

**ESCOLA NAVAL**

**DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DA CLASSE  
ENGENHEIROS NAVAIS RAMO DE MECÂNICA**



**Sistema para Predição da Procura de Sobressalentes (SPPS)**

**Tiago Miguel Paiva Ribeiro Carretas Passinhas**

**MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS ENGENHARIA  
NAVAL RAMO DE MECÂNICA**

2013



**ESCOLA NAVAL**  
**DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS**  
**NAVAIS – RAMO DE MECÂNICA**



**SISTEMA DE PREDIÇÃO DA PROCURA DE**  
**SOBRESSALENTES**

**Autor: 23508 ASPOF EN-MEC Tiago Miguel Paiva Ribeiro Carretas**  
**Passinhas**

**Orientador: Eng. Valter Martins Vairinhos**

**MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS, ESPECIALIDADE**  
**EM ENGENHARIA NAVAL, RAMO DE MECÂNICA**

2013



## ESCOLA NAVAL

### DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DA CLASSE ENGENHEIROS NAVAIS RAMO DE MECÂNICA

#### TESE DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS

### Sistema para Predição da Procura de Sobressalentes (SPPS)

O Mestrando,

*(assinado no original)*

---

ASPOF EN-MEC Carretas

Passinhas

O Orientador

*(assinado no original)*

---

Engenheiro Valter Martins

Vairinhos



## Epígrafe

*"O único lugar onde sucesso vem antes do trabalho é no dicionário."*

-Albert Einstein 1879-1955, Físico, Teoria da Relatividade



## Agradecimentos

Embora uma tese seja, pela sua finalidade académica, um trabalho individual, há contributos de natureza diversa que não podem e nem devem deixar de ser realizados. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

Ao Engenheiro Valter Martins Vairinhos, meu orientador, pela competência científica e acompanhamento do trabalho, pela disponibilidade, generosidade reveladas ao longo deste ano de trabalho, assim como pelas críticas, correções e sugestões relevantes feitas durante a orientação e que me ensinou com prazer e dedicação parte do que sei, bem como pela disponibilidade e amizade então demonstradas.

Ao CFR EN-MEC Marques da Costa, pela competência científica demonstrada na área do *software* SICALN, disponibilizando-me a ajuda do seu pessoal para me auxiliar ao longo desta dissertação.

Ao 2TEN STE-INF Teixeira Pinto, pelo incansável apoio moral, orientação e permanente disponibilidade no âmbito do SICALN, que me auxiliou em toda a investigação e sem o qual esta dissertação não seria possível.

Ao CFR EN-MEC Carmo Limpinho, Chefe do Departamento de Formação EN-MEC da Escola Naval que andou em constante preocupação tendo estimulado para a realização desta dissertação.

À minha namorada, Cristiana, que sempre me estimulou a crescer científica e pessoalmente, pelas inúmeras trocas de impressões, correções e comentários ao trabalho. Acima de tudo, pelo inestimável apoio familiar que preencheu as diversas falhas que fui tendo por força das circunstâncias, e pela paciência e compreensão reveladas ao longo deste ano.

À minha mãe Ana, pela compreensão e ternura sempre manifestadas apesar da falta de atenção e ausências, pela excitação e orgulho com que sempre reagiu aos resultados académicos do filho ao longo dos anos.



Ao meu pai Joaquim, pelos conselhos, ideias que me apresentou ao longo deste trabalho, pela excelente amizade, acolhimento e apoio manifestados.

Às minhas avós, Ana e Amélia, que apesar de tudo sempre me apoiaram em tudo o que fiz e certamente são das pessoas que mais se preocuparam comigo ao longo da minha vida.

A todos os meus amigos que souberam esperar que eu concluísse a dissertação e sempre me apoiaram e “obrigaram” a ficar em casa para a conseguir acabar, um bem haja a todos e um muito obrigado por tudo, esta dissertação também reflete um pouco daquilo que vocês são para mim.



## Dedicatória

*Dedico este trabalho às pessoas  
mais importantes da minha vida  
Pelo que me ensinaram e transmitiram  
Pelo apoio incondicional e incessante*

*Pelo que sou  
Aos meus pais  
À minha namorada  
À minha família  
Aos meus amigos*



## Resumo

Este Projeto de Dissertação surge no âmbito da necessidade da Marinha Portuguesa em conseguir prever as necessidades de sobressalentes, desde que são adquiridos ao Arsenal do Alfeite ou à Indústria Privada, até ao ponto em que são armazenados e posteriormente distribuídos pelas várias Unidades Navais. O problema consiste em tentar prever as necessidades de sobressalentes para apoio da manutenção (preventiva e corretiva) necessária para contrariar a degradação natural do material, associada à passagem do tempo e à utilização operacional previsível num horizonte temporal parametrizado, tendo em conta o Sistema de Gestão da Manutenção (S.G.M.) e a teoria da Fiabilidade dos Equipamentos.

Para tal, é necessário fazer uma análise do historial de intervenções (DN 60) presentemente informatizado no “*software*” SICALN, bem como a frequência de utilização das FIT (fichas técnicas de desmontagem, montagem, reparação de equipamentos e substituição de sobressalentes) utilizadas em manutenção preventiva, interpretando as suas várias dependências e correlacionando ambas com a predição de sobressalentes.

**Palavras Chave:** Marinha Portuguesa, Manutenção, Motores Propulsores, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes (SPPS).



## Abstract

This Thesis Project comes within the Portuguese Navy requirement in achieve a characterization on the consumption of spare parts, which are acquired from Arsenal do Alfeite, S.A. or private industry to the point where they are stored and subsequently distributed to the various naval units. The problem is to attempt to predict the needs of spare parts for both preventive and corrective maintenance required to counteract the natural degradation of the material associated with time and the expected operational use in pre-determined time horizon, taking into account Management System Maintenance (SGM) and the theory of reliability of equipment's.

For all this, it is necessary to analyze the historical data (DN 60) currently in SICALN, and the frequency of use of the FIT (factsheets disassembly, assembly, repair equipment and replacement parts) used in preventive maintenance, interpreting its various dependencies and correlating both with the prediction of spare parts.

**Keywords:** Portuguese Navy, Maintenance, MTU motors, Spares prediction system



## Lista de Acrónimos

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>AA</b>          | Arsenal do Alfeite   |
| <b>AIC</b>         | Aikaike's Information Criterion                                    |
| <b>BD</b>          | Base de Dados  |
| <b>BDC</b>         | Base de Dados de Catalogação                                       |
| <b>BIC</b>         | Bayesian Information Criterion                                     |
| <b>BIRCH</b>       | Balanced Iterative Reducing and Clustering using Hierarchies       |
| <b>BNL</b>         | Base Naval de Lisboa   |
| <b>CARM</b>        | Carta de Manutenção  |
| <b>CF</b>          | Cluster Feature  |
| <b>CFE</b>         | Cluster Feature Entry  |
| <b>CF-Tree</b>     | Cluster Feature-Tree   |
| <b>DA</b>          | Direção de Abastecimento   |
| <b>DN</b>          | Direção de Navios  |
| <b>DSM</b>         | Direção do Serviço de Manutenção                                   |
| <b>ESS</b>         | Error Sum of Squares   |
| <b>FIT</b>         | Ficha de Trabalho  |
| <b>FREM</b>        | Ficha de Relato de Manutenção                                      |
| <b>GAM</b>         | Distribuição Gama  |
| <b>PPH</b>         | Processo de Poisson Homogéneo                                      |
| <b>LEMS</b>        | Lista de equipamentos de manutenção semelhante                     |
| <b>LIMS</b>        | Listagens de material de substituição                              |
| <b>LR</b>          | Likelyhood Ratio   |
| <b>MP</b>          | Marinha Portuguesa   |
| <b>MTBF</b>        | Mean Time Between Failures   |
| <b>NNA</b>         | Número Nato de Abastecimento                                       |
| <b>NRP</b>         | Navio da República Portuguesa                                      |
| <b>ODT</b>         | Organismo de Direção Técnica                                       |
| <b>PLANMANCURT</b> | Plano Manutenção Curto Prazo                                       |
| <b>PLANMANLONG</b> | Plano Manutenção Longo Prazo                                       |
| <b>PLANOP</b>      | Plano Operacional  |
| <b>PLANOPNAV</b>   | Planeamento Operacional das Unidades Navais                        |
| <b>PROGMAN</b>     | Programa de Manutenção   |
| <b>SBA</b>         | Syntetos-Boylan Approximation                                      |
| <b>SGM</b>         | Sistema de Gestão da Manutenção                                    |
| <b>SIAGIP</b>      | Sistema Informático de Apoio à Gestão Integrada da Produção        |
| <b>SICALN</b>      | Sistema de Informação de Configuração e Apoio Logístico dos Navios |
| <b>SIGDN</b>       | Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional                     |
| <b>SMP</b>         | Sistema de Manutenção Planeada                                     |
| <b>SPSS</b>        | Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes                   |
| <b>SRTD</b>        | Sistema de Recolha e Tratamento de Dados                           |
| <b>TSS</b>         | Total Sum of Squares   |
| <b>UN</b>          | Unidades Navais  |



## Lista de Figuras

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1- Tipos de manutenção existentes na Marinha .....  | 17  |
| Figura 2- Estrutura Documental do SMP (Fonte: ILA 5 Alteração 1) .....   | 20  |
| Figura 3- Organograma PROGMAN .....  | 21  |
| Figura 4-Organograma SRTD (Fonte: Palestra ASPOF's EN-MEC- DRT3).....  | 24  |
| Figura 5- Modelo Delay-Time (Fonte: (WANG, A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimization, 2011)..... | 27  |
| Figura 6-Sumário Resultados Regressão Linear Múltipla.....   | 51  |
| Figura 7- Scatter Plot de consumos de artigos de manutenção preventiva de 1º escalão ao longo do tempo .....                                   | 54  |
| Figura 8-Scatter Plot de consumos de artigos de manutenção preventiva de 1º e 3º escalão ao longo do tempo.....                                | 55  |
| Figura 9-Dendrograma de distâncias binárias para Manutenção Preventiva .....   | 58  |
| Figura 10-Dendrograma de Distâncias em Quantidades para Manutenção Preventiva .  | 60  |
| Figura 11-Dendrograma de Quantidades com as Intervenções de Mais de 5 sobressalentes .....   | 62  |
| Figura 12-Silhueta do Cluster para LIMS W6 (IBM SPSS Statistics) .....   | 66  |
| Figura 13-"Two-Step" Clustering Analysis W5/W6 (IBM SPSS Statistics) .....   | 68  |
| Figura 14-Silhueta LIMS T9101.518 (IBM SPSS Statistics).....   | 70  |
| Figura 15-Two-Step "Cluster Analysis" LIMS T9101.518 (IBM SPSS Statistics) .....   | 71  |
| Figura 16-Silhueta LIMS T9101.507 (IBM SPSS Statistics).....   | 75  |
| Figura 17-Diagrama de ocorrências da LIMS T9101.518.....   | 84  |
| Figura 18-Diagrama de Intensidade de Ocorrência da LIMS T9101.507 .....  | 88  |
| Figura 19-"Custom Table" em SPSS com a descrição das variáveis e dos objetos .....   | 105 |
| Figura 19-Dendrograma de Exemplo .....   | 121 |
| Figura 21-Dendrograma criado através da Distância de Jaccard .....   | 124 |



## Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1-CARM de exemplo (Fonte: (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes-SPPS, 1984)).....  | 34 |
| Tabela 2-CARM Motores MTU 12V 1163 TB82(Fonte: Direção de Navios) .....  | 42 |
| Tabela 3-Análise de frequências NNA (Fonte: IBM SPSS Statistics®).....   | 43 |
| Tabela 4-Quantidades na Procura de Sobressalentes .....  | 44 |
| Tabela 5-Frequência de Requisição de Sobressalentes por Navio (Fonte: IBM SPSS Statistics®) .....  | 44 |
| Tabela 6-CrossTabulation Código_NavioxNúmero_Série (Fonte: <i>IBM SPSS Statistics</i> ®).....  | 45 |
| Tabela 7-Comparação das revisões W5 e W6 através dos DN59.....   | 69 |
| Tabela 8-Registo das Horas de Funcionamento para a LIMS T9101.518.....   | 73 |
| Tabela 9-Consumo de LIMS para cada data do Motor 5820019 .....   | 73 |
| Tabela 10-Consumo de LIMS para cada data dos Motor 5820020.....  | 74 |
| Tabela 11-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820017, 5820019, 5820020 .....  | 76 |
| Tabela 12-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820021, 5820022.....  | 77 |
| Tabela 13-Consumo de LIMS para uma data dos Motores 5820017, 5820019, 5820020, 5820021 .....   | 77 |
| Tabela 14-Consumo de LIMS para uma data dos Motores 5820022 e 5820022a .....   | 77 |
| Tabela 15-Horas de Funcionamento das LIMS W5 e W6 .....  | 80 |
| Tabela 16-Registo das Horas de Funcionamento às datas de ocorrência da LIMS T9101.518.....   | 83 |
| Tabela 17- Horas de Funcionamento para a LIMS T9101.518 (Ref: Tabela 8-Registo das Horas de Funcionamento para a LIMS T9101.518.....   | 84 |
| Tabela 18- Tabela para Teste de Laplace da LIMS T9101.507 .....  | 86 |
| Tabela 19-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820017, 5820019, 5820020(Ref: Tabela 11-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820017, 5820019, 5820020)..... | 88 |



|  |     |
|--|-----|
| Tabela 20-Tempos entre Horas de Funcionamento para os Motores de Série 5820021, 5820022, 5820022a (Ref: Tabela 12-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820021, 5820022)..... | 89  |
| Tabela 21-Tabela Gerada Através de Simulação-Manutenção Corretiva .....  | 98  |
| Tabela 22-Tabela gerada no simulador para frequências dos consumos de manutenção corretiva .....   | 99  |
| Tabela 23-Tabela Gerada através de Simulação Manutenção Preventiva.....  | 99  |
| Tabela 24-Frequência de consumo das LIMS .....   | 99  |
| Tabela 25-Tabela Exemplo.....  | 105 |
| Tabela 25- Tabela de Contingência .....  | 122 |



## Índice

|  |      |
|--|------|
| Epígrafe .....   | iii  |
| Agradecimentos .....   | iv   |
| Dedicatória.....   | vi   |
| Resumo .....   | vii  |
| Abstract.....  | viii |
| Lista de Acrónimos.....  | ix   |
| Lista de Figuras .....   | x    |
| Lista de Tabelas .....   | xi   |
| 1. Introdução.....   | 15   |
| 1.1 Objetivos .....  | 15   |
| 1.2 Justificação do Tema .....   | 15   |
| 1.3 Enquadramento .....  | 16   |
| 1.3.1 Conceitos de Manutenção.....   | 16   |
| 1.3.2 O Sistema de Gestão da Manutenção .....                                | 17   |
| 1.3.2.1 Sistema de Manutenção Planeada .....                                 | 18   |
| 1.3.2.2 Sistema de Recolha e Tratamento de Dados .....                       | 22   |
| 2. Estado da Arte .....  | 24   |
| 2.1 Revisão Bibliográfica .....  | 24   |
| 2.2 Um Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes (SPPS).....          | 29   |
| 2.2.1 Variáveis e seu significado .....                                      | 29   |
| 2.2.2 Especificação e descrição dos cálculos .....                           | 32   |
| 2.2.2.1 Exemplo para o Modelo de Predição da Procura de Sobressalentes ..... | 33   |
| 3. Metodologia para o sistema de predição da procura de sobressalentes.....  | 38   |



|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.1     | Problemas de Estimação para o Modelo de Cálculo e Estratégia Adotada .....  | 39 |
| 3.1.1   | Estatística Descritiva .....  | 43 |
| 3.1.2   | Modelo Proposto aos Motores MTU 12V 1163 TB82 .....   | 46 |
| 3.2     | Metodologia para estimação das horas de funcionamento .....   | 50 |
| 3.3     | Metodologia de Classificação Automática para identificação de Ações de Manutenção Preventiva e Corretiva .....            | 52 |
| 3.3.1   | “Two-Step Clustering Analysis” para confirmação da Metodologia de Classificação pelo Critério de Aglomeração de Ward..... | 65 |
| 3.3.1.1 | LIMS W5 e W6 .....  | 66 |
| 3.3.1.2 | LIMS T9101.518.....   | 70 |
| 3.3.1.3 | LIMS T9101.507 .....  | 74 |
| 3.4     | Metodologia para Estimação dos Parâmetros do Modelo em Manutenção Preventiva.....   | 78 |
| 3.4.1   | Revisões W5 e W6 .....  | 79 |
| 3.4.1.1 | Análise das LIMS W5 e W6 .....  | 80 |
| 3.4.1   | LIMS T9101.518 .....  | 81 |
| 3.4.1.1 | Análise da LIMS T9101.518.....  | 82 |
| 3.4.2   | LIMS T9101.507 .....  | 85 |
| 3.4.2.1 | Análise da LIMS T9101.507.....  | 85 |
| 3.4.3   | Determinação dos Valores $\lambda_i$ , $N_i(t)$ e $N_c(t)$ .....  | 90 |
| 3.4.3.1 | $N(t)$ .....  | 90 |
| 3.4.3.2 | $N_c(t)$ .....  | 92 |
| 3.5     | Metodologia para Estimação dos Parâmetros do Modelo em Manutenção Corretiva.....  | 93 |
| 3.6     | Sistema de Simulação de Dados .....   | 97 |
| 3.6.1   | Manutenção Corretiva .....  | 98 |
| 3.6.2   | Manutenção Preventiva .....   | 99 |



|   |  |     |
|---|--|-----|
| 3.7   | Inferência Bayesiana para Parâmetros PPH em Manutenção Preventiva..... | 100 |
| 3.7.1   | Aplicação à LIMS T9101.507 .....                                       | 101 |
| 3.7.2   | Aplicação à LIMS T9101.518 .....                                       | 103 |
| Anexo I do Capítulo 3- Construção das Matrizes Lógica e de Contingência de Consumos |  |     |
| 4.  | Conclusões.....  | 106 |
| 4.1   | Problemas Encontrados.....   | 106 |
| 4.2   | Discussão de Resultados .....  | 108 |
| 4.3   | Trabalhos Futuros .....  | 109 |
| Referências Bibliográficas.....   |  | 111 |
| Anexo I-“ <i>Query</i> ”  |  |     |
| Anexo II- DN60, Recolha de dados dos consumos de sobressalentes                     |  |     |
| Anexo III- DN59, Horas de Funcionamento dos Motores Propulsores                     |  |     |
| Anexo IV- Decomposição em Peças dos Motores Propulsores MTU                         |  |     |
| Anexo V- LIMS dos Motores MTU   |  |     |
| Anexo VI- Síntese de Classificação Hierárquica de Dados                             |  |     |
| Anexo VII- Síntese do Coeficiente de Jaccard e Método do K vizinhos mais próximos   |  |     |
| Anexo VIII- Síntese do Critério de Aglomeração de Ward                              |  |     |
| Anexo IX- “ <i>Two-Step Cluster Analysis</i> ”-Descrição das Etapas                 |  |     |



## 1. Introdução

### 1.1 Objetivos

A presente dissertação procura atingir os seguintes objetivos:

- a. Formular um sistema de predição da procura de sobressalentes (SPPS) que, tendo em conta as políticas de manutenção expressas nas cartas de manutenção do Sistema de Manutenção Planeada (SMP) da Marinha, o planeamento da manutenção, a experiência passada expressa nos dados históricos e a utilização operacional dos navios expresso no Plano Operacional seja capaz de prever as necessidades de sobressalentes num período de tempo futuro;
- b. Estimar os parâmetros do modelo tendo em conta os dados históricos do material (manutenção corretiva e preventiva) e da sua utilização operacional, usando, de modo dinâmico, metodologia estatística adequada;
- c. Aplicar a metodologia a desenvolver aos Motores MTU 12V TB82 das Fragatas Classe “Vasco da Gama”.

### 1.2 Justificação do Tema

As necessidades de sobressalentes resultam exclusivamente das políticas de manutenção em vigor e da utilização (real ou previsível) dos equipamentos.

Desta forma, é natural que se conceba um sistema capaz de combinar especificações dessas políticas e da experiência anterior não só com as políticas de manutenção como com a experiência operacional realizada no passado. O conhecimento acerca da previsível utilização operacional dos equipamentos e sistemas, a experiência passada, são fatores preponderantes para a criação de um modelo de predição que seja capaz de prever com precisão suficiente as necessidades de sobressalentes para um horizonte temporal especificado.



## 1.3 Enquadramento

### 1.3.1 Conceitos de Manutenção

No caso em estudo pretende-se abordar a problemática da Predição da Procura de Sobressalentes na Marinha Portuguesa (MP). Antes de mais é importante referir algumas noções importantes sobre a manutenção e sobre a Marinha. Qualquer equipamento em funcionamento contínuo ou intermitente está sujeito à deterioração. Como o nosso próprio corpo, os equipamentos também precisam de cuidados básicos.

Em (MANUTENÇÃO, 1984, p. 11) define-se manutenção como “... o conjunto de acções técnicas e administrativas tendentes a manter o material num dado estado especificado ou repô-lo nesse estado quando dele se tenha afastado”.

Mediante a estratégia aplicada existem vários tipos de manutenção que podem ser utilizados:

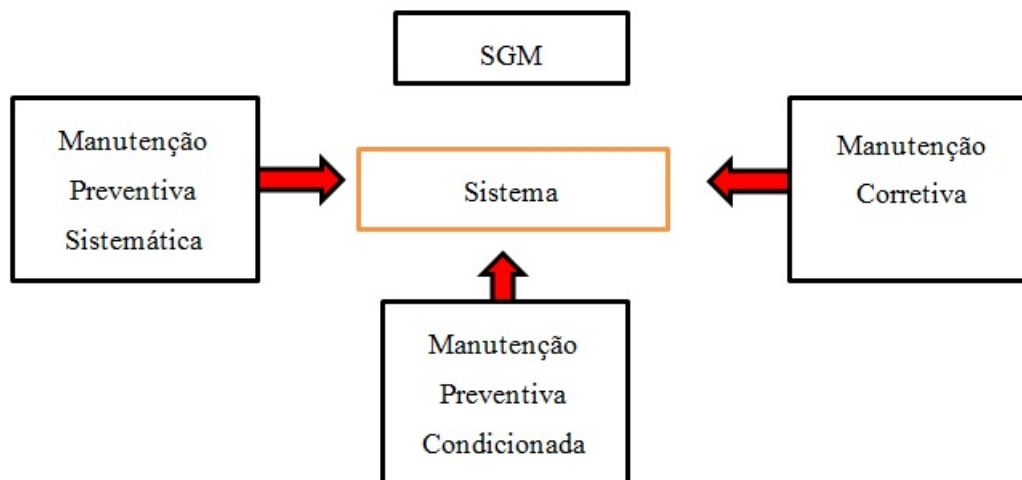
A manutenção corretiva que é utilizada quando uma avaria é detetada e destina-se a repor o equipamento a um determinado estado de funcionamento.

A manutenção preventiva que é aplicada para impedir a ocorrência de avarias. A manutenção preventiva tem como principais vertentes:

- 1- Manutenção condicionada, que consiste em realizar apenas as tarefas de manutenção resultantes de um processo de monitorização contínua dos equipamentos assente em várias técnicas de inspeção não destrutiva desses equipamentos e da vigilância do funcionamento, controlando os parâmetros mais importantes.
- 2- Manutenção sistemática que é efetuada em intervalos pré-estabelecidos, independentemente do estado dos equipamentos.



A Figura 1 apresenta os tipos de manutenção que podem ser utilizados para garantir o correto funcionamento dos sistemas e equipamentos a bordo das Unidades Navais (UN) da MP.



**Figura 1- Tipos de manutenção existentes na Marinha**

### 1.3.2 O Sistema de Gestão da Manutenção

A necessidade de manutenção das unidades navais e outras Unidades Auxiliares, de Marinha levou a MP a criar um Sistema de Gestão da Manutenção (SGM), de forma a assegurar uma maior disponibilidade do material naval compatibilizando assim a manutenção com os programas operacionais estabelecidos e a definir responsabilidades a vários níveis sobre o estado do material. Este Sistema é composto por um conjunto de conceitos e procedimentos que possibilitam a execução da manutenção a bordo dos navios da Marinha integrando também funções do sistema logístico. Este SGM, adotado pela Marinha, foi baseado no “3M System” da *US Navy- Material, Maintenance and Management* tendo sido criado através do despacho do ALM CEMA de 27 Maio de 1981.

De acordo com a (ARMADA, 1997, p. 11) “A manutenção do material naval respeita a todos os níveis de gestão e abrange todo o seu ciclo de vida”. Existia, assim, uma necessidade de criar um SGM para adequar procedimentos e técnicas aos navios. Pretendia-se que a manutenção garantisse uma maximização da disponibilidade



operacional dos meios navais, uma minimização dos custos de manutenção e uma maior manutabilidade<sup>1</sup> e fiabilidade do material.

Para tal, foi necessário definir uma estratégia assente em três componentes. A primeira, (NAVIOS, 1998, p. 12) “uma formulação correcta das medidas que correspondem à satisfação das necessidades”, em segundo “um planeamento objetivo da execução dessas medidas em face dos meios de acção disponíveis” e finalmente “um controlo eficaz da qualidade dessa execução”

Só com a criação do SGM, com que se pretendeu definir os critérios e procedimentos normalizados, (critérios esses que focalizam a rentabilidade dos recursos disponíveis, a manutabilidade, a fiabilidade do material e a redução dos custos de manutenção), foi possível aumentar a capacidade operacional dos meios reduzindo as paragens necessárias para manutenção, garantindo maior espaçamento entre intervenções e uma diminuição das intervenções não planeadas através de uma rigorosa avaliação das necessidades de reparação, utilizando técnicas de acompanhamento de condição por métodos não destrutivos<sup>2</sup> e medidas adequadas de reparação de equipamentos e componentes.

### ***1.3.2.1 Sistema de Manutenção Planeada***

Um sistema de manutenção requer um conjunto de documentos, devidamente organizados e estruturados, para que os executantes, o gestor de manutenção e demais intervenientes, executem as suas funções de modo normalizado e sistemático, garantindo a incorporação da experiência e boas práticas passadas, contribuindo para um bom desempenho e para o atingir o objetivo maior da organização: fornecer um produto de elevada qualidade. Por exemplo: entre estes documentos, é importante que exista um documento (a CARM – Carta de Manutenção) que estabeleça, para cada sistema ou equipamento, as linhas gerais, os procedimentos e regras de manutenção definidas pela política da organização.

O SGM assenta em 2 componentes: o planeamento e a informação.

---

<sup>1</sup> A manutabilidade de um sistema consiste na possibilidade deste, quando em falha, sofrer uma reparação ou restauro num determinado período de tempo, com procedimentos definidos.

<sup>2</sup> Inspeções visuais, análise de vibrações, termografia, etc.



Em (ARMADA, 1997) descreve-se sumariamente a necessidade da criação de um SGM, que englobe, de acordo com a mesma referência:

Um planeamento consubstanciado num Sistema de Manutenção Planeada (SMP) e por programas de ações de manutenção, visando especificar as necessidades e os procedimentos de manutenção a distribuir ao longo de um determinado espaço temporal as cargas de trabalho provenientes das necessidades de manutenção.

A informação, que de acordo com o (ARMADA, 1997, p. 12)“...deverá dispor de um sistema integrado de gestão que compreende a recolha, análise, tratamento e a difusão dos dados técnico-logísticos”, ou seja, visa a recolha e o tratamento das informações vindas das ações de manutenção, através de um subsistema de Informação-o Sistema de Recolha e Tratamento de Dados (SRTD).

