



**José Júnior Anastácio Cardoso**

**“Previsão de estoque inicial de itens eletrônicos  
sobressalentes reparáveis – Um estudo de caso aplicando  
o modelo METRIC”**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Antônio Fernando de Castro Vieira

Rio de Janeiro  
Setembro de 2009



**José Júnior Anastácio Cardoso**

**“Previsão de estoque inicial de itens eletrônicos  
sobressalentes reparáveis – Um estudo de caso aplicando  
o modelo METRIC”**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Antônio Fernando de Castro Vieira**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-RIO

**Prof. Madiagne Diallo**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-RIO

**Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-RIO

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 10 de setembro de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **José Júnior Anastácio Cardoso**

Graduou-se em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações de Santa Rita do Sapucaí – INATEL – MG em 1983. A partir desta data sua vida profissional foi dedicada às atividades dos setores de treinamento, manutenção e suprimento do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro, onde participou da concepção e implantação de vários projetos, inclusive do Projeto SIVAM. Atualmente continua dedicado às mesmas atividades no SISCEAB, atuando como membro da organização CTCEA.

#### Ficha Catalográfica

Cardoso, José Júnior Anastácio

Previsão de estoque inicial de itens eletrônicos sobressalentes reparáveis – Um estudo de caso aplicando o modelo METRIC / José Júnior Anastácio Cardoso; orientador: Antônio Fernando de Castro Vieira. – 2009.

136 f. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Sobressalente. 3. Previsão. 4. Demanda. 5. Poisson. 6. Estoque. 7. Endentamento. 8. Escalão. 9. Manutenção. 10. Modelo probabilístico. 11. Disponibilidade. I. Vieira, Antônio Fernando de Castro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

A meus pais,

Meus agradecimentos pela luta e exemplo de dedicação durante a minha formação.

À minha família, Dalva Maria, Germano e Lauro José,

Meus agradecimentos pelo entendimento quanto a minha ausência em vários momentos importantes de suas vidas.

A Deus,

Pela proteção, saúde e misericórdia a mim dispensadas.

## Agradecimentos

Ao fim de mais um Projeto em minha vida, há muitas pessoas que gostaria de agradecer.

Primeiramente, agradeceria aos dirigentes das entidades CTCEA e CISCEA por terem proporcionado a oportunidade de continuar a minha formação, dando um claro exemplo dos seus comprometimentos com o desenvolvimento das pessoas, fator basilar para o crescimento das partes rumo ao objetivo maior.

Gostaria de agradecer ao Cel Engº Walter Manhães pelo empenho e incentivo para que este projeto fosse levado avante.

Gostaria, também, de agradecer aos colegas, colaboradores internos e externos, Diretores CTCEA e CISCEA pelo apoio e incentivo.

Ao professor Antônio Fernando pelo apoio, orientação, correta postura pedagógica e paciência durante todo o trabalho, colocando-se a todo dispor, inclusive frente às dificuldades do mestrando em alguns momentos em conciliar as obrigações do trabalho e os deveres acadêmicos.

Para evitar cometer esquecimento no agradecimento de algum participante ou colaborador, deixo aqui meus agradecimentos a todos.

## Resumo

Cardoso, José Júnior Anastácio; Vieira, Antônio Fernando de Castro (Orientador). **Previsão de estoque inicial de itens eletrônicos sobressalentes reparáveis – Um estudo de caso aplicando o modelo METRIC**. Rio de Janeiro, 2009. 136p. Dissertação de Mestrado (opção profissional) – Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A previsão, aquisição e distribuição de sobressalentes de maneira otimizada é primordial para atender eficientemente qualquer sistema logístico de manutenção. Esta dissertação, por intermédio de um estudo de caso, trabalhou dados logísticos reais num espaço amostral extraído de uma proposta técnica e comercial para implantação de uma rede de comunicações em VHF para mostrar a comparação entre o modelo atualmente usado no Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro e o modelo intitulado “MULTI-ECHELON TECHNIQUE FOR RECOVERABLE ITEM CONTROL (METRIC)”, originariamente desenvolvido para o cálculo de estoques de sobressalentes para a Força Aérea Americana. A tônica principal desta comparação foi mostrar a diferença existente entre um modelo que trabalha a previsão e distribuição de estoque de itens sobressalentes unicamente enfocando a disponibilidade do item e o outro modelo que enfoca uma análise otimizada de disponibilidade sistêmica. Quando se usa as técnicas da modelagem do METRIC, o produto desta comparação demonstrou fatores de ganho apreciáveis na economia de recursos financeiros, na distribuição estratégica das quantidades de itens sobressalentes nos diversos escalões e na disponibilidade de itens no sistema. Por fim, observando os ganhos nos resultados calculados neste trabalho e considerando a difusão e aceitação do modelo METRIC por várias empresas e organizações governamentais ao redor do mundo, propõe-se que o Sistema Logístico do Controle do Espaço Aéreo passe a considerar o uso do modelo METRIC na implantação de novos sistemas e com isto podendo obter ganhos significativos na área operacional e logística.

