela variável tempo, a saber:

- 1- perpétua: tempo de previsão suficientemente longo;
- 2- sazonal: presença de demandas de pico que se repetem em períodos constantes;
- 3- irregular ou errática: períodos com pouca ou nenhuma demanda e, em algum período, picos e grande variação em relação à média;

4- horizonte limitado de tempo: demanda previsível em algum tempo no futuro.

Para Bacchetti e Saccani (2012), os critérios de segregação de demanda mais comuns estão amparados nas variáveis: custo da peça, criticidade do item, volume de demanda, valor de demanda, características de abastecimento, disponibilidade e risco da falta. Outras variáveis menos difundidas são: ciclo de vida da peça (YAMASHINA, 1989), especificidade (HUISKONEN, 2001) e confiabilidade (PERSON; SACCANI, 2009).

Vários critérios de classificação de demanda têm sido propostos, mas há muito pouca atenção em identificar qual o melhor contexto para utilização desses critérios (BACCHETTI; SACCANI, 2012). O critério de classificação pela criticidade do item tem maior aderência para sistemas técnicos, como os casos de itens de MRO (BOYLAN; SYNTETOS, 2007).

Um método analítico de classificação de demanda pelo giro de estoque, utilizando a decomposição da variância da demanda no *lead time* (período de processamento do pedido, até a disponibilização do item para consumo), é o trabalho Willians (1984). Nesse método, a variância da demanda é dividida em três partes: a variabilidade do número de ocorrências por unidade de tempo, a variabilidade do tamanho da demanda e a variabilidade do *lead time*.

Essa divisão segrega a demanda durante o *lead time*, conforme quadro 2.

Quadro 2 – Classificação da demanda no *lead time* – Willians.

Componentes da demanda durante o <i>lead time</i>				
Variabilidade do número de transações	Baixa	Alta	Alta	Alta
Variabilidade do tamanho da demanda		Baixa	Alta	Alta
Variabilidade do <i>lead time</i>			Baixa	Alta
Tipo de padrão da demanda	Regular	Baixo giro	Errático	Errático com LT variável

Fonte: Willians (1984)

Um modelo de quantificação numérica da classificação da demanda é demonstrado no trabalho de Silver et al. (1998). Nesse modelo, os autores não criaram uma metodologia, mas definiram uma linha de divisão entre itens de alto e baixo giro, através de observação em dados experimentais. O método consiste

basicamente em utilizar a Distribuição Normal no *lead time*, fazendo uso dos resultados da estatística descritiva, como a média e o coeficiente de variação de Pearson.

No modelo, a média de 10 unidades de consumo no *lead time* fornece a linha de fronteira entre baixo e alto giro, enquanto que o coeficiente de variação define o método matemático a ser aplicado, de acordo com os resultados experimentais obtidos pelos autores.

O quadro 3 apresenta o resumo das classificações da demanda no *lead time*, segundo o estudo de Silver et al. (1998).

Quadro 3 – Classificação da demanda no *lead time* - Silver

Média no <i>lead time</i>	Classificação	Coeficiente de Variação	Método
≥ 10	Alto giro	< 0,5	Distribuição normal
≥ 10	Alto giro	≥ 0,5	Distribuição gama
< 10	Baixo giro	$0,9 \leq X \leq 1,1$	Distribuição de Poisson
< 10	Baixo giro	$X < 0,9$ ou $X > 1,1$	Laplace

Fonte: Silver et al. (1998)

A classificação da demanda no *lead time* é bastante difundida e muitos autores estabelecem seus métodos determinando as condições de contorno para melhor aplicabilidade dos modelos matemáticos. No entanto, existem casos em que a aderência de um método de classificação pode convergir melhor que outro dentro dos períodos de análise.

2.6. CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA DE ESTOQUE

A classificação dos itens em relação a sua demanda, quando existe um histórico conhecido, é puramente quantitativa e, além das metodologias apresentadas, pode-se também classifica-los quanto a variáveis qualitativas, como apresentado por Gasnier (2005, p. 44).

A primeira classificação proposta é a que segrega os itens de acordo com a popularidade, estabelecendo-se a categorização PQR:

P – Itens de alta popularidade , com elevada frequência de movimentação, também denominados de “*best seller*” ou “*blockbusters*”

Q – Itens de popularidade média, com frequência intermediária.

R – Itens de “*slow moving*” ou “*no moving*”, com baixíssimas transações no período.

Para Gasnier (2005), a classificação é fundamental para priorizar esforços de gerenciamento dos itens em estoque e, além da classificação PQR, podem ser aplicados outros critérios, a saber:

- Classificação ABC
- Classificação XYZ
- Classificação 123
- Classificação GUS

A classificação ABC é o critério utilizado para considerações de caráter econômico e consiste na multiplicação do consumo médio dos itens pelo seu custo de reposição, quando aplicada a classificação de materiais (LIMA et al., 2013). Essa classificação é a aplicação da observação do economista italiano Vilfredo Pareto, do século XIX, que verificou que 80% da riqueza concentravam-se em 20% da população.

O método consiste em ordenar os itens de forma decrescente pela variável de análise e segregá-los de acordo com faixas estabelecidas. A classificação A concentra 20% dos itens que somam 80% do valor total. A classe B, 30% dos itens subsequentes, que representam 15% em valor e, por fim, a classificação C representa os 50% dos itens restantes, somando apenas 5% do valor. Essa classificação concentra na classe A os 20% dos itens de maior valor que, na observação de Pareto, representariam 80% do valor do estoque.

A criticidade XYZ é análoga à classificação ABC, no entanto, seu critério é baseado no impacto da falta dos itens no estoque, o que pode agregar valor às rotinas de gerenciamento (GASNIER, 2005). Para essa classificação, o lado menos significativo agrupa os itens ordinários pela representação X, como sendo os de baixa criticidade, e sua falta naturalmente não compromete a qualidade do serviço de usuários internos e externos, não implicando maiores consequências. Na sequência, os itens de classificação Y são denominados de itens críticos, cuja falta

representa razoável transtorno e custo, sem ser vital ao processo. Por fim, os itens mais significativos da classificação são os itens Z, cuja falta acarreta consequências desastrosas, tais como parada de uma linha de produção e interrupção nos processos de uma empresa.

A classificação 123 está diretamente ligada à complexidade de aquisição, sendo a classificação 1 a categoria de itens de obtenção extremamente complexa, que envolve fatores extremamente complicados, como *setups* e *leads times*; já a categoria 2 é a classificação intermediária, - sendo itens de difícil aquisição, porém, com menos complexidade que o primeiro grupo; - e, por fim, os itens de classificação 3, menos significativos no critério de complexidade de aquisição, sendo fáceis, ágeis, rápidos e pontuais, e, em geral, com amplas alternativas no mercado fornecedor.

Uma última classificação, menos usual, é a classificação GUS, que reflete aplicação do produto em vários departamentos e centros de distribuição: os itens categorizados como G, em vários centros e pontos de consumo, são potenciais candidatos para estratégia de centralização de armazenagem. Os itens classificados como U devem ser caracterizados como itens utilizados em apenas um local ou ponto de consumo; porém, podem ser aplicados em diversos produtos. E, por fim, os itens S, conhecidos como específicos, são usados exclusivamente em um produto (demanda dependente).

Essas classificações, quando alinhadas de forma analítica, permitem a criação de um sistema de categorização para geração de políticas de ressuprimento de estoque, que, baseado em árvore de decisão, aloca os itens em famílias de convergência, para aplicação de um mesmo modelo matemático de previsão de demanda.

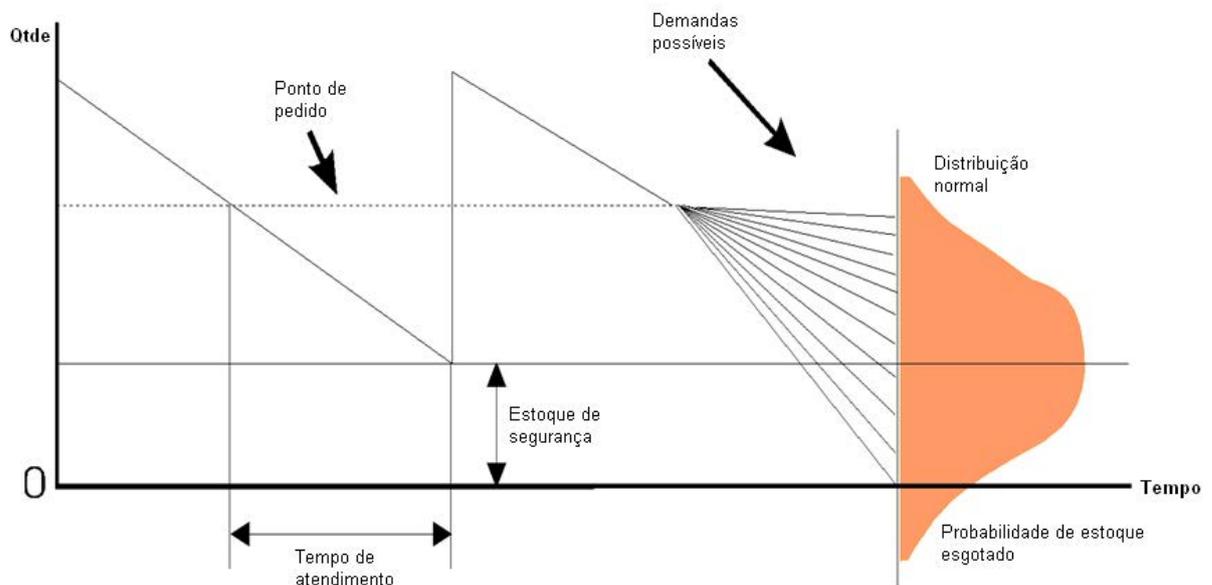
2.7. ESTOQUE DE SEGURANÇA E PONTO DE RESSUPRIMENTO

Os estoques de segurança existem por causa das incertezas da demanda e do *lead time* de fornecimento (SANTOS; RODRIGUES, 2006). As variações nos tempos de reposição e na curva de demanda determinam a existência desse tipo de estoque.

O estoque de segurança tem o objetivo de minimizar os efeitos das variações de demanda e de *lead time* e evitar a interrupção do processo produtivo; portanto, é conhecido como estoque amortecedor, estoque mínimo, estoque isolador ou estoque reserva. Seu tamanho é proporcional ao tamanho das incertezas na curva de demanda e variações de fornecimento.

Existem diversas maneiras de calcular o estoque de segurança, em geral, determinadas pela variável do consumo ou do *lead time*; o fator determinante, porém, é a obediência da distribuição de consumo à distribuição normal. A figura 2 representa esse conceito, em que o estoque de segurança pode ser determinado, estatisticamente, multiplicando-se o desvio padrão da demanda (ou oferta, a que for maior) pelo fator de segurança, que determina o nível de serviço esperado (GASNIER, 2005)

Figura 2 – Dimensionamento do estoque de segurança estatístico



Fonte: Gasnier (2005)

Tão importante quanto o estoque de segurança para a gestão de materiais é o conceito de ponto de pedido ou ponto de ressuprimento, que determina o nível de estoque necessário para suprir a demanda durante o *lead time*. Desta forma, o ponto de pedido é a demanda no *lead time*, somado ao estoque de segurança (BALLOU, 2001)

2.8. LOTE DE REPOSIÇÃO

O lote de reposição é uma variável importante na gestão de materiais, sendo a segunda variável prioritária, perdendo em importância apenas na qualificação dos itens que devem compor o estoque (TUBINO, 2000, p. 111). Segundo esse autor, o lote de reposição é função do custo do sistema de reposição e da armazenagem do item, que leva ao conceito conhecido como lote econômico (LE).

Ford Harris desenvolveu o conceito de lote econômico, em 1913, como sendo a quantidade ótima a ser produzida ou comprada para gerar o menor custo de pedido e armazenagem (CASTRO, 2005). O termo lote econômico é conhecido pela sigla em inglês EOQ (*Economic Order Quantity*).

A definição do lote econômico de compras (LEC) deve ser cuidadosamente analisada, pois os custos de compra diminuem quando é aumentada a quantidade adquirida, aproveitando o ganho em escala no custo do pedido, custo da mercadoria e transporte. Em contrapartida, os custos de estoque e armazenagem aumentam proporcionalmente a essa quantidade. O lote econômico, então, é o ponto de intersecção entre as duas curvas de custo, em que o custo total será mínimo, conforme figura 3.

Porém, estocar ou não um determinado item é uma decisão que passa invariavelmente pelo volume de estoque, e dois fatores precisam ser considerados (DIAS, 2005, p. 95).

- a) Verificar se é econômico estocar um item.
- b) Verificar se um item indicado como antieconômico pode ser estocado para satisfazer um determinado cliente, tendo em vista melhorar as relações com ele.

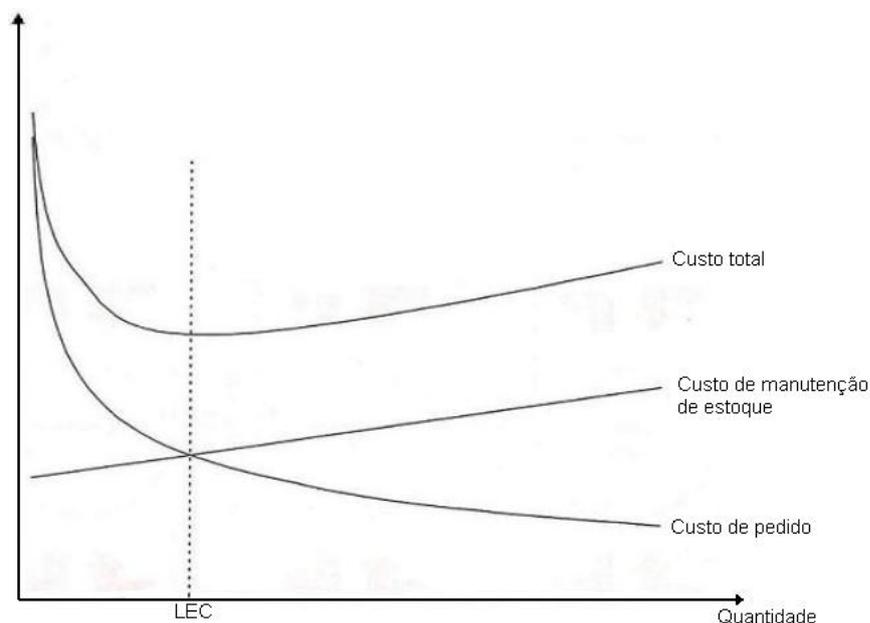
O lote econômico é fortemente interligado ao custo (TUBINO, 2000, p. 111), e apresenta três situações mais usuais:

- c) Entregas únicas ou lote econômico básico, com custo unitário fixo.
- d) Entregas parceladas, em que o lote não é entregue em uma só vez. Nesse caso, o preço do item também é constante ao longo das entregas; porém, o custo de armazenagem é menor, uma vez que a quantidade total não é integralizada de uma só vez.

- e) Existência de variação do preço por quantidade produzida. Nesse caso, um estudo do lote econômico deve ser realizado e busca-se o ponto ótimo entre os custos de armazenagem e o pedido com o custo do material.

A figura 3 apresenta o conceito de lote econômico de compras (LEC) com a representação do custo total em função do custo do pedido e custo de manutenção de estoque (FRANCISCHINI; GURGEL, 2004).

Figura 3 – Curva de estocagem



Fonte: Francischini; Gurgel, (2004)

Enfim, o lote econômico responde à seguinte questão quantitativa: quanto comprar? – fornecendo, como resposta, a quantidade de material necessária a ser comprada para manter o nível de estoque operacional, atendendo a um consumo dentro de um menor custo (LOPES et al., 2006).

2.9. MODELAGEM NO LTD (*Lead Time Demand*)

Sobre essa temática, algumas abordagens matemáticas de demanda no LTD podem ser citadas, conforme Willians (1984), Willemain et al. (1994) e Eaves (2004), em alguns casos com a variação da demanda e outros com variação do *lead time* -,

não obstante, a exploração também de métodos de previsão para itens de baixo giro com intermitência e irregularidade. Para obter maior acuracidade dos métodos, alguns autores segregam os itens de acordo com as características comuns de consumo, para obter mais precisão na aplicação dos métodos (EAVES; KINGSMAN, 2004).

Muitos métodos aplicados são focados na análise de consumo histórico e no tempo de ressuprimento sem as características individuais dos itens. Essa segregação equivocada pode ocultar o baixo consumo e a natureza crítica do item que podem prejudicar seriamente a produção ou a segurança operacional, e os altíssimos custos de sua falta podem ser mais onerosos que o investimento em estoque, agravado ainda mais pelo fato de esses materiais serem de difícil aquisição no mercado fornecedor, motivo que requer cuidado com a escolha do modelo de gestão (LOPES et al., 2006, p. 70).

Alguns modelos são mais efetivos para a determinação de demanda e consideram o LTD. Em geral, esses modelos são melhores e levam vantagens quando desenvolvidos em itens com demanda intermitente com grande proporção de valores zeros. Uma técnica que apresenta essa característica é o método *Bootstrap* modificado, mostrado por Willemain et al. (2004). A aplicação do método captura de forma satisfatória as transições entre os estados de demanda nula e não nula para estimar a demanda no *lead time*.

Dentro do *Lead Time Demand*, Krever, et al. (2005) trata uma abordagem mais precisa para previsão de intermitências, em que, é utilizada a média durante o *lead time* e sua variância. Esta abordagem denominada SDA (*Single Demand Approach*) é oposta aos métodos tradicionais que adotam algum tipo de janela de tempo (Time Bucket) ou PDA (*Periodic Demand Approach*) (REGO; MESQUITA, 2011).

A modelagem matemática da demanda no *lead time* é uma importante ferramenta para itens *slow moving*, com demanda intermitente, críticos e com alto valor agregado, tendo as quantidades projetadas na previsão diretamente influenciadas pelos tempos de suprimento. Assim, a consideração da demanda apenas no *lead time* é suficiente para as projeções desse grupo de itens.

2.10. ITENS *SLOW MOVING*

A gestão de ativos industriais permite uma abordagem técnica diferente na gestão de estoques ao introduzir uma segregação mais moderna que a tradicional ABC. Essa abordagem segrega os itens “*slow moving*”, ou itens de baixa rotatividade, em que se encontram as denominadas peças estratégicas com baixo giro, mas cuja falta pode ocasionar a parada de uma planta industrial e, conseqüentemente, gerar lucro cessante. Essas peças são caracterizadas pelo alto custo e demanda esporádica e de difícil previsão de consumo. Sua ruptura de estoque gera perdas econômicas, visto que o tempo para ressuprir, em geral, é longo e seus custos, altos, impactando também o capital imobilizado em estoque (AZEVEDO, 2007, p. 60).

Na outra vertente, estão os itens denominados “*fast moving stocks*”, itens de alto consumo e baixo custo agregado, com demandas previsíveis, cujas compras podem ser realizadas em lotes. Esses itens são de baixo impacto e sua falta não gera conseqüências maiores para as organizações.

As peças de baixo giro dos estoques de MRO geralmente estão associadas à segurança operacional nas organizações, ou seja, são mantidas para evitar longas paradas devido à indisponibilidade. Qualquer política de ressuprimento dos itens “*slow moving*” deve levar em conta as perdas de produção por ruptura de estoque.

Podem-se citar outros fatores restritivos ao gerenciamento eficiente de peças de alto custo e “*slow moving*”, como: escassez de dados históricos, flutuações na taxa de demanda e risco de obsolescência (PINÇE; DEKKER, 2011). Nesse caso, a questão da obsolescência está relacionada ao avanço tecnológico em que itens e equipamentos podem sofrer evolução e descontinuidade de produção, gerando inatividade de itens estocados

As companhias hoje se deparam com grandes desafios - com rapidez cada vez maior, os produtos são desenhados, produzidos e distribuídos (PAN; NAGI, 2011). Essa aceleração dos ciclos de criação, produção e distribuição dos meios de produtivos, é fator restritivo na gestão de itens caros, com riscos de obsolescência.

Por outro lado, estoques insuficientes geram atrasos estocásticos em todo sistema de fluxo de material, o que impacta em maiores estoques de segurança para

garantir máxima disponibilidade de material - conceito não desejável, quando os itens são caros e com demanda intermitente.

As peças de baixo giro são mantidas em estoque como segurança e servem para evitar prolongadas paradas devido à indisponibilidade, custos de perdas de produção e ruptura no atendimento ao cliente (EAVES, 2002). Portanto, qualquer política de controle de estoque para itens “*slow moving*” deve se concentrar nos custos totais - não apenas no custo de ruptura ou propriamente no custo do item, mas também em todos custos associados à manutenção do item em estoque. Análises isoladas das variáveis relacionadas ao custo podem incorrer em erros de dimensionamento e prejuízos.

2.11. ITENS DE MRO

Conforme os tipos de estoques mencionados no subitem 2.3, Lustosa et al. (2008) classificam os itens de MRO como sendo um grupo de materiais indiretos necessários para operação dos processos. Em geral os itens de MRO são todos e quaisquer itens utilizados na manutenção de máquinas ou ativos industriais que, de forma direta ou indireta, contribuem para geração de receita da organização. O objetivo dos materiais indiretos e peças de reposição (MRO) é garantir a manutenção da produção das empresas. São eles que garantem que as linhas de produção não parem de produzir devido a falhas em máquinas ou falta de materiais de consumo.

Observa-se que para as demais classes de estoque mencionadas na literatura, sempre existe a figura comum do cliente, responsável pela demanda, e dos fornecedores, responsáveis pela entrega. Para estoques de MRO, o cliente pode ser visto como um equipamento, que gera uma demanda com aleatoriedade complexa, baseado em aspectos técnicos e operacionais de sua concepção, causando maior desequilíbrio no binômio demanda-fornecimento.