A execução das ações de manutenção deve recorrer a um dos 3 níveis organizacionais e tecnológicos<sup>3</sup> de intervenção mediante a especificidade técnica e materiais necessários para a execução das manutenções com vista à concretização do planeamento e inclui o controlo da execução.

O Planeamento da manutenção preventiva envolve a inclusão de todas as análises e planeamentos associados aos diversos equipamentos garantindo a sustentação operacional ao longo do seu ciclo de vida<sup>4</sup>.

Este subsistema para além da recolha, pretende também tratar os dados registados para que possam ser efetuados os estudos estatísticos indispensáveis à tomada de decisão sobre o material e sobre as políticas de manutenção a seguir. Assim o SGM, define os requisitos de manutenção específicos para cada equipamento compilando a referida informação.

---

<sup>3</sup> Manutenções de 1º Escalão: todo o tipo de manutenção de equipamentos a bordo das unidades navais (geralmente manutenção por substituição).

Manutenções de 2º Escalão: Trabalhos de manutenção que excedem a capacidade do navio como tal são dados apoios pelo comando administrativo (Flotilha) para a realizar os trabalhos nas oficinas da BNL (SANFLOT).

Manutenções de 3º Escalão: Ações de manutenção preventiva ou corretiva de maior extensão e profundidade em que devido a sua complexidade excede os meios técnicos e oficiais da Marinha, este tipo de trabalhos geralmente são efetuados pelo Arsenal do Alfeite, SA ou por outra entidade fabril.

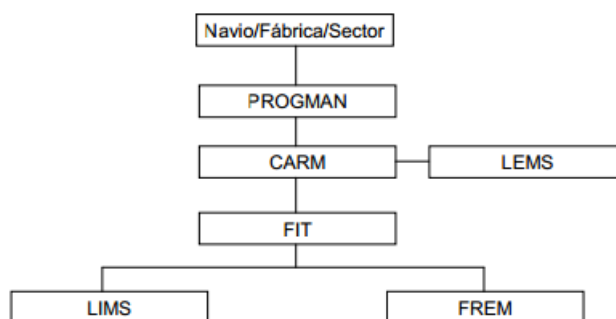
<sup>4</sup>É o gasto total do consumidor ao longo da vida do equipamento, incluindo não só o preço de compra mas também todas as ações de manutenção



Em suma, o SGM define requisitos de um Sistema de Manutenção Planeada consubstanciado num conjunto de documentos que definem objetivamente quais os equipamentos a intervir, o tipo de manutenção a que devem ser sujeitos a frequência e os meios necessários e os procedimentos.

O que se pretende com isto é normalizar os todos os documentos envolvidos na gestão da manutenção.

Esta informação existente no SMP está organizado de forma hierárquica como podemos ver pela Figura 2.



**Figura 2- Estrutura Documental do SMP (Fonte: ILA 5 Alteração 1)**

O documento generalista do SMP é o programa de manutenção (PROGMAN), que identifica os documentos do SMP que se encontram em vigor bem como o conjunto de cartas de manutenção (CARM), fichas de trabalho (FIT), listas de material de substituição (LIMS), Listas de Equipamento de Manutenção Semelhante (LEMS) e Fichas de Relato de Manutenção (FREM).

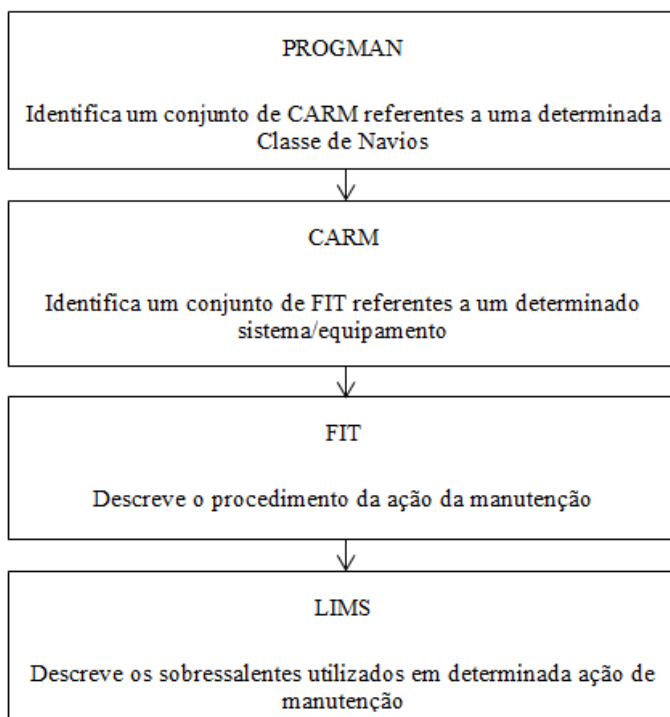
As CARM foram criadas com o intuito de expressar de forma normalizada qual é a política de manutenção para um equipamento ou sistema: o que deve ser feito, quando, por quem e em que circunstâncias. As CARM identificam um conjunto de trabalhos de manutenção preventiva relativa a um sistema ou equipamento contendo a relação de todas as ações que integram o ciclo de manutenção, estruturadas por tarefas e documentadas como FIT.



Para todos os sistemas e equipamentos a bordo das unidades navais é elaborada uma CARM.

A FIT é uma norma para realizar um trabalho ou tarefa de manutenção, mais específica, que para além das informações anteriores contém também o procedimento pormenorizado para a realização da tarefa de manutenção, precauções a ter durante a tarefa de manutenção, as listagens de ferramentas utilizar e sobressalentes a substituir (LIMS).

O resultado obtido é a normalização dos trabalhos de manutenção, deixando a tendência de que cada um invente os seus documentos para tarefas repetitivas.



**Figura 3- Organograma PROGMAN**

As LEMS são um documento que ao contrário das LIMS não precisam de estar associados a uma FIT para serem considerados válidos. Este tipo de documentos é importante para expandir uma CARM a mais que um sistema ou equipamento que tenham igual manutenção.

A FREM é uma ficha onde estão presentes os relatos das manutenções efetuadas.



Observe-se que estes documentos – os FITS por exemplo – correspondem a necessidades organizacionais universais, seja qual for o sistema de manutenção. Quando um trabalho deve ser realizado de modo que a experiência e boas práticas passadas, considerações de segurança e técnicas sejam tidas em conta, é necessário que essa experiência fique plasmada numa norma expressa por um documento. No SGM a esse documento chama-se FIT e é um instrumento fundamental que garante economia de recursos, evita avarias, garante a utilização da experiência acumulada, entre outros benefícios.

Em síntese: o SGM não impõe nenhuma política geral de manutenção; estas são definidas pelas CARM específicas em resultado de estudos de custos /benefícios. O que o SGM garante é a normalização, a eliminação de redundâncias, a utilização da experiência e boas práticas testadas pela experiência passada, evitando a “*contínua reinvenção da roda*” e que a experiência da organização é tida em conta e posta ao serviço da atividade futura.

### **1.3.2.2 Sistema de Recolha e Tratamento de Dados**

Este subsistema tem o objetivo do registo de dados que permitam construir o “histórico”, sob o ponto de vista dos recursos humanos, técnicos e económicos utilizados. Para cada equipamento é disponibilizada, pelo fabricante, toda a informação necessária à sua manutenção incluindo a descrição sumariada das tarefas de manutenção a realizar periodicidades, tempos de execução, qualificação técnica dos executantes, sobressalentes, respetiva documentação técnica e ferramentas especiais. Esta informação é compilada, de forma normalizada, mesmo quando não há informação do fabricante, pelo Organismo de Direção Técnica (ODT), ou seja, Direção de Navios (DN) e colocada em rede para todos os navios.

Como foi visto, a gestão da manutenção implica um sistema de informação fiável a tempo de servir de base à tomada de decisão. Para que se proceda à recolha e tratamento de dados foi então criado o Sistema de Informação de Configuração e Apoio Logístico dos Navios-SICALN. Este *software* é a infra estrutura que sustenta a gestão dos processos logísticos de aquisição, apoio do material naval e dos recursos a ele associados. O SICALN pretende satisfazer as necessidades imediatas do SGM através



da automatização dos processos manuais originados a bordo, designadamente os que se referem:

- a) Relato e requisição de ações de manutenção-DN 58 (Relato e Requisição de Intervenção).
- b) Informação de configuração dos equipamentos através de números funcionais<sup>5</sup>.
- c) Ao abastecimento nomeadamente com no que diz respeito às necessidades de sobressalentes (DN58) através do interface com o Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional (SIGDN).
- d) Outras informações, nomeadamente as informações mensais das horas de Funcionamento, consumos de equipamentos selecionados (DN59), que são os equipamentos com maior importância para qualquer navio, como o caso dos Motores Propulsores ou Geradores.

O SICALN tem toda a sua infraestrutura de informação armazenada numa *Oracle Data Base* x5<sup>6</sup> à qual as unidades navais têm acesso. O SICALN para além do interface com o SIGDN no que diz respeito à requisição de artigos para as intervenções, faz também o controlo dos artigos rotáveis e informa o consumo de artigos e tem também outros 2 interfaces: o Sistema Informático de Apoio à Gestão Integrada da Produção (SIAGIP), pertencente à Arsenal do Alfeite (AA), SA para elaboração de Listas de Fabricos para execução, catálogo de artigos, artigos consumidos nas intervenções, custos das intervenções, pedido de artigos necessários às intervenções e a Base de Dados de Catalogação (BDC) da Seção de Catalogação que procede à catalogação de artigos sem Número Nato de Abastecimento<sup>7</sup> (NNA) que é um código único e respetivo de apenas um conjunto de artigos com as mesmas características. Podemos então definir o SGM no contexto da informação através do seguinte organograma:

---

<sup>5</sup> Número que identifica um artigo de acordo com uma hierarquia num determinado sistema/equipamento

<sup>6</sup> Sistema de Gestão de Bases de Dados

<sup>7</sup> Código de identificação de artigo

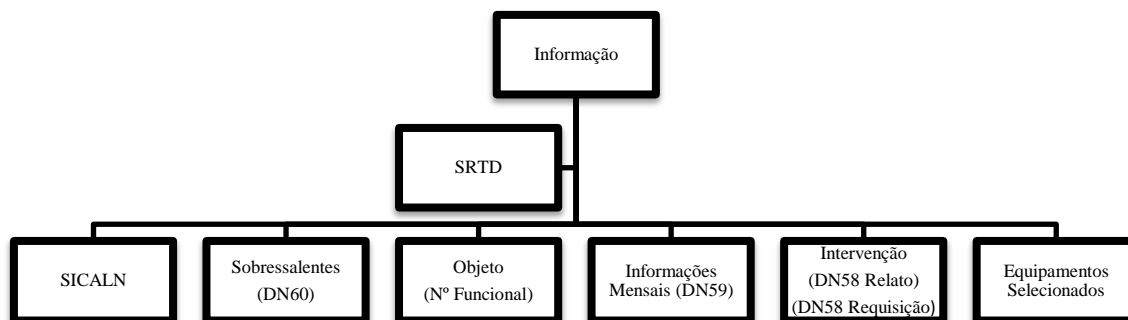


Figura 4-Organograma SRTD (Fonte: Palestra ASPOF's EN-MEC- DRT3)

Tendo como pano de fundo os princípios gerais em que se baseia a organização da gestão da manutenção na Armada, descrita sucintamente nos parágrafos anteriores, o SPPS é concebido com o objetivo de auxiliar o ODT em tarefas de predição de consumos de sobressalentes necessários à manutenção preventiva e corretiva de certos equipamentos específicos (seleccionados), tendo em conta um certo horizonte temporal futuro, a utilização operacional previsível dos navios em que esses equipamentos existem, para esse período e as políticas de manutenção estabelecidas através dos documentos do SGM- em particular CARMS, FITS, LIMS, LEMS.

A estimação dos parâmetros dos modelos a formular baseia-se na experiência passada da Armada tal como está preservada no SICALN.

O que se pretende com este trabalho é a conceção de um sistema desse tipo tendo como objeto específico os motores propulsores da Classe “Vasco da Gama”.

## 2. Estado da Arte

### 2.1 Revisão Bibliográfica

Os modelos de predição da procura são várias vezes confundidos com modelos de gestão de *stocks*.

A grande diferença entre os modelos de gestão de stocks e os modelos de predição da procura é que os primeiros entram com variáveis exteriores que não dependem do equipamento apenas. Os sistemas de predição de sobressalentes estão associados às



necessidades de manutenção tanto preventiva como corretiva. A grande semelhança entre estes modelos de Gestão de Stocks e os Modelos de Predição é que a “variável chave é a mesma” (WANG, 2011,1), isto é o gestor acaba sempre por ter que decidir qual o *stock* ótimo de sobressalentes.

Os modelos de predição de sobressalentes atualmente existentes são bastante generalistas. (SHENSTONE & HYNDMAN, 2005). Os padrões para predições de sobressalentes são bastante difíceis de determinar (WANG & SYNTETOS, 2010) pois efeito das variáveis exteriores ao próprio equipamento, isto é:

- a) Tempo entre chegadas dos sobressalentes;
- b) Quantidades de sobressalentes;
- c) Tempo para a chegada;

A previsão de necessidades de sobressalentes é bastante difícil já que a procura é aleatória e ocasional. (ROMEIJNDERS, TEUNTER, & JAARVELD, 2011) e prever os requisitos relevantes constitui um exercício desafiante (WANG & SYNTETOS, 2010). Dependente de caso para caso o método pode variar, portanto não podemos considerar que exista atualmente um modelo ótimo para prever as necessidades de sobressalentes.

Outro dos problemas associados à predição de sobressalentes é o horizonte temporal. Quando as procuras são conhecidas, os modelos mais indicados são os modelos de predição dinâmica visto o horizonte temporal se ampliar ou reduzir consoante a necessidade, no entanto, quando a predição é independente “*stochastic dynamic programming is still the best to achieve the global optimum*” (WANG, 2011, p. 5).

Existem vários métodos associados à previsão de necessidades como o método desenvolvido por Croston (1972); este é um trabalho de referência na área de gestão de stocks que levou os analistas a olharem para os problemas das necessidades não só num contexto temporal mas também posteriormente num contexto da manutenção.

Outras variantes do método de Croston são analisadas na literatura. No estudo comparativo de Teunter e Sani (2009) mostram que as variantes de Syntetos (2001) e



Syntetos e Boylan (2005) mostram resultados bastante bons da aplicação do seu modelo. Boylan e Syntetos detetaram alguns erros e propuseram uma alteração ao modelo elaborado por Croston, este novo modelo é uma aproximação ao modelo de Croston e foi denominado por *Syntetos-Boylan Approximation* (SBA).

Willemain et al. (2004) apresentou uma alternativa não-paramétrico para a previsão da procura. O método desenvolvido por Romeijners, Teunter & Jaarsveld (2011) apresenta um modelo mais sofisticado que para além de considerar a procura de sobressalentes considera o tipo de componente reparado. Este método foi testado numa empresa prestadora de serviços no setor de aviação, tendo-se concluído que este método é mais preciso que o desenvolvido por Croston em 1972. Para além de dar informação sobre operações de reparação e manutenção planeada, este método permite resultados ainda mais analíticos para explicar a aleatoriedade e a ocasionalidade das necessidades de sobressalentes.

Em geral, a predição das necessidades de sobressalentes tem vindo a desenvolver-se nos últimos anos, com várias alternativas apresentadas e várias opiniões que podemos considerar. No entanto, todos os estudos compartilham uma característica comum: tentam garantir a melhor modelagem possível para as questões e características específicas da procura, sem questionar o processo da procura em si.

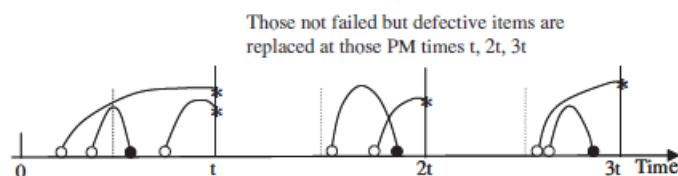
No nosso caso, o sistema de predição da procura de sobressalente (SPPS) proposto é um instrumento composto por um modelo de cálculo para determinar as necessidades de sobressalentes provenientes da manutenção corretiva e preventiva; para além do modelo de cálculo este comporta também um modelo metodológico que assume os princípios fundamentais da manutenção (que no caso da MP são CARM, FIT, LIMS, LEMS e FREM), bem como procedimentos gerais que definam que dados usar para estimar os parâmetros do modelo.

As necessidades de manutenção estão relacionadas com as substituições de artigos.

A procura previsível de sobressalentes depende do tipo de intervenção e das características da falha de um determinado equipamento. Vários desenvolvimentos têm sido efetuados nos últimos anos no que diz respeito aos intervalos entre manutenções e

melhorias na confiabilidade de sistemas. (WANG, 2002) são apresentadas uma série de notas sobre este tema. A manutenção planeada é determinada predominantemente pelo resultado das inspeções a realizar e pela ocorrência de avarias em vez de ser determinada pelo calendário, independentemente do estado das máquinas. Isso significa que a eventual ocorrência das necessidades dos sobressalentes são fenómenos eminentemente aleatórios.

Em (WANG, 2011) descreve-se o comportamento de um sistema que tendencialmente falha e desenvolve o seu modelo com base em atividades de manutenção planeada e corretiva. É separado o comportamento do componente em duas fases até falhar: o primeiro horizonte temporal é desde que está novo até ao ponto em que é detetada uma anomalia; o segundo é desde esta anomalia até à falha do equipamento. Este conceito de falha por estágios é denominado “*delay-time*” e é importante para a MP, por exemplo, no caso específico dos motores propulsores: se for detetada uma anomalia durante este período de “*delay-time*”, o artigo poderá ser retificado (reparado o componente ou substituído).



**Figura 5- Modelo Delay-Time (Fonte: (WANG, A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimization, 2011))**

Como ilustra a figura acima, o tempo passado entre a bola branca e a bola preta representa o tempo que decorre entre o instante em que o componente entra ao serviço com defeito e o instante de falha. Já o tempo decorrido entre o instante assinalado pela bola branca e o instante assinalado pelo asterisco representa o tempo durante o qual o componente permanece defeituoso até ser substituído numa ação de manutenção.

Ainda na Figura 5- Modelo Delay-Time (Fonte: pode-se observar quatro artigos que, com o passar do tempo poderiam, eventualmente, falhar; no entanto, com a manutenção preventiva, isso foi corrigido e ainda, caso a manutenção preventiva fosse



corretamente intervalada, mais uma falha se poderia ter evitado (como se pode observar na figura as linhas a tracejado representam outros instantes em que se devia ter efetuado manutenção). Eventualmente, se não tivesse ocorrido manutenção preventiva, todos os componentes iriam falhar.

Um bom planeamento e uma boa gestão poderão implicar maiores custos iniciais; contudo podem equilibrar as contas no final do ciclo, tendo em conta (WANG, 2011)- pode-se definir os custos de uma boa gestão da manutenção como:

- a. Custos da Manutenção Planeada=custo dos sobressalentes+ custo da mão de obra+ Custos relacionados com a paragem do equipamento
- b. Custos da Manutenção Corretiva=custo dos sobressalentes+ custo da mão de obra+ custos relacionados com a paragem do equipamento

As consequências de uma má gestão dos sobressalentes implicam:

- a. Custo da Manutenção Planeada=custo dos sobressalentes+ custo da mão de obra+ Custos relacionados com a paragem do equipamento+ os custos associados a uma necessidade imediata+ custos do tempo extra de espera pelos sobressalentes
- b. Custos da Manutenção Corretiva=custo dos sobressalentes+ custo da mão de obra+ Custos relacionados com a paragem do equipamento+ os custos associados a uma necessidade imediata+ custos do tempo extra de espera pelos sobressalentes

Para a manutenção preventiva “a procura de sobressalentes é um processo estocástico”, (WANG & SYNTETOS, 2011, p. 2) uma vez que é uma quantidade aleatória que depende do tempo: nunca se sabe *à priori* qual vai ser o resultado e as consequências de uma inspeção no âmbito de uma manutenção condicionada ou as necessidades exatas de todas as partes a substituir numa intervenção normalizada ou quantas ocorrências se verificarão de uma operação de manutenção normalizada durante um período de tempo futuro, pois na maioria dos casos as necessidades levam à substituição de outros sobressalentes. Na literatura vários autores estudaram a relação



entre a Manutenção Preventiva e o número de falhas e por conseguinte os seus custos nomeadamente (CHRISTER & M., 1984).

No caso concreto dos militares pode causar um impacto negativo na prontidão do equipamento, em último caso, se o equipamento for um equipamento preponderante o preço da manutenção dispara devido aos custos associados à rápida necessidade daquele sobressalente.

Na Marinha, o modelo apresentado em (VAIRINHOS, 1984) pretende combinar as necessidades resultantes das políticas de manutenção para os equipamentos com o planeamento operacional dos navios.

### **2.2 Um Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes (SPPS)**

No que se segue, resume-se as linhas gerais de um modelo de cálculo para a predição da procura das necessidades de sobressalentes, proposto em (VAIRINHOS, 1984, p. 15) à então Direção do Serviço de Manutenção (DSM).

#### **2.2.1 Variáveis e seu significado**

$e$  – Representa o número de equipamentos com o mesmo código de equipamento existentes na MP;

$n$  – Representa o número de artigos diferentes que compõem um dado equipamento;

$r$  – Representa o número de FIT aplicáveis à CARM que define a política de manutenção do equipamento;

$F_i$  ( $i = 1, \dots, r$ ) – Representam as FIT que ocorrem na CARM.

$q_i$  – Representa o vetor com as quantidades de cada um dos itens que compõem um exemplar do equipamento:



$$q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \dots \\ q_i \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix}$$

$c$  – Representa a matriz diagonal dos custos em escudos de cada um dos itens que compõem o equipamento (por unidade):

$$c = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n \end{bmatrix}$$

$p$  – Representa a matriz que contém as percentagens  $p_{ij}$ , definidas por:

$$P' = [p_{ij}] (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, r) = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1j} & \dots & p_{1r} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ p_{ir} & \dots & p_{ij} & \dots & p_{ir} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ p_{nr} & \dots & p_{ni} & \dots & p_{nr} \end{bmatrix}$$

$p_{ij} = \frac{q_{ij}}{q_i}$  – Representa a probabilidade de numa tarefa  $j$  se consumir o item  $i$ .

$q_{ij}$  – Representa a quantidade média de peças do tipo  $i$  que se substituem numa ocorrência da revisão ou tarefa do tipo  $j$ .

$q_i$  – Representa a quantidade de peças do tipo  $i$  existentes num só equipamento.

Seja:

$$P' = [q_i \times p_{ij}] (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, r) = [q_{ij}] (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, r)$$

Esta matriz contém para cada FIT em coluna os números médios dos sobressalentes que são substituídos quando o FIT ocorre.



$\lambda$  – Representa a matriz diagonal, contendo na diagonal principal, as taxas de falhas de cada um dos sobressalentes que constituem o equipamento, por unidade de tempo;

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_n \end{bmatrix}$$

$N(t)$  – Representa o vetor com o número de ocorrências no período  $(0,t)$  de cada uma das FIT que compõem o CARM, tendo em conta a manutenção relacionada.

$$N(t) = \begin{bmatrix} N_1(t) \\ \dots \\ N_i(t) \\ \dots \\ N_r(t) \end{bmatrix}$$

$Q(t)$  – Representa o vetor com as quantidades finais de cada um dos itens que compõem o equipamento necessário para no período  $(0, t)$  fazerem face à manutenção preventiva e corretiva, com manutenção relacionada incluída:

$$Q(t) = \begin{bmatrix} Q_1(t) \\ \dots \\ Q_i(t) \\ \dots \\ Q_n(t) \end{bmatrix}$$

$c(t)$  – Representa o vetor com os custos totais de cada um dos itens necessários no período  $(0, t)$ , para fazer face à manutenção preventiva e corretiva, tendo em conta toda a manutenção relacionada.

$$c(t) = \begin{bmatrix} c_1(t) \\ \dots \\ c_i(t) \\ \dots \\ c_n(t) \end{bmatrix}$$



$T$  – Representa as frequências (em anos ou noutra unidade de tempo adequada ao equipamento em causa) de ocorrência de cada uma das FIT da CARM.

$$T = \begin{bmatrix} T_1 \\ \dots \\ T_i \\ \dots \\ T_r \end{bmatrix}$$

### 2.2.2 Especificação e descrição dos cálculos

O objetivo do modelo de cálculo desenvolvido em (VAIRINHOS, 1984) é especificar a forma das funções  $F$  e  $G$  nas seguintes equações:

$$Q(t) = F(e, q, P, N(t), T, \lambda)$$

$$\zeta(t) = G(e, q, P, c, N(t), T, \lambda)$$

De acordo com o modelo apresentado, “a principal dificuldade não está neste cálculo mas na determinação dos  $N(t)$  que são função da manutenção relacionada das FIT.” (VAIRINHOS, 1984).

Como apresentado em (VAIRINHOS, 1984) supondo conhecidas estas variáveis e fazendo  $P' = [q_i \times p_{ij}]$ , uma das possibilidades para as funções  $F$  e  $G$  seria:

$$Q(T) = P'N(t) + et\lambda q$$

$$\zeta(t) = c \times N(t)$$

Assim,

$$Q(T) = Q_{prev}(t) + Q_{corr}(t), \text{ onde:}$$

$Q_{prev}(t)$  – Representa as quantidades para fazer face à manutenção preventiva, definidas por:

$$Q_{prev}(t) = P' \times N(t)$$



$Q_{corr}(t)$  – Representa as quantidades para fazer face à manutenção corretiva, definidas por:

$$Q_{corr}(t) = e \times t \times \lambda \times q$$

Para este modelo entra-se com todos os fatores envolvidos na manutenção, ou seja:

$q$  – Representa o equipamento;

$P$  – Representa a política de manutenção do equipamento (manutenção preventiva);

$\lambda$  – Representa a taxa de avarias (manutenção corretiva);

$N(t)$  – Representa o planeamento da manutenção (PLANMANLONG, PLANMANCURT, PLANOP E CARM);

### ***2.2.2.1 Exemplo para o Modelo de Predição da Procura de Sobressalentes***

Em (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes-SPPS, 1984, p. 21), apresenta-se o seguinte exemplo:

Seja o equipamento em causa definido por:

$$q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 10 \\ 1 \\ 15 \\ 20 \end{bmatrix}$$

Sejam as FIT respeitantes ao equipamento definidas por:

$R_1$  –Revisão Bianual;

$R_2$  –Revisão Geral;

$R_3$  –Revisão Semestral;



$R_4$  –Revisão Semanal;

E por conseguinte, a CARM que diz respeito ao equipamento representada por:

| FIT   | Periodicidade | Manutenção Relacionada |
|-------|---------------|------------------------|
| $R_1$ | $T_1/ano$     | $T_3, T_4$             |
| $R_2$ | $T_2/ano$     | $T_1, T_4$             |
| $R_3$ | $T_3/ano$     | -                      |
| $R_4$ | $T_4/ano$     | -                      |

Tabela 1-CARM de exemplo (Fonte: (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes-SPPS, 1984))

E sob a forma matricial:

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

A frequência para cada uma das FIT dada por:

$$T = \begin{matrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ ano \\ T_2 \\ ano \\ T_3 \\ ano \\ T_4 \\ ano \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ ano \\ 2 \\ ano \\ 2 \\ ano \\ 52 \\ ano \end{bmatrix} \begin{matrix} \longrightarrow & \text{Bianual} \\ \longrightarrow & \text{Ciclo} \\ \longrightarrow & \text{Semestral} \\ \longrightarrow & \text{Semanal} \end{matrix} \end{matrix}$$

Supondo que existem 4 equipamentos daquele tipo (igual código de equipamento) e que o período (t) em causa é 2 anos a contar da data presente, então tem-se:

$$(0, t) = (0, 2)$$

$$\text{Seja } N(t) = N(2) = \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 16 \\ 800 \end{bmatrix}$$



Estes valores têm agora de ser traduzidos em números de ocorrência de FIT tendo em conta a dependência das manutenções relacionadas- isto faz-se multiplicando o fecho transitivo<sup>8</sup> de  $\hat{R}$  da matriz de dependências por  $N(2)$ .