## Palavras-chave

Sobressalente, Poisson, estoque, escalão, manutenção, modelo probabilístico, disponibilidade.

## Abstract

Cardoso, José Júnior Anastácio; Vieira, Antônio Fernando de Castro (Advisor). **Initial stock prevision of eletronic repairable spares items - A case study with application of the METRIC model.** Rio de Janeiro, 2009. 136p. Dissertação de Mestrado (opção profissional) – Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The needs, acquisition and distribution of spare parts in an optimized way is very important to support efficiently the logistic maintenance system. This job development, searching a case study that it had its scope in based real data existent on the technical and commercial Proposal for VHF communication Netware, has been worked this subject showing the comparison between the model now used in the Brazilian Air Space Control System and this entitled study "model MULTI-ECHELON TECHNIQUE FOR RECOVERABLE ITEM CONTROL (METRIC)" that it was developed to calculate of spare parts stocks level for the American Air Force. The main core for this comparison was to find the existent difference between the model what predicts the needs and replacement for the available stock levels of the item on hand against the another one that it works with an optimized analysis of the system availability. When it is used the techniques of the METRIC modeling, the product of this comparison demonstrated appreciable improvement of the logistics process and, mainly, for the budget resources, improving the strategic distribution of the spare quantity in the several echelons and in the availability of the items in system. Finally, observing the improvement by the calculated results of this job and considering the diffusion and acceptance of the METRIC model in the several companies and government organizations around the world. At the final, this job proposes that the logistics System of the Air Space Control becomes to consider the using of the tested model in the implementation for the new system and it may obtain significant winnings for the operational and logistics area.

## Keywords

Spares parts, Poisson, Stock control, echelon, maintenance, probabilistics models, availability.

Pensamentos...

- Todos apregoam que seus produtos são “confiáveis”.
- Muitos não quantificam, não testam, não consideram as normas pertinentes, e não julgam a Confiabilidade, a Manutenibilidade e a Disponibilidade de seus produtos e serviços.
- Poucos consideram a influência dos sensores e das Redundâncias ativas ou passivas. As garantias geralmente cobrem apenas falhas na “infância” dos produtos, e não os serviços a serem prestados na sua vida útil.
- Algumas assistências técnicas se preocupam mais com o faturamento de sobressalentes, na capacidade limite de insatisfação dos clientes.
- Poucas empresas se preocupam em adotar um treinamento eficaz para a análise de falhas e reparos (manutenção), normalmente gerando grande quantidade de relatórios inconsistentes e graves conflitos entre setores e pessoas.

A abordagem da nova qualidade do produto deve ser corajosa, muitas coisas inovadoras devem ser realizadas... o mercado mudou, os consumidores saberão selecionar os competentes e honestos.