Os estoques de MRO podem sofrer as mesmas classificações ABC, *slow* ou *fast moving*, dependendo da demanda e comportamento desta demanda no tempo. No entanto, para Saggioro et al. (2012), entre 90 e 95% dos estoques de MRO são encontradas as seguintes características:

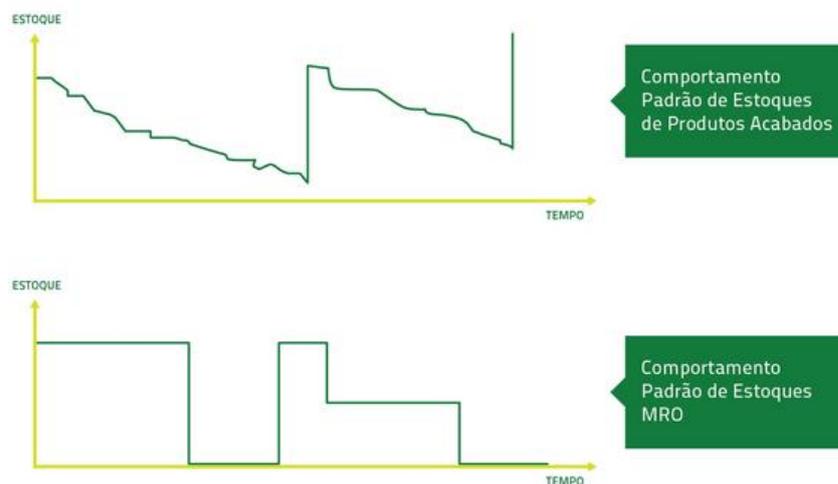
- baixo ou baixíssimo consumo;
- demanda intermitente e não previsível;
- alto custo unitário;
- alto tempo de reposição;
- alta criticidade para a operação.

Itens com demandas intermitentes, com grande proporção de zeros em sua distribuição, são itens de MRO aplicados a bens de capital e máquinas pesadas, em geral de alto preço (WILLEMAIN et al., 2004). Quando um item tem características de demanda intermitente e errática, a literatura o classifica como “lumpy”.

Willemain et al. (2004) também observam um fator importante acerca dos itens de MRO, visto não apenas do lado de quem os consome, mas também do lado de quem os fabrica. Essa visão integrada da cadeia de suprimentos é importante, pois os produtores também dependem de vendas num universo de demanda incerta e de alto custo aos seus clientes. Isso gera um agravante para os tempos de ressuprimentos e, em especial, nos preços de entrega dos produtos.

Os itens de MRO constituem parte relevante do estoque de indústrias intensivas em capitais, tais como mineradoras, siderúrgicas, petroquímicas e usinas elétricas (SAGGIORO et al., 2012). O comportamento padrão da demanda dos itens de MRO com intermitência e alta variabilidade pode ser comparado com a demanda padrão de um item de produtos acabados, conforme a figura 4.

Figura 4: Comparação do comportamento padrão de estoques de produtos acabados com comportamento padrão de estoque de MRO.



Fonte: Saggioro et al. (2012).

No contexto da administração de materiais existe uma subclassificação para as peças de MRO que podem ser divididas em dois grupos importantes: os reparáveis e os consumíveis ou descartáveis (BOTTER; FORTUIN, 2000). As peças recuperáveis são itens que podem passar por uma recuperação técnica, economicamente viável, cujo retorno deve ser considerado nos planejamentos futuros (SHERBROOKE, 1968), (KIM et al. 1996). Por outro lado, as peças descartáveis são itens com custos relativamente baixos, comparados ao custo de recuperação de funcionalidade ou, cuja recuperação seja inviável tecnicamente. Nesse caso, o descarte é a melhor solução.

É importante conhecer o ciclo de vida dos produtos de MRO para determinar o tempo de reutilização e ter esses números em uma base de dados que componha a necessidade de novos produtos em relação aos descartes realizados e os produtos retornados após recondicionados para uso (DEKKER et al., 2013).

Todas as variáveis que impactam a gestão de itens de MRO afetam invariavelmente o custo; ou de forma direta, por aquisição, ou indireta, com custos de paradas e lucros cessantes (SODHI et al. 2014).

Azevedo (2007, p. 62) cita a questão do custo, dentre outros cinco fatores de complexidade:

- dificuldade de dimensionar a demanda;
- tempo de provisionamento dos itens;
- demanda versus recursos financeiros disponíveis;
- monitoramento do estoque por parte do cliente (manutenção);
- ponto de pedido muito baixo para redução de custos;
- fator humano, erro de dimensionamento de estoque.

As complexidades e aleatoriedades implícitas em itens de MRO demonstram que eles não podem ser gerenciados pelos métodos e modelos comuns e tradicionais, pelo simples fato de que as condições de contorno apresentadas nesse tipo de problema não fazem parte do escopo dos métodos tradicionais. Devido ao seu consumo ser esporádico, ou seja, irregular e pequeno, os tempos de respostas dos fornecedores são longos e os custos de compra elevados (BOTTER; FORTUIN, 2000).

2.12. NÍVEL DE SERVIÇO

O nível de serviço (*fill rate*) é um percentual que avalia o desempenho do atendimento aos clientes que motivam a existência do estoque (GASNIER, 2005). Esse tipo de indicador é de grande relevância, pois afeta diretamente os níveis de estoque (AROZO, 2006).

A observação de Arozo (2006) é direta e demonstra o perigo de se buscar o máximo nível de serviço e, conseqüentemente, ampliar o volume estocado, aumentando os custos inerentes a esse estoque. Muitas vezes o efeito revés pode ser pior em relação à obtenção do máximo nível de serviço.

O nível de serviço (NS) ou *fill rate* corresponde às expectativas das necessidades dos clientes internos e externos e é expresso em termos probabilísticos, medindo a capacidade de atendimento do estoque ao cliente.

Matematicamente, Gasnier (2005) demonstra o nível de serviço conforme equação 1.

(1)

Visto que o nível de serviço ao cliente final é medido pela disponibilidade do produto para consumo, por indução lógica constata-se que o nível de serviço para peças de manutenção dos ativos industriais pode afetar indiretamente o nível de serviço de produtos acabados ao cliente final. Essa observação deve ser considerada quando se adotam estruturas otimizadas em níveis de exigências de produção que excluem obsolescência e subutilização de equipamentos e linhas produtivas.

O nível de serviço é constituído por outros três índices que devem ser analisados conjuntamente: a taxa de atendimento, o nível de estoque e o tempo de entrega do pedido (BALLOU, 1998). Essa estrutura tripla fornece maior poder de decisão, visto que existe relação direta entre elas.

O nível de serviço desejado deve ser estendido também para as peças de reposição e entendido como nível serviço interno, pois sua finalidade é a aplicação

direta nos ativos da empresa. Todo processo otimizado desde os níveis operacionais no chão da fábrica até o atendimento ao cliente final passa por estruturas diferentes e é balizado por variáveis independentes.

Nem todo item ou sistema precisa necessariamente ter o mesmo nível de serviço, mas sim, um nível de serviço global que atenda todo o sistema (BALLOU, 1998). Essa observação tem sentido como proposição, mas não no campo prático, quando aplicada a itens de MRO que, por suas particularidades e comportamentos distintos, podem gerar problemas de rupturas e perda de produção. Uma análise de nível de serviço para essa classe de item deve ser particularizada a cada item.

2.13. MANUTENÇÃO DE ATIVOS INDUSTRIAIS

Existem milhões de bombas relógio em contagem regressiva nas plantas industriais em todo mundo (AZEVEDO, 2007). A analogia se refere aos efeitos de determinadas decisões sobre a gestão dos ativos industriais, decisões estas tomadas em elevados níveis hierárquicos e que impactam duramente o chão de fábrica, e não passam despercebidas aos profissionais de engenharia e manutenção das plantas.

Em geral, essas decisões são tomadas na busca da excelência no resultado financeiro, com base em análise de poucas ou uma única variável, como redução de custos de manutenção e redução de estoques, sem uma avaliação mais abrangente dos riscos que a indisponibilidade do item pode acarretar.

Na gestão de ativos, os custos anuais associados às manutenções preventivas e corretivas durante a vida útil do ativo são normalmente 3 a 4 vezes o seu preço de aquisição, o que mostra cada vez mais a importância de um controle efetivo sobre esses custos (ASSIS; JULIÃO, 2012).

O custo crescente das atividades de manutenção figura como uma preocupação nas empresas. De acordo com a Dupont, uma empresa multissetorial, com várias plantas industriais no mundo, a manutenção é a maior despesa independente controlável numa fábrica, excedendo em muitas empresas, o lucro líquido anual (FLITCH, 2005). Por esse motivo, é compreensivo que o setor operacional de engenharia e manutenção sofra pressões por reduções dos custos.

O processo primário da área de manufatura e serviços das companhias está baseado sempre na disponibilidade total e irrestrita do equipamento (ARTS; FLAPPER, 2013). Na contraposição entre manter a disponibilidade total e a pressão por redução de custos, devem-se considerar as particularidades das diferentes áreas de operações das organizações. Quando se fala de manutenção de ativos industriais, a exemplo de empresas aéreas que transportam vidas com seus ativos, e o impacto de reduções de custo geram impactos desastrosos, esse contraponto não pode existir. Por outro lado, quando os ativos são destinados à produção de bens e consumo, a pressão para economia e redução de custos pesa mais sobre tais setores, muitas vezes, simplesmente sendo arbitrária e sem critério.

Devido a essas pressões contraditórias é natural que surjam na literatura a proposta e o desenvolvimento de técnicas e o emprego de métodos que tentem aproximar essas forças divergentes. Como exemplo, pode-se citar o estudo do LCC (*life cycle cost*), que é o estudo do ciclo de vida do equipamento, analisando seu comportamento desde sua aquisição, sua vida útil, e determinando o tempo ótimo para seu descarte (ARTS; FLAPPER, 2013). Arts e Flapper (2013) também citam a modulação dos equipamentos e sistemas. Usualmente tenta-se fazer os bens de capital serem produzidos e agrupados em módulos, de tal forma que a manutenção não ocupa todo o ativo em uma só vez. Essa modulação visa sempre reduzir os tempos de reparo e redução de custos por parada total do equipamento, segregando um equipamento em várias partes independentes.

Muitas empresas também utilizam o conceito da MCC (Manutenção Centrada na Confiança), uma técnica desenvolvida em 1970 (MOUBRAY, 1997) que serve para otimizar suas operações de manutenção (WOLDE; GHOBBAR, 2013). A técnica, criada pelo departamento de defesa americano, em conjunto com a *United Airlines*, e aplicada primeiramente em aviões, mostra que os equipamentos e seus respectivos sistemas têm um tempo de vida específico quando sua operação em serviço é considerada confiável. Depois desse tempo, a operação é crítica, necessitando seu descarte ou uma operação de *overhaul* para retomada da confiança operacional. As operações de *overhaul*, em geral, remodelam tecnologicamente ou revitalizam totalmente o equipamento, desde os aspectos estruturais mais básicos até os itens acessórios necessários para o seu funcionamento, deixando-o efetivo para mais um ciclo de vida. Em geral, o segundo

ciclo tem um tempo menor que o primeiro, mas ainda é economicamente viável em relação ao preço do equipamento novo.

É crescente a preocupação com a manutenção de ativos industriais, pelos números que ela representa. No ano de 2011, nos Estados Unidos, os gastos de MRO dentro das forças armadas foi da ordem de U\$ 52 bilhões e as empresas aéreas gastaram U\$42 bilhões na manutenção de seus ativos no mesmo período (SODHI, et al., 2014). No Brasil, o valor estimado armazenado de itens de MRO no ano de 2013 foi da ordem R\$ 40 bilhões (LARA, 2014).

É notória a importância do tema quando observados os elevados custos e riscos operacionais. Nota-se que as técnicas e tecnologias demonstradas têm sido empregadas para garantia operacional e redução de lacunas entre custo de manutenção e disponibilidade do equipamento.

Há várias classificações quanto às manutenções industriais, no entanto, existe uma mais difundida, em que as tarefas de manutenção de ativos industriais podem ser divididas em três tipos para sua realização (WOLDE; GHOBBAR, 2013):

- preventiva: manutenção operacional por tempo, milhagem ou horas;
- preditiva: manutenção baseada em testes e inspeções;
- proativa: busca de falhas pela causa raiz.

Outra classificação considerada bastante atualizada e usada pela ABNT, também subdivide as manutenções em três grupos (XAVIER, 2014):

- Manutenção corretiva: atua sobre falhas ou desempenho dos equipamentos abaixo do esperado. Com a função de “corrigir”, apresenta duas divisões: quando na fase de planejamento, o equipamento opera de forma monitorada até ocorrer sua falha ou redução do desempenho; e quando planejada e monitorada, tende a ter custo menores. As manutenções corretivas não planejadas são mais caras, pois, aleatórias, ocorrem logo após o evento da falha ou redução do desempenho esperado.

- Manutenção preventiva: é a manutenção realizada para a redução de falhas ou quedas de desempenho; porém não é atreladas a uma quebra do equipamento, mas a uma determinada variável, como intervalo de tempo trabalhado, por exemplo. A determinação desse intervalo determinará a qualidade da manutenção, podendo ser mais conservadora, com a redução de tal intervalo, e substituindo itens

desnecessariamente; ou, ao contrário, com maiores tempos entre as manutenções, gerando maior desgaste do equipamento.

- Manutenção preditiva: trata-se de manutenção centrada em informações, ou seja, um conjunto de atividades sistemáticas de acompanhamento, supervisão e análises de variáveis técnicas que indicam o desempenho do equipamento, gerando uma tendência que definirá o melhor momento de realizar a intervenção para retorno das variáveis às condições ideais. Essa manutenção retira a variável tempo e suposições da manutenção, substituindo-as pelos dados concretos.

Assim, operacionalmente, a relação cascadeada entre continuidade operacional e geração contínua de lucros passa inexoravelmente pela gestão de peças sobressalentes. A disponibilidade de peças de reposição é importante para muitas companhias, porque elas são extremamente necessárias para uma eficiente operação dos bens de capital (JAARVELD; DEKKER, 2011).

Essas manutenções devem ser executadas dentro de limites equilibrados de custos para que toda cadeia produtiva seja viável financeiramente. O controle de políticas de revisão contínua de estoque baseadas em peças de ativos industriais pode otimizar a performance de todo sistema produtivo (WANG, 2013).

2.14. GESTÃO DE ESTOQUE PARA ITENS DE BAIXO GIRO.

A demanda e o *lead time*, bem como a demanda no *lead time* de suprimento, podem não necessariamente ser aderentes à curva normal (WANKE, 2005). Como forma de resolver o problema da gestão de estoques, alguns autores lançam soluções analíticas e heurísticas para condições de não normalidade.

O quadro 4, adaptado de Wanke (2002) e Willemain et al. (2004), mostra alguns autores e algumas ferramentas utilizadas para desenvolvimento do tema, dentro de um trabalho de revisão de literatura, ao longo dos anos. Esse quadro representa apenas a cronologia do estudo realizado pelos autores citados, outras contribuições podem ser encontradas.

Quadro 4: Contribuições de autores para cálculo de demanda.

Autor(es)	Ferramenta	Ano
Hadley e Within	Distribuição de Poisson	1961
Hadley e Within	Distribuição Gama	1961
Das	Aproximada da Distribuição Gama	1976
Jansen, Heus e Kok	Bernoulli	1998
Willemain, Smart, Schwarz	Método de Bootstrap	2004

Fonte: Adaptado de Wanke (2002) e Willemain (2004).

Uma classificação de políticas para itens com baixo giro é apresentada por Wanke (2002). Nela o autor considera não manter nenhuma peça de reposição estocada e, em segunda análise, a manutenção de apenas uma unidade em estoque. Para ambos os casos, existe análise dos custos totais no universo de um ano, sofrido como consequência da adoção de uma das situações descritas.

2.14.1. Política de estoque zero

O custo logístico total para suportar uma política de estoque zero é função do consumo histórico de peças por anos (α), com a soma do custo total de ressuprimento da peça (CT_R) com o custo de indisponibilidade e penalidade (C_{ip}), devido à falta no instante em que se faz a necessidade de uso. A figura 5 representa graficamente a política de manter o estoque com zero unidades.

Assim o custo total, obedece à equação 2:

$$CT = \alpha * (CT_R + C_{ip}) \quad (2)$$

Onde:

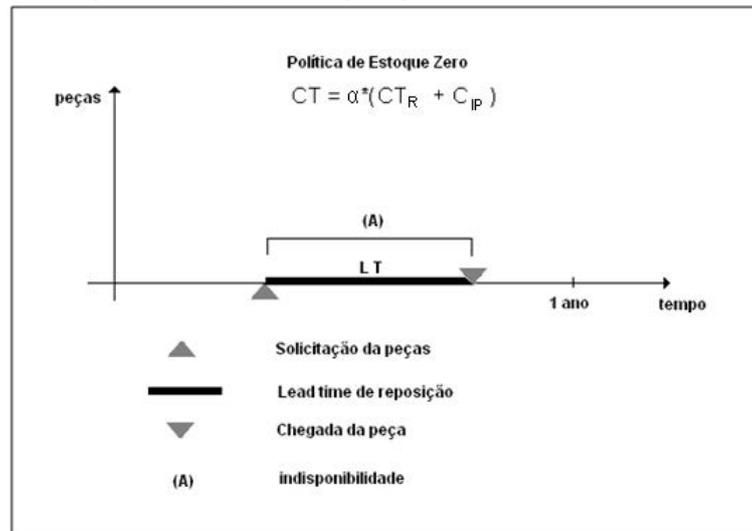
α : é a taxa de consumo histórico por ano (peça/ano);

CT: custo total;

CT_R : é o Custo Total de Reposição,

C_{ip} : é o Custo de indisponibilidade e penalidade (ruptura do estoque).

Figura 5: Representação gráfica do estoque zero



Fonte: Adaptado de Wanke, 2002.

2.14.2. Política de estoque unitário

A opção em manter um estoque unitário gera uma situação em que o estoque fica coberto durante o período sem consumo e passa por um período em descoberto entre o consumo do item e a entrada de um novo item em estoque, para reposição do item consumido.

Para o período de um ano, o tempo esperado com estoque (T) medido em anos é descrito pela equação 3:

$$\text{---} \quad (3)$$

Onde:

β : é a taxa de consumo histórico por ano (peça/ano);

LT: tempo de reposição de estoque

A equação 3 estima o período, em fração do ano, em que o estoque ficará coberto, em função da taxa de consumo (β) e do tempo de reposição do item no estoque (LT).

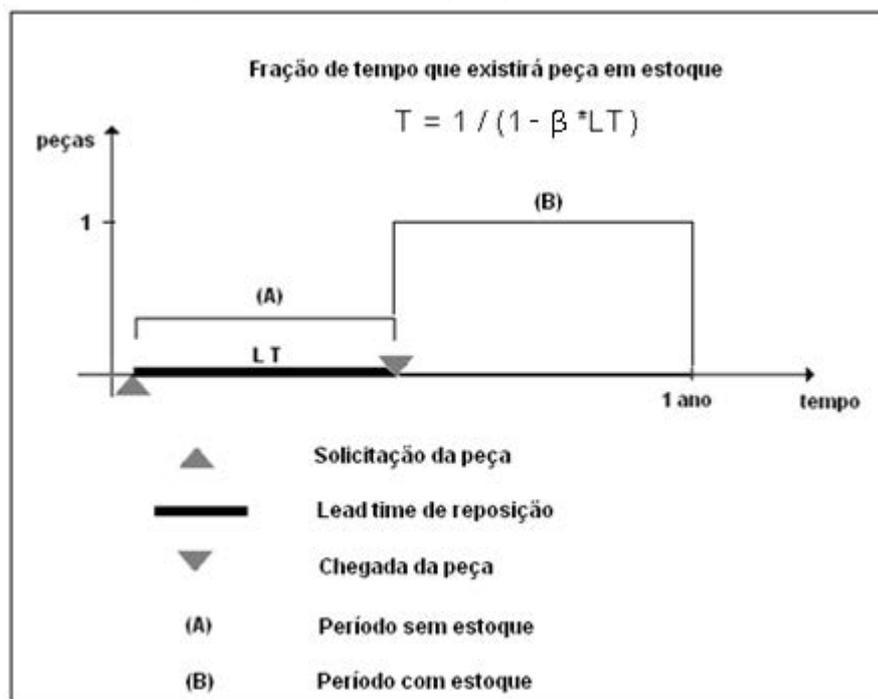
Como exemplo ilustrativo, pode-se citar uma peça com consumo histórico médio de 1 unidade ao ano e um *lead time* de 4 meses. Teria um período de cobertura de 75% de um ano, ou seja, teria cobertura de estoque por 9 meses, enquanto que 3 meses ficariam com estoque descoberto e risco de ruptura.

Para tanto, pode-se calcular o risco de ocorrência durante o tempo de espera, dado pela equação 4.

$$\text{N. de ocorrências no LT} = \beta * (1 - T) \quad (4)$$

A figura 6 mostra exatamente a representação gráfica onde o *lead time* do item influencia diretamente o tempo de estoque coberto, considerando o período de 1 ano e a composição unitária do estoque.

Figura 6: Representação gráfica – estoque unitário



Fonte: Wanke 2002

No tempo em que o estoque está descoberto é estatisticamente possível que seja solicitada uma ou mais peças e, nesse caso, é importante computar no custo total, além dos valores de ressurgimento, também o custo de indisponibilidade.