Seja,  $P$  a matriz de probabilidades de consumo dos 5 itens em cada uma das revisões normalizadas  $R_1$  a  $R_4$ .

$$P = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0,9 & 1 & 7/15 & 1/15 \\ 5/20 & 1 & 2/20 & 1/20 \end{bmatrix}$$

Seja,  $\lambda$  a matriz diagonal com as intensidades de ocorrência de avarias

$$\lambda = \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,05 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,05 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,01 \end{bmatrix}$$

As taxas de avarias expressas em itens de cada tipo avariados por unidade de tempo, por equipamento e por item, supostas constantes no período (0,2).

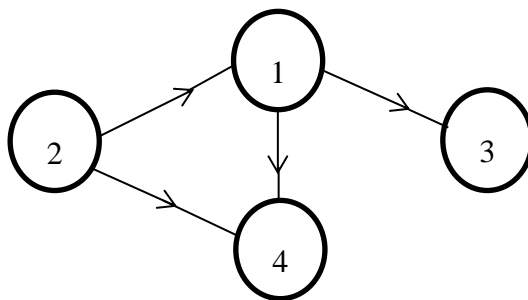
Repare-se que  $P' = [qi * p_{ij}] (i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, r)$

$$P' = \begin{bmatrix} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 14 & 15 & 7 & 1 \\ 5 & 20 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

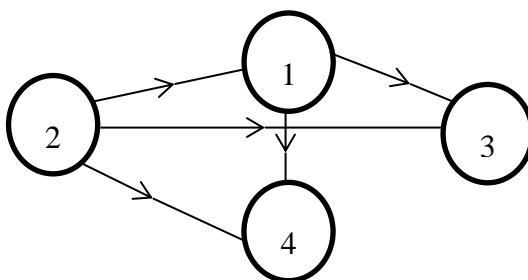
<sup>8</sup> Todos os vértices possíveis de ser alcançados, neste caso pela FIT 2.



O grafo correspondente ao quadro  $R$ , de acordo, com (VAIRINHOS, 1984) é:



De acordo com (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes-SPPS, 1984) o fecho transitivo correspondente é:



A que corresponde a matriz:

$$\hat{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Neste momento é possível observar a dependência da FIT3 relativamente à FIT2, o que não acontecia anteriormente.

Através do proposto em (VAIRINHOS, 1984) com base em  $N(2)$  e em  $\hat{R}$ , pode-se achar o vetor  $N_c(2)$  (corrigido) através de:

$$N_c(2) = \hat{R}^t N(2)$$

Ou seja,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 16 \\ 800 \end{bmatrix} =$$



$$\begin{bmatrix} 1 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 16 + 0 \times 800 \\ 0 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 16 + 0 \times 800 \\ 1 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 16 + 0 \times 800 \\ 1 \times 4 + 1 \times 2 + 0 \times 16 + 1 \times 800 \end{bmatrix}$$

Tem-se então:

$$T = \begin{bmatrix} 6 \\ 2 \\ 22 \\ 806 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \longrightarrow \text{Bianual} \\ \longrightarrow \text{Ciclo} \\ \longrightarrow \text{Semestral} \\ \longrightarrow \text{Semanal} \end{array}$$

Finalmente:

$$Q(2) = P'N(2) + et\lambda q \rightarrow Q(2) = Q_{corr}(2) + Q_{prev}(2)$$

$Q_{prev}(2)$  –Representa a quantidade necessária para manutenção preventiva.

$Q_{corr}(2)$  –Representa a quantidade necessária para manutenção corretiva.

$$Q_{prev}(2) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 14 & 15 & 7 & 1 \\ 5 & 20 & 2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 6 \\ 2 \\ 22 \\ 806 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \times 6 & 1 \times 2 & 0 \times 22 & 0 \times 806 \\ 5 \times 6 & 10 \times 2 & 0 \times 22 & 0 \times 806 \\ 0 \times 6 & 1 \times 2 & 1 \times 22 & 0 \times 806 \\ 14 \times 6 & 15 \times 2 & 7 \times 22 & 1 \times 806 \\ 5 \times 6 & 20 \times 2 & 2 \times 22 & 1 \times 806 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 2 \text{ sobressalentes } n^{\circ 1} \\ 50 \text{ sobressalentes } n^{\circ 2} \\ 24 \text{ sobressalentes } n^{\circ 3} \\ 1074 \text{ sobressalentes } n^{\circ 4} \\ 920 \text{ sobressalentes } n^{\circ 5} \end{bmatrix}$$

$$Q_{corr}(2) = 4 \times 2 \times \begin{bmatrix} 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,05 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,05 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,01 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 10 \\ 1 \\ 15 \\ 20 \end{bmatrix} = 8 \times \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,05 \\ 0,75 \\ 0,2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,4 \\ 6 \\ 1,6 \end{bmatrix}$$



Tem-se então:

$$Q(2) = Q_{prev}(2) + Q_{corr}(2)$$

$$Q(2) = \begin{bmatrix} 2 \\ 50 \\ 24 \\ 1074 \\ 920 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,4 \\ 6 \\ 1,6 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 2 \\ 50 \\ 25 \\ 1080 \\ 922 \end{bmatrix}$$

Que é o resultado final para os valores das variáveis

### 3. Metodologia para o sistema de predição da procura de sobressalentes

A Classe “Vasco da Gama” foi a escolhida porque é a classe de navios com maior informação presentemente no SICALN e também porque as fragatas pertencentes a essa classe são as mais antigas neste momento ao serviço da MP. Contudo, não existe historial de requisição para grande quantidade dos sobressalentes.

No que se segue, usando o modelo referido em 2.2 e assumindo que o SMP funciona como descrito atrás e que o SICALN contém não só os documentos relativos às políticas de manutenção em vigor como o historial da manutenção preventiva e corretiva do material naval, procura-se usar a informação acumulada nesse sistema até um certo instante para estimar os parâmetros do modelo especificado e portanto predizer as necessidades de sobressalentes num período de tempo futuro, de duração  $t$ .

A metodologia a desenvolver será apresentada através da informação existente no SICALN dos DN60 (Historial de Intervenções) deste 22-01-2005 até à data de 04-03-2013, relativamente aos motores principais das Fragatas da Classe “Vasco da Gama”. Acredita-se que a metodologia apresentada pode ser replicada para outros equipamentos importantes – tanto desta classe de navios como de outras classes.



### 3.1 Problemas de Estimação para o Modelo de Cálculo e Estratégia Adotada

Tendo já uma perspetiva dos tipos de manutenção aplicados aos navios da MP em 1.3.2.1 e da estrutura que a suporta, foi necessário extrair, através de uma “*query*”<sup>9</sup> em Anexo I-“*Query*” ao SICALN, os consumos de sobressalentes (Anexo II- DN60, Recolha de dados dos consumos de sobressalentes) nos Motores Propulsores MTU 12V 1163 TB82 da Classe “Vasco da Gama”. Para além desta informação, foi necessário obter os registos das horas de funcionamento para cada motor da série (Anexo III- DN59, Horas de Funcionamento dos Motores Propulsores), a decomposição em peças destes mesmos motores (Anexo IV- Decomposição em Peças dos Motores Propulsores MTU) e a respetiva CARM, que se encontra disponível na DN bem como as suas LIMS que se encontram em Anexo V- LIMS dos Motores MTU.

Ao recorrer à informação histórica do SICALN foram identificados vários problemas que afetaram a estimação dos parâmetros envolvidos no modelo proposto em (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes-SPPS, 1984), nomeadamente:

- a. A informação sobre os custos de cada sobressalente, ou não existe, ou em muitos dos casos a sua correção é duvidosa, pelo que se torna impossível determinar os custos associados a cada artigo com base no SICALN e consequentemente a matriz de custos  $c$  e  $C(t)$  propostas em (VAIRINHOS, 1984);
- b. A informação presente no historial de intervenções (DN60) não identifica quais os consumos de artigos que correspondem à ocorrência de um FIT, pelo que se torna impossível, com o atual conteúdo da Base de Dados (BD) do SICALN determinar diretamente, *a priori*, quais os artigos de manutenção preventiva (associados à ocorrência de FIT) e quais os de manutenção corretiva;

---

<sup>9</sup> *query* em Oracle for Toad ®, efetuada no SICALN para encontrar todas as intervenções em que se utilizaram sobressalentes



- c. A decomposição em peças não tem as quantidades exatas de cada sobressalente, sendo que muitos artigos têm quantidade “0”, sendo a quantidade  $q_{ij}$  definida em (VAIRINHOS, 1984) impossível de determinar com a exatidão assumida. Trata-se de erros de registo que podem ser progressivamente eliminados através de uma política de qualidade dos dados.
- d. As FIT apenas apresentam a descrição do artigo, não apresentando o NNA, o que torna difícil e demorada a identificação. Mais uma vez trata-se de defeitos corrigíveis por uma política de qualidade dos dados registados na BD SICALN.

Para usar o modelo, apesar dos problemas mencionados acima, foi necessário ignorar os custos, mesmo sabendo que é uma variável preponderante em qualquer modelo de predição, pois o que se pretende para além da estimação dos parâmetros de cada sobressalente são os custos inerentes às predições de necessidades dos mesmos. Esta questão dos custos dos sobressalentes e de outros custos associados à execução de trabalhos de manutenção terá necessariamente de ser equacionado em futuras revisões da BD SICALN sem o que nem este nem outros modelos de custos/benefícios poderão ser equacionados.

Para a problemática da identificação dos consumos de manutenção preventiva nos DN60 usando o atual conteúdo do SICALN é apresentada uma metodologia de classificação automática de dados- portanto listas de requisições de sobressalentes que se aproximem de LIMS. Ao utilizar esta metodologia assume-se que, em manutenção preventiva os sobressalentes das LIMS constituem listas padronizadas de sobressalentes cujo consumo ocorre em simultâneo.

O total de intervenções registadas no SICALN até à data de 04-03-13 é de 156 com um total de 1550 artigos solicitados (ver Anexo II- DN60, Recolha de dados dos consumos de sobressalentes).

As variáveis selecionadas através da “*query*” foram o código de intervenção<sup>10</sup>, *status*<sup>11</sup> da intervenção, número funcional<sup>12</sup> do artigo, NNA, nome do artigo,

---

<sup>10</sup> O código de intervenção é composto pelo código de navio (1x282 “N.R.P. Vasco da Gama”, 1x283 “N.R.P. Álvares Cabral”, 1x284 “N.R.P. Corte-Real”), pelo código da seção no âmbito do ODT (22 ou D3), o ano da requisição e o número da requisição, tal configuração atribui a cada intervenção um código único.



quantidade, data de início de trabalhos, data de fim de trabalhos, data de requisição, número de série do motor<sup>13</sup> e código de manutenção<sup>14</sup>.

Na decomposição em peças que contém 2031 artigos (Anexo IV- Decomposição em Peças dos Motores Propulsores MTU) para os Motores MTU 12V 1163 TB82, considerou-se que as quantidades “0” passariam a “1”, pois se estão na decomposição em peças pelo menos um exemplar daquele artigo está presente no equipamento.

No caso das FIT:

| <b>FIT</b> | <b>Trabalho</b>                               | <b>Periodicidade1/Periodicidade2</b> |
|------------|---|--------------------------------------|
| T9101.501  | <i>Operational checks and controls</i>        | Diária                               |
| T9101.502  | <i>Check Charge Air System</i>                | Semestral/250 Horas                  |
| T9101.503  | <i>Check sequential turbocharger control</i>  | Semestral/250 Horas                  |
| T9101.504  | <i>Take sample and analyze engine coolant</i> | Semestral/250 Horas                  |
| T9101.505  | <i>Take sample and analyze engine oil</i>     | Semestral/250 Horas                  |
| T9101.506  | <i>Change engine oil</i>                      | Anual/500 Horas                      |
| T9101.507  | <i>Change engine oil filter</i>               | Anual/500 Horas                      |
| T9101.508  | <i>Check valve gear</i>                       | Anual/500 Horas                      |
| T9101.509  | <i>Check exhaust gas system</i>               | Anual/500 Horas                      |
| T9101.510  | <i>Clean Fuel Filter</i>                      | Anual/500 Horas                      |
| T9101.511  | <i>Clean Raw Filter</i>                       | Anual/500 Horas                      |
| T9101.512  | <i>Lubricate diesel engine</i>                | Anual/500 Horas                      |
| T9101.513  | <i>Check Function of start pilot engine</i>   | Anual/500 Horas                      |

<sup>11</sup> O *status* representa o estado em que se encontra a Intervenção. Para a análise foram selecionados os *status* Fechado, Aprovado, Concluído, Validado, Para Fecho 2, Para Fecho 3, Para Aprovação 3. Os 3 últimos *status* dizem respeito às entidades administrativa (Esquadilha de Escoltas Oceânicas- 2) e técnica (Direção de Navios- 3).

<sup>12</sup> O número funcional é composto por 10 algarismos e permite a visualização do artigo na cadeia hierárquica do equipamento.

<sup>13</sup> Número de Motores Propulsores MTU 12V 1163 TB82 com o mesmo código de equipamento (03162). Para este código, no SICALN temos os motores com números de série 5820017, 5820018, 5820019, 5820020, 5820021, 5820022, 5820022a.

<sup>14</sup> Manutenção Preventiva 1º Escalão (11), Manutenção Preventiva 3º Escalão (31), Manutenção Corretiva 1º Escalão (31), Manutenção Corretiva 3º Escalão (33)



|                |  |                        |
|----------------|--|------------------------|
| T9101.514      | <i>Check function of coolant level</i> | Anual/500 Horas        |
| T9101.515      | <i>Check resiliant coupling</i>        | Anual/500 Horas        |
| T9101.516      | <i>Check valve gear components</i>     | Anual/500 Horas        |
| T9101.517      | <i>Check charge air system</i>         | Bianual/1500 Horas     |
| T9101.518      | <i>Check injection nozzle</i>          | Bianual/1500 Horas     |
| T9101.519      | <i>Flush coolant system</i>            | Bianual/1500 Horas     |
| T9101.520      | <i>Check engine mounting</i>           | Bianual/1500 Horas     |
| LIMS M9201 001 | W5                                     | 4 em 4 anos/4500 Horas |
| LIMS M9511 001 | W6                                     | 9000 Horas             |

Tabela 2-CARM Motores MTU 12V 1163 TB82(Fonte: Direção de Navios)

Foi necessário recorrer à CARM dos Motores MTU 12V 1163 TB82 tendo esta um total de 20 FIT e 2 LIMS para as revisões W5 “Descarbonização” e W6 “Revisão Geral”, ambas efetuadas em estaleiro (AA).

De acordo com a mesma CARM as únicas FIT contendo LIMS são as T9101.507, que diz respeito à troca do filtro de óleo, a T9101.518, que diz respeito à verificação dos injetores e as LIMS das rotinas W5 e W6.

Para identificar os artigos das FIT T9101.507 e T9101.518 foi necessário recorrer ao manual de peças do fabricante dos Motores MTU 12V 1163 TB82 e à respetiva CARM; contudo não foi possível identificar todos os artigos: na FIT T9101.507 foram identificados 2 artigos<sup>15</sup> e na FIT 9101.518 foram identificados 7 artigos<sup>16</sup>.

Em seguida, para obter generalizações sobre a população de dados dos DN60, dados esses que exprimem informação relevante relativamente ao historial de manutenção de cada motor, foi utilizada a estatística descritiva como metodologia para visualização das tendências de consumos de sobressalentes.

<sup>15</sup> 2940-121884349 (“Paper Elements”) e 5331-123183944 (“Disk Pack”).

<sup>16</sup> 5330-123350056 (“Sealing Ring”), 5330-121786403 (“O-Ring”), 5330-121879873 (“O-Ring”), 5331-121786289 (“O-Ring”), 5330-121786268 (“O-Ring”), 4730-123145609 (“Spring Washer”), e 5331-121786301 (“O-Ring”).



### 3.1.1 Estatística Descritiva

Foi realizada uma análise de frequências aos NNA em *IBM SPSS Statistics*® requisitados através dos DN60. Em seguida apresenta-se um extrato dessa mesma análise de frequência presente em CD-ROM Anexo no ficheiro “*Tabela\_Freq\_NNA.docx*”:

|        |                | Frequência | Percentagem |
|--------|----------------|------------|-------------|
| Valido | 0000-000000000 | 9          | ,6          |
|        | 2815-121426118 | 1          | ,1          |
|        | 2815-121875349 | 1          | ,1          |
|        | 2815-121883558 | 1          | ,1          |
|        | 2815-121892252 | 5          | ,3          |
|        | 2815-121906346 | 1          | ,1          |
|        | 2815-123118987 | 1          | ,1          |
|        | 2815-123196799 | 5          | ,3          |
|        | 2815-123338179 | 3          | ,2          |
|        | 2815-123348788 | 2          | ,1          |
|        | 2815-123348798 | 1          | ,1          |
|        | 2815-123349456 | 7          | ,5          |
|        | 2815-123349459 | 4          | ,3          |
|        | 2815-123349460 | 1          | ,1          |
|        | 2815-123349469 | 1          | ,1          |
|        | 2815-123349579 | 2          | ,1          |
|        | 2815-123349606 | 1          | ,1          |
|        | 2815-123349611 | 1          | ,1          |
|        | 2815-123353468 | 2          | ,1          |
|        | 2815-123477032 | 2          | ,1          |
|        | 2815-123477035 | 2          | ,1          |
|        | 2815-123478840 | 2          | ,1          |
|        | 2815-123479419 | 1          | ,1          |
|        | 2815-123498734 | 5          | ,3          |
|        | 2815-123543185 | 4          | ,3          |
|        | 2815-123600710 | 2          | ,1          |
|        | 2815-123600934 | 2          | ,1          |
|        | 2815-123600935 | 2          | ,1          |

Tabela 3-Análise de frequências NNA (Fonte: IBM SPSS Statistics®)

Através do ficheiro é possível observar um consumo de 548 de NNA



Após esta análise procurou-se fazer uma análise às frequências às quantidades requisitadas por sobressalente através dos DN60. De acordo com a decomposição em peças pode-se observar uma quantidade de 2031 artigos nos motores. Se apenas 548 foram requisitados, implica que exista uma procura nula de 1483 artigos. A Tabela 4 apresenta a análise de frequências às quantidades requisitadas.

| Requisição | Artigos Diferentes | Percentagem |
|------------|--------------------|-------------|
| 0          | 1483               | 73,01%      |
| 1          | 203                | 10,67%      |
| 2          | 156                | 8,20%       |
| 3          | 48                 | 2,53%       |
| 4          | 59                 | 3,10%       |
| +4         | 240                | 12,62%      |

**Tabela 4-Quantidades na Procura de Sobressalentes**

Sendo a quantidade total de NNA requisitados de 548 e observando a tabela verifica-se que existem 203 NNA com uma quantidade requisitada de 1, 156 NNA com uma quantidade requisitada de 2, 48 NNA com uma quantidade requisitada de 3, 59 NNA com uma quantidade requisitada de 4 e 240 NNA com uma quantidade requisitada superior a 4, pode-se concluir que existem vários NNA que são requisitados em diferentes quantidades, não se verificando assim um padrão nas requisições de artigos.

Posteriormente optou-se por verificar as frequências de requisições por navio, a análise de frequência encontra-se na tabela seguinte.

| Navio          | Frequência | Percentagem |
|----------------|------------|-------------|
| Vasco da Gama  | 434        | 28,0        |
| Álvares Cabral | 780        | 50,3        |
| Corte-Real     | 336        | 21,7        |
| Total          | 1550       | 100         |

**Tabela 5-Frequência de Requisição de Sobressalentes por Navio (Fonte: IBM SPSS Statistics®)**

Como é observável na tabela de frequências o navio com maior quantidade de NNA requisitados foi o N.R.P. “Álvares Cabral”. O total de 1550 representa a soma de todos os NNA requisitados (repetidos ou não) desde 2005.



Em seguida foi efetuada uma análise de *CrossTabulation*,<sup>17</sup> em *IBM SPSS Statistics*, por forma a observar quais os consumos de artigos por Navio e Motor. Desta maneira é possível observar a rotatividade dos motores pelos 3 Navios da Classe.

|       |         | SERIAL_NUMBER |         |         |         |         |         |          | Total |
|-------|---------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
|       |         | 5820017       | 5820018 | 5820019 | 5820020 | 5820021 | 5820022 | 5820022A |       |
| Navio | VGAMA   | 297           | 8       | 122     | 0       | 6       | 0       | 0        | 433   |
|       | ACABRAL | 0             | 0       | 183     | 429     | 3       | 165     | 0        | 780   |
|       | CREAL   | 0             | 0       | 0       | 0       | 228     | 95      | 9        | 337   |
| Total |         | 297           | 8       | 305     | 429     | 237     | 260     | 12       | 1550  |

Tabela 6-CrossTabulation Código\_NavioxNúmero\_Série (Fonte: *IBM SPSS Statistics* ®)

Como se pode observar na tabela, o único motor que passou nos 3 navios da classe foi o 5820021 apresentando, no entanto, apenas 237 requisições de artigos.

Existem ainda 2 motores: o 5820019 e o 5820022, que passaram por 2 navios da Classe, apresentando estes mais requisições que o 5820021.

O motor com maior quantidade de requisições é o 5820020 todas elas efetuadas no mesmo navio, que de acordo com a Tabela 6 também é efetivamente o navio com maior total de requisições.

Os motores de série 5820022a e 5820018 têm menos quantidade de requisições, sendo que o 5820022a foi comprado para substituir o motor 5820018 que estava no N.R.P. “Vasco da Gama”, sendo posteriormente substituído pelos motores 5820021 e 5820019.

Os descritivos do ficheiro de sintaxe do *IBM SPSS Statistics* ® (.sps) das tabelas de frequência e da *CrossTabulation* estão apresentados em CD-ROM no ficheiro “*Freq\_analysis\_&\_cross\_tab.sps*”.

<sup>17</sup> Metodologia aplicada para visualização de dados.



Em seguida apresenta-se o modelo proposto, que surge a partir de (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes-SPPS, 1984), para a estimação dos parâmetros dos motores MTU 12 V 1163 TB82.

### 3.1.2 Modelo Proposto aos Motores MTU 12V 1163 TB82

Número de Motores com o mesmo código de equipamento:

$$e = 7$$

Sendo, os motores de série:

1-5820017, 2-5820018, 3-5820019, 4-5820020, 5-5820021, 6-5820022 e 7-5820022a.

Número de artigos diferentes que compõem o equipamento (ver Anexo IV- Decomposição em Peças dos Motores Propulsores MTU):

$$n = 2031$$

O vetor com as quantidades de cada um dos itens que compõem um exemplar dos motores, também presentes na decomposição em peças:

$$q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \dots \\ q_i \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \dots \\ q_i \\ \dots \\ q_{2031} \end{bmatrix}$$

Número de FIT associadas à CARM (para este efeito selecionaram-se apenas as FIT com LIMS associadas<sup>18</sup>: T9101.507, T9101.518, W5 e W6), que define a política de manutenção dos motores:

$$r = 4$$

Então, para  $F_i (i = 1, \dots, r)$ , em que  $r = 4$ , tem-se:

---

<sup>18</sup> Onde são consumidos sobressalentes



$$Fi (i = 1, \dots, 4)$$

Que representa as FIT que ocorrem na CARM dos MTU 12V 1163 TB82, onde existem LIMS.

Para especificar como se realizam as estimativas é apresentada a matriz das taxas de falhas de artigos de manutenção corretiva para todos os motores, ou seja:

$$\widehat{\lambda}_{n,i} = \begin{bmatrix} NNA & e = 1 & e = 2 & e = 3 & e = 4 & e = 5 & e = 6 & e = 7 \\ s_1 & \widehat{\lambda}_{11} & \widehat{\lambda}_{12} & \widehat{\lambda}_{13} & \widehat{\lambda}_{14} & \widehat{\lambda}_{15} & \widehat{\lambda}_{16} & \widehat{\lambda}_{17} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_i & \widehat{\lambda}_{i1} & \widehat{\lambda}_{i2} & \widehat{\lambda}_{i3} & \widehat{\lambda}_{i4} & \widehat{\lambda}_{i5} & \widehat{\lambda}_{i6} & \widehat{\lambda}_{i7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_n & \widehat{\lambda}_{n1} & \widehat{\lambda}_{n2} & \widehat{\lambda}_{n3} & \widehat{\lambda}_{n4} & \widehat{\lambda}_{n5} & \widehat{\lambda}_{n6} & \widehat{\lambda}_{n7} \end{bmatrix}$$

Onde  $n$  representa a quantidade de artigos registados como manutenção corretiva<sup>19</sup> no SICALN.

Esta matriz  $\widehat{\lambda}_{n,i}$  foi proposta com o intuito de fornecer informação visual das taxas de falhas de cada artigo consumido em manutenção corretiva por motor propulsor.

Para a determinação de cada  $\widehat{\lambda}_{n,i}$ , tem-se:

$$\overline{MTBF} = \frac{1}{\widehat{\lambda}_{n,i}} \leftrightarrow \widehat{\lambda}_{n,i} = \frac{1}{\overline{MTBF}}$$

E posteriormente o vetor  $\widehat{\lambda}_{i,k}$ , definido por:

<sup>19</sup> Nota: Nem todos os artigos registados no SICALN como artigos de manutenção corretiva, foram consumidos, pelo que  $n = 318$ .



$$\bar{\lambda}_{i,k} = \begin{bmatrix} s_1 \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{1,k}}{e} \\ \vdots \\ s_i \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{i,k}}{e} \\ \vdots \\ s_n \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{n,k}}{e} \end{bmatrix} n = (1, 2, \dots, n_{corretiva}), k = (1, 2, \dots, e)$$

Para o modelo considera-se que os valores do vetor  $\bar{\lambda}_{i,k}$ , são constantes em todo o período de planeamento  $(0, t)$  tal que as taxas de falhas destes artigos seguem um PPH, definido por:

$$P(T \geq t) = e^{-\lambda t}$$

O vetor  $N(t)$  definido em (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes-SPPS, 1984) representa o número de ocorrências no período  $(0, t)$  de cada uma das FIT, com LIMS associadas, que compõem a CARM. Os valores de  $N(t)$  são função da intensidade de ocorrência ( $\widehat{\lambda}_i$ ) de cada uma das FIT e do período de planeamento  $(0, t)$ .

$$N(t) = \begin{bmatrix} N_1(t) \\ \dots \\ N_i(t) \\ \dots \\ N_r(t) \end{bmatrix},$$

Onde:

$$N_i(t) = \widehat{\lambda}_i \times T$$

O vetor  $N_c(t)$  representa o número de ocorrências no período  $(0, t)$ , de cada um dos FIT, com LIMS associadas, que compõem a CARM, tendo em conta a manutenção relacionada entre FIT.



$\bar{Q}$  é o vetor que define as quantidades médias consumidas de cada artigo tanto de manutenção preventiva como de manutenção corretiva.