# Sumário

1. Introdução	13
1.1. Introdução Geral ao Tema	13
1.2. Objetivo Geral	18
1.3. Objetivos específicos	18
1.4. Importância do Trabalho	18
1.5. Estrutura da dissertação	20
2. Situação Atual	21
2.1. Estrutura logística no SISCEAB	21
2.1.1. DECEA	23
2.1.2. PAME	23
2.1.3. Regionais	25
2.1.4. Sítios	26
2.1.5. Depósito da Aeronáutica	26
2.1.6. CABW e CABE	27
2.1.7. CISCEA	27
2.2. Atividades de Manutenção no SISCEAB	27
2.3. Sistema de Controle Logístico do SISCEAB	28
2.4. Catalogação	29
2.5. Definição e Quantificação de uma Lista Inicial de Sobressalentes	30
2.5.1. Metodologia de Previsão utilizada pela CISCEA	31
2.5.2. Cálculo da quantidade demandada de sobressalente	35
2.5.3. Estudo de caso	44
3. Proposta de Mudança	51
3.1. Conceitos básicos para Modelagem do “METRIC”	52
3.1.1. Estrutura e definição de variáveis para o modelo “METRIC”	53
3.1.2. Demanda	53
3.1.3. Política de Manutenção, Tempo de Reparo e Atividades de Manutenção	55
3.1.4. Média e Variância	56
3.1.5. Distribuição de Poisson	56
3.1.6. Teorema de PALM	57
3.1.7. Nível de estoque	58
3.1.8. Medidas de desempenho para Item e Sistema	59
3.2. Modelos para Definição de Estoques de Itens Reparáveis	61
3.2.1. Modelo de Estoque Base	61
3.2.2. METRIC	64
3.3. Exemplo de aplicação do METRIC	72
3.4. VARI-METRIC	86
3.4.1. Teoria para Múltiplos Escalões	87
3.4.2. Procedimentos e Definições para uso do VARI-METRIC	90
3.4.3. Disponibilidade ( $A_0$ )	97
3.4.4. Otimização	98
3.5. Solução do Caso Sistema Rádio VHF pelo Modelo VARI-METRIC	98

3.5.1. Preparação dos dados para VARI-METRIC	99
3.5.2. Resultados obtidos pelo VARI-METRIC	108
4. Conclusão e Sugestões	125
5. Referências bibliográficas	127
Anexo I	
Memória de Cálculo para Modelo CISCEA	129

## Lista de figuras

Figura 2.1 – Diagrama de Estrutura do SISCEAB	24
Figura 2.2 – Estrutura de Manutenção do Sistema Rádio	44
Figura 3.1 – Cenário do Modelo de Estoque Base	62
Figura 3.2 – Cenário do “METRIC”	66
Figura 3.3 - Gráfico do Sistema por Nível de Orçamento	85
Figura 3.4 – Sentido de cálculo das demandas e faltas	93
Figura 3.5 - “Fill Rate”	113
Figura 3.6 - Saídas para o Objetivo 3	119
Figura 3.7 - Saídas para o Objetivo 4	123

## Lista de tabelas

Tabela 2.1- Critérios da CISCEA para distribuição de sobressalentes	34
Tabela 2.2 - $P_s(x)$ sugerida em função de $A_0$	38
Tabela 2.3 - Critérios para dimensionamento dos Itens Sobressalentes	43
Tabela 2.4 – MTBF para os módulos dos Rádios	47
Tabela 2.5 - Quantidade de Sobressalentes por Localidade	49
Tabela 3.1 - Dados coletados sobre Faltas	60
Tabela 3.2 - Dados para o Problema – METRIC	73
Tabela 3.3 – Resumo da Quantidade e Distribuição de Estoque	85
Tabela 3.4 – Estruturação e dados sobre os equipamentos	101
Tabela 3.5 - Escalonamento e Tipo de Estação	102
Tabela 3.6 - Escalonamento e Tempos de Serviços	103
Tabela 3.7 - Valores para “MRR6”	105
Tabela 3.8 - Valores dos “NRTS”	106
Tabela 3.9 - Valores do "Repair Cycle Time - RCT"	106
Tabela 3.10 - Valores dos "Order & Ship Time"	107
Tabela 3.11 – Condições objetivo para o Projeto	108
Tabela 3.12 - Resumo das saídas para o Projeto	108
Tabela 3.13 - Resumo das saídas do Projeto para “Fill Rate” de 90%	109
Tabela 3.14 - Sobressalentes por Sítio	110
Tabela 3.15 - Saídas por Interação	111
Tabela 3.16 - Resumo das saídas para o Projeto	114
Tabela 3.17 - Resumo das Saídas do Projeto para Disponibilidade Operacional de 90%	114
Tabela 3.18 - Resumo das Saídas para o Projeto	115
Tabela 3.19 - Resumo das saídas do Projeto para $A_0$ - 90% e “Avg. Delay” – 15 dias	116
Tabela 3.20 - Saídas para Interação	117
Tabela 3.21 - Resumo das saídas para o Projeto	120
Tabela 3.22 - Saídas por Interação	120
Tabela 3.23 - Sobressalentes por sítio	122