Ao agregar o custo de indisponibilidade, o custo total obedecerá à equação 5

$$CT_1 = [(T \cdot C_{aq} \cdot t)] + (C_{TR} \cdot \beta) + [(C_{ip} \cdot \beta) \cdot (1-T)] \quad (5)$$

Onde:

β : é a taxa de consumo histórico por ano (peça/ano);

C_{TR} : é o Custo Total de Reposição, composto de todos os gastos com a colocação de um pedido de suprimento;

C_{ip} : é o Custo de Indisponibilidade e Penalidade (ocorre em rupturas).

C_{aq} : é Custo unitário de Aquisição da peça;

LT: o *Lead time* de resposta do pedido (meses);

t: é a Taxa anual de oportunidade do capital (% ao ano);

Os dois métodos apresentados por Wanke (2002), apesar de possíveis e usuais, apresentam lacunas de estoque a descoberto e exposição a rupturas, bem como não tratam de simultaneidades, nem tampouco da otimização dos custos totais.

2.15. A DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

A distribuição de Poisson tem como finalidade a contagem de número de resultados de sucesso que ocorrem durante um período particular (DUNLAP; STUDSTILL, 2013). A distribuição de Poisson tem eficácia comprovada em estudos de algumas variáveis com histórico de números, podendo-se citar alguns exemplos, como o estudo do histórico de preenchimento de vagas no Supremo Tribunal dos Estados Unidos, e o estudo para prever o número de vagas que apareceriam no futuro (WALLIS, 1936); (COLE, 2010). Foi bastante utilizada como ferramenta em estudo prático de estatística para determinar o comportamento futuro do mercado de ações americano (DUNLAP; STUDSTILL, 2013), e muitos outros exemplos, como estimar número de aviões que chegam a um aeroporto no mês, ou carros que cruzam um determinado cruzamento, entre outros, onde os eventos e ocorrências são raros.

Como exemplo da aplicação de Poisson para determinação de ocorrências espaciais de pontos aleatórios, cita-se o cálculo de probabilidades para determinar o lançamento de bombas sobre o sul de Londres durante a Segunda Guerra Mundial, quando toda a área foi dividida em 576 pequenas áreas , cada uma com um quarto de Km² e as probabilidades definidas (FELLER, W., 1976).

Pelos exemplos citados, observa-se que, em muitas situações, o número de ensaios é bastante alto ($n \rightarrow \infty$) e a probabilidade p é pequena ($p \rightarrow 0$). Situações como essas, com cálculos usando a função binomial, geram algumas dificuldades, pois, para n muito grande e p pequeno, fica relativamente difícil calcular a probabilidade de k sucessos a partir do modelo binomial, isto é, utilizando a função de probabilidade.

Portanto, com as condições de contorno descrita, com ($n \rightarrow \infty$) e ($p \rightarrow 0$), pode-se definir o modelo de Poisson, partindo da aproximação da Binomial, conforme desenvolvimento a seguir:

$$(6)$$

A equação 6 pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$\frac{1}{k!} \left(\frac{np}{n} \right)^k \left(\frac{n-np}{n} \right)^{n-k} \quad (7)$$

Fazendo na equação 7, tem-se:

$$\frac{1}{k!} \left(\frac{np}{n} \right)^k \left(\frac{n-np}{n} \right)^{n-k} \quad (8)$$

$$\frac{1}{k!} \left(\frac{np}{n} \right)^k \left(\frac{n-np}{n} \right)^{n-k} \quad (9)$$

Tomando-se o limite quando , obtém-se:

$$e^{-\lambda} \frac{\lambda^k}{k!} \quad (10)$$

$$= \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (11)$$

Para $k = 0, 1, \dots$

Assim tem-se que:

$$\frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (12)$$

Logo, se um número de resultados positivos seguir uma Distribuição de Poisson com taxa média de λ , a probabilidade de sucesso observada segue a equação 13, cuja descoberta foi feita por Siméon-Denis Poisson, publicada em 1838.

$$\frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (13)$$

Onde:

K é a média observada no período;

λ é a taxa de consumo histórico por unidade de tempo;

Probabilidade de haver K solicitações em um instante, dada a média.

A característica de consumo de uma série histórica de itens de MRO com intermitência é uma distribuição discreta com independência entre os eventos. Nesse caso, a variância do consumo se aproxima ou se iguala à média dentro do período estudado, o que permite que se calcule a probabilidade de ocorrências dentro desse histórico de consumo. Contudo, a distribuição de Poisson é aderente ao comportamento de itens de MRO intermitentes pela sua própria definição

É importante observar que em casos de baixo consumo e baixa frequência, com quantidade consumida superior a três unidades, a distribuição de Poisson não é

o melhor modelo a ser aplicado (SAGGIORO et al., 2008). Essa observação mostra a existência de limitações para aplicação da Distribuição de Poisson. No entanto, quando existe a aderência, como o caso dos itens de MRO, observam-se a simplicidade e a aplicabilidade do modelo, bem como, a possibilidade de evitar as severas consequências por rupturas e perdas devido ao alto custo dos itens envolvidos..

Portanto, a equação 13 será base deste trabalho e será aplicada a todos os itens de MRO, intermitentes, com alta criticidade e alto custo agregado.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Existem várias definições de pesquisa encontradas em diversas literaturas, e é possível encontrar, na maioria delas, palavras comuns que levam a contextos semelhantes. “Um processo racional e sistemático que tem como objetivo responder a um problema proposto” (GIL, 2010), ou por um prisma mais filosófico, como sendo “a atividade básica das ciências na indagação e descoberta da realidade” (MINAYO, 1993, p. 23) ou um “questionamento sistemático crítico e criativo” (DEMO, 1996, p.36).

A palavra sistematização, comum em duas das definições, está diretamente relacionada com o método utilizado, pois, para atingir os objetivos da pesquisa, o trabalho deve ser conduzido com o rigor metodológico necessário para que ele se justifique como uma pesquisa (MIGUEL, 2007).

A pesquisa descrita neste trabalho busca gerar conhecimentos para a aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos e verdades locais. Assim, ele se enquadra como uma pesquisa aplicada, do ponto de vista de sua natureza.

Quanto à abordagem do tema, pode-se considerar que o estudo utiliza uma abordagem quantificável, e por utilizar o uso de recursos e de técnicas estatísticas, as opiniões e informações podem ser traduzidas em números, classificando-o como uma pesquisa quantitativa.

Do ponto de vista dos objetivos, Gil (2010) define as pesquisas descritivas como pesquisas que visam descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou a relação entre variáveis, e estão diretamente relacionadas com a coleta de dados.

Quanto ao procedimento técnico da pesquisa, Yin (2005) argumenta que o estudo de caso é um estudo empírico que investiga um fenômeno atual dentro de seu contexto real, onde as fronteiras entre o fenômeno e o contexto são claramente definidas. O estudo de caso é um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira a permitir o seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 2010)

Através das conceituações de diversos autores em referência à metodologia científica aqui adotada, pode-se classificar esta pesquisa como:

- quanto a natureza: Pesquisa Aplicada;
- quanto a abordagem do problema: Pesquisa Quantitativa;
- quanto ao ponto de vista dos objetivos: Pesquisa Descritiva;
- quanto aos procedimentos técnicos: Estudo de Caso.

3.1. MÉTODO UTILIZADO

O trabalho se compõe de dados originados de duas empresas, cada qual de um setor da indústria: uma empresa do setor energético, atuando como geradora independente de energia e a outra, uma empresa do setor de mineração.

Os dados foram extraídos respectivamente dos seus sistemas ERPs (*Enterprise Resource Planning*) e fornecidos integralmente em planilhas. Não é objetivo da pesquisa comparar dados entre as empresas ou a aderência do método a um setor da indústria, mas, sim, ampliar a base de dados estatísticos, validar e categorizar itens com as mesmas características de consumo e custo, conforme o objetivo preestabelecido.

Os dados coletados passaram por processo de simulação estatística e estão tratados dentro da mesma metodologia para obtenção dos resultados propostos nas simulações.

A sistematização de todo o processo de pesquisa está descrito em etapas, cada uma definida detalhadamente a seguir: coleta de dados; tratamento dos dados históricos dos itens; tratamento dos dados de custos dos itens; aplicação do modelo de previsão no *lead time*; levantamento da distribuição de probabilidades; determinação dos pontos de equilíbrios de cada item e análise dos resultados.

3.1.1. Coleta de dados

A coleta de dados deve ser relacionada com o problema, a hipótese ou os pressupostos da pesquisa, para que se tenham elementos suficientes para que os objetivos propostos sejam alcançados (SILVA; MENEZES, 2005, p. 34).

Como o objetivo da pesquisa é estudar o comportamento de itens de MRO que se caracterizam por demanda intermitente e alto custo agregado, solicitou-se

das empresas um histórico mínimo de 3 anos de consumo desses itens, agrupados em consumo mensal, além das seguintes informações necessárias, a saber:

- *lead time* normal;
- *lead time* emergencial;
- custo unitário do item em Reais;
- custo do Pedido;
- custo da urgência;
- custo do equipamento parado – custos de lucros cessantes - perdas;
- custo de armazenagem;
- custo de perda do material – depreciação.

Para cada empresa, solicitou-se o maior número possível de itens, que foram tratados e selecionados nas etapas seguintes da pesquisa.

3.1.2. Tratamento do dados – Histórico dos itens

Para itens que apresentam consumos com intermitência, mas com picos de consumo superiores a três unidades, a distribuição de Poisson não é o melhor modelo a ser aplicado (SAGGIORO; MARTIN; LARA, 2008). Baseada nessas observações, a fase de tratamento de dados consiste na análise criteriosa das séries temporais das demandas apresentadas por cada empresa.

Com o universo de itens fornecidos pelas empresas, analisou-se o histórico de consumo de 36 meses, excluindo-se todos os itens com picos de consumo superior a três unidades em sua cadeia, por não serem aderentes à aplicação da distribuição de Poisson

3.1.3. Tratamento de dados – Custos dos itens

Segundo Lima et al. (2013), a classificação ABC é o critério utilizado para considerações de caráter econômico, que consiste na estratificação em três categorias de valores, sendo os itens na classificação A, os prioritários, ou mais valiosos devido a sua importância econômica.

Portanto, o critério definido para segregação dos itens de maior valor foi a classificação ABC, tendo sido coletados para análise os itens agrupados na classificação A, considerados prioritários para cada empresa.

3.1.4. Aplicação do modelo de previsão (Poisson) no Lead Time

A distribuição de Poisson permite contagem de número de sucessos que ocorrem em determinado período (DUNLAP; STUDDSTILL, 2013), tendo, portanto, a aplicação do método o objetivo de verificar, na série temporal, dentro do *lead time*, a probabilidade de sucesso para cada quantidade.

Neste caso, a resposta da distribuição de Poisson é efetivamente o percentual de sucesso para cada quantidade projetada, ou seja, o nível de serviço (*fill rate*) dentro do *lead time*, e o complementar do nível de serviço pode ser considerado como o risco da falta.

Para cada item segregou-se, nas etapas anteriores, uma série temporal com dados de consumo, seus custos e *lead time*. Portanto, essa etapa limitou-se a aplicar a distribuição de Poisson *no lead time* de cada item, levando-se, então, a uma distribuição acumulada de probabilidades (*fill rate*) e riscos de falta.

3.1.5. Distribuição de probabilidades - ponto de equilíbrio

Os dados de saída da etapa anterior permitem levantar uma distribuição de probabilidades para cada evento e essa curva permite o cálculo dos riscos de falta e nível de serviço.

De posse da distribuição de probabilidades, e dos respectivos riscos de falta e nível de serviço, aplicam-se nessa fase as variáveis de custo para cada distribuição probabilística, o que será de grande contribuição para a análise dos resultados e conclusões.

Nessa etapa consideram-se os custos diretos e indiretos de cada item: custo do material, custo de armazenagem, custo de capital, custo de perda (depreciação), custo unitário, custo do pedido, custo da urgência e custo de máquina parada.

A ferramenta escolhida foi a planilha de cálculo, *Excell* 2007, pois mantém a simplicidade e a aplicabilidade do método de forma segura, simples e rápida. Importante salientar que o objetivo do trabalho é o conceito da aplicação da distribuição de Poisson, com as variáveis de custo no *lead time*, e não a criação de sistema ou linguagem de programação para definir o método. A planilha de cálculo aqui escolhida é apenas uma ferramenta que é suficiente para o desenvolvimento do método e da extração dos dados.

4. RESULTADOS

Este capítulo é iniciado com a apresentação quantitativa dos itens, caracterizando-os de acordo com a demanda e custo e a aplicação neles da distribuição de Poisson. Para isso, apresentam-se em forma de tabelas e gráficos os resultados obtidos.

4.1 ESCOLHA DOS ITENS

Os itens escolhidos foram retirados de duas indústrias diferentes em seu “*core business*”: uma empresa siderúrgica na produção de metais e uma geradora de energia elétrica. Ambas, porém, têm na manutenção de ativos industriais um diferencial competitivo para alavancar resultados.

Segundo Lima et al. (2013), a classificação ABC é o critério utilizado para considerações de caráter econômico; portanto, elegeram-se, de cada empresa, os itens com maior custo unitário agregado classificados na categoria A, ordenando-os de forma decrescente em custo, e escolhendo os itens com valores mais significativos. Os dados fornecidos pelas empresas foram retirados respectivamente dos sistemas Totvs 11 e SAP R3.

A empresa de geração de energia é denominada como empresa A e a empresa siderúrgica é considerada como empresa B. Apenas a título de simplificação e citações, pelo mesmo motivo, os itens serão citados numericamente de 1 a 12, conforme a tabela 1, evitando-se sua descrição original.

A classificação ABC foi originada da seleção de uma base de dados de 3.500 itens da empresa A, e 63.450 itens da empresa B. Dentro desse universo total de itens, selecionaram-se 6 itens mais críticos de cada um; dentre os quais, apenas os que apresentavam comportamento de intermitência, e que se enquadravam na classificação A, conforme tabela 1.

Os valores fornecidos estão na moeda corrente (R\$) e representam o custo da última compra para cada item, sendo este custo o valor de entrada na empresa, independentemente da origem do item - importado ou nacional.

Tabela 1: Seleção dos itens

Empresa	Descrição Reduzida	Valor R\$	Nova descrição
A	Bloco motor V 16 cilindros	394.771,20	Item#1
A	Bloco motor V 12 cilindros	313.827,17	Item#2
A	Eixo rotação motor 16 cil.	230.031,79	Item#3
A	Eixo rotação motor 12 cil.	167.492,45	Item#4
A	Eixo rotação motor 08 cil.	119.880,82	Item#5
A	Eixo rotação motor 06 cil.	85.825,20	Item#6
B	Elemento de alta pressão	102.870,00	Item#7
B	Bandeja de descarga	130.613,00	Item#8
B	Motor Esp. Liebherr	183.728,00	Item#9
B	Serpentina CJ JF11332001	199.313,00	Item#10
B	Elemento ESP AC compressor	1.079.330,00	Item#11
B	Kit rep. de turbina MR10391669	521.618,00	Item#12

Fonte: Elaborado pelo autor.

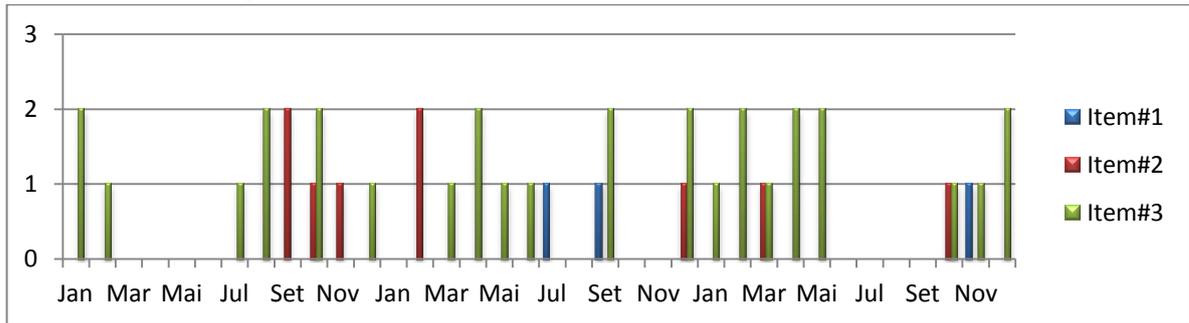
4.2 CARACTERIZAÇÃO DE INTERMITÊNCIA DOS ITENS

Para Willemain (2004), itens com demandas intermitentes são itens com grande proporção de zeros em sua distribuição de consumo e que não seguem uma distribuição normal em sua série temporal. Para os 12 itens escolhidos, estudou-se a intermitência de consumo, em períodos de 3 anos, para detecção de possíveis sazonalidades.

Os itens intermitentes também se caracterizam por terem consumo máximo de 3 unidades por período considerado. As séries escolhidas para estudo na empresa A e B possuem no máximo 2 unidades de consumo por período, obedecendo à premissa para uma melhor aproximação da distribuição de Poisson. Existe o pressuposto, em ambos os casos, que os eventos são independentes.

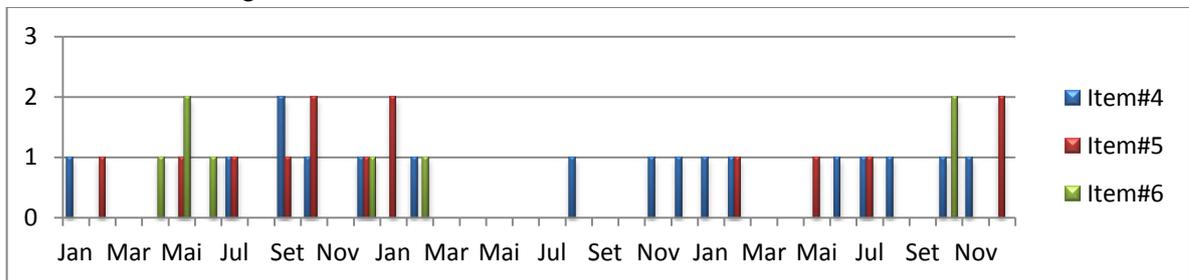
O histórico registrado foi de 36 meses para todos os itens de ambas as empresas, e a intermitência de cada item está representada conforme gráficos das figuras 7, 8, 9 e 10. Os dados da distribuição estão tabulados e apresentados no apêndice A.

Figura 7: Gráfico de intermitência: item#1, item#2 e item#3



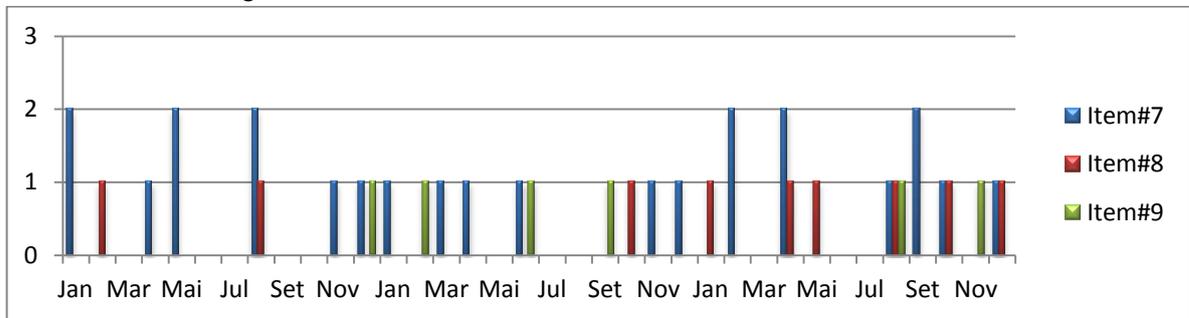
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8: Gráfico de intermitência: item#4, item#5 e item#6



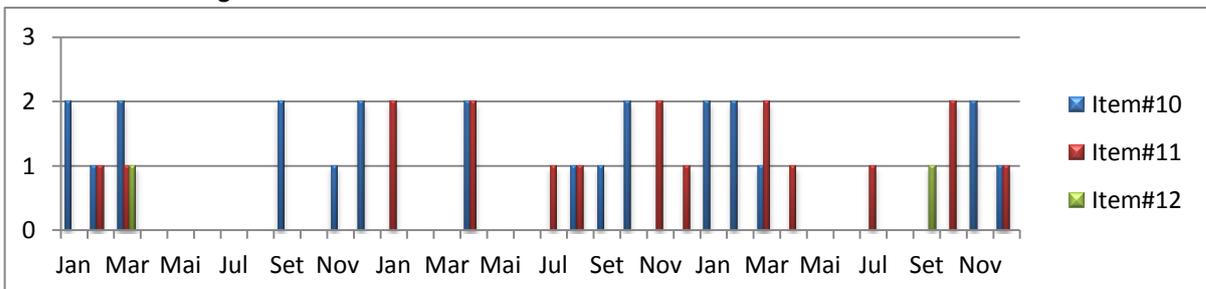
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9: Gráfico de intermitência: item#7, item#8 e item#9



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10: Gráfico de intermitência: item#10, item#11 e item#12



Fonte: Elaborado pelo autor.

As figuras de 7 a 10 apresentam a distribuição temporal de consumo no período de 3 anos, agrupado em consumos mensais, podendo-se extrair, com base nessa informação, o consumo total no período, bem como o consumo médio anual. Assim, com base na distribuição temporal, o consumo total é a soma dos 36 meses de consumo. O consumo médio anual é a divisão do consumo total por 3 anos, e o consumo médio mensal é o consumo médio anual dividido por 12. A tabela 2 resume todos os agrupamentos de dados necessários para o desenvolvimento do método.