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_1 \\ \vdots \\ \bar{Q}_i \\ \vdots \\ \bar{Q}_n \end{bmatrix} corr + \begin{bmatrix} \bar{Q}_1 \\ \vdots \\ \bar{Q}_i \\ \vdots \\ \bar{Q}_n \end{bmatrix} prev$$

Onde  $\bar{Q}_{corr}$  é função das quantidades de manutenção corretiva definidas por:

$$\left[ \begin{array}{c|ccccccc} NNA & 5820017 & 5820018 & 5820019 & 5820020 & 5820021 & 5820022 & 5820022a \\ s_1 & \bar{Q}_{1,1} & \bar{Q}_{1,2} & \bar{Q}_{1,3} & \bar{Q}_{1,4} & \bar{Q}_{1,5} & \bar{Q}_{1,6} & \bar{Q}_{1,7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_i & \bar{Q}_{i,1} & \bar{Q}_{i,2} & \bar{Q}_{i,3} & \bar{Q}_{i,4} & \bar{Q}_{i,5} & \bar{Q}_{i,6} & \bar{Q}_{i,7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_n & \bar{Q}_{n,1} & \bar{Q}_{n,2} & \bar{Q}_{n,3} & \bar{Q}_{n,4} & \bar{Q}_{n,5} & \bar{Q}_{n,6} & \bar{Q}_{n,7} \end{array} \right]$$

$$\frac{\bar{Q}_{i,k}}{e} = \begin{bmatrix} s_1 & \sum_{k=1}^e \frac{\bar{Q}_{1,k}}{e} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ s_i & \sum_{k=1}^e \frac{\bar{Q}_{i,k}}{e} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ s_n & \sum_{k=1}^e \frac{\bar{Q}_{n,k}}{e} \end{bmatrix}$$

E  $\bar{Q}_{prev}$  é função do número de ocorrências de cada FIT (que de acordo com o proposto nesta dissertação todos os artigos das FIT ocorrem em simultâneo).

$T$  – dá as frequências (em anos ou noutra unidade de tempo adequada ao equipamento em causa) de ocorrência de cada um dos artigos de manutenção corretiva. Esta matriz é uma função da taxa de falhas ( $\widehat{\lambda}_{n,i}$ ) e do período de planeamento  $(0, t)$ .



$$\bar{T}_i = \begin{bmatrix} NNA & 5820017 & 5820018 & 5820019 & 5820020 & 5820021 & 5820022 & 5820022a \\ s_1 & \widehat{\lambda}_{11} \times T & \widehat{\lambda}_{12} \times T & \widehat{\lambda}_{13} \times T & \widehat{\lambda}_{14} \times T & \widehat{\lambda}_{15} \times T & \widehat{\lambda}_{16} \times T & \widehat{\lambda}_{17} \times T \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_i & \widehat{\lambda}_{i1} \times T & \widehat{\lambda}_{i2} \times T & \widehat{\lambda}_{i3} \times T & \widehat{\lambda}_{i4} \times T & \widehat{\lambda}_{i5} \times T & \widehat{\lambda}_{i6} \times T & \widehat{\lambda}_{i7} \times T \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_n & \widehat{\lambda}_{n1} \times T & \widehat{\lambda}_{n2} \times T & \widehat{\lambda}_{n3} \times T & \widehat{\lambda}_{n4} \times T & \widehat{\lambda}_{n5} \times T & \widehat{\lambda}_{n6} \times T & \widehat{\lambda}_{n7} \times T \end{bmatrix}$$

Onde  $\bar{T}_i = \widehat{\lambda}_{n,i} \times T$

Tem-se então o vetor:

$$\bar{T}_{i,k} = \begin{bmatrix} s_1 & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{1,k}}{e} \times T \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ s_i & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{i,k}}{e} \times T \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ s_n & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{n,k}}{e} \times T \end{bmatrix}, n = (1,2, \dots, 318), k = (1,2, \dots, e)$$

Ou seja:

$$\bar{T}_{i,k} = \widehat{\lambda}_{n,k} \times T$$

### 3.2 Metodologia para estimação das horas de funcionamento

Em seguida apresenta-se a metodologia a usar para estimar o número de horas de funcionamento para fazer as predições das necessidades de sobressalentes, de acordo com o Plano Operacional.

A metodologia estatística a usar é a regressão linear múltipla, que tem em conta a informação disponível no SICALN relativamente aos períodos operacionais (horas de navegação e dias de missão- ver Anexo III- DN59, Horas de Funcionamento dos Motores Propulsores). Assim, é possível estimar a variável dependente-horas de funcionamento (Y) através das duas variáveis independentes



( $X_1$  – horas de navegação,  $X_2$  – dias de missão), onde se obtém uma equação do tipo:

$$Y = a + bX_1 + cX_2$$

Na Figura 6 são apresentados os resultados da regressão linear múltipla realizada através dos registos de horas de funcionamento mensais, horas de navegação mensais, dias de missão mensais, registadas no período 31-01-2007 a 31-10-2012, através dos DN59, no *Microsoft Excel*®.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

| <i>Estatística de regressão</i> |          |
|---------------------------------|----------|
| R múltiplo                      | 0,992956 |
| Quadrado de R                   | 0,985961 |
| Quadrado de R ajustado          | 0,985529 |
| Erro-padrão                     | 19,61998 |
| Observações                     | 68       |

| ANOVA     |           |           |           |          |                           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|---------------------------|
|           | <i>gl</i> | <i>SQ</i> | <i>MQ</i> | <i>F</i> | <i>F de significância</i> |
| Regressão | 2         | 1757299   | 878649,6  | 2282,542 | 6,14E-61                  |
| Residual  | 65        | 25021,33  | 384,9435  |          |                           |
| Total     | 67        | 1782321   |           |          |                           |

|                 | <i>Coefficientes</i> | <i>Erro-padrão</i> | <i>Stat t</i> | <i>valor P</i> | <i>95% inferior</i> | <i>95% superior</i> | <i>Inferior 95,0%</i> | <i>Superior 95,0%</i> |
|-----------------|----------------------|--------------------|---------------|----------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Interceptar     | -208,035             | 89,61118           | -2,32153      | 0,023404       | -387,001            | -29,0693            | -387,001              | -29,0693              |
| Horas Navegação | 0,903333             | 0,013377           | 67,53085      | 6,3E-62        | 0,876618            | 0,930047            | 0,876618              | 0,930047              |
| Dias do Mês     | 6,857013             | 2,93895            | 2,333151      | 0,022745       | 0,987525            | 12,7265             | 0,987525              | 12,7265               |

Figura 6-Sumário Resultados Regressão Linear Múltipla

Como se pode observar pela figura anterior o valor de  $R^2$  (indicador de qualidade de qualquer modelo de regressão), que indica o quanto da variável presente (horas de funcionamento) consegue ser explicada pelas restantes variáveis. Ou seja, sendo o valor de  $R^2 = 0,985961$  - significa que 98,58% da variável horas de funcionamento consegue ser explicada pelas variáveis dias de missão e horas de navegação.

Os valores P se forem muito elevados podem tornar o modelo de previsão instável, contudo como se pode observar o coeficiente da constante  $a$  apresenta um valor P de 0,023, o coeficiente da variável horas de navegação apresenta um valor P de  $6,29617E - 62$  e o coeficiente da variável dias de missão apresenta um valor P de



0,022. Assim, pode-se concluir que os valores P apresentados garantem uma previsão estável (i.e. todos os coeficientes são significantes para o modelo).

Assim pode-se definir a variável horas de funcionamento como:

$$\begin{aligned} \text{horas de funcionamento no período } (0, t) = & -208,035 + \\ & 0,903333\text{horas de navegação} + 6,857\text{dias de missão} \end{aligned}$$

### 3.3 Metodologia de Classificação Automática para identificação de Ações de Manutenção Preventiva e Corretiva

Em seguida apresenta-se a metodologia a usar para estimar as quantidades de sobressalentes a considerar nas ocorrências estimadas de FITS associadas a LIMS durante o período de interesse.

Face aos problemas dos registos do SICALN- quando se aplicam tarefas de manutenção normalizadas só muito esporadicamente é que a natureza específica dessa manutenção é referida - considerou-se útil usar a metodologia de “*cluster analysis*” (Ver (CALDEIRA, 2006)) para identificar as datas correspondentes à ocorrência de listas de requisições de sobressalentes que mais se assemelham a LIMS.

A lógica subjacente a esta metodologia é a seguinte:

- 1- Quando ocorre um trabalho normalizado por uma FIT, isso significa que todos os sobressalentes que lhe estão associados são consumidos simultaneamente. Isto significa que a ocorrência de uma FIT significa a ocorrência de uma lista normalizada de sobressalentes.
- 2- Face a 1- há uma relação de causalidade entre a ocorrência de FIT e a ocorrência das listas normalizadas de sobressalentes que lhe estão associadas: ou a lista incluída no próprio FIT ou a LIMS associada.
- 3- Conhecendo pelo SICALN, as datas em que foram realizadas requisições de sobressalentes à Direção de Abastecimento (DA)- trata-se de descobrir quais dessas datas correspondem a ocorrências dessas listas normalizadas de sobressalentes. Tecnicamente, considerando que uma dessas listas normalizadas de sobressalentes é um padrão (no sentido do Reconhecimento



de Padrões) a questão estatística é a de decidir quais das datas de requisições de sobressalentes à DA correspondem as ocorrências de LIMS tendo em conta que há sempre variabilidade motivada pelas circunstâncias.

- 4- Se fosse possível calcular o grau de semelhança entre uma lista normalizada de sobressalentes (padrão correspondente a um trabalho normalizado) e a lista requisitada à DA numa certa data seria possível – usando metodologias de classificação amplamente conhecidas- identificar aproximadamente as ocorrências dessas listas no tempo.
- 5- Estimadas as datas de ocorrência dessas listas no tempo, isso torna possível estimar uma intensidade de ocorrência desses trabalhos normalizados em número de ocorrências por unidade de tempo e portanto o tempo médio de ocorrências de cada uma das FIT.
- 6- Assumindo o modelo de POISSON para o nº de ocorrências de FIT pode-se assim estimar a probabilidade de ocorrência de 0,1,2... FITS num período de tempo de duração t
- 7- Uma técnica que é adequada ao problema anterior é a classificação ascendente hierárquica (ver Anexo VI- Síntese de Classificação Hierárquica de Dados) desde que se escolha o índice de semelhança e o critério de agregação adequados (ver Anexo VII- Síntese do Coeficiente de Jaccard e Método do K vizinhos mais próximos e Anexo VIII- Síntese do Critério de Aglomeração de Ward).

A preparação dos dados para a aplicação da metodologia definida anteriormente, passou pela separação das ações de manutenção preventiva e corretiva, de acordo com o Tipo de Manutenção-TM nos DN60<sup>20</sup>, que usa a seguinte codificação:

- a) 11-Manutenção Preventiva 1º Escalão;
- b) 31-Manutenção Preventiva 3º Escalão;

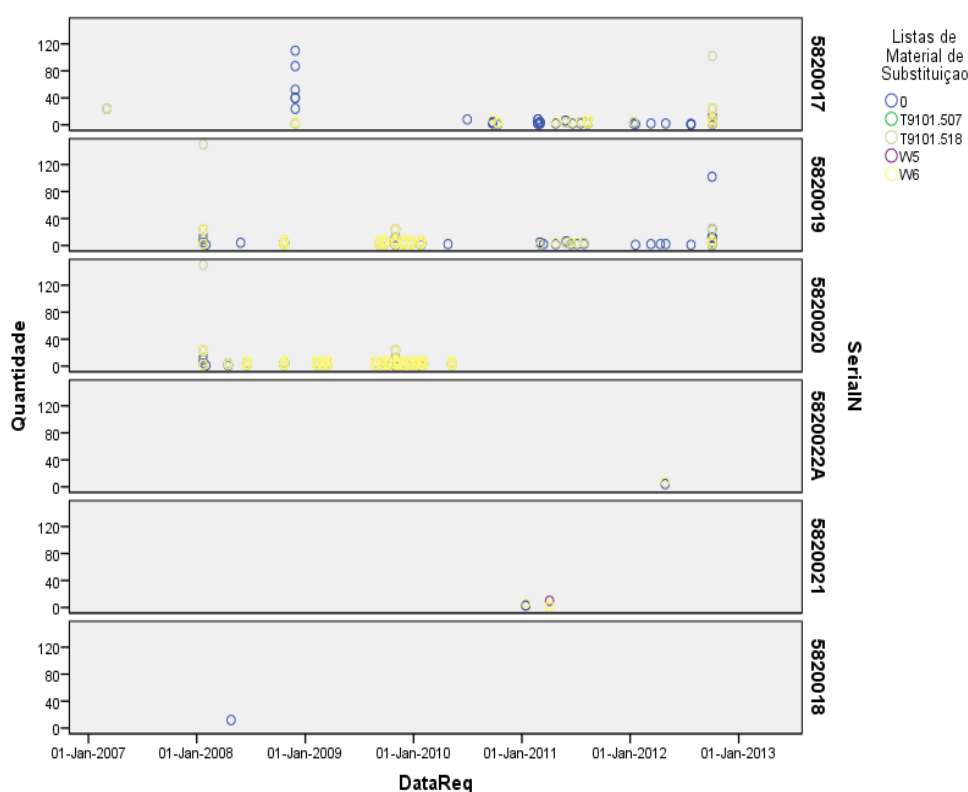
---

<sup>20</sup> De acordo com os DN60, até à data de 04-03-13 não existem registos no SICALN para artigos consumidos em 2º Escalão (21, 22 e 23), nem para artigos de manutenção condicionada (terminados em 2: 12, 22 e 32).



c) 13- Manutenção Corretiva 3º Escalão;

Ainda antes de aplicar a metodologia definida, foi feita uma tentativa, a seguir descrita, para validar as afirmações relativas ao caráter lacunar do SICALN relativo ao histórico de consumo de sobressalentes. Interessa detetar a ocorrência de LIMS T9101.507 e T9101.518 nas manutenções preventivas de 1º escalão e das LIMS W5 e W6 nas manutenções preventivas de 3º escalão. Para tal foi criado um gráfico de dispersão em *IBM SPSS Statistics*® que permite visualizar a tendência das LIMS de 1º Escalão, apresentado na Figura 7.



**Figura 7- Scatter Plot de consumos de artigos de manutenção preventiva de 1º escalão ao longo do tempo**

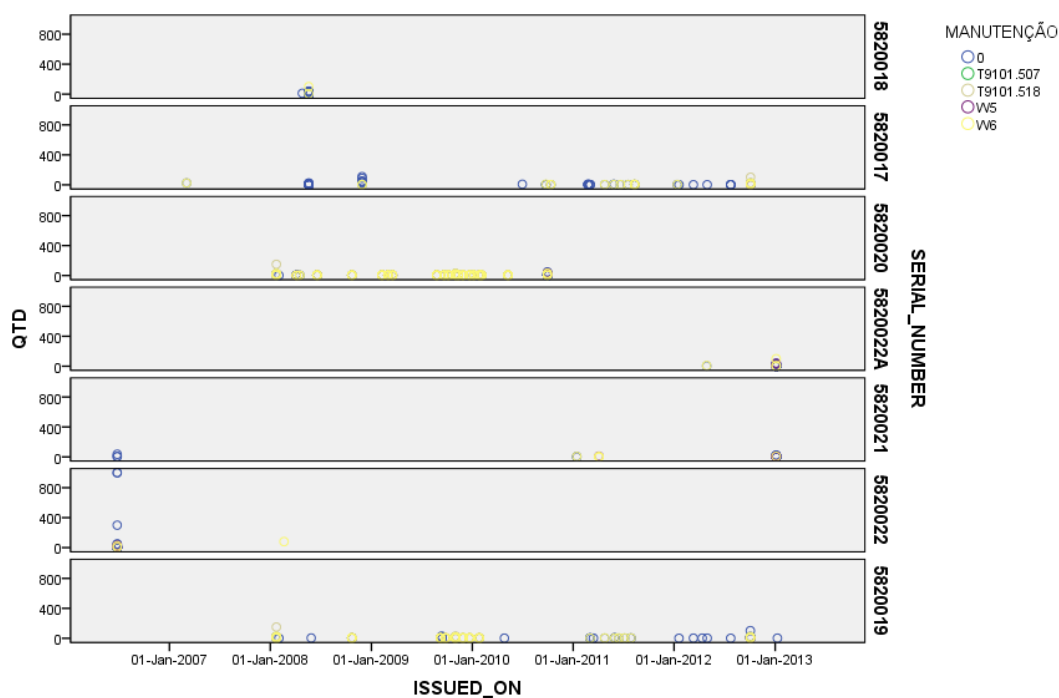
Conclui-se então, através do gráfico acima, que as LIMS T9101.507 e T9101.518, com periodicidades de 500 horas e 1500 horas respetivamente não estão registadas para todos os motores. A questão que se coloca é se efetivamente não houve necessidade destes sobressalentes por parte dos navios, ou se simplesmente as necessidades não foram registadas devidamente no SICALN (registadas como manutenções corretivas ou como manutenções preventivas de 3º escalão). Se esse



último for o caso, os códigos de manutenção referidos (11,31,13 e 33) poderão estar a ser mal utilizados por parte dos utilizadores. Mais uma vez se alerta aqui para um outro problema da qualidade dos dados do SICALN a ter em conta em futuras revisões deste sistema.

Pode-se observar grandes consumos de artigos de W6 concentrados nos motores 5820019 e 5820020, onde provavelmente foram efetuadas essas revisões, no entanto, sendo código de manutenção 11 (“Manutenção Preventiva de 1º Escalão) as únicas intervenções em análise, pode-se então concluir que possivelmente poderá ser uma manutenção registada incorretamente.

Para consolidar as observações foi criado novo gráfico de dispersão em *IBM SPSS Statistics*®, desta vez com os códigos 11 e 31 dos DN60.



**Figura 8-Scatter Plot de consumos de artigos de manutenção preventiva de 1º e 3º escalão ao longo do tempo**

Neste gráfico de dispersão pode-se observar maior quantidade consumida de artigos de 1º escalão, porém ainda muito longe do que se esperava. Tal fato leva-nos à conclusão de que o consumo de artigos de 1º escalão e de 3º escalão poderá estar incorreto e, assim sendo, o identificador do tipo de manutenção (TM) não poderá ser



levado em conta para identificar quais as ações preventivas e corretivas e quais os respetivos escalões de manutenção, sendo necessário considerar alternativas como a descrita atrás, tendo-se optado (como sugerido atrás), por uma metodologia de classificação automática de dados denominada de “*cluster analysis*”<sup>21</sup>.

Neste caso vai-se obter grupos de artigos consumidos em determinadas datas e verificar se essas datas efetivamente podem ser consideradas datas de ocorrência das várias LIMS. Ou seja, esta técnica vai comparar as listas de sobressalentes utilizadas em determinadas datas com as listas-padrão de sobressalentes das LIMS T9101.507, T9101.518, W5 e W6.

Tendo em conta a aplicação das análises de “*clusters*”, consideraram-se duas organizações possíveis para o quadro de dados a submeter à análise. Em ambos os casos as linhas do quadro de dados correspondem à decomposição do equipamento em partes e a cada coluna corresponde uma ocorrência de uma lista de itens requisitados à DA ou de uma lista-padrão de itens que fazem parte de um LIMS (ver: Anexo I do Capítulo 3)

### 1ª Alternativa: Tabela de contingência de consumos

Neste caso, no cruzamento de um item em linha com uma lista em coluna está o número de itens desse tipo requisitados à DA pela lista requisitada numa certa data ou, no caso de uma lista padrão, a quantidade de itens previstos nessa lista padronizada. Ver em CD-ROM “*Matriz\_Exportada.xls-Sheet1*” a presente tabela.

### 2ª Alternativa – Tabela lógica

Neste caso apenas se consideram zeros (quando não foi requisitado ou o seu consumo não está previsto) ou 1 no caso contrário. A justificação para “esquecer” as quantidades de itens está no fato de que, para os nossos objetivos interessar mais saber se um item faz ou não parte da lista do que a quantidade em que figura. Ao comparar duas listas interessa sobretudo saber se para um dado item esse item figura nas duas, não figura em nenhuma das duas ou figura

---

<sup>21</sup> Análise de Agrupamentos



numa e está ausente da outra. Ver em CD-ROM “*Matriz\_Exportada.xls-Sheet2*” a presente tabela.

Para a aplicação deste tipo de metodologia utilizou-se o *IBM SPSS Statistics*®. Este pacote estatístico inclui três opções para criar “*clusters*”: “*hierarquical clustering*”, “*two-step clustering*” e “*k means clustering*”. No âmbito desta dissertação foram utilizados o *hierarquical clustering* e o “*two-step clustering*”.

O dendrograma<sup>22</sup> da página seguinte representa a computação das variáveis consideradas pelo “*hierarquical clustering*”: Datas de Requisição e LIMS, conforme “Anexo I do Capítulo 3- Construção das Matrizes Lógica e de Contingência de Consumos”, segundo o critério de aglomeração de Ward.

---

<sup>22</sup> Representação Hierárquica dos Dados (ver: Anexo VI- Síntese de Classificação Hierárquica de Dados)

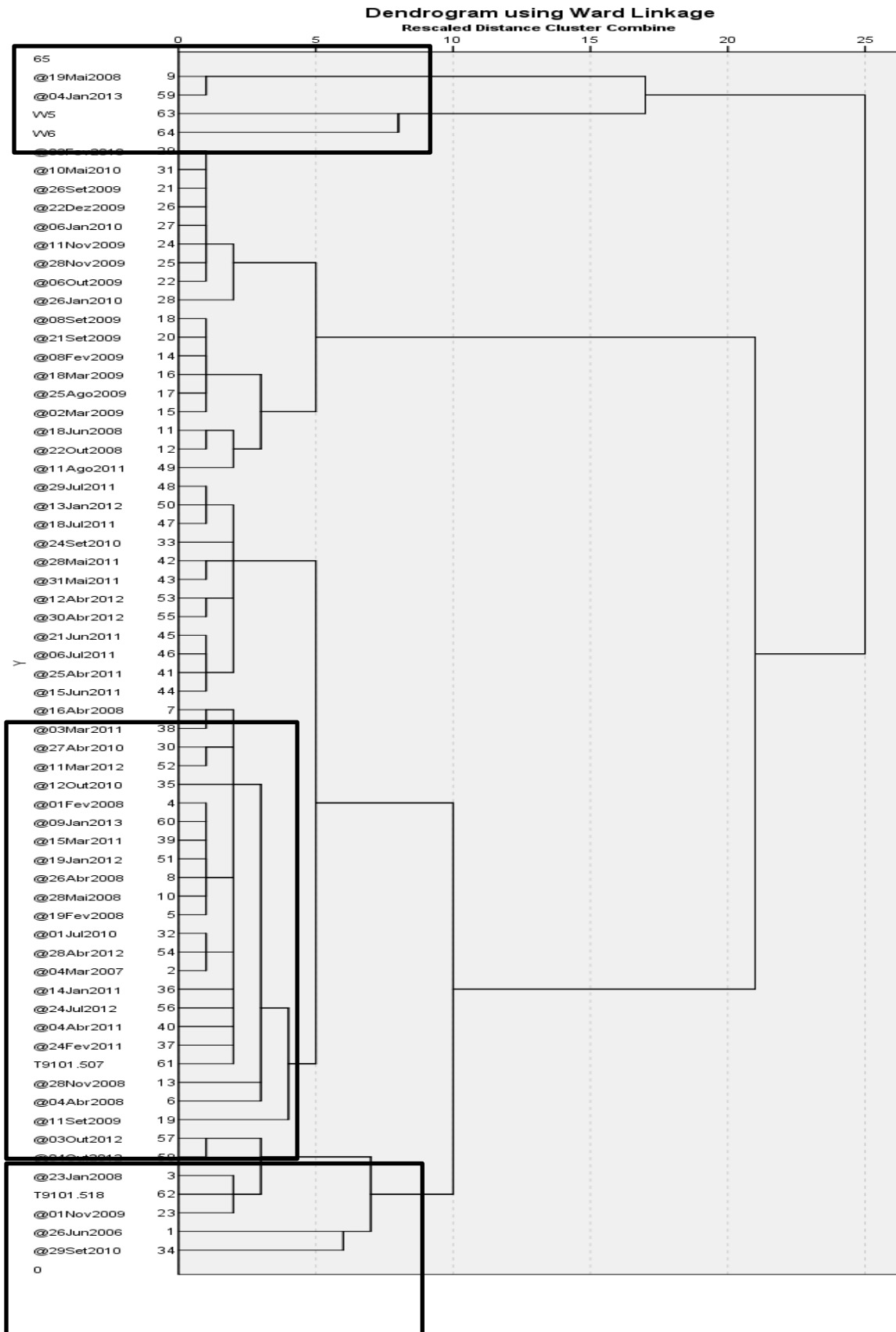


Figura 9-Dendrograma de distâncias binárias para Manutenção Preventiva



Como se pode observar pela Figura 9, tem-se 3 grandes grupos: no primeiro estão presentes as manutenções das datas de 19-05-08 e 04-01-13 ainda distanciadas das LIMS W5 e W6, presentes também neste grupo. Observando o Anexo II- DN60, Recolha de dados dos consumos de sobressalentes pode-se concluir que as datas mencionadas foram as intervenções com maior consumo de sobressalentes. Nesse sentido é possível que vários artigos destas intervenções são idênticos aos utilizados nas LIMS W5 e W6 (que também são listas de grandes quantidades de sobressalentes).

O segundo permite-nos observar que existem algumas manutenções registadas como preventivas que não contêm artigos das LIMS, pelo que provavelmente são manutenções corretivas.

No terceiro é possível observar que a LIMS T9101.507 tem mais datas a uma distância menor que qualquer outra LIMS, o que teoricamente está correto sendo que esta tem uma periodicidade de 500 horas. A LIMS T9101.518 tem menos intervenções associadas comparativamente à anterior pois também a sua periodicidade é de 1500 horas, no entanto tem mais datas associadas que as manutenções W5 e W6.

De acordo com o esperado, a LIMS T9101.507 tem mais datas associadas seguida pela LIMS T9101.518 e depois pelas revisões W5 e W6. Ainda se pode observar que as distâncias entre as revisões W5 e W6 são pequenas, podendo-se verificar através do Anexo V- LIMS dos Motores MTU, pois a revisão W6 (revisão geral) engloba os sobressalentes da revisão W5 (descarbonização). Assim pode-se concluir que o critério de Ward apresenta um bom resultado daquilo que é esperado *a priori*, para as manutenções de carácter preventivo.

Para comprovar os resultados foi efetuada uma nova análise desta vez com a matriz das quantidades. Desta forma é possível comparar o dendrograma de quantidades com o dendrograma binário e verificar se os resultados se alteram, utilizando o mesmo critério de aglomeração.

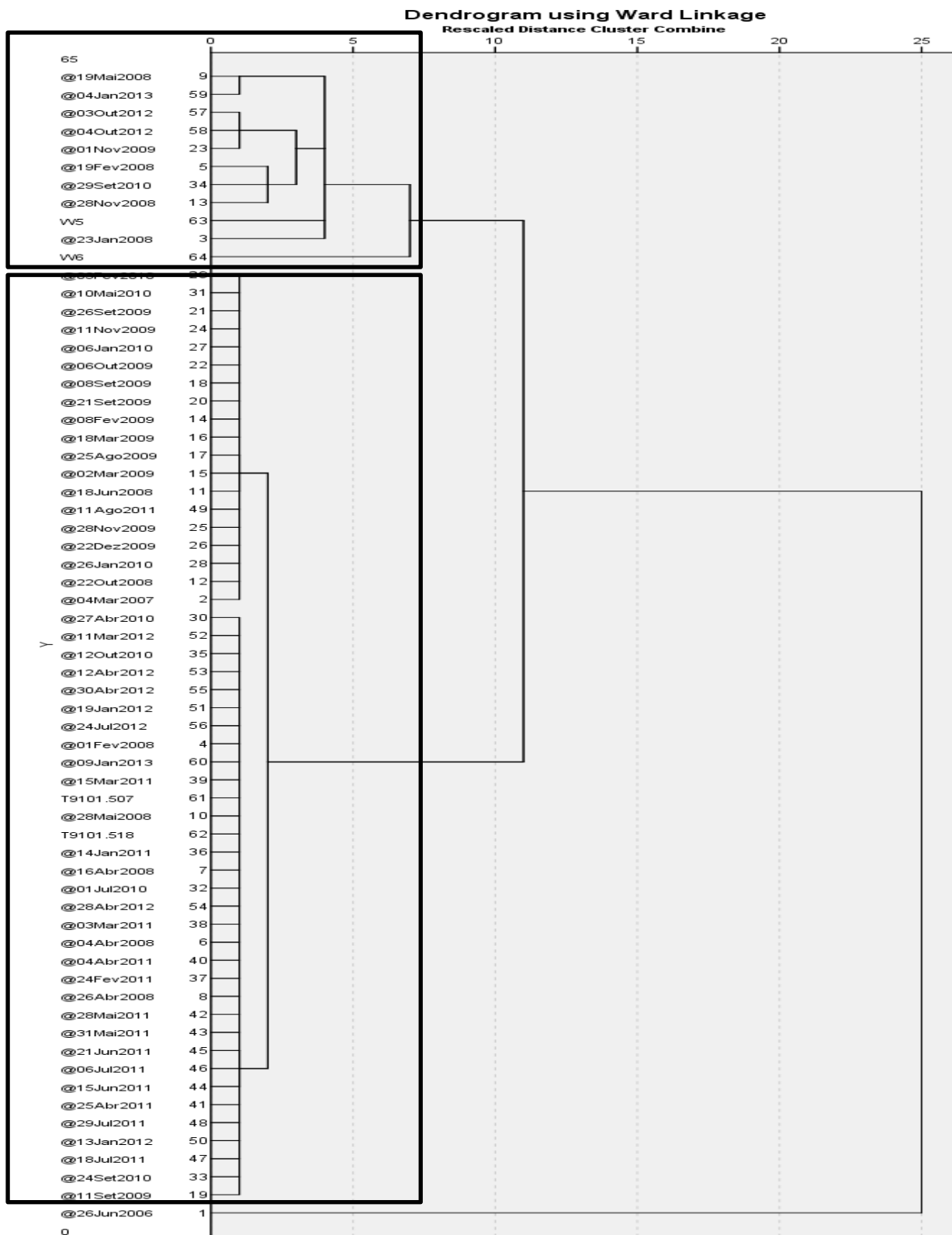


Figura 10-Dendrograma de Distâncias em Quantidades para Manutenção Preventiva



Através do dendrograma da página anterior, pode-se observar que este apresenta 2 grandes grupos identificados e uma intervenção (26-06-06) que poderá ser um “*outlier*”, visto ter uma dissemelhança<sup>23</sup> maior das restantes intervenções.

Comparativamente ao dendrograma de distâncias binárias, podemos observar que existem mais intervenções associadas às rotinas W5 e W6, porém a única que se poderia assemelhar a uma intervenção deste tipo de acordo com os DN60 seria a intervenção de 29 de Setembro de 2010 que conta com 86 sobressalentes consumidos.

Ainda neste dendrograma pode-se observar que houve uma redução da dissemelhança entre as LIMS T9101.507 e T9101.518, apesar dos objetos (NNA) destas duas variáveis serem diferentes. Sendo a distância tão reduzida entre estas duas LIMS é impossível através da visualização do dendrograma observar quais as manutenções que se assemelham a uma LIMS e à outra.

Verificando as quantidades de artigos consumidos em cada uma das datas, verificou-se por exemplo que na data de 19-02-08, que se apresenta semelhante a uma LIMS W5 e W6, que teoricamente são as LIMS com maior quantidade de artigos consumidos, apenas foi consumido um artigo. Sendo a T9101.507 a LIMS com menos artigos normalizados (5) foram removidas todas as variáveis (datas) com menos de cinco artigos consumidos.

Foi criado um novo dendrograma pelo critério de Ward sem as intervenções com menos de 5 artigos e está presente na Figura 11.

---

<sup>23</sup> Nota: Ver Anexo VI- Síntese de Classificação Hierárquica de Dados para informação relativa às matrizes e dendrogramas de semelhança e dissemelhança

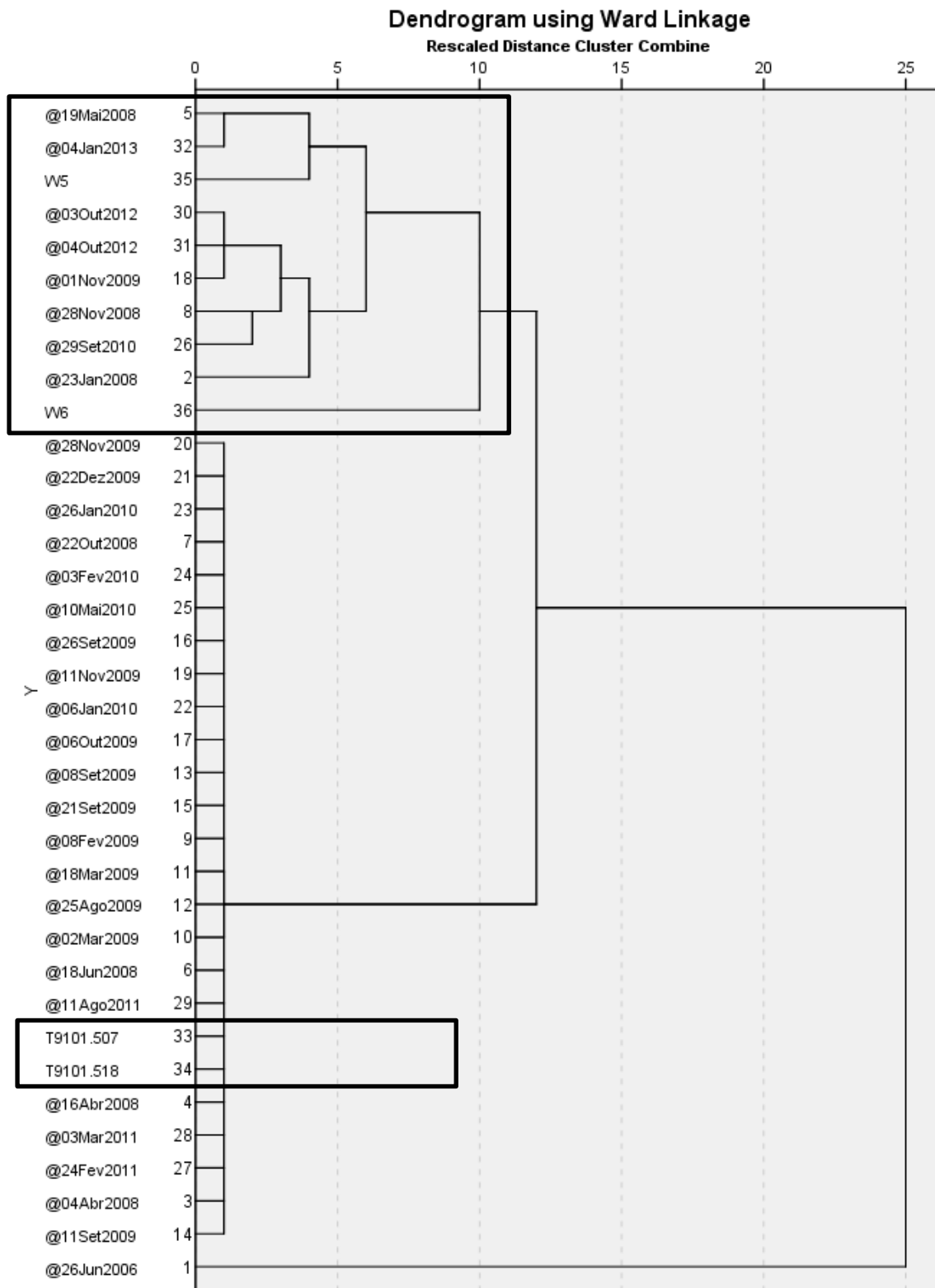


Figura 11-Dendrograma de Quantidades com as Intervenções de Mais de 5 sobressalentes



Pode-se observar pelo dendrograma anterior que as datas (listas correspondentes) que mais se assemelhavam às manutenções W5 e W6 maioritariamente permaneceram todas, à exceção da data 19-02-08.

Algumas das datas que se assemelhavam às LIMS T9101.507 e T9101.518 (isto é listas correspondentes) foram removidas tendo estas duas ficado a uma distância mínima, tornando-se assim bastante semelhantes e como tal impossível de identificar quais as manutenções que se assemelhavam a uma e a outra.

Pode-se identificar uma data que mantém uma grande distância de todas a outras manutenções. Esse data é uma intervenção que foi efetuada a 26-06-06. Nesse sentido pode-se concluir que a manutenção foi mal registada, sendo esta uma possível intervenção de manutenção corretiva, que de acordo com o apresentado em Anexo II-DN60, Recolha de dados dos consumos de sobressalentes tem um consumo de 74 artigos.

Havendo então – manifestamente - manutenções corretivas registadas como preventivas, optou-se por criar um novo dendrograma através do mesmo critério de aglomeração onde estivessem todas as ações de manutenção-corretivas e preventivas. Este novo dendrograma está apresentado em CD-ROM no ficheiro “*Anexos.xls-A-Dendrograma\_Man\_Corr\_e\_Prev*”<sup>24</sup>.

Após a conclusão retirada em cima relativamente à classificação automática de dados através do critério de aglomeração de Ward para identificação das datas de consumos de LIMS em dados binários da Figura 9-Dendrograma de distâncias binárias para Manutenção Preventiva e após observar o Dendrograma em CD-ROM foram classificadas as seguintes datas como possíveis consumos de manutenção preventiva:

Para a LIMS T9101.507 foram classificadas as seguintes datas: 29-07-11, 13-01-12, 18-07-11, 14-09-10, 28-05-11, 31-05-11, 12-04-12, 30-04-12, 21-06-11, 06-07-11, 25-04-11, 15-06-11, 16-04-08, 03-03-11, 27-04-10, 11-03-12, 12-10-10, 01-02-08, 09-

---

<sup>24</sup> Nota: Por efeitos tidos como convenientes para visualização importou-se o dendrograma para o ficheiro de *Microsoft Excel* ©.



01-13, 15-03-11, 19-01-12, 26-04-08, 28-05-08, 19-02-08, 01-07-10, 28-04-12, 04-03-07, 14-01-12, 24-07-12, 04-04-11, 24-02-11, 28-11-08, 04-04-08, 11-09-09.

Estas foram as datas identificadas pelo critério de Ward como datas onde, de acordo com a análise de agrupamentos, se efetuaram ações semelhantes a uma LIMS T9101.507.

Sendo a LIMS com menor periodicidade (500 horas) das presentes em análise o expectável de se encontrarem maior número de datas associadas, de acordo com Dendrograma em CD-ROM, verifica-se.

Novamente no Dendrograma em CD-ROM e comparando com a Figura 9, no que diz respeito às datas que se assemelham a uma LIMS T9101.518, as datas classificadas foram: 03-10-12, 04-10-12, 23-01-08, 01-11-09, 26-06-06, 29-09-10.

Tendo esta LIMS uma periodicidade de 1500 horas era expectável surgirem mais datas associadas.

As revisões W5 e W6 mantêm as mesmas datas semelhantes da Figura 9 e ainda surge uma nova data de 28-03-12 que se assemelha também a estas revisões.

Como referido em conclusão da Figura 9, o grupo de datas que se assemelhavam a ações de manutenção corretiva, foram absorvidas por estas novas ações de manutenção corretiva.

Estas datas, selecionadas de acordo com o critério de aglomeração de Ward como supostas LIMS, podem nem ser efetivamente LIMS, porém esta metodologia foi a adotada para determinação das ações de manutenção preventiva e os resultados deste método são comprovados na análise *Two-Step Clustering Analysis*.

Em síntese, sendo o critério de aglomeração de Ward, o único dos experimentados que apresentou resultados para a identificação e classificação de LIMS em datas de intervenções, para os Motores Propulsores da Classe “Vasco da Gama”.



### 3.3.1 “Two-Step Clustering Analysis” para confirmação da Metodologia de Classificação pelo Critério de Aglomeração de Ward

Para validar os resultados foi utilizada uma diferente técnica de agrupamento de dados: o “Two-Step Clustering Analysis”.<sup>25</sup>

Esta metodologia serve de complementação ao algoritmo de Ward, nesta dissertação, que neste caso para visualização de dados se demonstra bastante bom, no entanto, para “data warehouses” com maior quantidade de variáveis a visualização torna-se difícil, porém é uma metodologia bastante viável na identificação das ações de manutenção preventiva.

O algoritmo “Two-Step” baseia-se no algoritmo de BIRCH<sup>26</sup>- Balanced Iterative Reducing and Clustering using Hierarchies “que propõe um procedimento incremental executado em duas etapas que permite, com eficiência computacional, identificar grupos em bases de dados de grande dimensão, integrando variáveis de natureza mista.” (JESUS, 2007).

Na primeira etapa os dados são analisados um a um e são criados grupos homogêneos de dados tendo em conta uma medida de distância. Na segunda etapa os grupos obtidos são tratados como observações individuais e um algoritmo hierárquico é utilizado para criar o agrupamento. Desta forma é possível trabalhar com maior quantidade de dados representados por grupos e ao mesmo tempo incorporar na constituição dos grupos alguma informação *à priori* relativa ao contexto. O algoritmo “Two-Step” utiliza uma medida de distância baseada na função de verossimilhança, que lida com variáveis contínuas e categóricas.

Se os dados são uma mistura de variáveis contínuas e categóricas, pode-se usar apenas o critério de “log-likelihood”.<sup>27</sup> A distância entre os dois aglomerados depende da diminuição da “log-likelihood” quando estão combinados num único bloco. Se os

---

<sup>25</sup> Nota: Ver Anexo IX- “Two-Step Cluster Analysis”-Descrição das Etapas

<sup>26</sup> Nota: (ver: (ZHANG, RAMAKRISHNAN, & LIVNY, 1996) e (ZHANG, RAMAKRISHNAN, & LIVNY, 1997))

<sup>27</sup> Função logarítmica de verossimilhança (ver: (ZHANG, RAMAKRISHNAN, & LIVNY, 1996))



dados são apenas as variáveis contínuas, também se pode usar a distância euclidiana entre dois centros. A medida de distância pressupõe o seguinte (JESUS, 2007):

- a) As variáveis contínuas são modeladas por distribuições normais independentes intra-grupos com os parâmetros média e variância, a estimar;
- b) As variáveis categorizadas são modeladas por multinomiais independentes intra-grupos com probabilidades associadas às suas categorias a estimar.

Em seguida apresenta-se, após a seleção de datas pelo critério de Ward para cada uma das LIMS, a análise de “*Two-Step Clustering Analysis*” para as respetivas datas e LIMS:

### 3.3.1.1 LIMS W5 e W6

Para as presentes LIMS, visto o critério de aglomeração de Ward ter identificado as datas como semelhantes para ambas as manutenções, a análise “*Two-Step Clustering Analysis*”, para estas LIMS será efetuada em simultâneo<sup>28</sup>.

Selecionaram-se as datas de 19-05-2008, 04-01-13 e 28-03-12 como variáveis sendo a variável de avaliação, definida no *IBM SPSS Statistics*, a LIMS W6.



Figura 12-Silhueta do Cluster para LIMS W6 (IBM SPSS Statistics)

Como se pode observar na Figura 12 pode-se considerar que o número de “*clusters*” é "bom", de acordo com a “*silhouette measure*”<sup>29</sup>, usando uma seleção

<sup>28</sup> Nota: É coerente esta análise visto que quando se efetua uma análise W6 (revisão geral) também se efetua uma W5 (descarbonização), assim considera-se uma análise à LIMS W6.



automatizada do número de “clusters” através do critério BIC<sup>30</sup> (ver (EMILIANO, VEIGA, & VIVANCO, 2013)).

Os 3 “inputs” são as datas referidas em cima. Através da seleção automática o algoritmo BIC selecionou 7 “clusters”, isto porque a variável W6 contém uma grande quantidade de consumo de sobressalentes.

Desta forma o algoritmo seleciona mais “clusters” consoante a variável seja mais difícil de explicar ou menos “clusters” se a variável for mais fácil de explicar.

Na maioria das análises, não se quer muitos “clusters” pequenos, preferindo-se uma solução com um pequeno número de grupos maiores; no caso que nos interessa e sendo o número de sobressalentes consumidos muito elevado comparativamente às LIMS T9101.507 e T9101.518 é expectável que existam muitos artigos definidos por “1-artigo consumido” e muitos artigos definidos por “0-artigo não consumido”- já as restantes LIMS estas são definidas por poucos artigos “1” e muitos mais artigos “0”.

Observando o ficheiro “SPSS Statistics Output Document”, “Two\_Step.spv”, em CD-ROM para as datas selecionadas como supostas datas de “LIMS W6” o maior “cluster” consegue aglomerar apenas 45,6% dos objetos, de forma a serem explicados pela variável LIMS W6, isto porque existem vários artigos que são consumidos nestas datas, identificadas como “supostos consumos de LIMS”, que efetivamente não estão normalizados.

Na Figura 13 estão apresentados ao pormenor os 7 “clusters”, bem como o critério de avaliação LIMS W6.

---

<sup>29</sup> Medida de Qualidade dos “clusters” em “Two-Step Clustering Analysis” no IBM SPSS Statistics.

<sup>30</sup> Schwartz Bayesian Criterion



Clusters

Input (Predictor) Importance  
 ■ 1,0 ■ 0,8 ■ 0,6 ■ 0,4 ■ 0,2 ■ 0,0

| Cluster           | 7                         | 6                         | 1                         | 4                         | 3                         | 5                         | 2                         |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Label             |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
| Description       |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
| Size              | 45.6% (299)               | 16.8% (110)               | 14.0% (92)                | 11.8% (77)                | 6.4% (42)                 | 3.5% (23)                 | 1.8% (12)                 |
| Inputs            | 19-MAY-2008<br>0 (100.0%) | 19-MAY-2008<br>0 (100.0%) | 19-MAY-2008<br>1 (100.0%) | 19-MAY-2008<br>0 (100.0%) | 19-MAY-2008<br>1 (100.0%) | 19-MAY-2008<br>0 (100.0%) | 19-MAY-2008<br>1 (100.0%) |
|                   | 28-MAR-2012<br>0 (100.0%) | 28-MAR-2012<br>1 (100.0%) | 28-MAR-2012<br>0 (100.0%) | 28-MAR-2012<br>0 (100.0%) | 28-MAR-2012<br>0 (100.0%) | 28-MAR-2012<br>1 (100.0%) | 28-MAR-2012<br>1 (100.0%) |
|                   | 04-JAN-2013<br>0 (100.0%) | 04-JAN-2013<br>0 (100.0%) | 04-JAN-2013<br>0 (100.0%) | 04-JAN-2013<br>1 (100.0%) | 04-JAN-2013<br>1 (100.0%) | 04-JAN-2013<br>1 (100.0%) | 04-JAN-2013<br>0 (75.0%)  |
| Evaluation Fields | W6<br>0 (77.9%)           | W6<br>0 (77.3%)           | W6<br>0 (98.9%)           | W6<br>0 (100.0%)          | W6<br>0 (52.4%)           | W6<br>0 (100.0%)          | W6<br>0 (83.3%)           |

Figura 13-"Two-Step" Clustering Analysis W5/W6 (IBM SPSS Statistics)

Como se pode observar no “cluster” 3 que apenas tem 32 NNA, que foram todos (1 (100%)) utilizados na data de 19-05-08 e na data de 04-01-13, desses 32 NNA 47,6% são também NNA da LIMS W6.

No “cluster” 6 que tem 110 NNA, que foram todos (1 (100%)) utilizados na data de 28-03-12, 22,7% desses 110 NNA pertencem à LIMS W6.

No “cluster” 2 que tem 12 NNA, que foram todos (1 (100%)) utilizados nas datas de 19-05-08 e 28-03-12 e parcialmente (1 (25%)) na data de 04-01-13, 16,7% desses 12 pertencem à LIMS W6.

O “cluster” 1 contém 92 NNA, que foram todos (1 (100%)) consumidos na data de 19-05-08, desses 92 NNA 1,1% pertencem à LIMS W6.



Em síntese, apesar destas datas não se apresentarem como ocorrências exatas da LIMS W6, todas elas apresentam coincidências significativas com esta LIMS, sendo que cada uma destas revisões consome grande quantidade de sobressalentes e tendo vários NNA em comum com a LIMS W6 podem se considerar como tal.

Para efeitos de comparação utilizou-se Anexo III- DN59, Horas de Funcionamento dos Motores Propulsores nos quais são registadas as horas após as revisões W5 e W6:

| Nº Série Motor | Data       | Horas Após Descarbonização | Horas Após Revisão |
|----------------|------------|----------------------------|--------------------|
| 5820017        | 30-04-2010 | 116                        | 116                |
| 5820018        | 30-04-2010 | 112                        | 112                |
| 5820019        | 30-12-2010 | 563                        | 563                |
| 5820020        | 31-10-2011 | 3                          | 3                  |
| 5820021        | 31-10-2012 | 9099                       | 9099               |
| 5820022        | 31-07-2012 | 53                         | 53                 |
| 5820022a       | 31-10-2012 | 6467                       | 6467               |

**Tabela 7-Comparação das revisões W5 e W6 através dos DN59**

Este extrato permite visualizar que ambas as revisões se efetuam sempre em simultâneo em todos os motores desde a data de 01-01-2007.

O que permite concluir que as intervenções que mais se aproximavam de revisões W5 e W6, de acordo com o critério de aglomeração de Ward, não são as encontradas pelo “*cluster analysis*”. Mas através desta última análise é possível observar que devido à quantidade e ao tipo de sobressalentes utilizados a seleção esta apresenta datas que se assemelham efetivamente a ações de manutenção preventiva (W5 e W6) devido à percentagem significativa de sobressalentes em comum.

Pode-se ainda concluir que as revisões W5 e W6 não estão registadas no SICALN, pois se estivessem, teriam sido identificadas nos DN60 através da quantidade consumida e posteriormente identificadas através do “*cluster analysis*”.



### 3.3.1.2 LIMS T9101.518

As variáveis seleccionadas para o “two-step cluster analysis” foram as datas identificadas pelo critério de aglomeração de Ward para a LIMS T9101.518: 03-10-12, 04-10-12, 23-01-08, 01-11-09, 26-06-06, 29-09-10.

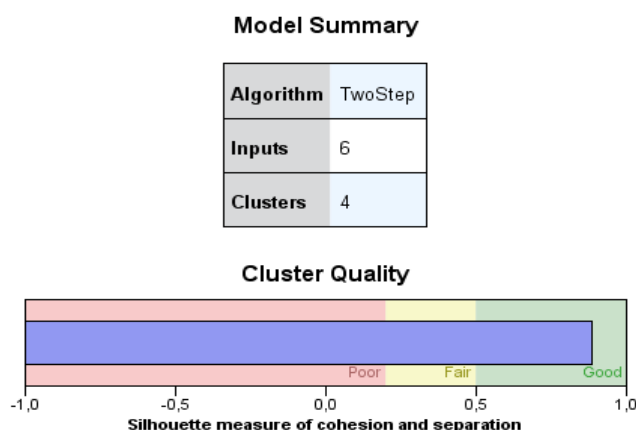


Figura 14-Silhueta LIMS T9101.518 (IBM SPSS Statistics)

Como se pode observar na Figura 14, de acordo com Figura 12 a “*silhouette measure*”, pode-se considerar que o número de “*clusters*” é “bom”, usando uma seleção automatizada do número de “*clusters*” através do critério BIC.

O número de “*inputs*” são as datas referidas anteriormente. Através da seleção automática o algoritmo BIC seleccionou 4 “*clusters*”, isto porque a variável W6 contém uma grande quantidade de consumo de sobressalentes.

Através do “*Two\_Step.spv*”, em CD-ROM pode-se observar nesta LIMS que o maior “*cluster*” tem uma percentagem de 68,9% contendo 451 NNA e o mais pequeno de 8,7% contendo este 57 NNA.



Esta quantidade de “clusters” deve-se ao fato de que esta LIMS, apesar de ter um consumo de artigos inferior à LIMS W6 (como tal mais fácil de caracterizar), os NNA que entram para os “clusters” são todos os presentes nas datas em análise, assim sendo, o número de “clusters” é maior do que seria suposto. Isto implica que em algumas das datas não tenha ocorrido somente os consumos da LIMS T9101.518, mas também o consumo de outros artigos.

Assim, sendo a variável de avaliação- LIMS T9101.518 acaba por não ser corretamente caracterizada pelas listas requisitadas à DA nas diversas datas; vejamos, no entanto, Figura 15:

| Cluster                  | 1                         | 3                        | 4                         | 2                         |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Label</b>             |                           |                          |                           |                           |
| <b>Description</b>       |                           |                          |                           |                           |
| <b>Size</b>              | 68.9%<br>(451)            | 11.9%<br>(78)            | 10.5%<br>(69)             | 8.7%<br>(57)              |
| <b>Inputs</b>            | 29-SEP-2010<br>0 (100.0%) | 29-SEP-2010<br>0 (82.1%) | 29-SEP-2010<br>1 (100.0%) | 29-SEP-2010<br>0 (100.0%) |
|                          | 26-JUN-2006<br>0 (100.0%) | 26-JUN-2006<br>0 (82.1%) | 26-JUN-2006<br>0 (100.0%) | 26-JUN-2006<br>1 (100.0%) |
|                          | 01-NOV-2009<br>0 (100.0%) | 01-NOV-2009<br>0 (55.1%) | 01-NOV-2009<br>0 (100.0%) | 01-NOV-2009<br>0 (100.0%) |
|                          | 04-OCT-2012<br>0 (100.0%) | 04-OCT-2012<br>0 (65.4%) | 04-OCT-2012<br>0 (100.0%) | 04-OCT-2012<br>0 (100.0%) |
|                          | 23-JAN-2008<br>0 (100.0%) | 23-JAN-2008<br>0 (71.8%) | 23-JAN-2008<br>0 (100.0%) | 23-JAN-2008<br>0 (100.0%) |
|                          | 03-OCT-2012<br>0 (100.0%) | 03-OCT-2012<br>0 (73.1%) | 03-OCT-2012<br>0 (100.0%) | 03-OCT-2012<br>0 (100.0%) |
| <b>Evaluation Fields</b> | T9101.518<br>0 (99.8%)    | T9101.518<br>0 (92.3%)   | T9101.518<br>0 (100.0%)   | T9101.518<br>0 (100.0%)   |

Figura 15-Two-Step "Cluster Analysis" LIMS T9101.518 (IBM SPSS Statistics)



Examinando a figura acima podemos concluir que o “*cluster*” 1 contém 451 NNA, onde desse total 0,02% são casos da LIMS T9101.518 sendo que para as datas selecionadas não existe nenhum caso que pertença às mesmas.

Porém, observando o “*cluster*” 3 pode-se observar que:

Para as datas de 29-09-10 e 26-06-06 dos 78 NNA presentes neste “*cluster*” 17,9% foram utilizados nestas intervenções.

Para a data de 01-11-09 dos 78 NNA presentes neste “*cluster*” 44,9% foram utilizados nesta intervenção.

Para a data de 04-10-12 dos 78 NNA presentes neste “*cluster*” 34,6% foram utilizados nesta intervenção.

Para a data de 23-01-08 dos 78 NNA presentes neste “*cluster*” 28,2% foram utilizados nesta intervenção.

Finalmente, para a data de 03-10-12 dos 78 NNA presentes neste “*cluster*” 28,9% foram utilizados nesta intervenção.

Quanto à variável de avaliação LIMS T9101.518 neste “*cluster*” dos 78 NNA presentes 7,7% pertencem a esta LIMS.