Tabela 2 – Consumo dos itens

Item	Consumo total (36 meses)	Consumo médio anual	Consumo médio mensal
Item#1	3	1,00	0,08
Item#2	9	3,00	0,25
Item#3	30	10,0	0,83
Item#4	17	5,67	0,47
Item#5	14	4,67	0,39
Item#6	8	2,67	0,22
Item#7	24	8,00	0,67
Item#8	9	3,00	0,25
Item#9	6	2,00	0,17
Item#10	24	8,00	0,67
Item#11	18	6,00	0,5
Item#12	2	0,67	0,056

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 LEVANTAMENTO DOS CUSTO DOS ITENS

Para ambas as empresas, consideram-se valores que se enquadram nos quatro componentes de custo logístico total, de acordo com a classificação de Gasnier (2005): custo de aquisição (CA), custos operacionais (CO), custo financeiro (CF) e despesas de distribuição (DD).

Todos os custos apresentados foram informados diretamente pelas empresas e obtidos conforme os critério:

Custo unitário do item (CA): Para ambas as empresas foi considerado o valor de entrada no estoque, incluindo-se no custo não apenas o custo do item no

fornecedor, mas também as tributações de compra, embalagens para transporte, fretes e despesas acessórias de aquisição.

Custo de armazenagem (CO): Os critérios de rateio do custo de armazenagem são distintos para cada empresa, que seguem seus próprios critérios:

Empresa A: Calcula o valor percentual do item no estoque global da empresa, considerando todos os armazéns no Brasil. Esse percentual é a base de cálculo a ser considerada na soma total de todas as despesas de armazenagem: aluguéis, embalagens, movimentações internas, custo de pessoal de armazém, entre outros.

Empresa B: Estabelece o custo de armazenagem apenas sobre o armazém onde o item está estocado. O custo tem um percentual de acordo com a faixa de valor e volume ocupado pelo item no estoque, onde as despesas locais são rateadas de acordo com estas duas dimensões.

Custo do Capital (CF): refere-se rentabilidade esperada do dinheiro imobilizado em estoque, ou seja, à rentabilidade do valor financeiro do item estocado, caso fosse investido em aplicações do mercado financeiro. Para ambas as empresas, por premissa, foi considerado risco zero, portanto, utilizou-se a taxa Selic de 12% ao ano como percentual utilizado para composição do estudo do custo do capital.

Custo de Perda (CO): refere-se ao custo de depreciação do item no estoque, determinado por regras específicas de amortização do valor do bem ao longo do tempo, ou perdas não previstas por problemas de armazenamento e transporte. Tanto para a empresa A, como para a empresa B, a obsolescência do estoque segue uma regra específica de amortização e especifica que os itens passam a ser obsoletos a cada 5 anos sem movimentação em estoque, com índice de depreciação anual de 20%.

Custo do pedido (CA): O custo do pedido mostra, em linhas gerais, a eficiência da gestão de compras da organização, e é calculado pela razão entre o custo do departamento de compras em um período e o número de pedidos processados no mesmo período. Os custos agregados englobam desde a mão de obra setorial até o rateio do aluguel das instalações da empresa para utilização da estrutura de compras. O custo de pedido para a empresa A ficou em R\$ 88,57 para cada pedido, enquanto que a empresa B opera com custo de R\$120,00.

Custo de urgência (CA): O custo de urgência é o valor excedente para obter o item com menor *lead time* que o convencional. Em geral, esse custo é obtido pelos custos extras que o fornecedor terá para produzir em menor tempo, e o custo extra de transporte, elegendo modais mais rápidos e evidentemente mais onerosos.

Empresa A: A totalidade dos itens apresentados são itens importados da Europa que não possuem custos extras de produção. No entanto, são aplicados valores extras de 60% do valor do item quando a modalidade é transferida de marítima para aérea, para atender a um *lead time* menor.

Empresa B: Possui custos de urgência de acordo com a origem dos itens, sendo os itens 7 e 8 importados, com custo de urgência representando 47,5% do valor do item, e os itens 9, 10, 11 e 12, nacionais, com custo de urgência de 30% do valor do item - referente a transporte e custo de produção emergencial do fornecedor.

Lucro cessante - Custo de máquina parada (CO): Esse custo representa o lucro cessante diário do equipamento, caso haja ruptura do item no estoque que gere interrupção da produção, variando de acordo com o equipamento em que é aplicado. No caso das empresas estudadas, os valores foram fornecidos individualmente para cada item, de acordo com a aplicação, o equipamento, a criticidade e a representatividade na produção.

Custos de embalagens (CO): Os custos de embalagens, para ambas as empresas, possuem uma parcela agregada no custo unitário do item, considerando as embalagens de aquisição para transporte até a entrada do item na empresa e, outra parcela, incluída no custo de armazenagem, que já considera os valores das embalagens para movimentações internas.

Custo de capital de terceiros (CF): Em ambas as empresas, os custos de estoque são aportados com capital próprio, não existindo esse custo.

Todos os custos apresentados totalizam integralmente os custos logísticos das empresas relacionadas e se inserem nas quatro categorias de classificação, de acordo com Gasnier (2005).

Através das planilhas de custos fornecidas por ambas as companhias, nenhum outro custo foi mencionado. Mesmo custos menores, que poderiam ser tratados individualmente, estão integrados em outros custos de maior relevância,

como os custos de embalagens, em que uma parte está inserida no custo de aquisição e outra, no custo de armazenagem. Contudo, garante-se que, para ambas as empresas, todos os custos mais ou menos relevantes participaram da composição do custo total.

A soma de todos os custos mencionados é o custo total do estoque, e a representação de cada parcela do custo total, individualizado para cada item, está representado na tabela 3.

Tabela 3 – Custos diretos e indiretos dos itens

Item	Custo Unitário (R\$)	Custo de Armazenagem (%)	Custo de Capital (%aa)	Custo de Perda (%aa)	Custo do pedido (R\$/pedido)	Custo da Urgência (R\$)	Custo lucro cessante (R\$/dia)
Item#1	394.771,20	5,50	12	20	88,57	236.862,72	60.630,13
Item#2	313.827,17	5,08	12	20	88,57	188.296,30	60.630,13
Item#3	230.031,79	4,65	12	20	88,57	138.019,08	60.630,13
Item#4	167.492,45	4,32	12	20	88,57	100.495,47	48.789,42
Item#5	119.880,82	4,08	12	20	88,57	71.928,49	24.022,93
Item#6	85.825,20	3,90	12	20	88,57	51.495,12	20.019,11
Item#7	102.870,00	3,00	12	15	120,00	48.863,25	40.011,00
Item#8	130.613,00	3,00	12	15	120,00	62.041,17	18.105,12
Item#9	183.728,00	3,00	12	15	120,00	55.118,40	49.320,00
Item#10	199.313,00	3,00	12	15	120,00	59.793,90	142.800,00
Item#11	1.079.330,00	5,00	12	15	120,00	323.799,00	135.170,00
Item#12	521.618,00	5,00	12	15	120,00	156.485,40	153.008,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 DEMANDA E LEAD TIME DOS ITENS

A demanda representa o consumo do item em função do tempo e, conforme as figuras de 7 a 10, os itens apresentados possuem demanda errática ou intermitente, com incidência de zeros em sua série de consumo. Essa característica com padrões irregulares acrescenta ao item alta complexidade de previsão, bem como alto risco de obsolescência e alto custo agregado. Em contrapartida, é exigida uma alta assertividade no planejamento, para evitar lucro cessante (BACCHETTI; SACCANI, 2012).

O *lead time* dos itens considerados neste estudo é o tempo decorrido entre o pedido e a disponibilização do item no estoque para consumo (GASNIER, 2005). Em ambas as empresas existem itens importados, o que implica tempos de atendimentos longos e agravados por lentos processos de importação regidos por procedimentos aduaneiros e fiscalização.

A demanda e a demanda no *lead time* são importantes para a aplicação do método, pois, possibilitam calcular custos por parada de produção. A demanda no *lead time* é estabelecida pela multiplicação da demanda diária pelo número de dias do *lead time*.

A tabela 4 apresenta as variáveis de demanda, *lead time*, *lead time* de urgência e a demanda no *lead time*, de cada item estudado.

Tabela 4 – Demanda e Lead Time dos itens

Item	Demanda Anual (un./ano)	Demanda mensal (un./mês)	LT (dias)	LT urgência (dias)	Média no LT (un.)
Item#1	1,00	0,08	105	45	0,29
Item#2	3,00	0,25	105	45	0,86
Item#3	10,0	0,83	90	30	2,47
Item#4	5,67	0,47	90	30	1,40
Item#5	4,67	0,39	90	30	1,15
Item#6	2,67	0,22	90	30	0,66
Item#7	8,00	0,67	120	90	2,6
Item#8	3,00	0,25	120	80	0,99
Item#9	2,00	0,17	90	60	0,49
Item#10	8,00	0,67	90	60	1,97
Item#11	6,00	0,50	90	60	1,48
Item#12	0,67	0,06	60	30	0,11

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE DEMANDA NO *LEAD TIME*

A aderência do método estudado, aplicado ao modelo matemático determinado pela distribuição de Poisson, está diretamente ligada ao fato de ser utilizada para calcular probabilidades de ocorrências de efeitos “raros” em sistemas

e componentes. Nesse caso, um item estocástico com demanda intermitente em sua série temporal é perfeitamente aderente à aplicação da distribuição de Poisson.

A resposta de saída da distribuição de Poisson é exatamente a contagem do número de sucessos que ocorrem em determinado período (DUNLAP; STUDSTILL, 2013); portanto, segundo essa observação, a distribuição de Poisson aplicada aos itens estocásticos terá como saída a probabilidade de ocorrência de sucesso no período de estudo (*lead time*). Assim, ter-se-á a probabilidade de sucesso para cada quantidade. A probabilidade de sucesso percentual, para cada quantidade dentro do *lead time*, é traduzida como nível de serviço (*fill rate*). Assim, o percentual encontrado para cada quantidade, em seu valor acumulado, nada mais é que a probabilidade do item em estoque atender a uma demanda, e seu complementar será o risco da falta (risco de ruptura).

A tradução efetiva da distribuição de Poisson para o caso em questão é descrita pela equação 14:

$$\text{—————} \quad (14)$$

Onde,

(15)

$\lambda * t$ - consumo no período do LT;

λ – demanda diária de consumo registrado;

t - *Lead time*;

y – variável aleatória – número de eventos no intervalo;

– Probabilidade de y sucessos.

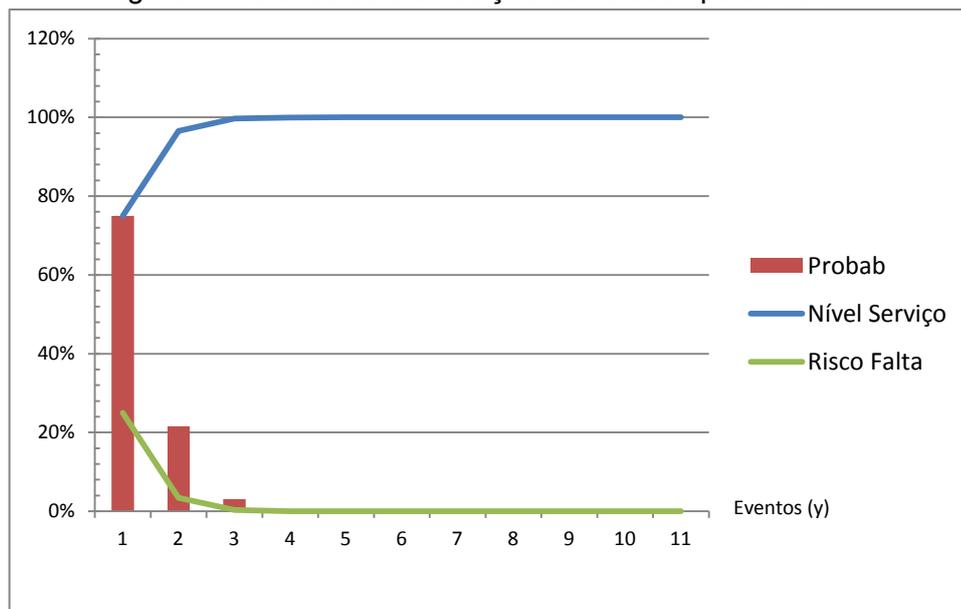
A aplicação da equação 14, para os 12 itens selecionados, está representada pelas tabelas de 5 a 16 e as figuras de 11 a 22, respectivamente, conforme a apresentação:

Tabela 5 – Aplicação de Poisson para o item#1

Item#1			
Demanda anual= 1,00			
LT = t = 105			
$\lambda * t = 0,29$			
Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	75,00%	75,00%	25,00%
1	21,58%	96,58%	3,42%
2	3,10%	99,68%	0,32%
3	0,30%	99,98%	0,02%
4	0,02%	100%	0,00%
5	0,0%	100,00%	0,00%
6	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 – Aplicação de Poisson para o item#2

Item#2

Demanda anual= 3,00

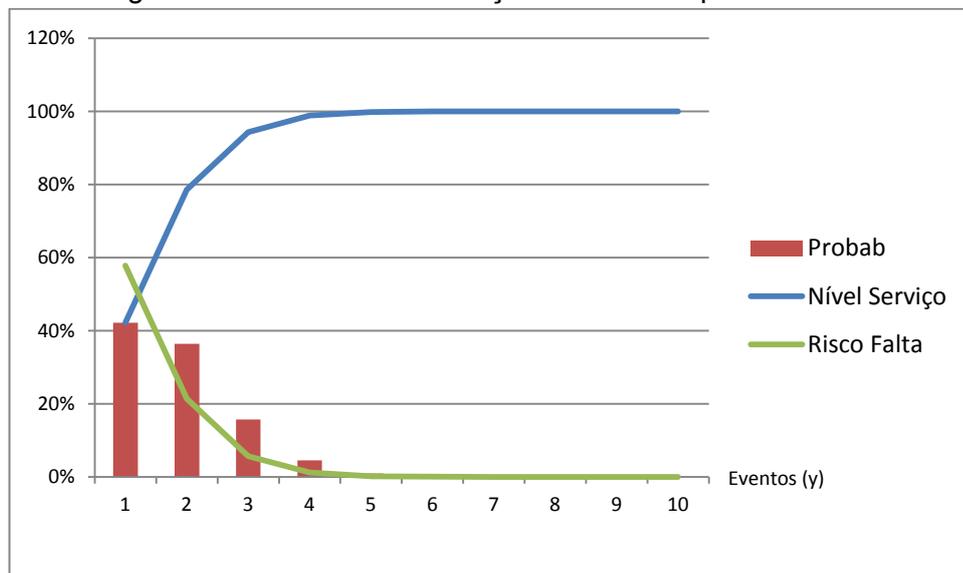
LT = t = 105

 $\lambda * t = 0,86$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	42,19%	42,19%	57,81%
1	36,41%	78,60%	21,40%
2	15,71%	94,31%	5,69%
3	4,52%	98,83%	1,17%
4	0,98%	99,80%	0,20%
5	0,17%	99,97%	0,03%
6	0,0%	100,00%	0,00%
7	0,0%	100,00%	0,00%
8	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#2



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 – Aplicação de Poisson para o item#3

Item#3

Demanda anual= 10,00

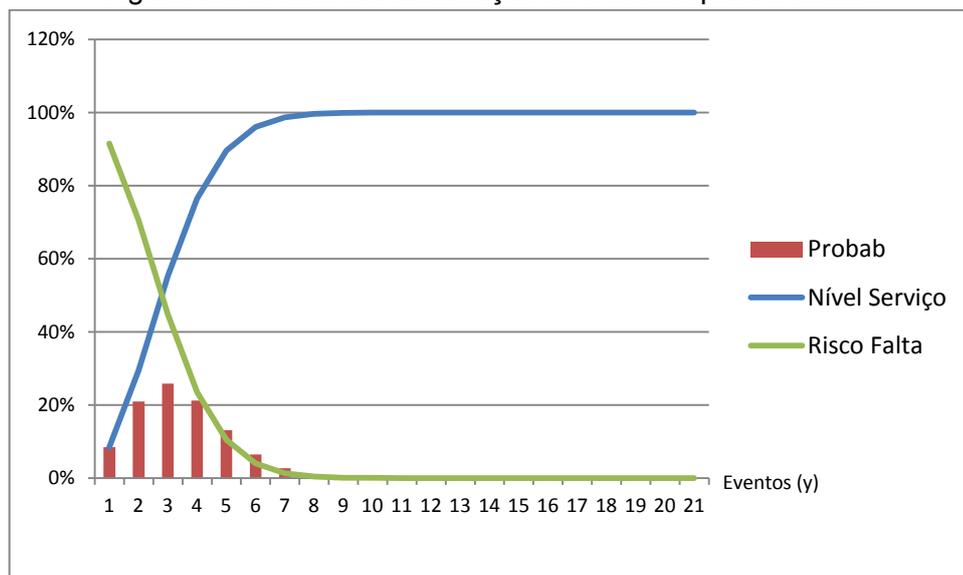
LT = t = 90

 $\lambda * t = 2,47$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	8,49%	8,49%	91,51%
1	20,95%	29,44%	70,56%
2	25,82%	55,26%	44,74%
3	21,22%	76,49%	23,51%
4	13,08%	89,57%	10,43%
5	6,45%	96,02%	3,98%
6	2,7%	98,67%	1,33%
7	0,9%	99,61%	0,39%
8	0,3%	99,90%	0,10%
9	0,1%	99,98%	0,02%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 – Aplicação de Poisson para o item#4

Item#4

Demanda anual= 5,67

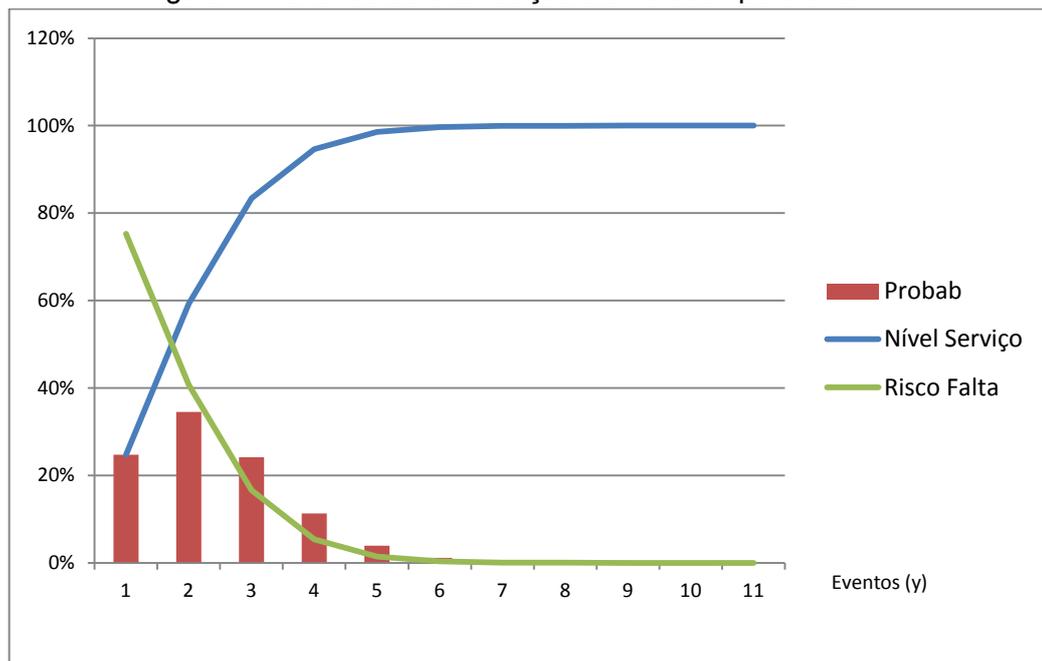
LT = t = 90

 $\lambda * t = 1,40$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	24,71%	24,71%	75,29%
1	34,54%	59,25%	40,75%
2	24,15%	83,40%	16,60%
3	11,25%	94,65%	5,35%
4	3,93%	98,58%	1,42%
5	1,10%	99,68%	0,32%
6	0,3%	99,94%	0,06%
7	0,1%	99,99%	0,01%
8	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#4



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 9 – Aplicação de Poisson para o item#5

Item#5

Demanda anual= 4,67

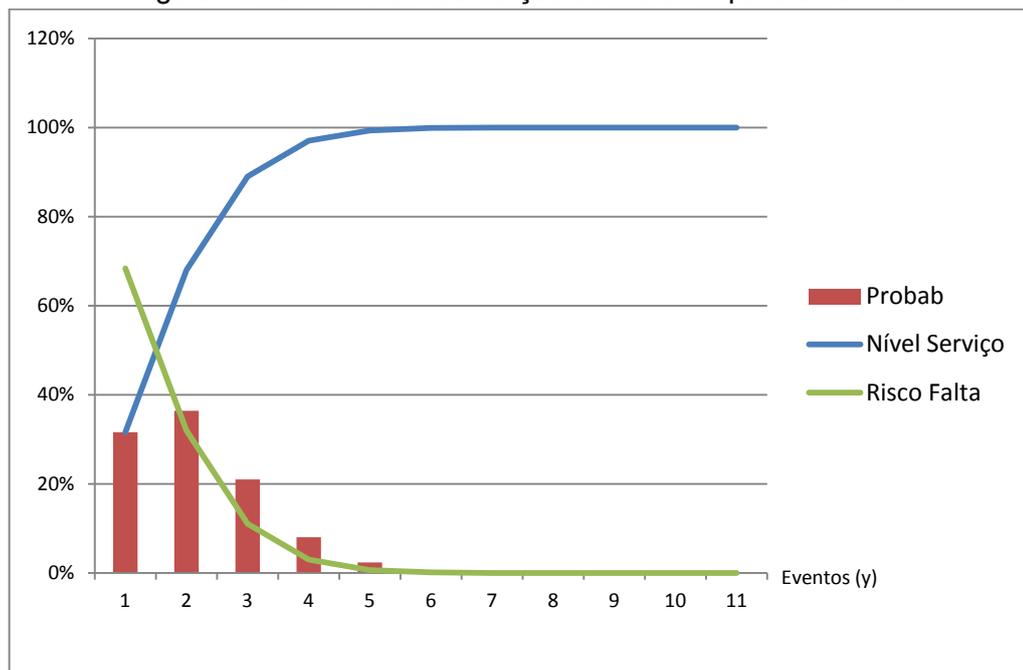
LT = t = 90

 $\lambda * t = 1,15$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	31,62%	31,62%	68,38%
1	36,41%	68,02%	31,98%
2	20,96%	88,98%	11,02%
3	8,05%	97,03%	2,97%
4	2,32%	99,34%	0,66%
5	0,53%	99,88%	0,12%
6	0,1%	99,98%	0,02%
7	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#5