Assim sendo, torna-se impossível de determinar se efetivamente os 7,7% presentes na LIMS estão também presentes nas restantes datas, pois as datas apresentam outros consumos de artigos que não o da LIMS.

Sendo a presença dos artigos da LIMS indefinido nas datas foram criadas 2 tabelas apresentadas em seguida. A primeira diz respeito às horas de funcionamento entre as datas das ocorrências para verificar a periodicidade de 1500 horas.

As horas de funcionamento para cada data foram estimadas através dos registos mensais de dias de missão e de horas de navegação dos DN59 através da regressão



linear múltipla definida em 3.2. Os valores obtidos foram comparados com os registados nos DN59.

| <b>5820019<br/>(Data)</b> | <b>Horas<br/>Func</b> | <b>5820020<br/>(Data)</b> | <b>Horas<br/>Func</b> | <b>5820022<br/>(Data)</b> | <b>Horas<br/>Func</b> |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| 23-01-2008                | 1713                  | 23-01-2008                | 1391                  | 26-06-2006                | -                     |
| 01-11-2009                | 1034                  | 01-11-2009                | 3444                  |                           |                       |
| 03-10-2012                | 4586                  | 29-09-2010                | 1774                  |                           |                       |
| 04-10-2012                | 0                     |                           |                       |                           |                       |

**Tabela 8-Registo das Horas de Funcionamento para a LIMS T9101.518**

Pode-se observar que apenas 2 motores apresentam consumos periódicos mas distantes das 1500 horas normalizadas. Para o motor 5820022 a informação disponível dos DN59 só está disponível a partir de 01-01-07, sendo impossível determinar as horas de funcionamento até à data em causa.

Pode-se ainda observar que houve duas datas em simultâneo em que as requisições para esta LIMS coincidiram.

A segunda tabela foi criada para verificar se efetivamente houve consumos dos sobressalentes da LIMS T9101.518 em determinadas datas:

| <b>LIMS T9101.518<br/>(NNA/Quantidade)</b> | <b>23-01-2008<br/>(Quantidade)</b> | <b>01-11-2009<br/>(Quantidade)</b> | <b>03-10-2012<br/>(Quantidade)</b> |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| (4730-123145609/1)                         | (0)                                | (0)                                | (0)                                |
| (5330-121786268/2)                         | (24)                               | (24)                               | (24)                               |
| (5330-121786403/2)                         | (24)                               | (24)                               | (24)                               |
| (5330-121879873/1)                         | (24)                               | (24)                               | (24)                               |
| (5330-123350056/1)                         | (12)                               | (12)                               | (0)                                |
| (5331-121786289/2)                         | (12)                               | (12)                               | (12)                               |
| (5331-121786301/2)                         | (150)                              | (24)                               | (102)                              |

**Tabela 9-Consumo de LIMS para cada data do Motor 5820019**



| <b>LIMS T9101.518<br/>(NNA/Quantidade)</b> | <b>23-01-2008<br/>(Quantidade)</b> | <b>01-11-2009<br/>(Quantidade)</b> | <b>29-09-2010<br/>(Quantidade)</b> |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| (4730-123145609/1)                         | (0)                                | (0)                                | (0)                                |
| (5330-121786268/2)                         | (24)                               | (24)                               | (12)                               |
| (5330-121786403/2)                         | (24)                               | (24)                               | (8)                                |
| (5330-121879873/1)                         | (24)                               | (24)                               | (10)                               |
| (5330-123350056/1)                         | (12)                               | (12)                               | (6)                                |
| (5331-121786289/2)                         | (12)                               | (12)                               | (6)                                |
| (5331-121786301/2)                         | (150)                              | (24)                               | (24)                               |

**Tabela 10-Consumo de LIMS para cada data dos Motor 5820020**

Como se pode verificar todos os NNA são requisitados à exceção do primeiro na tabela, tal coincide com o resultado do “*Two-Step Cluster Analysis*”. É possível observar na Figura 15, no “*cluster*” 1 (que contém 451 NNA apresenta 0,2% dos NNA da LIMS T9101.518) e do qual não houve consumo nas datas selecionadas (pelo critério de aglomeração de Ward), que esse NNA pode estar representado nesse “*cluster*”.

Como se pode observar os restantes 7,7% dos NNA são requisitados nas datas presentes na tabela.

Observando as frequências de consumos e a frequência requisitada pode-se observar que as quantidades são bastante diferentes, pelo que uma análise binária aos consumos de artigos se apresenta bastante favorável.

### **3.3.1.3 LIMS T9101.507**

As variáveis selecionadas para o “*two-step cluster analysis*” foram as datas identificadas pelo critério de aglomeração de Ward:

29-07-11, 13-01-12, 18-07-11, 14-10-10, 28-05-11, 31-05-11, 12-04-12, 30-04-12, 21-06-11, 06-07-11, 25-04-11, 15-06-11, 16-04-08, 03-03-11, 27-04-10, 11-03-12, 12-10-10, 01-02-08, 09-01-13, 15-03-11, 19-01-12, 26-04-08, 28-05-08, 19-02-08, 01-07-10, 28-04-12, 04-03-07, 14-01-11, 24-07-12, 04-04-11, 24-02-11, 28-11-08, 04-04-08, 11-09-09 e a variável de avaliação a LIMS T9101.507.

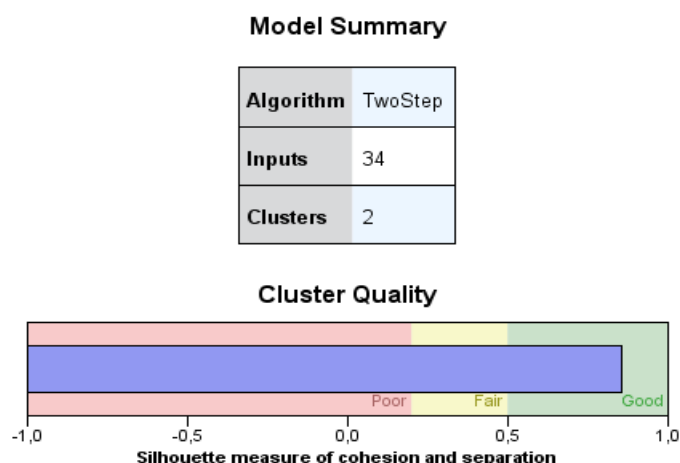


Figura 16-Silhueta LIMS T9101.507 (IBM SPSS Statistics)

Como se pode observar para a LIMS T9101.507, na Figura 16, de acordo com Figura 12 a “*silhouette measure*”, pode-se considerar que o número de “*clusters*” é “bom” (usando novamente uma seleção automatizada do número de “*clusters*” através do critério BIC).

O número de “*inputs*” são as datas referidas anteriormente (34) para a respetiva LIMS. Através da seleção automática o algoritmo BIC selecionou 2 “*clusters*”, isto porque a variável LIMS T9101.507 apresenta um pequeno consumo de sobressalentes.

O número de “*clusters*”, indica também que as datas apresentadas não apresentam consumos de grande escala de sobressalentes, (ao contrário do que foi visto na LIMS T9101.518), pelo que as datas se aproximam mais do consumo da LIMS em análise.

Através do “*Two\_Step.spv*”, em CD-ROM. pode-se observar nesta LIMS que o maior “*cluster*” tem uma percentagem de 84,6% contendo 554 NNA e o mais pequeno de 101% contendo este 57 NNA.



Ainda através do “*Two\_Step.spv*”, em CD-ROM <sup>31</sup> pode-se observar que o “*cluster*” 1, que contém 554 NNA, em nenhuma das datas foram utilizados esses NNA, porém desses 554 NNA 0,4% <sup>32</sup> são pertencentes à LIMS T9101.507.

No que diz respeito ao “*cluster*” 2 que contém 101 NNA podemos observar que todas as datas têm pelo menos 1% desses NNA requisitados e que também 1% dos NNA pertencem à variável de avaliação (LIMS T9101.507), pelo que se torna impossível de determinar se efetivamente o 1% presentes na LIMS coincide com o 1% das datas.

Para tal, foram criadas novamente 2 tabelas. A primeira para verificar as periodicidades em horas de funcionamento entre datas e a segunda para verificar se efetivamente as datas continham o 1% da LIMS.

As horas de funcionamento foram estimadas através dos registos mensais de dias de missão e de horas de navegação dos DN59 através da regressão linear múltipla definida em 3.2, sendo o valor obtido para cada data comparado com o registado nos DN59.

| <b>5820017</b> | <b>Horas<br/>Funcionamento</b> | <b>5820019</b> | <b>Horas<br/>Funcionamento</b> | <b>5820020</b> | <b>Horas<br/>Funcionamento</b> |
|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| 04-03-2007     | 285                            | 28-05-2008     | 1938                           | 01-02-2008     | 1391                           |
| 26-04-2008     | 1473                           | 26-09-2009     | 809                            | 16-04-2008     | 231                            |
| 28-11-2008     | 947                            | 27-04-2010     | 3093                           | 14-01-2011     | 4991                           |
| 11-09-2009     | 0                              | 15-03-2011     | 1464                           | 03-03-2011     | 0                              |
| 01-07-2010     | 426                            | 31-05-2011     | 957                            |                |                                |
| 12-10-2010     | 1                              | 15-06-2011     | 352                            |                |                                |
| 24-02-2011     | 393                            | 06-07-2011     | 352                            |                |                                |
| 25-04-2011     | 584                            | 29-07-2011     | 352                            |                |                                |
| 21-06-2011     | 976                            | 13-01-2012     | 657                            |                |                                |
| 19-01-2012     | 1196                           | 12-04-2012     | 450                            |                |                                |
| 11-03-2012     | 290                            | 24-07-2012     | 143                            |                |                                |

**Tabela 11-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820017, 5820019, 5820020**

<sup>31</sup> Nota: Para efeitos de visualização é necessário recorrer ao ficheiro devido ao número elevado de variáveis (34)

<sup>32</sup>Nota: Valor relativo aos artigos impossíveis de identificar através do manual de peças do fabricante.



| <b>5820021</b> | <b>Horas<br/>Funcionamento</b> | <b>5820022</b> | <b>Horas<br/>Funcionamento</b> | <b>5820022<sup>a</sup></b> | <b>Horas<br/>Funcionamento</b> |
|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 04-04-2008     | 392                            | 19-02-2008     | 385                            | 18-07-2011                 | 461                            |
| 24-09-2010     | 3834                           |                |                                | 28-04-2012                 | 1604                           |
| 04-04-2011     | 1165                           |                |                                |                            |                                |
| 28-05-2011     | 4                              |                |                                |                            |                                |

**Tabela 12-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820021, 5820022**

Como se pode verificar *à priori* não existe um padrão nas periodicidades entre datas. De acordo com o normalizado, a LIMS T9101.507 tem uma periodicidade de 500 horas ou anual caso não cumpra as 500 horas; tal não se verifica de acordo com os registos. Para verificar se as listas de artigos requisitados correspondentes às diversas datas contém artigos normalizados na LIMS foi criada a tabela<sup>33</sup> seguinte de acordo com o registado no DN60.

|  | <b>5820017</b>                     | <b>5820019</b>                     | <b>5820020</b>                     | <b>5820021</b>                     |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>LIMS T9101.507<br/>(NNA/Quantidade)</b> | <b>04-03-2007<br/>(Quantidade)</b> | <b>15-06-2011<br/>(Quantidade)</b> | <b>16-04-2008<br/>(Quantidade)</b> | <b>24-09-2010<br/>(Quantidade)</b> |
| (2940-121884349/1)                         | (24)                               | (6)                                | (4)                                | (8)                                |
| (5331-123183944/1)                         | (0)                                | (6)                                | (4)                                | (8)                                |

**Tabela 13-Consumo de LIMS para uma data dos Motores 5820017, 5820019, 5820020, 5820021**

|  | <b>5820022</b>                     | <b>5820022a</b>                    |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>LIMS T9101.507<br/>(NNA/Quantidade)</b> | <b>19-02-2008<br/>(Quantidade)</b> | <b>18-07-2011<br/>(Quantidade)</b> |
| (2940-121884349/1)                         | (12)                               | (2)                                |
| (5331-123183944/1)                         | (4)                                | (2)                                |

**Tabela 14-Consumo de LIMS para uma data dos Motores 5820022 e 5820022a**

Como se pode verificar das datas seleccionadas todas contém os artigos da LIMS T9101.507, porém as requisições são sempre efetuadas em quantidades superiores, pelo

<sup>33</sup> Nota: para cada motor foi seleccionada uma data das seleccionadas pelo critério de aglomeração de Ward



que a análise binária dos consumos de NNA torna-se mais plausível que uma análise às frequências de quantidades.

Como se pode observar pelas tabelas as quantidades requisitadas são sempre superiores às especificadas pelas LIMS; como tal, é plausível que a periodicidade normal não seja idêntica à da LIMS. No entanto, podemos verificar que o algoritmo de Ward aplicado a uma matriz binária em que 1 corresponde a “artigo utilizado” e o 0 a “artigo não utilizado”, é bastante aceitável.

Após a utilização da classificação automática para identificar grupos de datas (isto é grupos de requisições correspondentes a esses grupos de datas) que se assemelhassem a consumos de LIMS chegou-se à conclusão que o “*cluster analysis*” pode ser utilizado para resolver essa problemática sendo o critério de aglomeração de Ward uma metodologia que apresenta bons resultados não só através da visualização dos dados como também em resultados posteriormente comprovados através da técnica de “*Two-Step Clustering Analysis*”. Face a esta conclusão, os resultados obtidos por este método serão utilizados mais à frente nesta dissertação para determinar as intensidades de ocorrência das LIMS, tendo em conta o registo histórico e não as periodicidades teóricas.

### **3.4 Metodologia para Estimação dos Parâmetros do Modelo em Manutenção Preventiva**

Em seguida, apresenta-se a metodologia a usar para estimar as quantidades de sobressalentes a considerar tendo em conta as ocorrências estimadas de FITS associados a LIMS durante o período de interesse. Face aos problemas detetados nos registos do SICALN- quando se aplicam tarefas de manutenção normalizadas só muito esporadicamente é que a natureza específica dessa manutenção é mencionada - considerou-se útil usar a metodologia da classificação automática para identificar datas – portanto listas de requisições de sobressalentes que se aproximem das LIMS. Ao usar esta metodologia assume-se que, em Manutenção preventiva os sobressalentes das LIMS ocorrem simultaneamente, como foi visto atrás.



Neste capítulo será efetuada uma análise às ocorrências identificadas anteriormente pelo “*cluster analysis*”, na Tabela 7 para a revisão W6, na Tabela 8 para a LIMS T9101.518 e Tabela 11 e Tabela 12 para a LIMS T9101.507, pois de acordo com o apresentado as periodicidades não coincidem com o que está normalizado nas FIT. Interessa agora decidir se os dados são compatíveis com a hipótese de que a ocorrência de LIMS se processa, na prática, de acordo com um processo de POISSON Homogéneo (PPH) ou, o que é equivalente, que os tempos entre ocorrências de LIMS seguem uma distribuição exponencial.

Esta hipótese pode ser testada usando o teste de Laplace, como pode ser visto, por exemplo (RIGDON & BASU, 2000), usando a estatística de teste  $u$ , abaixo definida, cuja distribuição, no caso de a hipótese nula ser verdadeira, é uma  $N(0,1)$ .

Em síntese: para as ocorrências de LIMS (T9101.507, T9101.518 e revisões W5 e W6), é utilizado neste capítulo o teste de Laplace de forma a verificar se estas LIMS seguem um PPH. Isto é, testar:

$$\begin{cases} H_0: \lambda = cte \\ H_1: \lambda \neq cte \end{cases}$$

$$u = \frac{\frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} - \frac{T}{2}}{T \sqrt{\frac{1}{12N}}}$$

$T$  – representa o tempo total de operação.

$N$  – o número total de falhas

$x_i$  – representa o tempo do sistema na  $i$ -ésima falha.

### 3.4.1 Revisões W5 e W6

Visto este tipo de revisões estarem registadas nos DN59, apenas foi verificado se elas seguiam um PPH, como tal foi utilizado o teste de Laplace para verificar esse mesmo comportamento e estimada uma média para as horas de funcionamento (de



acordo com Anexo III- DN59, Horas de Funcionamento dos Motores Propulsores) entre as revisões deste tipo.

### 3.4.1.1 *Análise das LIMS W5 e W6*

Para as LIMS do tipo revisão W5 e W6 em que as periodicidades normalizadas são diferentes, mas que no entanto se efetuam em simultâneo, os valores utilizados serão os registados através dos DN59 ao invés dos utilizados na análise de agrupamentos (19-05-08, 28-03-12 e 04-01-13).

Veja-se a seguinte tabela com os tempos, para cada motor, em que foram efetuadas estas revisões.

| Nº Série | $\Delta t$ (Horas de Funcionamento) |
|----------|-------------------------------------|
| 5820017  | 5253                                |
| 5820018  | 5398                                |
| 5820019  | 5932                                |
| 5820020  | 7184                                |
| 5820021  | 9099                                |
| 5820022  | 4210                                |
| 5820022a | 6467                                |

**Tabela 15-Horas de Funcionamento das LIMS W5 e W6**

As LIMS W5 têm uma periodicidade - de acordo com os registos - de 4500 horas e as LIMS W6 têm uma periodicidade de 9000 horas, como ambas são efetuadas em simultâneo o valor recorrentemente utilizado como base tem sido as 5500 horas de funcionamento, até porque as LIMS W6 são mais completas e abrangem várias manutenções inclusive a W5. Então neste caso temos:

A média utilizada nesta revisão foi baseada nos registos dos DN59 e não nos registos do critério de aglomeração de Ward visto haverem registos das datas em que foram efetuadas as manutenções. O valor médio de horas de funcionamento entre revisões W5/W6 é dado por:

$$\hat{\theta} = 6220,42857$$



De acordo com os registos se a revisão W5 tem uma periodicidade de 4500 horas e a revisão W6 tem uma periodicidade de 9000 podemos observar que o valor médio estimado se encontra entre as duas periodicidades pelo que este valor médio será o considerado para estimar as ocorrências de ambas as manutenções.

É importante porém verificar se também as ocorrências destas LIMS se podem modelar por um PPH. É então realizado o teste de Laplace para esta LIMS, onde:

$$\begin{cases} H_0: \lambda = cte \\ H_1: \lambda \neq cte \end{cases}$$

Tem-se:

$$u = \frac{\frac{5253+5398+5932+7184+9099+4210+6467}{7} - \frac{9000+4500}{2}}{43543 \sqrt{\frac{1}{12 \times 7}}}$$

$$u = 0,59892$$

Considerando as hipóteses e  $\alpha = 10\%$  tem-se:

$$\frac{\alpha}{2} = 5\%, \text{ a que corresponde o quantil } 1,645$$

Tendo-se então:

$$-1,645 < 0,59892 < 1,645$$

Pode-se então concluir que os tempos entre ocorrências das as manutenções W5/W6 seguem um modelo exponencial (PPH) com intensidade de ocorrência de 6220,42857.

### 3.4.1 LIMS T9101.518

Para a LIMS T9101.518 inicialmente como a anterior, verificou-se através do teste de Laplace se efetivamente os respetivos tempos entre ocorrências seguiam um PPH.



Para esta LIMS apenas foram selecionados os Motores de Série 5820019 e 5820020, pois para a data de 26-06-06 não havia registo das horas de funcionamento no SICALN, a data de 04-10-12 também não foi considerada visto não ter passado nenhuma hora de funcionamento desde o dia anterior (03-10-12).

### **3.4.1.1 *Análise da LIMS T9101.518***

Após a análise á LIMS T9101.507, pretende-se agora efetuar uma análise semelhante à LIMS T9101.518, esta porém com menor taxa de ocorrências, expectável pela sua periodicidade normalizada (1500 horas).

Em seguida verifica-se, o comportamento da LIMS T9101.518 através do Teste de Laplace, de forma a determinar se efetivamente pode ser descrita como um HPP.

No caso desta LIMS apenas foram considerados os 2 motores com mais intensidades ocorrência: 5820019 e 5820020.

Novamente:

$x_i$  – Representa a soma das horas de funcionamento registadas durante as ocorrências da LIMS.

$T$  – Representa a média dos somatórios das horas de funcionamento de todos os motores considerados desde o início dos registos.

$N$  – Representa o número de ocorrências.

Para a determinação dos valores de  $x_i$  e  $T$ , as horas de funcionamento (para cada data) foram estimadas com base nos registos mensais de dias de missão e de horas de navegação dos DN59 através da regressão linear múltipla definida em 3.2. Os valores estimados obtidos foram posteriormente comparados com os valores mensalmente registados nos DN59.



| Data       | 5820019 | 5820020 | SOMATÓRIO |
|------------|---------|---------|-----------|
| 23-01-2008 | 1713    | 1391    | 3104      |
| 01-11-2009 | 2747    | 4835    | 7582      |
| 29-09-2010 | 3206    | 6609    | 9815      |
| 03-10-2012 | 7478    | 6892    | 14370     |

Tabela 16-Registro das Horas de Funcionamento às datas de ocorrência da LIMS T9101.518

Considerando as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \lambda = cte \\ H_1: \lambda \neq cte \end{cases}$$

Tem-se então,

$$x_i = 3104 + 7582 + 9815 + 14370 = 34871$$

$$T = 7478 + 6982 = 14370$$

$$u = \frac{\frac{34871}{6} - \frac{14370}{2}}{14370 \sqrt{\frac{1}{12 \times 6}}} = -0,81$$

Para um valor de  $\alpha = 10\%$  temos:

$$\frac{\alpha}{2} = 5\%, \text{ a que corresponde o quantil } 1,645$$

$$-1,645 < -0,81 < 1,645$$

Esta LIMS apresenta um comportamento que se pode caracterizar por uma intensidade de falhas ocorrências constante, visto enquadra-se dentro de um PPH, (pois não podemos rejeitar  $H_0$ ).

Veja-se agora um diagrama representativo da intensidade de ocorrências da LIMS T9101.518.

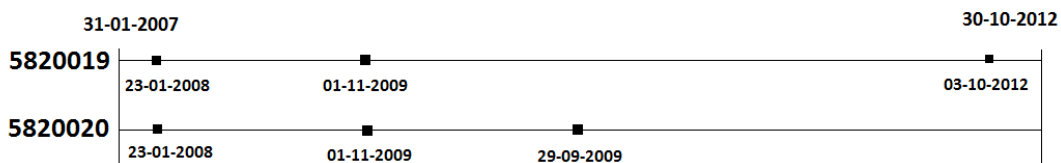


Figura 17-Diagrama de ocorrências da LIMS T9101.518

Vendo-se novamente a tabela pode-se então verificar as estimas dos tempos de funcionamento entre ocorrências da LIMS e posteriormente calcular a média.

| 5820019 (Data) | Horas Navegação | 5820020 (Data) | Horas Navegação |
|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 23-01-2008     | 1713            | 23-01-2008     | 1391            |
| 01-11-2009     | 1034            | 01-11-2009     | 3444            |
| 03-10-2012     | 4586            | 29-09-2010     | 1774            |
| TOTAL          | 7333            |                | 6609            |

Tabela 17- Horas de Funcionamento para a LIMS T9101.518 (Ref: Tabela 8-Registo das Horas de Funcionamento para a LIMS T9101.518)

Os valores  $\hat{\theta}_1$  e  $\hat{\theta}_2$ , podem ser determinados através de:

$$\hat{\theta}_1 = \frac{1713 + 1034 + 4586}{3} = 2444,33$$

$$\hat{\theta}_2 = \frac{1391 + 3444 + 1774}{3} = 2203$$

Para os motores tem-se:

$$\hat{\theta} = \frac{2444,333 + 2203}{2} = 2323,6667^{34}$$

<sup>34</sup> Horas de Funcionamento



Pode-se então considerar uma intensidade de ocorrência da LIMS T9101.518 para cada motor de série, de valor  $\hat{\theta} = 2323,6667$  e desvio padrão  $\hat{\sigma}^{35} = 1263,6886$ .

### 3.4.2 LIMS T9101.507

Para a LIMS T9101.507, primeiramente, recorreu-se ao teste de Laplace para decidir se é admissível considerar que a LIMS seguia um PPH e de seguida determinou-se a intensidade de ocorrências com base na média das estimativas para cada motor de série.

#### 3.4.2.1 *Análise da LIMS T9101.507*

Iniciou-se pelo teste de Laplace, onde:

O valor de  $x_i$  é a soma das horas de funcionamento registadas durante as ocorrências da LIMS.

O valor de  $T$  representa a média dos somatórios das horas de funcionamento de todos os motores considerados desde o início dos registos.

Para a determinação dos valores de  $x_i$  e  $T$ , as horas de funcionamento para cada data foram estimadas com base nos registos mensais de dias de missão e de horas de navegação dos DN59 através da regressão linear múltipla definida em 3.2. Os valores obtidos foram posteriormente comparados com os valores mensalmente registados, tendo sido criada em *Microsoft Excel*® a Tabela 18 necessária à determinação dos valores de  $T$  e  $x_i$  - foram excluídas as intervenções com menos de 10 horas de funcionamento (11-09-2009, 12-10-2010 e 03-03-2011).

---

<sup>35</sup>  $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \hat{\theta})^2}$



| Data       | Nº Série | 5820017 | 5820019 | 5820020 | 5820021 | 5820022 | 582022a | Soma  |
|------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 04-03-2007 | 5820017  | 285     | 1       | 2       | 0       | 0       | 0       | 288   |
| 01-02-2008 | 5820020  | 922     | 1713    | 1391    | 328     | 0       | 0       | 4354  |
| 19-02-2008 | 5820022  | 958     | 1833    | 1514    | 380     | 0       | 0       | 4685  |
| 04-04-2008 | 5820021  | 1343    | 1896    | 1579    | 392     | 0       | 0       | 5210  |
| 16-04-2008 | 5820020  | 1758    | 1938    | 1622    | 709     | 0       | 0       | 6027  |
| 26-04-2008 | 5820017  | 1758    | 1938    | 1622    | 709     | 0       | 0       | 6027  |
| 28-05-2008 | 5820019  | 2227    | 1938    | 1983    | 834     | 0       | 0       | 6982  |
| 28-11-2008 | 5820017  | 2705    | 2747    | 2547    | 1304    | 0       | 0       | 9303  |
| 11-09-2009 | 5820017  |         |         |         |         |         |         | 0     |
| 26-09-2009 | 5820019  | 2705    | 2747    | 3603    | 3477    | 846     | 0       | 13378 |
| 27-04-2010 | 5820019  | 2821    | 2747    | 6599    | 3665    | 3032    | 0       | 18864 |
| 01-07-2010 | 5820017  | 3131    | 3204    | 6605    | 3921    | 3038    | 0       | 19899 |
| 24-09-2010 | 5820021  | 3132    | 3204    | 6609    | 4226    | 3042    | 0       | 20213 |
| 12-10-2010 | 5820017  |         |         |         |         |         |         | 0     |
| 14-01-2011 | 5820020  | 3235    | 3320    | 6613    | 4360    | 3072    | 0       | 20600 |
| 24-02-2011 | 5820017  | 3525    | 4145    | 6613    | 4424    | 3078    | 64      | 21849 |
| 03-03-2011 | 5820020  |         |         |         |         |         |         | 0     |
| 15-03-2011 | 5820019  | 3591    | 4211    | 6613    | 4633    | 3078    | 248     | 22374 |
| 04-04-2011 | 5820021  | 3591    | 4211    | 6613    | 4633    | 3078    | 248     | 22374 |
| 25-04-2011 | 5820017  | 4109    | 4718    | 6613    | 4637    | 3078    | 251     | 23406 |
| 28-05-2011 | 5820021  |         |         |         |         |         |         | 0     |
| 31-05-2011 | 5820019  | 4558    | 5168    | 6613    | 4702    | 3078    | 308     | 24427 |
| 15-06-2011 | 5820019  | 5085    | 5690    | 6613    | 4855    | 3078    | 460     | 25781 |
| 21-06-2011 | 5820017  | 5085    | 5690    | 6613    | 4855    | 3078    | 460     | 25781 |
| 06-07-2011 | 5820019  | 5085    | 5690    | 6613    | 4855    | 3078    | 460     | 25781 |
| 18-07-2011 | 5820022A | 5619    | 6226    | 6613    | 4855    | 3078    | 461     | 26852 |
| 29-07-2011 | 5820019  | 5619    | 6226    | 6613    | 4855    | 3078    | 461     | 26852 |
| 13-01-2012 | 5820019  | 6243    | 6846    | 6785    | 4988    | 3133    | 592     | 28587 |
| 19-01-2012 | 5820017  | 6281    | 6883    | 6786    | 4992    | 3157    | 595     | 28694 |
| 11-03-2012 | 5820017  | 6283    | 6885    | 6837    | 5093    | 3209    | 689     | 28996 |
| 12-04-2012 | 5820019  | 6571    | 6997    | 6883    | 5436    | 3328    | 999     | 30214 |
| 28-04-2012 | 5820022A | 6899    | 7333    | 6883    | 6040    | 3328    | 1604    | 32087 |
| 24-07-2012 | 5820019  | 7027    | 7476    | 6889    | 6682    | 10570   | 2255    | 40899 |

Tabela 18- Tabela para Teste de Laplace da LIMS T9101.507

Tendo-se então:

$$\begin{cases} H_0: \lambda = cte \\ H_1: \lambda \neq cte \end{cases}$$



$$\begin{aligned}x_i = & 288 + 4354 + 4658 + 5210 + 6027 + 6027 + 6982 + 9303 + 13378 \\ & + 188864 + 19899 + 20213 + 20600 + 21849 + 22374 + 22374 \\ & + 23406 + 24427 + 25781 + 25781 + 25781 + 26852 + 26852 \\ & + 28587 + 28694 + 28996 + 30214 + 32087 + 40899 = 570784\end{aligned}$$

$$T = 7027 + 7476 + 6682 + 6889 + 10570 + 2555 = 40899$$

$$u = \frac{\frac{570784}{29} - \frac{40899}{2}}{40899 \sqrt{\frac{1}{12 \times 29}}} = -0,349$$

Para um valor de  $\alpha = 10\%$  tem-se:

$$\frac{\alpha}{2} = 5\%, \text{ a que corresponde o quantil } 1,645$$

Para descrevermos o comportamento da LIMS como um PPH ter-se-ia:

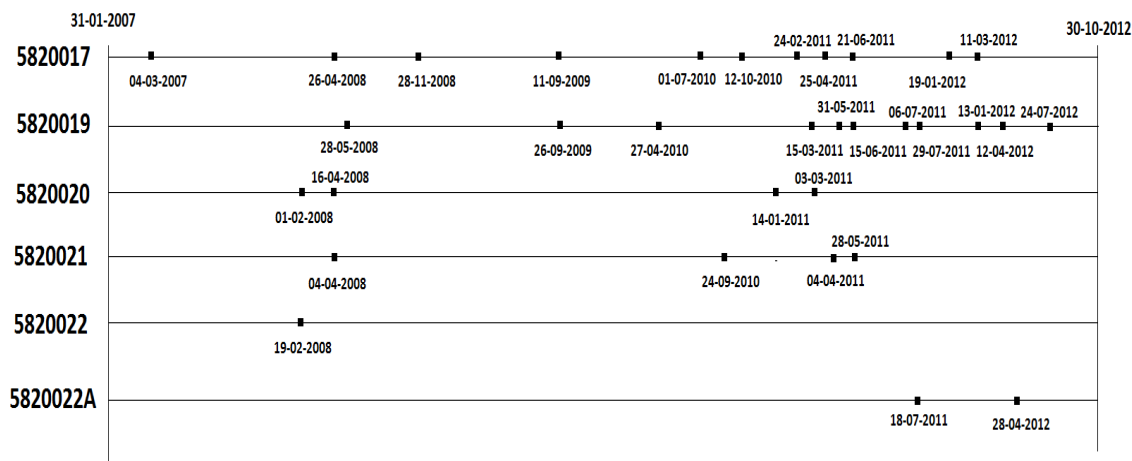
$$-\alpha/2 < U < \alpha/2$$

Neste caso como  $-1,645 < -0,349 < 1,645$ , não se rejeita a hipótese de que  $\lambda = \text{constante}$  e que as intensidades de ocorrência das LIMS são descritas por um PPH.

Para estudar a intensidade de ocorrência da LIMS T9101.507-que tem uma intensidade de ocorrência normalizada de 500 horas - representam-se no diagrama seguinte os resultados obtidos através da análise de agrupamentos efetuada pelo algoritmo de Ward, onde apenas o motor 5820018 não tem qualquer intervenção identificada.



## Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes (SPPS)



**Figura 18-Diagrama de Intensidade de Ocorrência da LIMS T9101.507**

Em seguida estão expostas as tabelas apresentadas anteriormente-Tabela 11 e Tabela 12, de maneira a estimar as intensidades médias de ocorrência da LIMS T9101.507.

| 5820017    | Horas Funcionamento | 5820019    | Horas Funcionamento | 5820020    | Horas Funcionamento |
|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|
| 04-03-2007 | 285                 | 28-05-2008 | 1938                | 01-02-2008 | 1391                |
| 26-04-2008 | 1473                | 26-09-2009 | 809                 | 16-04-2008 | 231                 |
| 28-11-2008 | 947                 | 27-04-2010 | 3093                | 14-01-2011 | 4991                |
| 11-09-2009 | 0                   | 15-03-2011 | 1464                | 03-03-2011 | 0                   |
| 01-07-2010 | 426                 | 31-05-2011 | 957                 |            |                     |
| 12-10-2010 | 1                   | 15-06-2011 | 352                 |            |                     |
| 24-02-2011 | 393                 | 06-07-2011 | 352                 |            |                     |
| 25-04-2011 | 584                 | 29-07-2011 | 352                 |            |                     |
| 21-06-2011 | 976                 | 13-01-2012 | 657                 |            |                     |
| 19-01-2012 | 1196                | 12-04-2012 | 450                 |            |                     |
| 11-03-2012 | 290                 | 24-07-2012 | 143                 |            |                     |
| TOTAL      | <b>6570</b>         |            | <b>10567</b>        |            | <b>6613</b>         |

**Tabela 19-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820017, 5820019, 5820020(Ref: Tabela 11-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820017, 5820019, 5820020).**



| 5820021    | Horas Funcionamento | 5820022    | Horas Funcionamento | 5820022A   | Horas Funcionamento |
|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|
| 04-04-2008 | 392                 | 19-02-2008 | 385                 | 18-07-2011 | 461                 |
| 24-09-2010 | 3834                |            |                     | 28-04-2012 | 1604                |
| 04-04-2011 | 1165                |            |                     |            |                     |
| 28-05-2011 | 4                   |            |                     |            |                     |
| TOTAL      | 5391                |            | 385                 |            | 2065                |

Tabela 20-Tempos entre Horas de Funcionamento para os Motores de Série 5820021, 5820022, 5820022a (Ref: Tabela 12-Horas de funcionamento para os Motores de Série 5820021, 5820022).

Foi efetuada a média estimada de horas de funcionamento para cada motor de série. Para as médias e os totais foram rejeitados todas as intensidades abaixo das 10 horas de funcionamento, tendo então os valores  $\hat{\theta}_i$  através da Tabela 19 e Tabela 20:

$$\hat{\theta}_1 = 730$$

$$\hat{\theta}_2 = 960,636$$

$$\hat{\theta}_3 = 2204,333$$

$$\hat{\theta}_4 = 1797$$

$$\hat{\theta}_5 = 385$$

$$\hat{\theta}_6 = 1032,5$$

Assim sendo,

$$\begin{aligned} \hat{\theta} &= \frac{\hat{\theta}_1 + \hat{\theta}_2 + \hat{\theta}_3 + \hat{\theta}_4 + \hat{\theta}_5 + \hat{\theta}_6}{6} \\ &= \frac{730 + 960,636 + 2204,333 + 1797 + 385 + 1032,5}{6} \end{aligned}$$

logo,

$$\hat{\theta} = 1184,9116^{36}$$

<sup>36</sup>Horas de Funcionamento



Pode-se então considerar uma intensidade de ocorrência desta LIMS para cada motor da série, de valor  $\hat{\theta} = 1184,9116$  e de desvio padrão  $\hat{\sigma}^{37} = 1113,9105$ .

### 3.4.3 Determinação dos Valores $\hat{\lambda}_i$ , $\hat{N}_i(t)$ e $\hat{N}_c(t)$

Ao usar a metodologia do “*cluster analysis*” considera-se que os sobressalentes das LIMS e conseqüentemente os de manutenção preventiva ocorrem em simultâneo.

Anteriormente neste subcapítulo apresentou-se a estimação dos tempos médios entre ocorrências das diversas LIMS.

Em seguida apresenta-se a estimação dos parâmetros propostos no modelo de SPPS (VAIRINHOS, 1984), para manutenção preventiva, nos quais se usam as estimações apresentadas anteriormente.

#### 3.4.3.1 $N(t)$

Sendo  $N(t)$ , definida em (VAIRINHOS, 1984), o vetor com o número de ocorrências de cada uma das FIT da CARM, tem-se para a LIMS T9101.507  $\hat{\theta} = 1184,9116$ , para a LIMS T9101.518  $\hat{\theta} = 2323,6667$  e para as revisões W5/W6  $\hat{\theta} = 6220,42857$ .

Sabendo que todas as LIMS são modeladas por um PPH de intensidade  $\lambda_i$ , para cada uma das LIMS ( $i = 1, \dots, 3$ ) tem-se:

$$\hat{\lambda}_i = \frac{1}{\hat{\theta}_i}$$

Portanto, para a LIMS T9101.507 tem-se:

$$\hat{\lambda}_1 = \frac{1}{\hat{\theta}_1} = \frac{1}{1184,9116} = 0,000843$$

---

<sup>37</sup>  $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \hat{\theta})^2}$



Para a LIMS T9101.518 tem-se:

$$\widehat{\lambda}_2 = \frac{1}{\widehat{\theta}_2} = \frac{1}{2323,6667} = 0,000430$$

Para a LIMS W5/W6 tem-se:

$$\widehat{\lambda}_3 = \frac{1}{\widehat{\theta}_3} = \frac{1}{6220,42857} = 0,000161$$

Pode-se definir a frequência de ocorrência de LIMS em (VAIRINHOS, 1984) através de  $T$ , no período  $t$  através da equação:

$$\widehat{N}_i(t) = \widehat{\lambda}_i \times t$$

Então o número médio estimado de ocorrências das LIMS para o período  $t = T$ , em que se vão verificar números de horas de funcionamento estimados pela expressão da regressão linear obtida em 3.2:

$$T = -208,035 + 0,903333 \text{ horas de navegação} + 6,857 \text{ dias de missão}$$

Sendo  $i = 1, \dots, r$ , e como visto anteriormente  $r = 3$ ,  $\widehat{N}_i(t)$  pode ser definido por:

$$\widehat{N}_i(t) = \begin{bmatrix} \widehat{N}_1(t) \\ \dots \\ \widehat{N}_i(t) \\ \dots \\ \widehat{N}_r(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widehat{N}_1(t) \\ \widehat{N}_i(t) \\ \widehat{N}_r(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \times \widehat{\lambda}_1 \\ T \times \widehat{\lambda}_2 \\ T \times \widehat{\lambda}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T \times 0,000843 \\ T \times 0,000430 \\ T \times 0,000161 \end{bmatrix}$$

A probabilidade haverem  $x$  ocorrências das LIMS no período de duração  $t$ , pode ser definido, através de um PPH, por:

$$P(\widehat{N}_i(t) = x) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$$

Os valores estimados destas probabilidades obter-se iam substituindo os valores de  $\lambda$  pelos dos seus estimadores, obtidos anteriormente.



### 3.4.3.2 $N_c(t)$

No cálculo dos valores do número de ocorrências de um determinado FIT no SPPS  $N(t)$ , considera-se que o valor para o número de ocorrências tendo em conta a manutenção relacionada denomina-se  $N_c(t)$  (corrigido).

De acordo com os DN59 para o caso do equipamento em análise foi visto que as LIMS W5 e W6 ocorriam em simultâneo.

A ocorrência da LIMS W6 de menor periodicidade 9000 horas implica a ocorrência da LIMS W5 4500 horas, podendo esta relação ser representada por:

$$W6 \rightarrow W5$$

Em que o símbolo " $\rightarrow$ " representa que a LIMS W5 deve ser utilizada sempre que a LIMS W6 ocorre.

De acordo com o previsto na CARM ter-se-ia o seguinte:

$$W6 \rightarrow W5$$

$$W6 \rightarrow W5 \not\Rightarrow W5 \rightarrow W6$$

(O fato de se ter de efetuar W5 sempre que ocorra W6, não implica que tenha que se efetuar W6 sempre que se efetue W5.)

Como tal pode-se definir a matriz R, como:

$$R =$$

|          | j=1 (W5) | j=2 (W6) |
|----------|----------|----------|
| i=1 (W5) | 1        | 0        |
| i=2 (W6) | 1        | 1        |

Onde "1" implica que a LIMS da coluna j deve ser sempre executada quando ocorre a LIMS da linha i sendo que "0" significa que não existe relação.



Não havendo mais manutenções relacionadas de acordo com o anexo 5, tem-se através da metodologia desenvolvida em (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes, 1984), a matriz  $\hat{R}$  (fecho transitivo de R descrito em (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes, 1984)):

$$\hat{R} = R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

De acordo com (VAIRINHOS, Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes, 1984), o valor de  $N_c(t)$  é dado por:

$$N_c(t) = \hat{R}^t \hat{N}_i(t)$$

Ou seja:

$$N_c(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} N_{W5}(t) \\ N_{W6}(t) \end{bmatrix}^{38}$$

Assim sendo:

$$N_c(t) = \begin{bmatrix} N_{W5}(t) \\ N_{W5}(t) + N_{W6}(t) \end{bmatrix}$$

Como se pode verificar na primeira linha da matriz a ocorrência da LIMS W5; Uma vez que a ocorrência da LIMS W6 implica a ocorrência de W5 a segunda linha contém como ocorrências de W6, a soma das ocorrências de W5 + W6.

### 3.5 Metodologia para Estimação dos Parâmetros do Modelo em Manutenção Corretiva

Em seguida especifica-se a metodologia a usar para estimar os parâmetros dos modelos Poisson. A distribuição do tempo entre falhas é exponencial no caso da manutenção corretiva, onde cada artigo é considerado de modo isolado, aqui os valores de  $\lambda$  assumem uma distribuição contínua.

---

<sup>38</sup> Nota: Os valores de  $N_{W5}(t)$  e  $N_{W6}(t)$  são idênticos



Como referido em (VAIRINHOS, 1984) e agora proposto em 3.1.2, foram determinados os valores de  $\overline{MTBF}$  para os artigos de manutenção corretiva de acordo com as horas de funcionamento registadas nos DN59 entre intervenções de artigos para cada motor, como pode ser observado na matriz em baixo:

$$\widehat{\lambda}_{n,i}$$

$$= \begin{bmatrix} NNA & 5820017 & 5820018 & 5820019 & 5820020 & 5820021 & 5820022 & 5820022a \\ s_1 & \widehat{\lambda}_{11} & \widehat{\lambda}_{12} & \widehat{\lambda}_{13} & \widehat{\lambda}_{14} & \widehat{\lambda}_{15} & \widehat{\lambda}_{16} & \widehat{\lambda}_{17} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_i & \widehat{\lambda}_{i1} & \widehat{\lambda}_{i2} & \widehat{\lambda}_{i3} & \widehat{\lambda}_{i4} & \widehat{\lambda}_{i5} & \widehat{\lambda}_{i6} & \widehat{\lambda}_{i7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_n & \widehat{\lambda}_{n1} & \widehat{\lambda}_{n2} & \widehat{\lambda}_{n3} & \widehat{\lambda}_{n4} & \widehat{\lambda}_{n5} & \widehat{\lambda}_{n6} & \widehat{\lambda}_{n7} \end{bmatrix}$$

Para estes motores só se consegue definir as taxas de falha de manutenção corretiva de acordo com os DN60, havendo apenas 318 artigos de manutenção corretiva requisitados. Assim sendo para os restantes artigos da decomposição em peças<sup>39</sup> não é possível determinar as taxas de falha, visto não haver historial. É então considerado  $\widehat{\lambda}_{n,i} = 0$ . Assumindo-se que  $n = 1,2, \dots, 318$ , e  $e = 1,2,3, \dots, 7$ .

Foi definido para a determinação de cada  $\widehat{\lambda}_{n,i}$ :

$$\overline{MTBF} = \frac{1}{\widehat{\lambda}_{n,i}} \leftrightarrow \widehat{\lambda}_{n,i} = \frac{1}{\overline{MTBF}}$$

E posteriormente o vetor  $\widehat{\lambda}_{i,k}$ :

$$\bar{\lambda}_{i,k} = \begin{bmatrix} s_1 & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{1,k}}{e} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ s_i & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{i,k}}{e} \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ s_n & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{n,k}}{e} \end{bmatrix} \quad n = (1,2, \dots, 318), k = (1,2, \dots, e)$$

<sup>39</sup> 2031 no total



Assim, para a taxa de falhas, por motor, de cada artigo de manutenção corretiva no período  $t$ , onde  $t = T^{40}$  tem-se uma frequência dada por:

$$\bar{T}_i = \begin{bmatrix} NNA & 5820017 & 5820018 & 5820019 & 5820020 & 5820021 & 5820022 & 5820022a \\ s_1 & \widehat{\lambda}_{11} \times T & \widehat{\lambda}_{12} \times T & \widehat{\lambda}_{13} \times T & \widehat{\lambda}_{14} \times T & \widehat{\lambda}_{15} \times T & \widehat{\lambda}_{16} \times T & \widehat{\lambda}_{17} \times T \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_i & \widehat{\lambda}_{i1} \times T & \widehat{\lambda}_{i2} \times T & \widehat{\lambda}_{i3} \times T & \widehat{\lambda}_{i4} \times T & \widehat{\lambda}_{i5} \times T & \widehat{\lambda}_{i6} \times T & \widehat{\lambda}_{i7} \times T \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_n & \widehat{\lambda}_{n1} \times T & \widehat{\lambda}_{n2} \times T & \widehat{\lambda}_{n3} \times T & \widehat{\lambda}_{n4} \times T & \widehat{\lambda}_{n5} \times T & \widehat{\lambda}_{n6} \times T & \widehat{\lambda}_{n7} \times T \end{bmatrix}$$

Onde,  $n = (1, 2, \dots, 318)$ .

E para a taxa de falhas, de todos os motores, de cada artigo de manutenção corretiva no período  $t$ , onde  $t = T$  tem-se uma frequência dada por:

$$\bar{T}_{i,k} = \begin{bmatrix} s_1 & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{1,k}}{e} \times T \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ s_i & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{i,k}}{e} \times T \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ s_n & \sum_{k=1}^e \frac{\widehat{\lambda}_{n,k}}{e} \times T \end{bmatrix}, n = (1, 2, \dots, 318), k = (1, 2, \dots, e)$$

As matrizes e vetores resultantes das taxas de falhas e frequências de consumos de artigos de manutenção corretiva encontram-se em CD-ROM no ficheiro “*MTBF.xls*”.

No que diz respeito às quantidades de cada artigo consumidas em manutenção corretiva foi definido o vetor com base em (VAIRINHOS, 1984):

$$Q_{corr} = \begin{bmatrix} \bar{Q}_1 \\ \vdots \\ \bar{Q}_i \\ \vdots \\ \bar{Q}_n \end{bmatrix}$$

<sup>40</sup> T=-208,035+0,903333 horas de navegação+6,857 dias de missão



Do mesmo modo que as taxas de falha as quantidades de cada artigo de manutenção corretiva só podem ser determinadas de acordo com os DN60 tem-se  $n = (1,2, \dots, 318)$ .

Para a construção deste vetor é calculada uma quantidade média ( $\overline{Q_{n,k}}$ ) por motor e uma média final, como apresenta a matriz em baixo.

$$\left[ \begin{array}{c|ccccccc} NNA & 5820017 & 5820018 & 5820019 & 5820020 & 5820021 & 5820022 & 5820022a \\ s_1 & \overline{Q_{1,1}} & \overline{Q_{1,2}} & \overline{Q_{1,3}} & \overline{Q_{1,4}} & \overline{Q_{1,5}} & \overline{Q_{1,6}} & \overline{Q_{1,7}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_i & \overline{Q_{i,1}} & \overline{Q_{i,2}} & \overline{Q_{i,3}} & \overline{Q_{i,4}} & \overline{Q_{i,5}} & \overline{Q_{i,6}} & \overline{Q_{i,7}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_n & \overline{Q_{n,1}} & \overline{Q_{n,2}} & \overline{Q_{n,3}} & \overline{Q_{n,4}} & \overline{Q_{n,5}} & \overline{Q_{n,6}} & \overline{Q_{n,7}} \end{array} \right]$$

E posteriormente,

$$\frac{\overline{Q_{i,k}}}{e} = \left[ \begin{array}{c} s_1 \left[ \sum_{k=1}^e \frac{\overline{Q_{1,k}}}{e} \right] \\ \vdots \\ \vdots \\ s_i \left[ \sum_{k=1}^e \frac{\overline{Q_{i,k}}}{e} \right] \\ \vdots \\ \vdots \\ s_n \left[ \sum_{k=1}^e \frac{\overline{Q_{n,k}}}{e} \right] \end{array} \right]$$

Onde ( $e = 1,2 \dots 7$ )

Para efeitos deste modelo consideram-se os valores  $\widehat{\lambda_{n,i}}$  são constantes em todo o período de planeamento (0,t), as avarias ao ocorrerem seguem um PPH (distribuição entre tempos de avaria é exponencial), definido por:

$$P(T \geq t) = e^{-\lambda t}$$

Onde  $P(T \geq t)$  representa a probabilidade de ter avarias antes do tempo t.

Esta regra geral é falível para certos artigos cujos processos de deterioração e de avaria podem ser descritos por outros modelos.



### 3.6 Sistema de Simulação de Dados

Em seguida, apresentam-se as linhas gerais de um sistema de simulação que, usando os valores estimados de manutenção corretiva e preventiva simula o planeamento para o período em causa. A falta de tempo impede que esse sistema seja levado até ao fim mas não quis deixar de referir as suas linhas gerais uma vez que se considera uma componente importante da metodologia que agora se sugere.

A metodologia de estimação apresentada nos números anteriores permite resumir a informação existente até um certo instante através de estimadores pontuais ou intervalos de confiança. Contudo, para efeitos de decisão, importa ter uma ideia da variação dessas quantidades quando se consideram muitas amostras (amostras pseudoaleatórias) extraídas a partir das distribuições das grandezas estimadas e suas consequências nas quantidades de itens envolvidas quando se geram muitas variáveis aleatórias. Face à impossibilidade de obter distribuições exatas num problema desta complexidade, a simulação pode fornecer sugestões interessantes e pôr em evidência aspetos não antecipados. Primeiramente é necessário especificar-se o modo de combinar numa estimativa única que compreenda tanto manutenção preventiva e corretiva; ou seja, as necessidades de sobressalentes para o período de duração  $t$ . Assume-se como modelo aleatório tanto para a manutenção corretiva (ocorrência de avarias) como preventiva (ocorrência de LIMS um PPH/exponencial. Isto é empiricamente justificado pelos testes apresentados

No caso da manutenção corretiva é definido na metodologia - através da frequência  $(\bar{T}_{i,k})$ , que é função da taxa de falhas  $(\widehat{\lambda}_{n,k})$  e do plano operacional definido por  $T$  (unidade temporal) - que:

$$\bar{T}_{i,k} = \widehat{\lambda}_{n,k} \times T$$

Para a manutenção preventiva é definido na metodologia que o número de ocorrências  $(\widehat{N}_i(t))$  é função da intensidade de ocorrência  $\widehat{\lambda}_i$  e do plano operacional definido por  $T$ , tal que:

$$N_i(t) = \widehat{\lambda}_i \times T$$



Sendo  $T$  (horas de funcionamento correspondente a um período de duração  $t$ ) modelado pela relação estimada anteriormente (regressão linear múltipla):

$$\text{horas de funcionamento no período } (0, t) = -208,035 + 0,903333\text{horas de navegação} + 6,857\text{dias de missão}$$

### 3.6.1 Manutenção Corretiva

Para este tipo de manutenção, os valores de  $\widehat{\lambda}_{n,k}$ , são estimados, pelo que se desconhece qual a sua distribuição. O que este simulador faz é (assumindo que os valores de  $\widehat{\lambda}_{n,k}$  são os estimados) gerar tempos de ocorrência de avarias usando a distribuição exponencial.

Para efeitos de visualização simularam-se 3 intensidades de avarias para 5 itens, no simulador “*Simulador\_corretiva.xls*”:

| NNA            | $\widehat{\lambda}_{n,k}$ | i=1           | i=2           | i=3           |
|----------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| 4710-MD0353452 | 0,00004602                | 0,00004524376 | 0,00009446105 | 0,00006528805 |
| 6680-123356778 | 0,00004680                | 0,00010701808 | 0,00011023422 | 0,00008980240 |
| 2815-123349606 | 0,00004727                | 0,00004978420 | 0,00002418693 | 0,00009166868 |
| 4720-123197222 | 0,00004727                | 0,00008695468 | 0,00002609497 | 0,00006639249 |
| 5305-121428221 | 0,00004727                | 0,00003848680 | 0,00004927327 | 0,00006059512 |

Tabela 21-Tabela Gerada Através de Simulação-Manutenção Corretiva

O utilizador pode definir valores para os dias de missão e para as horas de navegação, assim através regressão linear vão ser definidas as horas de funcionamento.

Então, para os mesmos 5 artigos definiu-se uma predição para o consumo em aproximadamente 5 meses (150 dias) e para 3000 horas de navegação, sendo os números de ocorrências de avarias os seguintes:



| NNA            | i=1      | i=2      | i=3      |
|----------------|----------|----------|----------|
| 4710-MD0353452 | 0,159734 | 0,333496 | 0,2305   |
| 6680-123356778 | 0,377829 | 0,389184 | 0,317049 |
| 2815-123349606 | 0,175764 | 0,085392 | 0,323638 |
| 4720-123197222 | 0,306995 | 0,092129 | 0,2344   |
| 5305-121428221 | 0,135878 | 0,17396  | 0,213932 |

Tabela 22-Tabela gerada no simulador para frequências dos consumos de manutenção corretiva

### 3.6.2 Manutenção Preventiva

Para este tipo de manutenção, os valores de  $\widehat{\lambda}_{r,k}$  sendo estimados, desconhece-se qual a sua distribuição pelo que, igualmente como em manutenção corretiva, assumindo que os valores de  $\widehat{\lambda}_{r,k}$  são os estimados, este simulador vai gerar tempos entre ocorrências de LIMS usando a distribuição exponencial, (considerando que todos os artigos das LIMS ocorrem em simultâneo).