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 10 – Aplicação de Poisson para o item#6

Item#6

Demanda anual= 2,67

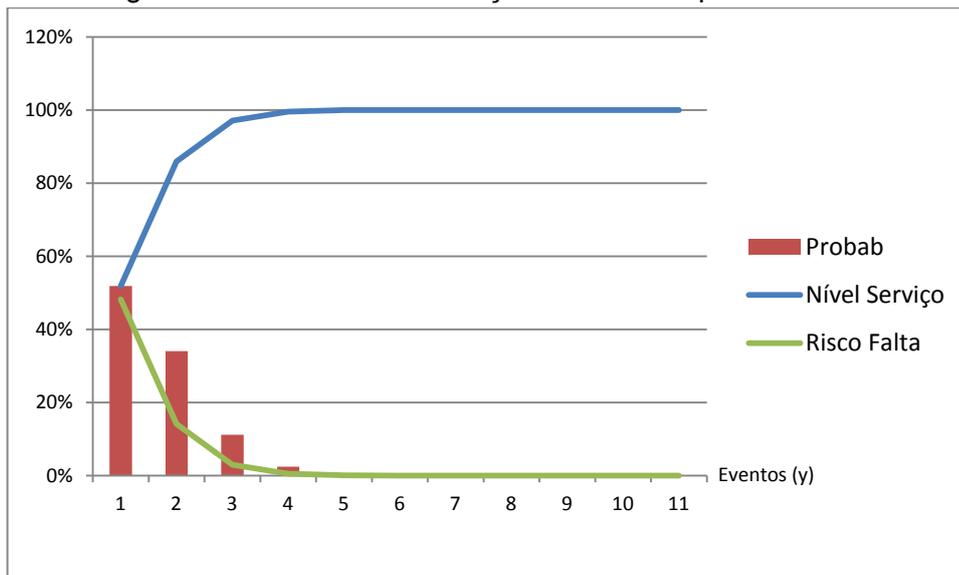
LT = t = 90

 $\lambda * t = 0,66$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	51,81%	51,81%	48,19%
1	34,07%	85,88%	14,12%
2	11,20%	97,08%	2,92%
3	2,45%	99,54%	0,46%
4	0,40%	99,94%	0,06%
5	0,05%	99,99%	0,01%
6	0,0%	100,00%	0,00%
7	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#6



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 11 – Aplicação de Poisson para o item#7

Item#7

Demanda anual= 8,00

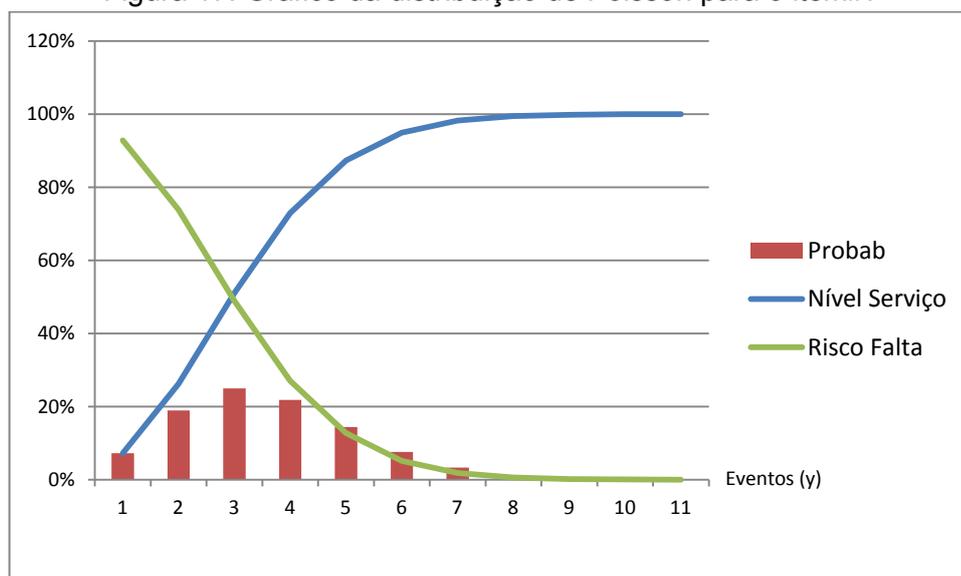
LT = t = 120

 $\lambda * t = 2,6$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	7,21%	7,21%	92,79%
1	18,96%	26,16%	73,84%
2	24,93%	51,09%	48,91%
3	21,85%	72,94%	27,06%
4	14,37%	87,31%	12,69%
5	7,56%	94,87%	5,13%
6	3,3%	98,19%	1,81%
7	1,2%	99,43%	0,57%
8	0,4%	99,84%	0,16%
9	0,1%	99,96%	0,04%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 17: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#7



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 12 – Aplicação de Poisson para o item#8

Item#8

Demanda anual= 3,00

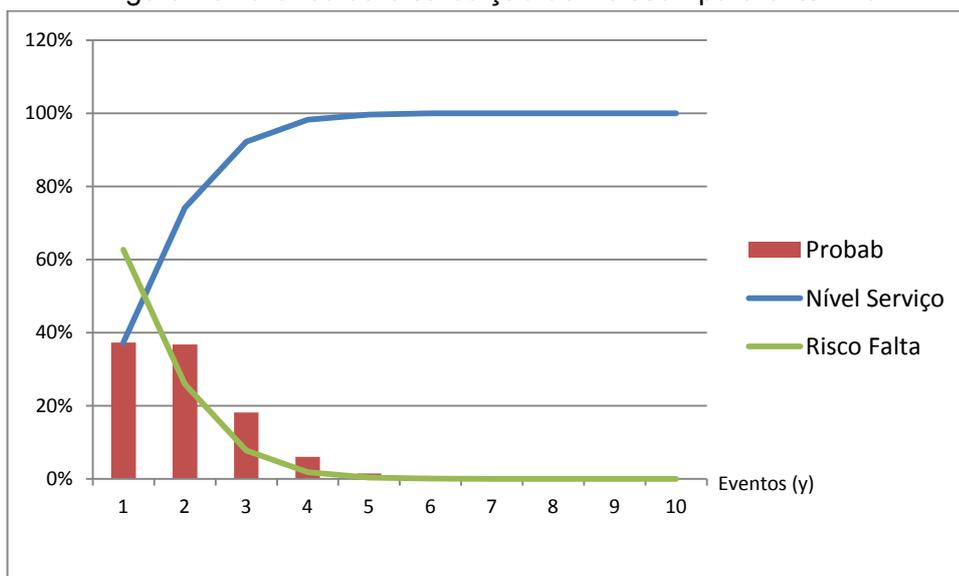
LT = t = 120

 $\lambda * t = 0,99$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	37,30%	37,30%	62,70%
1	36,78%	74,08%	25,92%
2	18,14%	92,22%	7,78%
3	5,96%	98,18%	1,82%
4	1,47%	99,65%	0,35%
5	0,29%	99,94%	0,06%
6	0,0%	99,99%	0,01%
7	0,0%	100,00%	0,00%
8	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 18: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#8



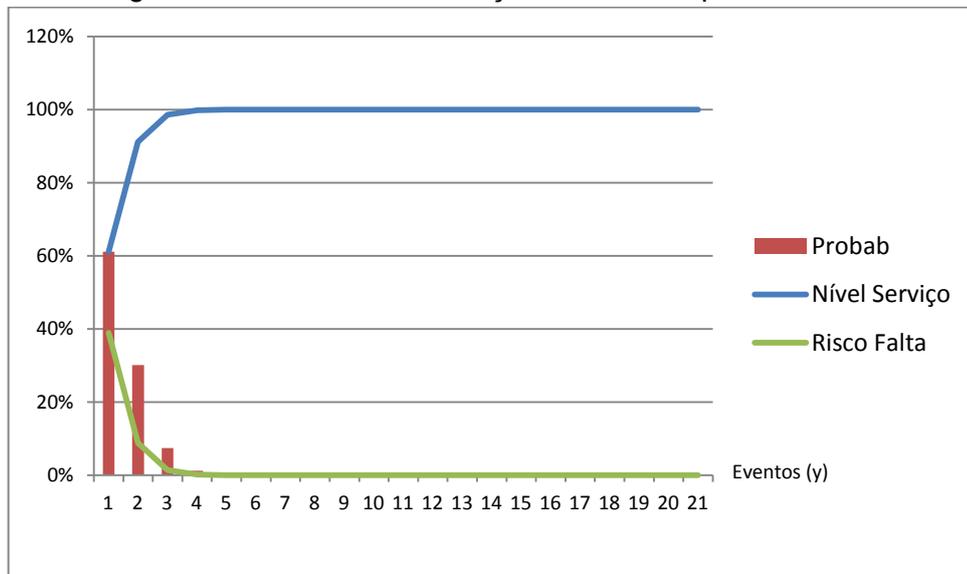
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 13 – Aplicação de Poisson para o item#9

Item#9			
Demanda anual= 2,00			
LT = t = 90			
$\lambda * t = 0,49$			
Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	61,07%	61,07%	38,93%
1	30,12%	91,19%	8,81%
2	7,43%	98,61%	1,39%
3	1,22%	99,83%	0,17%
4	0,15%	99,98%	0,02%
5	0,01%	100,00%	0,00%
6	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#9



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 14 – Aplicação de Poisson para o item#10

Item#10

Demanda anual= 8,00

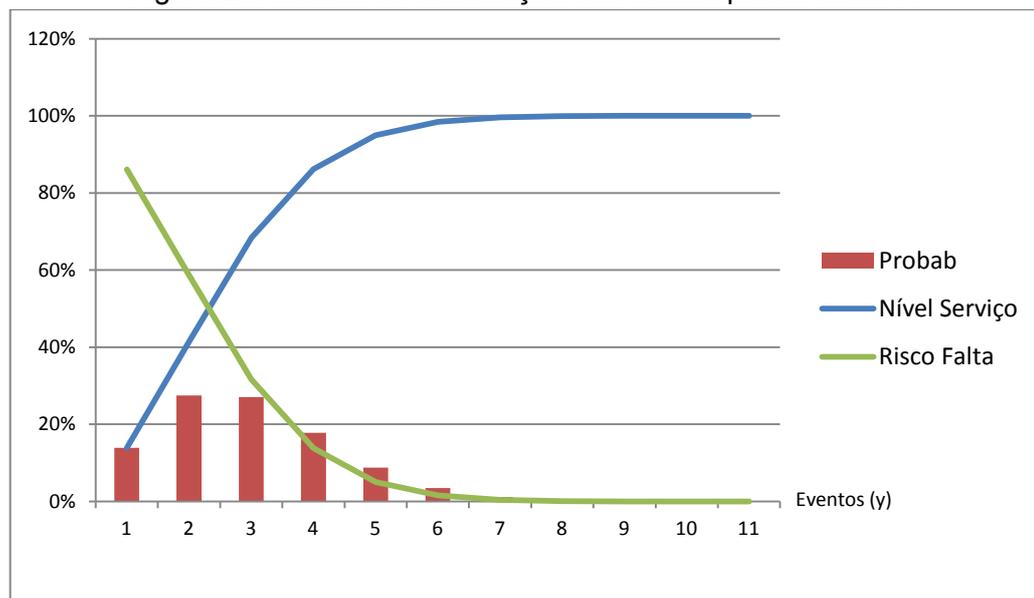
LT = t = 90

 $\lambda * t = 1,97$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	13,91%	13,91%	86,09%
1	27,44%	41,35%	58,65%
2	27,06%	68,41%	31,59%
3	17,79%	86,20%	13,80%
4	8,78%	94,98%	5,02%
5	3,46%	98,44%	1,56%
6	1,1%	99,58%	0,42%
7	0,3%	99,90%	0,10%
8	0,1%	99,98%	0,02%
9	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#10



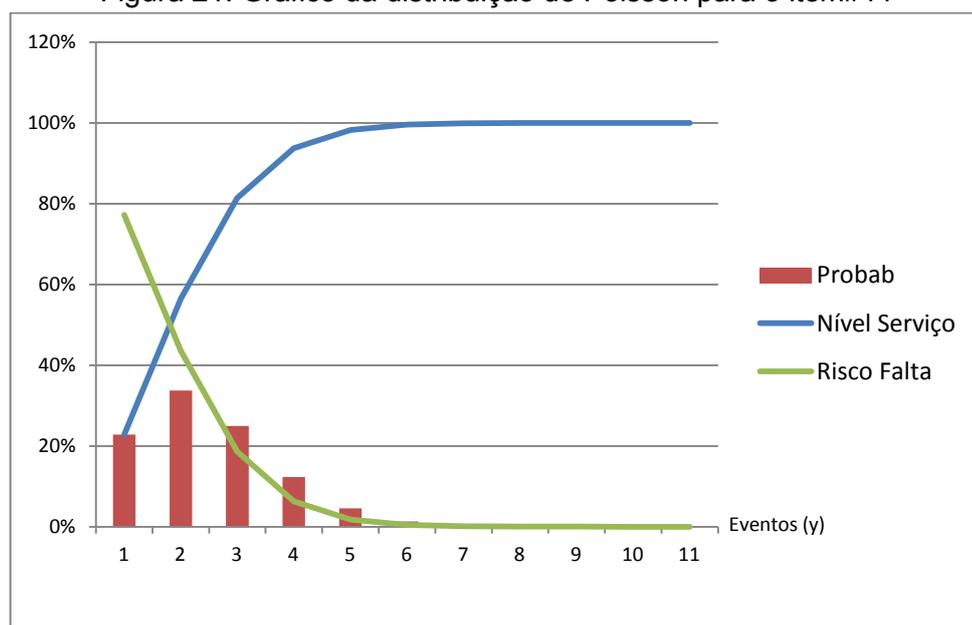
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 15 – Aplicação de Poisson para o item#11

Item#11			
Demanda anual= 6,00			
LT = t = 90			
$\lambda * t = 1,48$			
Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	22,78%	22,78%	77,22%
1	33,70%	56,47%	43,53%
2	24,93%	81,40%	18,60%
3	12,29%	93,69%	6,31%
4	4,55%	98,24%	1,76%
5	1,35%	99,58%	0,42%
6	0,3%	99,91%	0,09%
7	0,1%	99,98%	0,02%
8	0,0%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 21: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#11



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 16 – Aplicação de Poisson para o item#12

Item#12

Demanda anual= 0,67

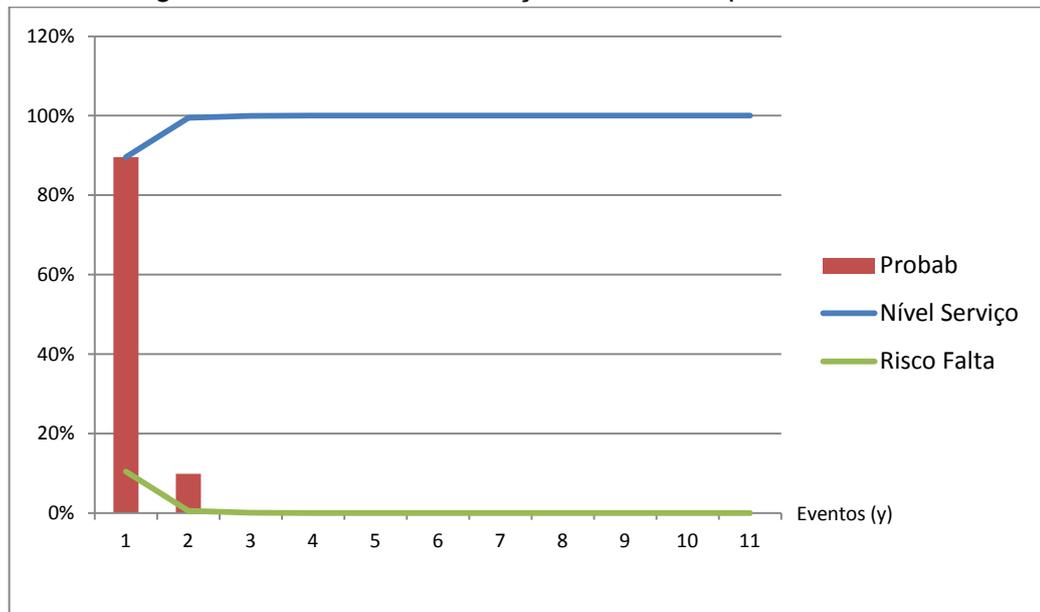
LT = t = 60

 $\lambda * t = 0,11$

Eventos (y)	Probabilidade (P)	Nível Serviço	Risco Falta
0	89,57%	89,57%	10,43%
1	9,87%	99,44%	0,56%
2	0,54%	99,98%	0,02%
3	0,02%	100,00%	0,00%
4	0,00%	100,00%	0,00%
5	0,00%	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22: Gráfico da distribuição de Poisson para o item#12



Fonte: Elaborado pelo autor

4.6 DEFINIÇÃO DOS CUSTOS ASSOCIADOS

Em geral, as empresas medem o desempenho das atividades por meio do monitoramento dos custos. Os custos associados à estocagem, em geral, baseiam-se nos custos decorrentes da falta de estoques e nos custos da manutenção dos estoques (AROZO; 2006).

A seguir serão detalhados os tipos de custos considerados no processo de estocagem abordado neste estudo.

4.6.1. Custo de Estoque

Refere-se ao valor do item no estoque, e todos os custos associados a ele, conforme a equação 16.

$$\text{-----} \quad (16)$$

Onde:

CE é o custo de estoque mensal;

Q é a quantidade total do item;

Cun é o custo unitário do item;

CA custo de armazenagem (percentual anual);

CK custo de capital (percentual anual);

CP custo de perda (percentual anual).

4.6.2. Custo da Falta

O cálculo do custo da falta associa-se com o custo da parada ou o custo de urgência e o custo do pedido, seguindo um algoritmo de cálculo que estabelece:

Se $Curg > 0$

Então

Faça $M = (\text{mínimo}(CS ; Curg))$

$$CF = M + CPO \quad (17)$$

Senão

$$CF = CPO + CS \quad (18)$$

Onde:

CUrg: custo da urgência;

CS: custo de máquina parada;

CF: custo da falta;

CPO: custo do pedido.

O algoritmo utilizado conforme as equações (17) e (18) estabelece que o custo da falta será dado pelo custo do pedido mais o menor valor entre o custo de máquina parada e o custo de urgência. No caso de inexistência do processo de urgência, em que o custo de urgência é nulo, o custo da falta será a soma do custo do pedido com o custo de máquina parada

Nesse caso, a direção dada pelo algoritmo desenvolvido é uma indução lógica para o menor custo da falta, que se resume em: se o custo de aquisição do item em caráter de urgência é maior que trazer o item no *lead time* normal, mesmo contando o custo de máquina parada neste maior *lead time*, é melhor manter o equipamento sob risco de falta (ruptura), já que essa decisão gera o menor custo.

Assim, o algoritmo criado responde a seguinte pergunta: Qual *lead time* será usado, o normal ou o emergencial, para obtenção do menor custo? Desta forma, a resposta à indagação justifica o porquê de estudar a demanda apenas dentro do *lead time*.

4.6.2.1. Custo do Pedido

O custo do pedido varia de acordo com o número de pedidos, numa relação inversamente proporcional. Ao aumentar a quantidade de compra do item, a

estrutura operacional para processar o pedido é constante, rateando-se, então, esse valor.

Para cálculo do custo do pedido para cada quantidade de cada item, basta dividir a demanda anual pela quantidade a ser comprada em cada pedido, multiplicando-se o resultado obtido pelo custo unitário de cada item, informado pelas empresas, conforme equação 19.

$$-$$
(19)

Onde:

CPO: custo do pedido;

D: demanda anual;

Q: quantidade;

CUP: custo unitário de cada pedido.

4.6.2.2. Custo de Máquina Parada

O custo de máquina parada representa o lucro cessante pela indisponibilidade do ativo para produção. Esse custo deve ser ponderado pelo risco da falta, que é o inverso do nível de serviço. A equação 20 representa o custo de máquina parada.

(20)

Onde:

CS: custo de máquina parada;

CDMP: custo diário de máquina parada;

LT: *Lead Time* (tempo de suprimento);

RF: Risco da falta.

4.6.2.3. Custo de Urgência Total

O custo de urgência total associa-se com o custo diário de máquina parada no *lead time*, mais o custo de urgência, porém, na probabilidade de ocorrência desse evento. O custo de urgência total difere do custo de urgência - esse segundo é apenas um valor extra que se paga para abreviar o *lead time* do item.

A equação 21 demonstra o cálculo do custo total de urgência.

(21)

Onde:

CUT: custo total de urgência;

CDMP: custo diário de máquina parada;

LTU: *lead time* da urgência;

C_{urg} : custo da urgência;

RF: risco de falta.

4.6.3. Custo Total

O custo total é a variável decisória do método e envolve todas as componentes de custos, previamente calculadas. As distribuições de Poisson encontradas, quando relacionadas ao custo total, geram análises mais complexas, justamente por introduzirem mais variáveis no âmbito decisório; isso porque, essas variáveis se relacionam com o custo de falta, com o custo de máquina parada e com o custo de urgência, que são ponderados pelo risco da falta, originados na distribuição de Poisson.

A equação 22 é simplesmente a soma de todos os custos relacionados, e nela se estabelece o custo total de cada item para cada distribuição de probabilidade.

(22)

Onde:

CT: custo total;

CE: custo do estoque;

CF: custo da falta.

4.7 CUSTOS TOTAIS E DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

Com o cálculo da distribuição de probabilidades de Poisson e as definições de custos totais, aplica-se, então, a correlação entre as variáveis para obter o comportamento do custo sobre a distribuição de probabilidade. Os resultados quantitativos são apresentados nos tópicos a seguir.

4.7.1. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#1

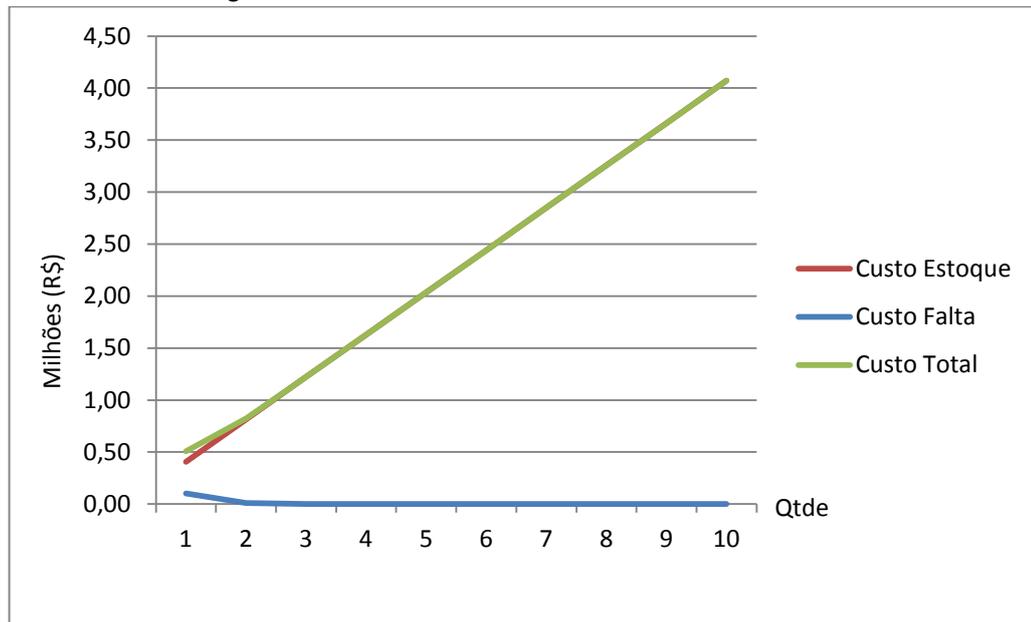
O item#1 apresentou estoque alvo de 1 unidade com nível de serviço de 96,57%, conforme tabela

Tabela 17: Custo ótimo para o item#1

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	407.108,29	101.606,12	88,57	3,424%	96,576%	217.952,68	101.517,55	508.714,41
2	814.216,58	9.541,12	44,29	0,320%	99,680%	20.389,19	9.496,84	823.757,70
3	1.221.324,87	702,46	29,52	0,023%	99,977%	1.444,75	672,93	1.222.027,33
4	1.628.433,16	60,48	22,14	0,001%	99,999%	82,31	38,34	1.628.493,64
5	2.035.541,45	19,54	17,71	0,000%	100,000%	3,92	1,83	2.035.560,99
6	2.442.649,74	14,84	14,76	0,000%	100,000%	0,16	0,07	2.442.664,58
7	2.849.758,03	12,66	12,65	0,000%	100,000%	0,01	0,00	2.849.770,69
8	3.256.866,32	11,07	11,07	0,000%	100,000%	0,00	0,00	3.256.877,40
9	3.663.974,62	9,84	9,84	0,000%	100,000%	0,00	0,00	3.663.984,46
10	4.071.082,91	8,86	8,86	0,000%	100,000%	0,00	0,00	4.071.091,76

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 : Gráfico dos custos associados item#1



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.2. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#2

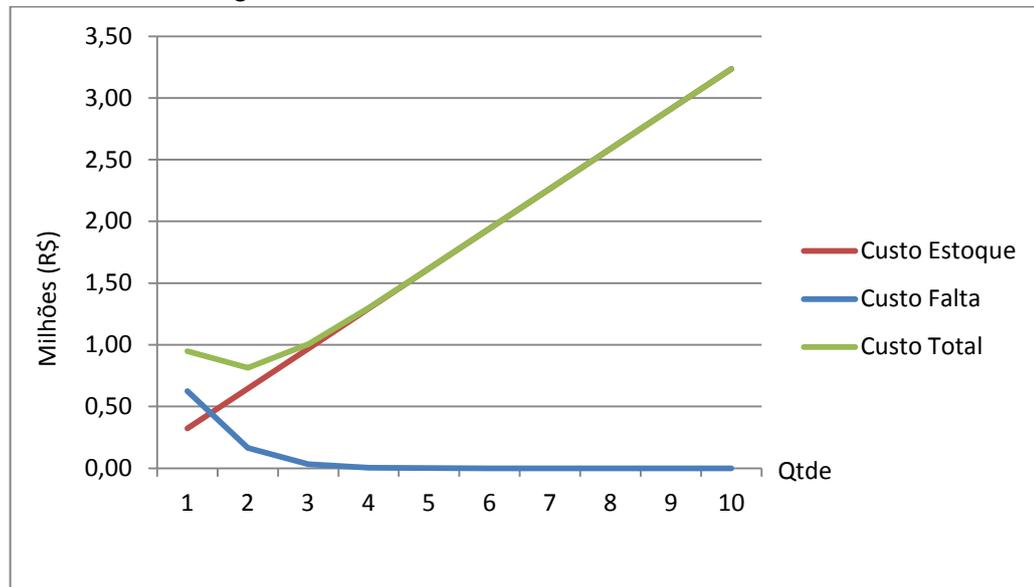
O item#2 apresentou estoque alvo de 2 unidades com nível de serviço de 94,31%.

Tabela 18: Custo ótimo para o item#2

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	323.524,88	624.474,63	265,71	21,402%	78,598%	1.362.458,03	624.208,92	947.999,51
2	647.049,76	166.107,09	132,86	5,691%	94,309%	362.271,21	165.974,23	813.156,85
3	970.574,64	34.241,86	88,57	1,171%	98,829%	74.546,24	34.153,29	1.004.816,51
4	1.294.099,52	5.778,90	66,43	0,196%	99,804%	12.468,59	5.712,47	1.299.878,43
5	1.617.624,41	856,65	53,14	0,028%	99,972%	1.753,82	803,51	1.618.481,06
6	1.941.149,29	141,71	44,29	0,003%	99,997%	212,65	97,43	1.941.291,00
7	2.264.674,17	48,33	37,96	0,000%	100,000%	22,65	10,38	2.264.722,50
8	2.588.199,05	34,20	33,21	0,000%	100,000%	2,15	0,98	2.588.233,25
9	2.911.723,93	29,61	29,52	0,000%	100,000%	0,18	0,08	2.911.753,54
10	3.235.248,81	26,58	26,57	0,000%	100,000%	0,01	0,01	3.235.275,39

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24: Gráfico dos custos associados item#2



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.3. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#3

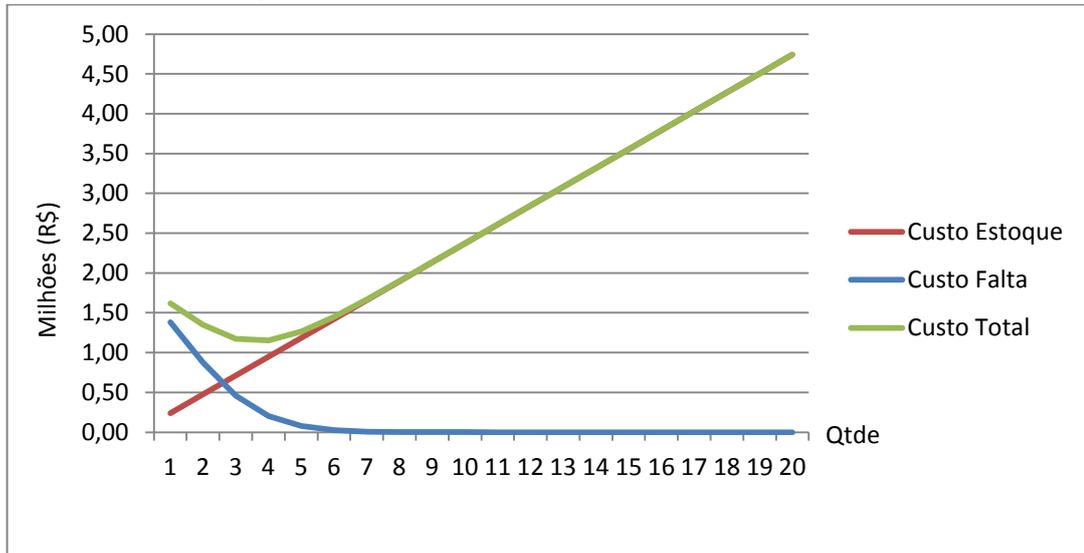
O item#3 apresentou estoque alvo de 4 unidades com nível de serviço de 89,57%.

Tabela 19: Custo ótimo para o item#3

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	237.057	1.381.695	885,70	70,560%	29,440%	3.850.268	1.380.809	1.618.752
2	474.114	875.916	442,85	44,737%	55,263%	2.441.183	875.474	1.350.030
3	711.170	460.424	295,23	23,513%	76,487%	1.283.031	460.129	1.171.595
4	948.227	204.316	221,43	10,429%	89,571%	569.101	204.095	1.152.544
5	1.185.284	78.009	177,14	3,977%	96,023%	217.027	77.832	1.263.293
6	1.422.341	26.090	147,62	1,326%	98,674%	72.338	25.942	1.448.431
7	1.659.398	7.791	126,53	0,392%	99,608%	21.372	7.665	1.667.189
8	1.896.454	2.142	110,71	0,104%	99,896%	5.663	2.031	1.898.596
9	2.133.511	586	98,41	0,025%	99,975%	1.359	487	2.134.097

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25: Gráfico dos custos associados item#3



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.4. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#4

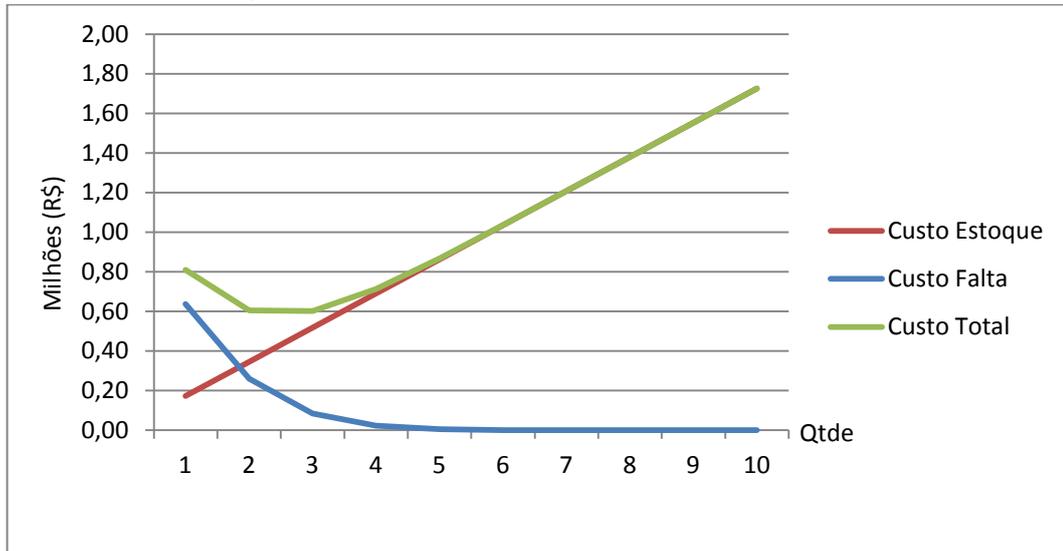
O item#4 apresentou estoque alvo de 3 unidades com nível de serviço de 94,65%.

Tabela 20: Custo ótimo para o item#4

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	172.503	637.913	502,19	40,751%	59,249%	1.789.374	637.410	810.416
2	345.006	259.966	251,10	16,604%	83,396%	729.085	259.715	604.972
3	517.510	83.865	167,40	5,351%	94,649%	234.961	83.698	601.375
4	690.013	22.302	125,55	1,418%	98,582%	62.255	22.176	712.315
5	862.516	5.075	100,44	0,318%	99,682%	13.964	4.974	867.590
6	1.035.019	1.049	83,70	0,062%	99,938%	2.711	966	1.036.068
7	1.207.522	237	71,74	0,011%	99,989%	464	165	1.207.759
8	1.380.025	88	62,77	0,002%	99,998%	71	25	1.380.113
9	1.552.529	59	55,80	0,000%	100,00%	10	3	1.552.588

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 26: Gráfico dos custos associados item#4



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.5. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#5

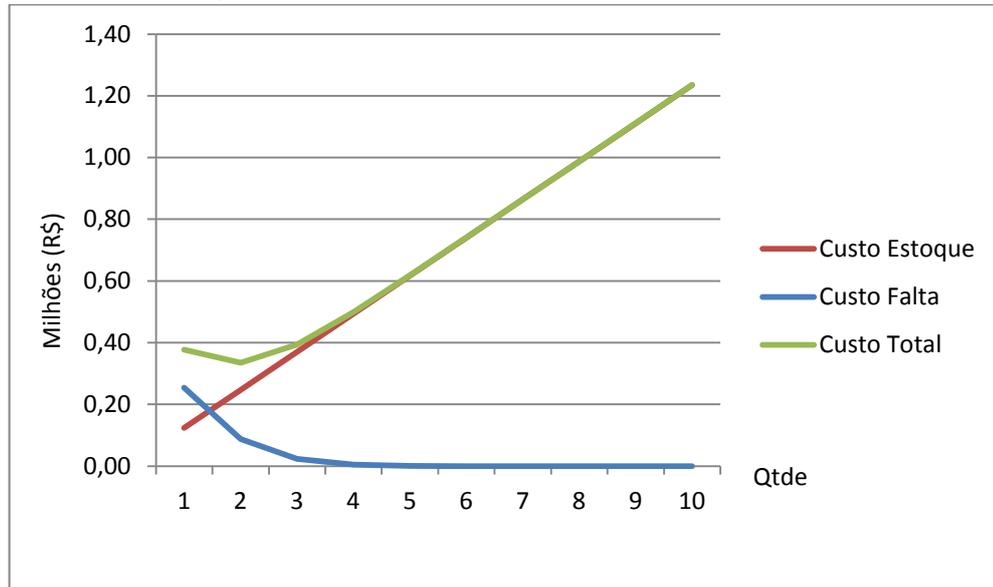
O item#5 apresentou estoque alvo de 2 unidade com nível de serviço de 88,98%.

Tabela 21: Custo ótimo para o item#5

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	123.485	253.876	413,62	31,978%	68,022%	691.383,78	253.462,52	377.361
2	246.970	87.530	206,81	11,017%	88,983%	238.195,74	87.322,98	334.499
3	370.454	23.691	137,87	2,972%	97,028%	64.246,03	23.552,71	394.145
4	493.939	5.298	103,41	0,655%	99,345%	14.169,96	5.194,73	499.237
5	617.424	1.050	82,72	0,122%	99,878%	2.637,37	966,87	618.474
6	740.909	224	68,94	0,020%	99,980%	424,06	155,46	741.133
7	864.394	81	59,09	0,003%	99,997%	59,97	21,99	864.475
8	987.879	54	51,70	0,000%	100,000%	7,57	2,77	987.933
9	1.111.363	46	45,96	0,000%	100,000%	0,86	0,32	1.111.410

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27: Gráfico dos custos associados item#5



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.6. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#6

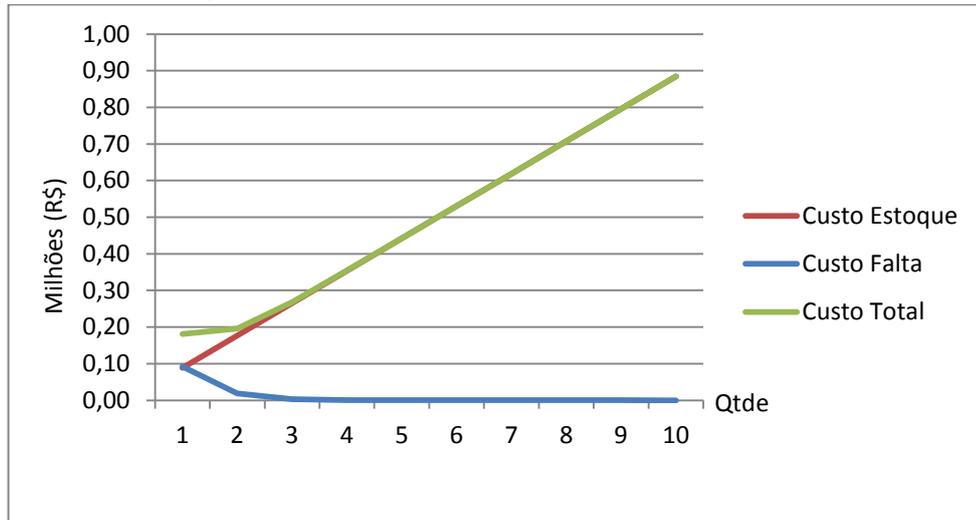
O item#6 apresentou estoque alvo de 1 unidade com nível de serviço de 85,81%.

Tabela 22: Custo ótimo para o item#6

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	88.423	92.299	236,19	14,119%	85,881%	254.378	92.063	180.722
2	176.846	19.145	118,09	2,918%	97,082%	52.574	19.027	195.991
3	265.269	3.098	78,73	0,463%	99,537%	8.343	3.019	268.367
4	353.692	447	59,05	0,059%	99,941%	1.072	388	354.139
5	442.115	89	47,24	0,006%	99,994%	116	42	442.204
6	530.538	43	39,36	0,001%	99,999%	11	4	530.582
7	618.961	34	33,74	0,000%	100,000%	1	0,3	618.995
8	707.384	30	29,52	0,000%	100,000%	0	0,0	707.414

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 28: Gráfico dos custos associados item#6



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.7. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#7

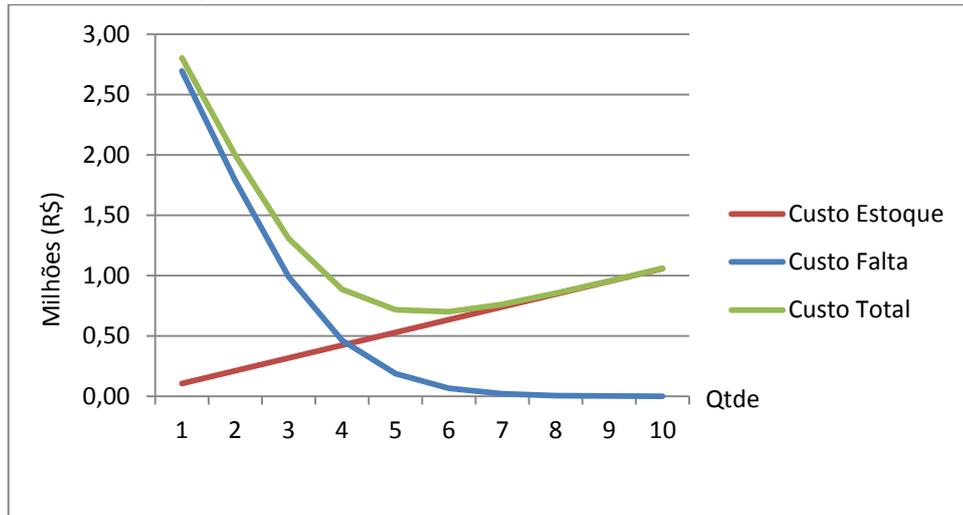
O item#7 apresentou estoque alvo de 6 unidades com nível de serviço de 98,18%.

Tabela 23: Custo ótimo para o item#7

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	105.870	2.695.943	960	73,838%	26,162%	3.545.204	2.694.983	2.801.813
2	211.741	1.785.658	480	48,911%	51,089%	2.348.372	1.785.178	1.997.399
3	317.611	987.861	320	27,057%	72,943%	1.299.094	987.541	1.305.472
4	423.482	463.308	240	12,687%	87,313%	609.158	463.068	886.789
5	529.352	187.372	192	5,128%	94,872%	246.232	187.180	716.724
6	635.222	66.403	160	1,815%	98,185%	87.142	66.243	701.625
7	741.093	20.940	137	0,570%	99,430%	27.366	20.803	762.033
8	846.963	5.984	120	0,161%	99,839%	7.714	5.864	852.947
9	952.833	1.605	107	0,041%	99,959%	1.971	1.498	954.438
10	1.058.704	446	96	0,010%	99,990%	460	350	1.059.149
11	1.164.574	162	87	0,002%	99,998%	99	75	1.164.737

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 29: Gráfico dos custos associados item#7



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.8. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#8

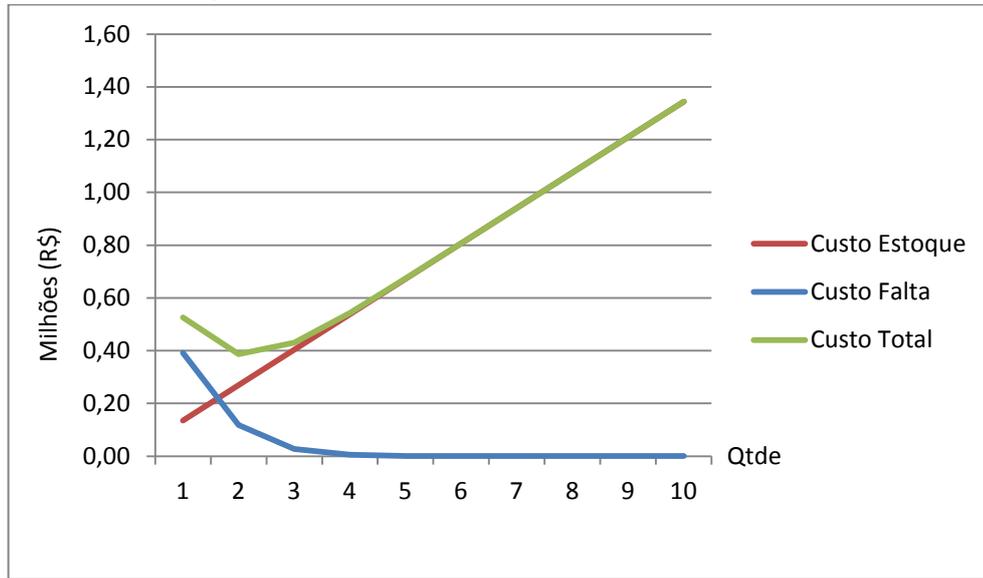
O item#8 apresentou estoque alvo de 2 unidades com nível de serviço de 92,22%.

Tabela 24: Custo ótimo para o item#8

Estoque Total	Custo Estoque(R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido(R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	134.423	391.872	360	25,920%	74,080%	563.146	391.512	526.294
2	268.845	117.692	180	7,780%	92,220%	169.027	117.512	386.537
3	403.268	27.549	120	1,816%	98,184%	39.454	27.429	430.817
4	537.690	5.307	90	0,345%	99,655%	7.505	5.217	542.998
5	672.113	908	72	0,055%	99,945%	1.202	836	673.021
6	806.535	176	60	0,008%	99,992%	166	116	806.711
7	940.958	65	51	0,001%	99,999%	20	14	941.023
8	1.075.380	47	45	0,000%	100,000%	2,19	1,52	1.075.427

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30: Gráfico dos custos associados item#8



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.9. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#9

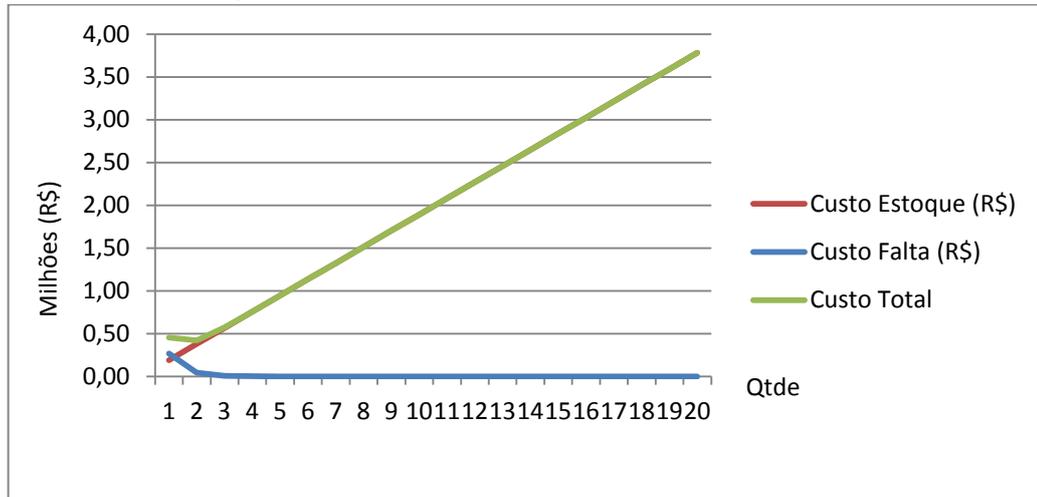
O item#9 apresentou estoque alvo de 2 unidades com nível de serviço de 98,61%.

Tabela 25: Custo ótimo para o item#9

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	189.087	265.904	240	8,813%	91,187%	391.209	265.664	454.991
2	378.173	41.940	120	1,387%	98,613%	61.583	41.820	420.113
3	567.260	5.104	80	0,167%	99,833%	7.397	5.024	572.364
4	756.347	547	60	0,016%	99,984%	717	487	756.894
5	945.434	88	48	0,001%	99,999%	58	40	945.521
6	1.134.520	43	40	0,000%	100,000%	4	3	1.134.563
7	1.323.607	34	34	0,000%	100,000%	0	0	1.323.642
8	1.512.694	30	30	0,000%	100,000%	0	0	1.512.724

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31: Gráfico dos custos associados item#9



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.10. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#10

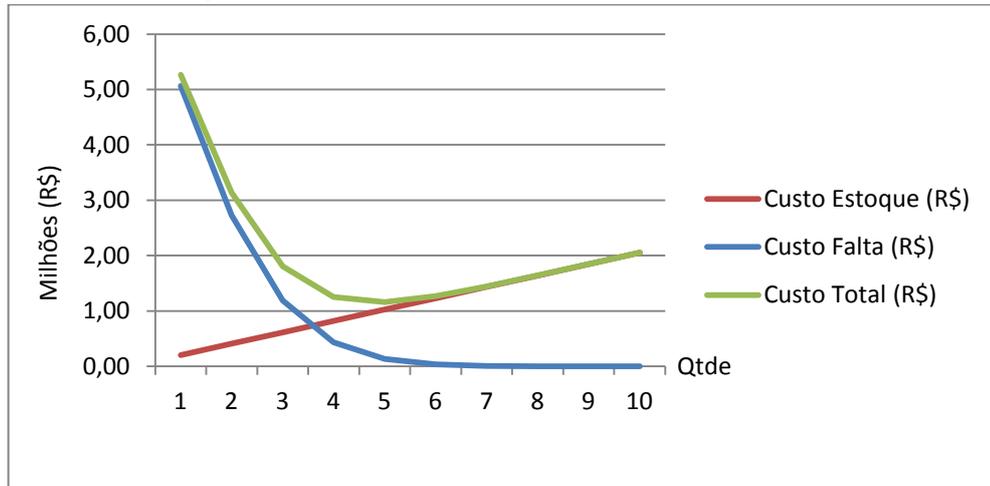
O item#10 apresentou estoque alvo de 5 unidades com nível de serviço de 98,44%.

Tabela 26: Custo ótimo para o item#10

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	205.126	5.061.400	960	58,653%	41,347%	7.538.054	5.060.440	5.266.527
2	410.253	2.726.073	480	31,591%	68,409%	4.060.055	2.725.593	3.136.325
3	615.379	1.190.670	320	13,797%	86,203%	1.773.151	1.190.350	1.806.049
4	820.505	433.485	240	5,021%	94,979%	645.363	433.245	1.253.990
5	1.025.631	134.743	192	1,560%	98,440%	200.428	134.551	1.160.374
6	1.230.758	36.510	160	0,421%	99,579%	54.147	36.350	1.267.268
7	1.435.884	8.814	137	0,101%	99,899%	12.926	8.677	1.444.698
8	1.641.010	1.974	120	0,021%	99,979%	2.761	1.854	1.642.984
9	1.846.137	465	107	0,004%	99,996%	533	358	1.846.601
10	2.051.263	159	96	0,001%	99,999%	94	63	2.051.422

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 32: Gráfico dos custos associados item#10



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.11. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#11

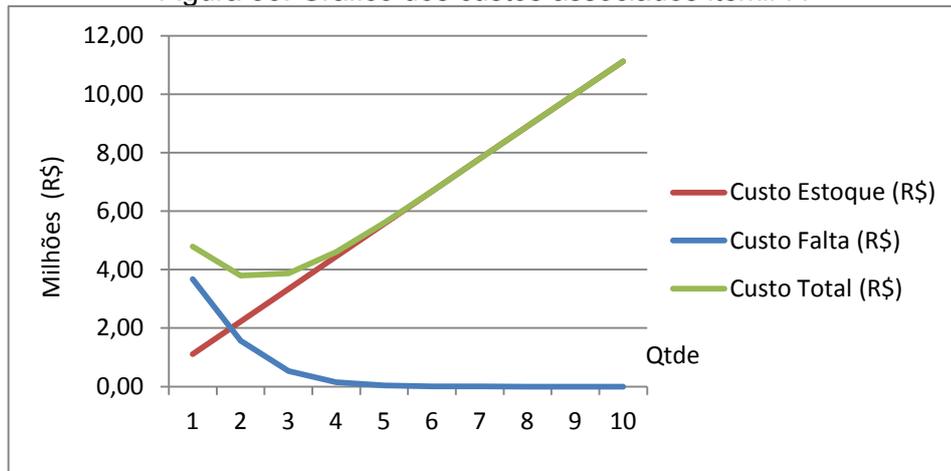
O item#11 apresentou estoque alvo de 2 unidades com nível de serviço de 81,40%.

Tabela 27 Custo ótimo para o item#11

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	1.112.609	3.671.820	720	43,527%	56,473%	5.295.238	3.671.100	4.784.429
2	2.225.219	1.569.195	360	18,601%	81,399%	2.262.906	1.568.835	3.794.413
3	3.337.828	532.341	240	6,309%	93,691%	767.509	532.101	3.870.169
4	4.450.437	148.832	180	1,763%	98,237%	214.417	148.652	4.599.269
5	5.563.047	35.337	144	0,417%	99,583%	50.763	35.193	5.598.384
6	6.675.656	7.337	120	0,086%	99,914%	10.409	7.217	6.682.993
7	7.788.265	1.407	103	0,015%	99,985%	1.881	1.304	7.789.672
8	8.900.875	300	90	0,002%	99,998%	304	210	8.901.175
9	10.013.484	111	80	0,000%	100,000%	44	31	10.013.595

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 33: Gráfico dos custos associados item#11



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.12. Distribuição de Poisson com a variável custo – item#12

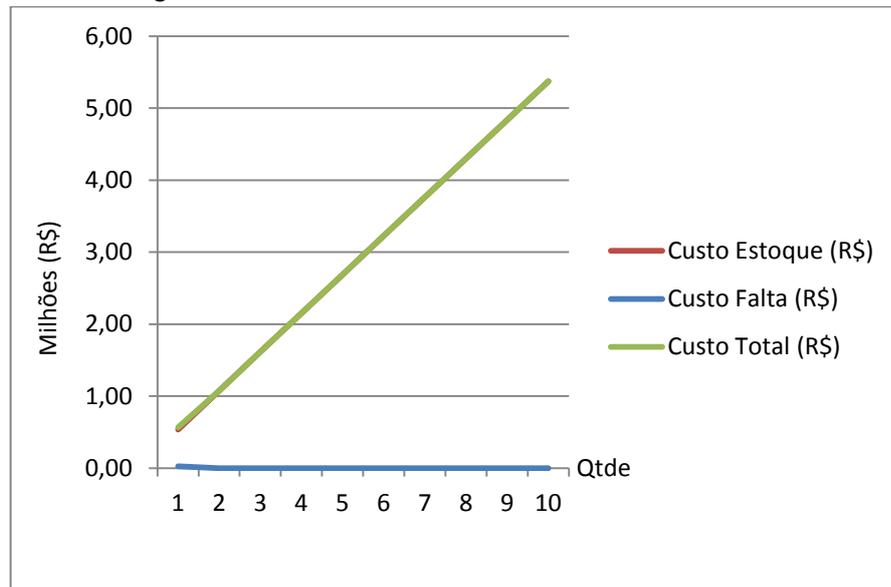
O item#12 apresentou estoque alvo de 2 unidades com nível de serviço de 99,44%.

Tabela 28: Custo ótimo para o item#12

Estoque Total	Custo Estoque (R\$)	Custo Falta (R\$)	Custo Pedido (R\$)	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
1	537.484	26.839	80	0,564%	99,436%	51.753	26.759	564.323
2	1.074.968	1.013	40	0,021%	99,979%	1.882	973	1.075.981
3	1.612.452	53	27	0,001%	99,999%	52	27	1.612.505
4	2.149.936	21	20	0,000%	100,000%	1	1	2.149.956
5	2.687.419	16	16	0,000%	100,000%	0	0	2.687.435
6	3.224.903	13	13	0,000%	100,000%	0	0	3.224.917
7	3.762.387	11	11	0,000%	100,000%	0	0	3.762.399

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 34: Gráfico dos custos associados item#12



Fonte: Elaborado pelo autor

4.7.13. Resumo dos resultados obtidos para os 12 itens

Tabela 29 – Custo ótimo para os 12 itens

Item	Estoque Total	Risco de Falta	Nível Serviço	Custo Parada (R\$)	Custo Urgência (R\$)	Custo Total (R\$)
#1	1	3,424%	96,576%	217.952	101.517	508.714
#2	2	5,691%	94,309%	362.271	165.974	813.156,85
#3	4	10,429%	89,571%	569.101	204.095	1.152.544
#4	3	5,351%	94,649%	234.961	83.698	601.375
#5	2	11,017%	88,983%	238.195	87.322	334.499
#6	1	14,119%	85,881%	234.378	92.063	180.722
#7	6	1,815%	98,185%	87.142	66.243	701.625
#8	2	7,780%	92,220%	169.027	117.512	386.537
#9	2	1,387%	98,613%	61.583	41.820	420.113
#10	5	1,560%	98,440%	200.428	134.551	1.160.374
#11	2	18,601%	81,399%	2.262.906	1.568.835	3.794.413
#12	1	0,564%	99,436%	51.753	26.759	564.323

Fonte: O autor

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Primeiramente serão analisadas as observações diretas da aplicação do método e as relações entre as diversas variáveis envolvidas. Em seguida serão realizadas simulações que envolvam variações de determinados parâmetros para revelar relações mais profundas, que não estejam expostas pelas observações diretas.

5.1 RESULTADOS DE OBSERVAÇÕES DIRETAS

O custo total do estoque é a soma do custo do estoque com o custo da falta. Essas três variáveis caracterizam o método pelas suas particularidades. O custo do estoque é crescente e aumenta a cada unidade comprada. O custo da falta tem comportamento contrário e diminui quando o estoque aumenta. Por ser o custo total do estoque a soma desses custos, verifica-se, em determinado momento, um ponto de mínimo da curva do custo total com a variação da quantidade projetada, sendo esse o menor custo total determinado pelo método.

Todos os demais custos envolvidos impactam direta ou indiretamente na variável custo total, ou por meio do custo do estoque, ou do custo da falta. O custo de estoque é diretamente proporcional ao custo do item, ao custo de armazenagem, ao custo de capital e ao custo da perda; sendo assim, a variação positiva ou negativa em qualquer um desses custos irá alterar no mesmo sentido a variável custo total.

A distribuição de Poisson influencia diretamente a variável custo total, uma vez que os custos de máquina parada e o custo total de urgência são ponderados pela probabilidade obtida da distribuição de Poisson.

O custo da falta estabelece uma relação de escolha do menor custo entre o custo de máquina parada e o custo da urgência, desde que haja possibilidade de se adquirir o item com *lead time* menor (*lead time* de urgência). Logo, a variável custo total tem uma componente originada no custo da falta do item, que, por sua vez, é determinado pelo menor custo, entre correr o risco de ruptura no *lead time* normal, ou optar por um custo maior, dentro do *lead time* de urgência.

A relação entre as características dos itens, como a intermitência, o alto custo, a criticidade e o custo da falta, dentro da distribuição de probabilidades de Poisson mostra que o método é eficiente em custo, quando o saldo de estoque estiver no estoque “alvo”. Quando observados os valores de custo total no pontos vizinhos ao estoque “alvo”, nota-se um aumento do custo em qualquer direção. Sendo assim, manter níveis fixos de estoque na quantidade “alvo” fornecida pelo método, significa manter custos mínimos de estoque de itens.

A aplicação do método de estudar probabilidades, aplicando as variáveis de custo, propõe a aquisição de novo item no momento em que a quantidade de produtos em estoque se torne menor que o preconizado como estoque “alvo”. Isso justifica o fato do estudo estar restrito ao *lead time*, pois o estoque utilizado deverá ser repostado na mesma quantidade consumida, fazendo sempre com que o estoque volte ao estoque “alvo” através do *lead time* ou do *lead time* de urgência.

Para entendimento do método é importante diferenciar a diferença entre estoque “alvo” e ponto de pedido. O ponto de pedido é a quantidade que quando atingida inicia-se o processo de compra, sendo o consumo decrescente e superior a este ponto. Para o método proposto, o estoque “alvo” é a quantidade ideal de estoque, uma constante que sempre que for variada para baixo deverá haver uma resposta em compra, na mesma quantidade consumida de forma a retornar o estoque a este ponto “alvo”.

Uma análise da variável lote de compra, para este método, iguala-a a quantidade consumida, é dizer, a reposição sempre será igual à quantidade de consumo para que o estoque retorne ao seu ponto de menor custo.

Mantendo uma quantidade fixa no estoque, o *lead time* só existirá quando um consumo for registrado, ou seja, esta unidade consumida já faz parte da estatística para reposição, com isto, a soma do saldo em estoque com os pedidos em aberto, sempre será igual ao estoque “alvo”.

Nota-se pelo método que, mesmo quando existe um consumo e a quantidade abaixa em relação ao estoque alvo, as probabilidades de rupturas envolvidas satisfazem a condição de segurança operacional estabelecendo um nível de serviço relacionado ao menor custo total. Esta segurança probabilística estabelece a condição de tempo (*lead time*) para o estoque retornar ao seu ponto de mínimo custo ou, estoque “alvo”.

5.2 SIMULAÇÃO DOS RESULTADOS NAS SÉRIES TEMPORAIS

O custo total é a soma do custo de estoque com o custo da falta, que, por sua vez, obedece ao algoritmo descrito na seção 4.6.2. Observa-se, neste algoritmo que a influência do custo de máquina parada (custo da falta) é grande e determina para todos os itens a aquisição pelo *lead time* de urgência, por representar o menor custo de falta. Isso mostra que o elevado valor de máquina parada para todos os itens estudados determinará, em todos os casos, a utilização do *lead time* de urgência.

Para analisar a qualidade dos resultados obtidos, os valores calculados pela distribuição de Poisson no algoritmo de menor custo foram simulados nas séries temporais de consumo fornecidas pelas empresas – apêndice A. Os resultados obtidos como projeção de demandas foram realimentados nas séries temporais, e são apresentados na tabela 30.

Tabela 30 – Custo ótimo para os 12 itens

Item	LT urgência (dias)	Quantidade Projetada (unidades)	Período de análise (dias)	Estoque descoberto (dias)	Dias de estoque descoberto (%)	NS Calculado (%)	NS Observado (%)	Erro NS (%)
#1	45	1	1095	15	1,36%	96,57%	97,2%	0,65%
#2	45	2	1095	30	2,74%	94,31%	97,2%	3,06%
#3	30	4	1095	0	0,00%	89,57%	100%	11,64%
#4	30	3	1095	30	2,74%	94,65%	100%	5,65%
#5	30	2	1095	90	8,22%	88,98%	94,44%	6,13%
#6	30	1	1095	330	30,1%	85,88%	86,11%	0,27%
#7	90	6	1095	0	0%	98,18%	100%	1,85%
#8	80	2	1095	90	8,22%	92,22%	100%	8,46%
#9	60	2	1095	30	2,74%	98,61%	100%	1,41%
#10	60	5	1095	60	5,48%	98,44%	100%	1,58%
#11	60	2	1095	450	41,09%	81,39%	88,8%	9,10%
#12	30	1	1095	120	10,96%	99,43%	100%	0,57%

Fonte: O autor

Observa-se, na tabela 30, uma boa aderência dos valores calculados, comparados com a projeção de demanda e a simulação do resultado na cadeia de consumo, com erros entre 0,27% e 11,64% e média global do erro em 4,20%.

Analisando-se o percentual de dias, quando o estoque ficou exposto à ruptura, observa-se uma média global de 9,47%. Esse resultado deve ser interpretado como exposição à ruptura; porém, dentro do equilíbrio econômico, ou seja, mesmo com a exposição à falta, a própria distribuição de consumo do item, baseada em intermitências, é amparada pela distribuição de probabilidades de Poisson - mesmo ocorrendo a ruptura e a falta, a variável custo total será preservada em seu menor valor.

Uma observação importante da tabela 30, é que a realimentação dos resultados na série de dados, apresentou, em todos os casos, um nível de serviço maior que o nível de serviço esperado. Em alguns casos, mesmo com uma exposição a ruptura acima de 100 dias, o nível de serviço manteve-se dentro dos valores esperados e que representam o menor custo.

5.3 COMPARAÇÃO DO ERRO EM RELAÇÃO A INTERMITÊNCIA

Visualizando a tabela 30, nota-se uma aproximação do método em relação à simulação do resultado na série temporal. A tentativa de vincular os maiores erros ao estudo da intermitência está refletido na tabela 31.

Tabela 31 – Estudo do efeito da intermitência para os 12 itens

Item	Nível de serviço Calculado (%)	Nível de serviço Observado (%)	Erro (%)	Quantidade de zeros na série
#1	96,57%	97,2%	0,65%	33
#2	94,31%	97,2%	3,06%	29
#3	89,57%	100%	11,64%	16
#4	94,65%	100%	5,65%	20
#5	88,98%	94,44%	6,13%	25
#6	85,88%	86,11%	0,27%	30
#7	98,18%	100%	1,85%	18
#8	92,22%	100%	8,46%	27
#9	98,61%	100%	1,41%	30
#10	98,44%	100%	1,58%	21
#11	81,39%	88,8%	9,10%	23
#12	99,43%	100%	0,57%	34

Fonte: O autor

Nota-se que não existe uma relação direta entre o erro encontrado e a intermitência do item. O maior erro apresentado, 11,64%, possui intermitência com 16 zeros na série, enquanto, no item #7, para uma quantidade próxima de intermitência (18 zeros), o erro foi apenas de 1,85%.

Para as intermitências acima de 30 zeros na série, o erro encontrado foi próximo de 1%, mas não é conclusivo, pois a distribuição desses valores pode afetar o nível de serviço - uma série com duas ocorrências pode gerar rupturas se essas ocorrências forem muito próximas uma da outra.

5.4 EFEITO DA VARIAÇÃO DO CUSTO DO CAPITAL

O custo de capital atribuído nesse processo foi uma taxa referencial de mercado de 12% ao ano. Adotando-se uma variação de -50% no valor da taxa e reduzindo-a para 6% a.a., observa-se apenas uma leve redução no custo do estoque.

A tabela 32 mostra que a variação da taxa de juros do mercado não alteraria o comportamento para os doze itens estudados.

Tabela 32 – Quantidade e nível de serviço com a redução da taxa de mercado

Item	Quantidade projetada 12%	Nível de serviço projetado a 12%	Quantidade projetada 6%	Nível de serviço projetado a 6%
#1	1	96,57%	1	96,57%
#2	2	94,31%	2	94,31%
#3	4	89,57%	4	89,57%
#4	3	94,65%	3	94,65%
#5	2	88,98%	2	88,98%
#6	1	85,88%	1	85,88%
#7	6	98,18%	6	98,18%
#8	2	92,22%	2	92,22%
#9	2	98,61%	2	98,61%
#10	5	98,44%	5	98,44%
#11	2	81,39%	2	81,39%
#12	1	99,43%	1	99,43%

Fonte: O autor

O custo de estoque e, conseqüentemente o custo total, varia proporcionalmente com a redução da taxa referencial. No caso simulado, o custo de

estoque fica menor com a redução da taxa de mercado e o custo total, que tem uma parcela do custo de estoque, também sofre essa variação.

A variação da taxa referencial de mercado não altera as demandas projetadas, nem os níveis de serviços, mas torna mais caro ou mais barato o custo do estoque e o custo total, de acordo com a variação.

5.5 EFEITO DA VARIAÇÃO NO *LEAD TIME*

A variação do *lead time* apresenta-se com uma das mais significativas no método apresentado. A simulação em reduzir o *lead time* em 20% apresentou significativas variações no custo total, bem como promoveu alteração da quantidade projetada e do nível de serviço em vários itens, tal como mostra a tabela 33.

Ações de aproximação do fornecedor e ações que visem à redução do tempo de entrega dos itens dessa categoria, produzem efeitos significativos na redução de custo para o método.

Tabela 33 – Redução do *lead time* em 20%

Item	Quantidade projetada LT normal	Nível de serviço projetado LT normal (%)	Custo total LT normal (R\$)	Quantidade projetada LT reduzido	Nível de serviço projetado LT reduzido (%)	Custo total LT Reduzido (R\$)
#1	1	96,57%	508.714	1	97,72%	474.651
#2	2	94,31%	813.156	2	96,70%	743.389
#3	4	89,57%	1.152.544	3	86,20%	981.456
#4	3	94,65%	601.375	2	89,67%	506.885
#5	2	88,98%	334.499	2	93,36%	299.801
#6	1	85,88%	180.722	1	90,18%	152.691
#7	6	98,18%	701.625	5	97,93%	604.807
#8	2	92,22%	386.537	2	95,41%	338.294
#9	2	98,61%	420.113	1	93,99%	370.454
#10	5	98,44%	1.160.374	4	97,75%	1.014.816
#11	2	81,39%	3.794.413	2	88,30%	2.212.085
#12	1	99,43%	564.323	1	99,63%	554.951

Fonte: O autor

Observa-se que a redução do *lead time* interfere no custo total, reduzindo-o em todos os casos; porém, nem sempre a redução de custo implica redução do nível

de serviço. A variável *lead time*, quando reduzida, pode interferir na quantidade projetada pelo método, reduzindo o tamanho do estoque projetado e, conseqüentemente, gerando possibilidade de piorar a variável nível de serviço -, contudo, o ponto de mínimo da variável custo total se mantém. Nos casos em que a quantidade projetada se mantém, existe a variação do custo e do nível e serviço, mas essa variação não provoca alteração da quantidade em estoque.

6. CONCLUSÃO

Ao analisar as teorias sobre a Gestão de Estoques de itens de MRO aplicada aos itens “*slow moving*”, nota-se que a variável custo é de alta relevância dentro do contexto e representa um grande desafio em manter o nível de serviço adequado, que atenda às necessidades operacionais e, ao mesmo tempo, mantenha reduzido o custo de estoque.

Toda tratativa dada aos itens de MRO, com consumo intermitente, alto custo e alta criticidade deve ser analisada por intermédio do custo total e pelo nível de serviço, em seus resultados. Ao validar um modelo pela combinação dessas variáveis, observa-se uma boa performance na operação dos ativos em que os itens são submetidos.

Nesse foco, o modelo apresentado neste trabalho busca combinar exatamente esses dois pontos, por meio da utilização da distribuição de Poisson aos itens de baixo giro e intermitentes, em que é possível levantar uma distribuição das probabilidades e, com ela, acumular o nível de serviço. A cada distribuição de probabilidade encontrada, aplica-se, então, o estudo da variável custo total, em que se observa um ponto de mínimo dessa variável. Ao observar os vizinhos próximos a esse ponto de mínimo, verifica-se que o aumento do custo é proporcionalmente mais significativo que o ganho em nível de serviço.

Com a busca do estudo no valor mínimo da variável custo total, observa-se que o método nem sempre fornece o melhor nível de serviço. Para obter máximo nível de serviço, bastaria uma aplicação pura da distribuição de Poisson que quando agregada à variável custo total, revela o nível de serviço para o menor custo total do item, o que não significa que esse nível de serviço seja o maior, mas, sim, o nível de serviço que representa o menor custo.

O menor custo não apresentar o máximo nível de serviço é uma limitação do método proposto, que deve ser considerada bastante relevante em alguns setores da atividade econômica. Empresas cujo “*core business*” dependa de seus ativos fundamentalmente para segurança de seus negócios, podem ter suas operações fortemente afetadas com níveis de serviços mais baixos, como empresas aéreas que transportam vidas com seus ativos, ou empresas médicas que necessitam de seus ativos para manutenção de vidas, empresas geradoras de energia em que a

interrupção pode impactar restrições a populações, entre outros setores de produção que tenham características restritivas fortes.

A variável custo total é motivo de ambiguidade e discordância conceitual nas organizações e, os critérios de cálculos, nem sempre são diretos e unânimes. Em muitos casos, a restrição de dados, ou desorganização contábil, podem gerar erros no levantamento da variável custo total, convertendo todos estes problemas em limitações para métodos baseados em otimização de custos.

Outros pontos de limitação ao método são as restrições ambientais e de segurança, nas quais o nível de serviço baixo pode restringir a operação do ativo e gerar danos ambientais ou de segurança à vida de pessoas.

O método proposto é eficaz quando aplicado dentro do *lead time* e com o estoque sempre próximo ao estoque “alvo”. Ao aplicar os resultados dentro da série de consumo, observa-se uma aderência muito boa dos valores, em que os itens apresentaram baixa exposição à ruptura e nível de serviço próximo dos projetados. É importante ressaltar que essa exposição à ruptura, obtida na realimentação dos dados, está amparada pelo ponto de mínimo da curva do custo total.

Os resultados mostram que é impossível estabelecer uma relação da intermitência com o nível de serviço. Uma maior ou menor sequência de zeros no consumo não estabelece uma relação direta com o nível de serviço. O fundamental sobre a intermitência é que ela ocorra, pois é pré-requisito para aplicação do método.

Ao provocar uma variação brusca no custo de capital, não se geraram alterações das quantidades projetadas nem no nível de serviço, mas apenas uma redução no custo do estoque. O custo de capital não influencia diretamente os resultados de projeção de demanda, apenas o custo do estoque.

A variável mais significativa para gerar alterações nos resultados é a variável *lead time*. A redução ou aumento nessa variável influenciará, no mesmo sentido, as quantidades projetadas.

Portanto, o método mostra-se aderente para cálculo de demandas para a classe de itens delimitados pela pesquisa e como, prolongamento deste estudo é possível identificar novos elementos a complementar lacunas potenciais e/ou comparações, a saber:

- Aplicação de uma nova metodologia de determinação dos custos fundamentada em conceitos mais amplos;
- Aplicação de outros métodos matemáticos, substituindo Poisson, e aplicação do conceito do custo total para obter uma base de comparação ao método apresentado.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, C. **Se as máquinas falassem: uma conversa franca sobre a gestão de ativos industriais**. São Paulo: Ed. Saraiva, 2007.

AROZO, R. **Monitoramento de Desempenho na Gestão de Estoques**. COPPEAD/UFRJ, artigos Centro de Estudos em Logística, Disponível em: <www.cel.coppead.ufrj.br/fr-monitor.htm>. Acessado em 30/01/2014. 2006.

ARTS, J.; FLAPPER, S. D. Aggregate overhaul and supply chain planning for rotatables. **Annals of Operation Research**. n. 224, n. 1, p. 77-100, 2013.

ASSIS, R.; JULIÃO, J. **Gestão da manutenção de ativos – custos ao longo do ciclo de vida**. Lisboa. 2010. Disponível em: <http://www.rassis.com/artigos/Comunicacao%2010%20Congresso%20Manutencao.pdf>>. Acessado em 13/12/2014

BACCHETTI, A., SACCANI, N. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. **Omega**, v. 40, p. 722-737, 2012.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 4. ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial**. 1.ed., Rio de Janeiro: Atlas, 1995.

BALLOU, R. H. **Business Logistics Management: planning, organizing, and controlling the supply chain**. 4. ed., Londres: Prentice Hall, 1998.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. 1 ed., São Paulo: Saraiva, 2005.

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, 2000.

BOYLAN, J.E.; SYNTETOS, A. A. Forecasting for inventory management of service parts. **Complex System Maintenance Handbook**, v.20, p.479-506, 2008.

BRECCIA, Humberto. Aperfeiçoamento dos Custos na Logística Integrada. In. **Movimentação & Armazenagem**, p. 46-48, 1997.

CASTRO, R. L. **Planejamento e controle da produção e estoques: um survey com fornecedores da cadeia automobilística brasileira**. 2005. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

COLE, J. H. Updating a classic: “The Poisson distribution and the supreme court”. **Teaching Statistic**, v. 32, p. 78-80, 2010.

CORREA, H.; GIANESI, I.; CAON, M. **Planejamento programação e controle da produção: MRPII / ERP Conceitos, Usos e Implantação**. 2. ed., São Paulo: Atlas, 1999.

COUSINS, P. D; LAWSON, B.; SQUIRE, B. Supply chain management: theory and practice – the emergence of an academic discipline. **International Journal of Operations & Production Management**, v.26, n.7, p. 697-702, 2006.

DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1996.

DEKKER, R.; PINÇE, C.; ZUIDWIJK, R.; JALIL N. M. On the use of installed base information for spare parts logistics: A review of ideas and industry practice. **International Journal Production Economics**, v. 143, n. 2, p. 536 – 545, 2013.

DIAS, M. A. P. **Administração de Materiais: uma abordagem logística**. 4. ed., São Paulo: Atlas, 1993.

DIAS, M. A. P. **Administração de Materiais: princípios, conceitos e gestão**. 5. ed., São Paulo: Atlas, 2005.

DUNLAP, M.; STUDSTILL, S. A hands-on activity for teaching the Poisson Distribution using the stock market. **Teaching Statistic**, v. 33, n. 3, p. 88-92, 2013.

EAVES, A. **Forecasting for the ordering and stock-holding of consumable spare parts**. PhD thesis, Lancaster University, Department of Management Science, 2002. Disponível em: <http://www.andalus-solutions.com/PhD%20Thesis%20%28Eaves%29.pdf> Acessado em: 01/12/2014

EAVES, A.; KINGSMAN, B. Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts. **Journal of the Operational Research Society**, v. 55, n. 4, p. 431–437, 2004.

FELLER, W. **Introdução a teoria das probabilidades e suas aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

FLITCH, J. C. **Manutenção proativa pode economizar 10 vezes mais do que práticas de manutenção preditivas/preventiva convencionais**. Artigo Técnico, 2005, disponível em <pessoal.utfpr.edu.br/jmario/arquivos/proativa.pdf> acessado em 30 de janeiro de 2014.

FRANCISCHINI, P. G.; GURGEL, F.A. **Administração dos Materiais e do Patrimônio**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GASNIER, D. G. **A dinâmica dos estoques: guia prático para planejamento, gestão de materiais e logística**. 2 ed., São Paulo: IMAM, 2005.

GEORGE JÚNIOR, C. S. **História do Pensamento Administrativo**. São Paulo: Cultrix, 1994.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 5. ed., São Paulo: Atlas, 2010.

GRIPSRUD, G.; JAHRE, M.; PERSSON, G. Supply chain management – back to the future? **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 36, n. 8, p. 643-659, 2006.

HUISKONEN J. Maintenance spare parts logistics: special characteristics and strategic choices. **International Journal of Production Economics**, v. 71, p. 125-133, 2001.

JAARVELD, W. V.; DEKKER, R. Spare parts stock control for redundant systems using reliability centered maintenance data. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 96, p. 1576 – 1586, 2011.

KAUFMAN, L.; TRITT, C.; KORF, M.; LAUBE, A.; MATTHIES, H.; METZ, P. **Overhauling the network: Lfthansa Technik's decision for a stronger network within its European overhaul operations**. Case of Study, p.307-322, WHU Otto Beisheim School of Management, Vallender, Germany, 2007.

KETCHEN, D. J.; GIUNIPERO, L. C. The intersection of strategic management and supply chain management. **Industrial Marketing Management**, v.33, n. 1, p. 51-56, 2004.

KIM, J. S.; SHIN, K. C.; YU, H. K. Optimal algorithm to determine the spare parts inventory level for a repairable-item inventory system. **Computers & Operation Research**, v. 23, n. 3, p. 289-297, 1996.

KREVER, M. et al. Inventory control based on advanced probability theory, an application. **European Journal of Operation Research**, v.162, p. 342-358, 2005.

KUEHNE, M. J. **Logística de Materiais – Uma abordagem quantitativa**. Curitiba,. Disponível em: http://www.eteavare.com.br/arquivos/1595_1090.pdf. Acessado em: 16/01/2014, 2008.

LARA, M. **Planejamento como elemento de integração da cadeia de suprimentos MRO**. In Conferência de Planejamento e Gestão Estoques e MRO, São Paulo, 2014.

LENARD, J. D.; ROY, B. Multi-item inventory control: A multicriteria view. **European Journal of Operational Research**, v. 87, n. 3, p. 685-692, 1995.

LIMA, V. M.; COSTA, A. J. B., SILVA, A. P. Estudo de caso da logística de suprimentos do centro de distribuição oeste dos correios. **Gestão e Sociedade**, v.2, n.1, 2013.

LINDAHL, P.; ROBERT, K. H.; NY H.; BROMAN G. Strategic sustainability considerations in materials management. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 98-103, 2014.

LOPES, A. S.; SOUZA, E. R.; MORAES, M. L. **Gestão estratégica de recursos materiais: um enfoque prático**. 1. ed., Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 2006.

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R. **Planejamento e controle da Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MAKRIDAKIS, S.; WHELLWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. **Forecasting: methods and applications**. 3 ed., Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1998.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v.17, n. 1, p. 216-229, 2007.

MINAYO, M. C. de S. **O desafio do conhecimento**. 1 ed., São Paulo: Hucitec, 1993.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**, 2 ed. New York, Industrial Press Inc., 1997.

MOURA, C. de E. **Gestão de Estoques**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2004.

NEZAMODDINI, N.; KIANFAR, F.; TASH, F. H. Integrated strategic decision making using ANP. **Chinese Control and Decision Conference**, v. 1-6, p. 1996 – 2001, 2011.

OLIVEIRA, V. M. **Gestão de estoques de MRO em uma fábrica de rolamentos**. 2013. 101f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PAN, F.; NAGI, R. Multi-echelon supply chain network design in agile manufacturing. **Omega**, v. 41, p. 969-983, 2013.

PERSON, F. SACANNI, N. Managing the after sales logistics network – a simulation study. **Production Planning & Control**, v. 20, p. 125-134, 2009.

PINÇE, Ç.; DEKKER, R. An inventory model for slow moving items subject to obsolescence. **European Journal of Operation Research**, v. 213, p. 83-95, 2011.

PORRAS, E.; DEKKER, R. An inventory control system for spare parts at a refinery: An empirical comparison of a different re-order points methods. **European Journal of Operation Research**, v. 184, p. 101-132, 2008.

POZO, H. **Administração de recursos materiais e patrimoniais: uma abordagem logística**. 3. ed., São Paulo: Atlas, 2004.

REGO; J. R.; MESQUITA; M. A. Controle de estoque de peças de reposição: uma revisão de literatura. **Produção**, v. 21, n.4, p. 645 – 655, 2011.

REID, R. D.; SANDERS, N. R. **Gestão de Operações**. 1. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2003.

ROSA, R. A. **Gestão Logística**. 2 ed., Florianópolis: Capes, 2010.

SAGGIORO, E.; MARTIN, A.; LARA, M. Gestão de estoques MRO: otimizando a logística de peças de reposição. **Revista Mundo Logística**, v.1, n. 4, p. 6-10, 2008.

SAGGIORO, E., MARTIN, A., LARA, M. **Gestão de estoques MRO – Parte I**. Artigo técnico. 2012. Disponível em: <<http://www.visagio.com/blog/2012/07/gestao-de-estoques-mro/>>. Acesso em 28 jan 2014.

SANDVIG, J. C.; ALLAIRE, J. J. Vitalizing a service parts inventory. **Production and Inventory Management Journal**, v. 39, n. 1, p. 67-71, 1998.

SANTOS, A. M.; RODRIGUES, I. A. Controle de Estoque de Materiais com diferentes padrões de demanda: Estudo de caso em uma indústria química. **Gestão e Produção**, v. 13, n. 2, p. 223-231, 2006.

SHERBROOKE, C.C. Metric: a multi-echelon technique for recoverable item control. **Operations Research**, v. 16, p. 122-141, 1968.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed., Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVER, E., PYKE, D., & PETERSON, R. **Inventory Management and Production Planning and Scheduling**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

SIQUEIRA, R. **Gerenciamento do relacionamento com fornecedores: um estudo de caso em uma indústria de telecomunicações**. 2005, 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

SLACK, N., JOHNSTON, R., CHAMBERS, S. **Administração da Produção**, 2 ed., São Paulo: Atlas, 2009.

SODHI, S. M.; SODHI, N. S.; TANG, C.S. An EOQ model for MRO customers under stochastic price to quantify bullwhip effect for the manufacturer. **International Journal Production Economics**, 2014. *In press*.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento controle da produção**. 2. ed., São Paulo: Atlas, 2000.

WALLIS, W. The Poisson distribution and the Supreme Court. **Journal of American Statistical Association**, v. 31, n. 194, p. 376-380, 1936.

WANG, Q. A periodic-review inventory control policy for a two-level supply chain with multiple retailers and stochastic demand. **European Journal of Operation Research**, v. 230, p. 53-62, 2013.

WANKE, P. **Gestão de estoques na cadeia de suprimentos: Decisões e modelos quantitativos**. 3. ed., São Paulo: Atlas, 2011.

WANKE, P.; GOMES, A. V. P. Modelagem da gestão de estoques de peças de reposição através da cadeia de Markov. **Gestão e Produção**, v. 15, p. 57-72, 2008.

WANKE, P.; SALIBY, E. Proposta para gestão de estoques de novos produtos: solução do modelo (Q, r) para distribuição uniforme da demanda e do lead time de suprimento. **Gestão e Produção**, v.12, p. 1-9, 2005.

WANKE, P. **Gestão de Estoques de Peças de Reposição de Baixíssimo Giro**. Artigo técnico. 2002. Disponível em: <<http://www.cel-coppead.ufrj.br/fs-pesquisa.htm>>. Acesso em 30 jan. 2013.

WILLEMMAIN, 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, p. 375 – 387, 2004.

WILLIAMS, T. Stock control with sporadic and slow-moving demand. **Journal of the Operational Research Society**, v. 35, n 10, p. 939–948, 1984.

WOLDE, M. T.; GHOBBAR, A. A. Optimizing inspection intervals – Reliability and availability in terms of cost model: A case study on railway carriers. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 114, p. 137-147, 2013.

XAVIER, Julio Nascif. **Manutenção: Tipos e Tendências**. Artigo técnico, 2005. Disponível em: <<http://www.engeman.com.br/site/ptb/artigostecnicos.asp/manutencaotiposetendencias.zip>>:. Acessado em 13/12/2014.

YAMASHINA, H. The service parts control problems. **Engineering Costs and Production Economics**, v. 16, p. 195-208, 1989.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 3. ed., Porto Alegre: Bookman, 2005.

ITEM#11												
Ano 1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ano 2	2	0	0	2	0	0	1	1	0	0	2	1
Ano 3	0	0	2	1	0	0	1	0	0	2	0	1

ITEM#12												
Ano 1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ano 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ano 3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0