Para efeitos de visualização simularam-se 3 intensidades de ocorrência para as LIMS T9101.507, T9101.518 e W5/W6, no simulador “*Simulador\_preventiva.xls*”:

| FIT       | $\widehat{\lambda}_{r,k}$ | i=1           | i=2           | i=3           |
|-----------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|
| T9101.507 | 0,00084300                | 0,00126676279 | 0,00087051330 | 0,00049893040 |
| T9101.518 | 0,00043000                | 0,00016967821 | 0,00140400585 | 0,00018669761 |
| W5-W6     | 0,00016100                | 0,00019032057 | 0,00002572867 | 0,00018396914 |

Tabela 23-Tabela Gerada através de Simulação Manutenção Preventiva

O número de ocorrências para os mesmos 150 dias e para 3000 horas de navegação, sugere a seguinte predição de consumo para cada uma das LIMS

| FIT       | i=1      | i=2      | i=3      |
|-----------|----------|----------|----------|
| T9101.507 | 3,800288 | 2,61154  | 1,496791 |
| T9101.518 | 0,509035 | 4,212018 | 0,560093 |
| W5-W6     | 0,570962 | 0,077186 | 0,551907 |

Tabela 24-Frequência de consumo das LIMS



Ambos os simuladores criados encontram-se em CD-ROM no ficheiros “*Simulador\_corretiva.xls*” e “*Simulador\_preventiva.xls*”.

### 3.7 Inferência Bayesiana para Parâmetros PPH em Manutenção Preventiva

Neste parágrafo analisa-se a possibilidade e o interesse da utilização da abordagem Bayesiana à estimação dos parâmetros do modelo, especialmente num contexto de grandes falhas de informação histórica. Dada a especificidade do tema, apresentam-se apenas as linhas gerais do que poderia ser a utilização desses métodos no presente contexto- usando como base a referência (RIGDON & BASU, 2000).

Na teoria Bayesiana, os valores de  $\lambda$  e  $\hat{\theta}$  são considerados como variáveis aleatórias que seguem uma determinada *distribuição à priori* e cuja natureza reflete o que se sabe antes de obter informação objetiva das observações. Esta distribuição *à priori* pode, pois, ser um pouco subjetiva e arbitrária, conforme a qualidade da informação *à priori*. Face aos dados disponíveis – dados históricos de SICALN, por exemplo - esta distribuição *à priori* é transformada, usando o teorema de Bayes, numa distribuição *à posteriori*, a usar nos processos de decisão. Uma vez que os dados históricos estão em contínua alteração, as distribuições *a posteriori* vão refletindo, de modo dinâmico, a informação existente.

Seguindo (RIGDON & BASU, 2000) – assumindo que um e somente um sistema é modulado por um PPH, assumindo que as LIMS normalizadas ocorrem com uma intensidade, podemos modelar as datas de ocorrência  $T_1 < T_2 < \dots < T_n$  através de um PPH. Em (RIGDON & BASU, 2000), assume-se que  $\lambda$  tem uma distribuição *à priori* gama, definida por:

$$p(\lambda) = \frac{b^a \lambda^{a-1}}{\Gamma(a)} e^{-b\lambda}, \quad \lambda > 0$$

Onde,  $\Gamma(a)$  é dada como a função gama e representa uma reparametrização temporal da distribuição de Poisson dada por:



$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt$$

Em (RIGDON & BASU, 2000) os parâmetros  $a$  e  $b$  no cálculo da distribuição gama podem ser estimados através das relações entre a média e o desvio padrão/variação da variável em causa, onde:

$$a = \mu^2 / \sigma^2$$

e,

$$b = \mu / \sigma^2$$

Os autores que vimos referindo (RIGDON & BASU, 2000) sugerem ainda que a distribuição à posteriori de  $\lambda$  é uma  $GAM(a + n, b + t_n)$ , o valor médio à posteriori é:

$$\bar{\lambda}_B = E(\lambda|x) = \frac{a + n}{b + t_n}$$

### 3.7.1 Aplicação à LIMS T9101.507

Dados os valores estimados para a intensidade de ocorrência da LIMS T9101.507 serem resultado de uma classificação automática denominada de “cluster analysis” optou-se por determinar o erro associado à estimação do valor de  $\hat{\theta}$ , para a LIMS T9101.507.

$$\text{Dados a priori} \begin{cases} \hat{\theta} = 1184,911 \\ \sigma = 1113,9105 \\ \theta = 500 \end{cases}$$

Assim,

$$\lambda_{\text{priori}} = \frac{1}{500} = 0,002$$

É então agora utilizada a inferência Bayesiana de forma a determinar o erro associado à estimação do valor de  $\hat{\theta}$ .



$$a = \frac{\hat{\theta}^2}{\hat{\sigma}^2} = \frac{1184,9116^2}{1113,9105^2} = 1,1315$$

$$b = \frac{\hat{\theta}^2}{\hat{\sigma}^2} = \frac{1184,9116}{1113,9105^2} = 0,0009$$

Para o calculo dos valores de  $a + n$  e  $b + t_n$  temos então:

$$a + \bar{n} = 1,1315 + \frac{9 + 11 + 3 + 3 + 1 + 2}{6} = 5,9649$$

$$b + \bar{t}_n = 0,0009 + \frac{6570 + 10567 + 6613 + 5391 + 385 + 2065}{6} = 5265,1667$$

O valor de  $\lambda_{posteriori}$  é então calculado por:

$$\lambda_{posteriori} = \frac{a + \bar{n}}{b + \bar{t}_n} = \frac{5,9649}{5265,1667} = 0,0011$$

A variância à *posteriori* seria calculada por:

$$V(\lambda_{posterior} | \bar{n}) = \frac{a + \bar{n}}{b + \bar{t}_n} = \frac{5,9649}{(5265,1667)^2} = 2151 \times 10^{-7}$$

O desvio padrão seria  $\sqrt{V(\lambda_{posteriori} | \bar{n})} = \sqrt{2,2244 \times 10^{-7}} = 0,00046$ .

Ainda segundo (RIGDON & BASU, 2000), a distribuição à *posteriori* para um intervalo de confiança de 95% é definido por:

$$\lambda_{posteriori} \pm 1,96 \times \sqrt{V(\lambda_{posteriori} | n)} \approx 0,0011 \pm 1,96 \times 0,00046$$

como,

$$0,0011 - 1,96 \times 0,00046 < 0,002 < 0,0011 + 1,96 \times 0,00046$$



Podemos constatar que, mesmo não se observando um padrão nos registos das datas o valor normalizado para a intensidade de ocorrência da LIMS T9101.507 manter-se-ia dentro do intervalo de confiança de 95% dos valores de  $\hat{\theta}$ . Sendo portanto o erro a este valor de  $\hat{\theta}$  um valor aceitável.

### 3.7.2 Aplicação à LIMS T9101.518

Dados os valores estimados para a intensidade de ocorrência da LIMS T9101.518 serem resultado de uma classificação automática denominada de “*cluster analysis*” caso se optasse por determinar o erro associado à estimação do valor de  $\hat{\theta}$ , para a LIMS T9101.518, usando a inferência Bayesiana para determinar o valor da intensidade de ocorrências à posteriori, obter-se-ia:

$$\text{Dados a priori} \quad \left\{ \begin{array}{l} \hat{\theta} = 2323,6667 \\ \sigma = 1263,6886 \\ \theta = 1500 \end{array} \right.$$

$$\lambda_{\text{priori}} = \frac{1}{1500} = 0,0006$$

Então,

$$a = \frac{\hat{\theta}^2}{\hat{\sigma}^2} = \frac{2323,6667^2}{1263,6886^2} = 3,3812$$

$$b = \frac{\hat{\theta}}{\hat{\sigma}^2} = \frac{2323,6667}{1263,6886^2} = 0,0015$$

$$a + \bar{n} = 3,3812 + \frac{3 + 3}{2} = 6,3812$$

$$b + \bar{t}_n = 0,0015 + \frac{7333 + 6609}{2} = 6971,0015$$

Temos então um valor  $\lambda_{\text{posteriori}}$  de:



$$\lambda_{posteriori} = \frac{a + \bar{n}}{b + \bar{t}_n} = \frac{6,3812}{6971,0015} = 0,0009$$

$$\sigma^2(\lambda_{posterior} | n) = \sqrt{\frac{a + \bar{n}}{b + \bar{t}_n}} = \sqrt{V(\lambda_{posteriori} | n)} = \sqrt{\frac{3,3812}{6971,0015^2}}$$

$$\sigma(\lambda_{posteriori} | n) = 0,0003$$

Considerando que  $\lambda_{priori} \sim N(\lambda_{posteriori}, \sigma^2(\lambda_{posterior} | n))$  pretende-se agora testar a hipótese de  $H_0: \lambda_{posteriori} = \lambda_{priori}$ .

$$Z = \frac{0,0009 - 0,00067}{0,0003/\sqrt{3}} = 0,44$$

Para um intervalo de confiança de 95% temos  $\alpha = 0,05$  onde  $Z_{\alpha/2} = 1,96$ , retirando o valor de Z da tabela de Distribuição Normal Reduzida temos então:  $Z \approx 0,15$ . Como não cumpre com o critério de rejeição:

$$|Z_0| > Z_{\alpha/2},$$

Isto é,

$$|0,15| > 1,96$$

Ter-se-ia então:

$$0,0009 - 1,96 \times 0,0003 < 0,00067 < 0,0009 + 1,96 \times 0,0003$$

Poder-se-ia então considerar esta intensidade de ocorrência, uma boa representação da LIMS T9101.518 normalizada.

## **Anexo I do Capítulo 3- Construção das Matrizes Lógica e de Contingência de Consumos**

Para a análise de agrupamentos foi necessário importar para o *IBM SPSS Statistics* as LIMS (Anexo V- LIMS dos Motores MTU) bem como o ficheiro dos DN60 (“Anexo II- DN60, Recolha de dados dos consumos de sobressalentes”).



Após a importação foi efetuado um “merge files<sup>41</sup>” desse mesmo ficheiro com os dados de TM 11 e 31 presentes nos DN60, (verificando-se neste ponto apenas uma quantidade (consumida) de 230 NNA de manutenção preventiva). Portanto no total dos 548 NNA, tem-se 230 para manutenção preventiva e 318 para manutenção corretiva.

Em seguida foi então criada a “custom table” descrita na Figura 19, onde os objetos são NNA normalizados nas LIMS e NNA utilizados nos DN60. As variáveis são as datas das intervenções (DataReq) e as LIMS T9101.507, T9101.518, W5 e W6 (Manutenção).

|           |          | Columns    |            |            |            |
|-----------|----------|------------|------------|------------|------------|
|           |          | DataReq    |            | Manutenção |            |
|           |          | Category 1 | Category 2 | Category 1 | Category 2 |
|           |          | Quantidad. | Quantidad. | Quantidad. | Quantidad. |
|           |          | Sum        | Sum        | Sum        | Sum        |
| N°        | Category | nnnn       | nnnn       | nnnn       | nnnn       |
| Gestão/NN | Category | nnnn       | nnnn       | nnnn       | nnnn       |

Figura 19-"Custom Table" em SPSS com a descrição das variáveis e dos objetos

A matriz resultante foi uma matriz de frequências das quantidades de sobressalentes referidas nas datas de requisição e nas LIMS. A matriz de frequências de consumos e a matriz binária encontram-se ambas em CD-ROM no Anexo “Matriz\_Exportada.xls”

O princípio da criação desta tabela é observar a tendência das LIMS em datas de requisições de material, veja-se:

| Sobressalentes | DataReq_1 | DataReq_2 | LIMS2 |
|----------------|-----------|-----------|-------|
| S1             | 0         | 2         | 3     |
| S2             | 0         | 3         | 4     |
| S3             | 0         | 1         | 1     |
| S4             | 1         | 0         | 2     |

Tabela 25-Tabela Exemplo

<sup>41</sup> Técnica de aglomeração de dados de forma a selecionar e visualizar as variáveis com base num identificador (NNA)



Na tabela 25 exemplifica-se a situação em que se pode observar que a DataReq\_2, é um possível consumo de LIMS, mas como tal é necessário fazer uma análise mais profunda, para determinar se efetivamente é um consumo normalizado.

## 4. Conclusões

### 4.1 Problemas Encontrados

Como se pode constatar ao longo deste trabalho, foram sentidas sérias dificuldades nas tarefas de estimação do modelo formulado face ao conteúdo atual da Base de Dados do SICALN relativo a dados históricos, tanto de consumo de sobressalentes como dos registos de manutenção preventiva e corretiva. Algumas dessas dificuldades têm a ver, como se viu, com omissões de registos relativos a alguma manutenção, ambiguidades relativas a alguns registos existentes (por exemplo decomposição incompletas de equipamentos em partes, uso de identificadores diferentes do NNA na identificação de sobressalentes) e falta de ligação e de relação entre o histórico da manutenção preventiva e os documentos do SMP.

Se bem que as dificuldades apontadas dificultassem a utilização dos métodos estatísticos, por outro lado constituíram um incentivo poderoso no sentido de se encontrarem soluções de análise de dados que tivessem em conta essas situações.

Com efeito, considera-se que um dos principais resultados deste trabalho foi a constatação de que, face ao facto de a base de dados não ligar de modo explícito os registos históricos da manutenção realizada (corretiva e preventiva) aos documentos normalizados do Sistema de Manutenção Planeada (FIT e LIMS, por exemplo) as técnicas de classificação automática – análise de “*clusters*” em particular – permitiram, no mínimo, abordar uma situação que pareceria a princípio impossível de ser tratada, desenvolvendo-se assim uma metodologia que pode vir a ser aplicada no futuro a problemas semelhantes.

Com efeito, desconhecendo-se as datas em que foram realizados certos trabalhos de manutenção preventiva que têm associadas listas normalizadas de sobressalentes, mas dispondo-se das datas em que foram emitidas requisições de sobressalentes à DA,



tratava-se de descobrir – mesmo que de modo aproximado – quais dessas datas correspondiam a sobressalentes para realizar manutenções normalizadas.

Sendo as listas associadas aos LIMS listas padronizadas de itens, a questão em termos estatísticos remete para um problema típico de reconhecimento de padrões: tratava-se aqui de reconhecer a presença dessas listas normalizadas nas datas em que foram emitidas longas listas de requisições à DA e que, tendo em conta muitas considerações circunstanciais, nunca coincidem com as listas padronizadas mesmo que se destinem a cobrir as respectivas necessidades.

Especificamente, tratava-se, pois, de medir, usando um procedimento quantitativo automatizável no futuro, a semelhança entre essas listas padronizadas e listas emitidas em datas registadas na base de dados. Os resultados obtidos com análise de “*clusters*” foram muito animadores apoiando a utilização futura deste tipo de metodologia em casos semelhantes.

Pode-se constatar a necessidade de um procedimento sistemático que garanta a coerência e outras características da qualidade dos dados registados na BD do SICALN- o que constitui condição sem a qual a utilidade desses dados como instrumento de tomada de decisão em gestão da manutenção fica muito condicionada. Como se viu pelo desenrolar da análise, a normalização da documentação do SMP e da respetiva linguagem constituem, em associação ao registo histórico elementos importantíssimos que permitiriam ir reavaliando as políticas de manutenção (supostamente expressas em CARMS), o comportamento real de certas normas (por exemplo periodicidades especificadas) consumos de sobressalentes e sua imputação aos diversos tipos de manutenção e equipamentos.

Uma outra questão para a qual é impossível encontrar resposta atual na BD do SICALN é a questão dos custos da realização das tarefas de manutenção e a sua imputação a essas tarefas, tipos de manutenção, equipamentos e centros de custo definidos com os números funcionais.

É quase desnecessário referir a importância dessa informação como instrumento de otimização das políticas de manutenção no contexto das dificuldades atuais. E, também



aqui, seria possível numa perspetiva de responder às realidades, usando a informação existente no AA relativa a custos dos trabalhos feitos no material naval e relacionando-a, usando métodos estatísticos, com o conteúdo histórico da BD do SICAL.

Também, através da realização deste trabalho julgou entender-se que não existe atualmente nenhum esforço para, sistematicamente ir tratando os dados existentes e entregar, de modo sistemático, os resultados desse tratamento aos navios- tornando este tema matéria fértil para futuras teses.

Dada a dificuldade na identificação dos NNA dos artigos normalizados nas FIT, crê-se que seria importante não só em termos de estudo, como em termos de requisição eles passarem a constar nas FIT.

### **4.2 Discussão de Resultados**

Considera-se como principal resultado deste trabalho toda a formulação do problema de estimação dos parâmetros do modelo formulado em (VAIRINHOS 1984) usando o conteúdo da BD do SICALN, relativo aos motores principais da Classe Vasco da Gama. Esta formulação, assumindo o cumprimento das normas existentes relativas ao funcionamento do SRTD e do SMP, pode ser aperfeiçoada e generalizada a outros equipamentos a partir do agora apresentado.

Considera-se como um resultado significativo deste trabalho, toda a investigação, realizada- com o apoio indispensável e empenhado da DN - na elaboração dos “*queries*” à BD do SICALN – ver a respetiva listagem no Anexo II- DN60, Recolha de dados dos consumos de sobressalentes, e que permitiram a extração da informação disponível relativa aos motores principais das fragatas da Classe Vasco da Gama. Este “*query*” pode servir de base para estudos futuros relativos a outros equipamentos a tratar com a mesma metodologia.

Como se viu, foi necessário recorrer a metodologias de estatística descritiva multivariada para identificar quais as manutenções que seriam de carácter preventivo e quais as de carácter corretivo, por não existir forma de identificar sem ser pelo tipo de manutenção (que muitas vezes pode estar errado). A metodologia proposta e aplicada



para tentar responder a este problema- baseada em análise de “*clusters*” considera-se um resultado importante deste trabalho.

Um outro resultado que se deseja destacar é a estimação dos tempos de funcionamento dos Motores Propulsores, tendo em conta as horas de navegação usando os dados registados na BD do SICALN através do DN59. Esta metodologia pode estender-se a outros equipamentos, usando o fato de que os tempos de funcionamento de todos os equipamentos de bordo estão altamente correlacionados entre si e com os tempos de navegação.

Considera-se que a utilização da inferência bayesiana- embora apresentada a título de possibilidade a explorar mais profundamente no futuro - tem grande potencial de aplicação associada aos métodos de análise de “*clusters*” no contexto do desenvolvimento futuro de sistemas do tipo SPPS, como se verificou pelos resultados indicativos apresentados.

Considera-se ainda que a apresentação gráfica usada para visualização das LIMS nos DN60 – gráficos de dispersão que permitem visualizar as zonas de concentração ou dispersão temporal de determinados artigos que sejam de manutenção preventiva ou corretiva – tem grande utilidade e poder expressivo pelo que se considera a possibilidade da sua utilização futura neste tipo de estudos.

### **4.3 Trabalhos Futuros**

Aperfeiçoar o modelo SPPS tanto na sua componente concetual como a metodologia de estimação de parâmetros assente no conteúdo da BD do SICALN ou de outro sistema que no futuro realize funções equivalentes de modo a criar sistemas que rotineiramente convertam a informação histórica em predições credíveis de necessidades se sobressalentes.

Nestes aperfeiçoamentos integra-se o uso da metodologia bayesiana em conjunto com métodos de análise de dados multivariados como análise de “*clusters*” e outros

Desenvolver um sistema de simulação que permita complementar as predições com estudos de sensibilidade dessas predições à variabilidade dos parâmetros.



## Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes (SPPS)

---

Integrar no sistema de otimização das predições os custos de aquisição dos sobressalentes.



## Referências Bibliográficas

- ARMADA, E. M. (7 de Fevereiro de 1997). Instruções Logísticas da Armada 5-A. *Instruções Para a Manutenção de Unidades Navais e Outros Meios de Ação Naval*. Lisboa, Lisboa, Portugal: Marinha.
- CALDEIRA, G. (Dezembro de 2006). *Análise de Cluster Aplicada ao Sucesso/Insucesso Matemático*. Obtido em Fevereiro de 2013, de <http://digituma.uma.pt/bitstream/10400.13/224/1/GuidaCaldeiraMestrado.pdf>
- CHRISTER, A. H., & M., W. W. (1984). Delay Time Models of Industrial Inspection. *Journal of Operational Research Society*, 401-406.
- DEFENSE, D. o. (2009). *Reliability Growth Management*. United States of America: United States-Department of Defense.
- EMILIANO, P., VEIGA, E., & VIVANCO, M. D. (Junho de 2013). *Critérios de Informação de Akaike Versus Bayesiano: Análise Comparativa*. Obtido de Unicamp Brasil: <http://www.ime.unicamp.br/sinape/sites/default/files/Paulo%20C3%A9sar%20Emiliano.pdf>
- GHOBBAR, A., & FRIEND, C. (Setembro de 2002). Evaluation of Forecasting methods for intermitent parts demand in field of aviation: a predictive model. (PERGAMON, Ed.) *Journal Computers and Operations Research*, 1-7.
- JESUS, N. B. (2007). *Repositório Aberto*. Obtido em Fevereiro de 2013, de Revista de Ciências da Computação: [https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/1282/1/p\\_26\\_38.%20pdf.pdf](https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/1282/1/p_26_38.%20pdf.pdf)
- MANUTENÇÃO, D. d. (1984). *ILMANT 512 ALT 1- Manual do Sistema de Recolha e Tratamento de Dados*. Lisboa: Marinha Portuguesa.
- MENDONÇA, A., MARCHEZAN, A., & BAYER, F. (2006). <http://www.simpep.feb.unesp.br>. Obtido em Maio de 2013, de <http://www.simpep.feb.unesp.br>: [http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_13/artigos/1186.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1186.pdf)
- MOON, S., HICKS, C., & SIMPSON, A. (Fevereiro de 2012). The development of a hierarchical forecasting method for predicting spare parts demand in South



- Korean Navy- A case study. *International Journal Production Economics*, pp. 1-5.
- NAVIOS, D. d. (12 de Novembro de 1998). ILDINAV 802. *Manual do Sistema de Gestão da Manutenção e do Subsistema de Manutenção Planeada*. Lisboa, Lisboa, Portugal: Marinha Portuguesa.
- NELSON, W. B. (2002). *Recurrent Events Data Analysis for Product Repairs, Disease, Recurrences and Other Applications*. Schenectady, New York: ASA SIAM.
- RIGDON, S. E., & BASU, A. P. (2000). *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*. Canada, Canada: Wiley Series in Probability and Statistics.
- RIGDON, S. E., & BASU, A. P. (2000). *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*. Wiley.
- ROMEIJNDERS, W., TEUNTER, R., & JAARVELD, W. V. (Agosto de 2011). A two-step method for forecasting spare parts demand using information on component repairs. *Journal of Operational Research*, pp. 1-8.
- SHENSTONE, L., & HYNDMAN, R. J. (Fevereiro de 2005). *Stochastic Models Underlying Croston's Method for Intermittent Forecasting*. Obtido em Novembro de 2012, de robjhyndman: <http://www.robjhyndman.com/papers/croston.pdf>
- VAIRINHOS, V. (1984). *Sistema de Predição da Procura de Sobressalentes*. Alfeite: Direção Geral do Material Naval-Direção do Serviço de Manutenção.
- WANG, W. (2002). *Condition-based Maintenance Modelling*. Obtido em Novembro de 2012, de Salford Academy: <http://usir.salford.ac.uk/2547/1/Chapter-05-Final.pdf>
- WANG, W. (28 de July de 2011). A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimization. *European Journal of Operational Research*, pp. 1-11.
- WANG, W., & SYNTETOS, A. A. (31 de March de 2011). Spare parts demand: Linking forecasting to equipment maintenance. *European Journal of Operational Research*, pp. 1-14.
- WONG, M. E., GAUTHIER, M. S., & GOERGER, L. C. (2006). *Condition-Based Maintenance (CBM) A Working Partnership between Government, Industry and Academia*. West Point, New York 10996: United States Military Academy.
- ZHANG, T., RAMAKRISHNAN, R., & LIVNY, M. (1996). *BIRCH: an efficient data clustering method for very large databases*. New York-USA: ACM.



ZHANG, T., RAMAKRISHNAN, R., & LIVNY, M. (1997). BIRCH-A new data clustering algorithm and its applications. *Kluwer Academic Publishers*, pp. 3-19.



# ANEXOS



## Anexo I-“Query”

```
*/ wor_req.id INTERV, WOR_REQ.STATUS, elements.id N_FUNC, pro_cat.idNNA, pro_cat.name no
me_art, aeswr.req_quantity qtd, WOR_ORD_DAT.INITIAL_DATE,WOR_ORD_DAT.END_DATE,

PRO_INS_DEF.SERIAL_NUMBER, WOR_REQ.ISSUED_ON, MAINTENANCE_LEVEL.ID TM, W
OR_EFF.ID

from elements, act_ele_sel_wor_req, act_ele_sel, ele_gro, SUB_ELE_REL_ORG_REL,ELE_REL, wor_r
eq, wor_ord, wor_ord_dat,

act_ele_sel_wor_req aeswr, act_ele_sel aes, pro_cat, act_ele_sel aes1,act_ele_sel_wor_req aeswr1 ,PRO
_INS_DEF, MAINTENANCE_LEVEL, wor_req_dat,wor_eff_wor_req, wor_eff

where act_ele_sel.aes_id = act_ele_sel_wor_req.aes_id

and act_ele_sel_wor_req.wre_id = WOR_REQ.wre_id

and SUB_ELE_REL_ORG_REL.seror_id = act_ele_sel.seror_id

and ele_rel.ser_id = SUB_ELE_REL_ORG_REL.ser_id

and elements.elm_id = ele_rel.elm_id_relating

and ele_gro.elgr_id = elements.elgr_id

and wor_req.wre_id = aeswr.wre_id

and aeswr.aes_id = aes.aes_id

and aes.pca_id = pro_cat.pca_id

and substr(wor_req.id, 1, 5) in ('1X282', '1X283','1X284')

and elements.id like '233%'

and wor_req.status != 'REJEITADO'

and aeswr.req_quantity >0
```



and WOR\_REQ.WRE\_ID = WOR\_ORD.WRE\_ID

and WOR\_ORD.WOR\_ID = WOR\_ORD\_DAT.WOR\_ID

and PRO\_INS\_DEF.PID\_ID = aes1.PID\_ID

and aes1.AES\_ID = aeswr1.AES\_ID

and aeswr1.wre\_id = WOR\_REQ.WRE\_ID

and WOR\_REQ.WRE\_ID = WOR\_REQ\_DAT.WRE\_ID

and WOR\_REQ\_DAT.ML\_ID = MAINTENANCE\_LEVEL.ML\_ID

and WOR\_REQ.WRE\_ID = WOR\_EFF\_WOR\_REQ.WRE\_ID

and WOR\_EFF\_WOR\_REQ.WEF\_ID = WOR\_EFF.WEF\_ID

union

select /\*+

*RULE*

\*/ wor\_req.id INTERV, WOR\_REQ.STATUS, elements.id N\_FUNC, pro\_cat.idNNA, pro\_cat.name no  
me\_art, aeswr.req\_quantity qtd, WOR\_ORD\_DAT.INITIAL\_DATE, WOR\_ORD\_DAT.END\_DATE,

PRO\_INS\_DEF.SERIAL\_NUMBER, WOR\_REQ.ISSUED\_ON, MAINTENANCE\_LEVEL.ID TM, W  
OR\_EFF.ID

from elements, act\_ele\_sel\_wor\_req, act\_ele\_sel, ele\_gro, SUB\_ELE\_REL\_ORG\_REL, ELE\_REL, wor\_r  
eq, products\_pro\_rel\_cat, pro\_cat, wor\_ord, wor\_ord\_dat,

act\_ele\_sel\_wor\_req aeswr, act\_ele\_sel aes, products, act\_ele\_sel aes1, act\_ele\_sel\_wor\_req aeswr1, P  
RO\_INS\_DEF, MAINTENANCE\_LEVEL, wor\_req\_dat, wor\_eff\_wor\_req, wor\_eff

where act\_ele\_sel.aes\_id = act\_ele\_sel\_wor\_req.aes\_id

and act\_ele\_sel\_wor\_req.wre\_id = WOR\_REQ.wre\_id

and SUB\_ELE\_REL\_ORG\_REL.seror\_id = act\_ele\_sel.seror\_id

and ele\_rel.ser\_id = SUB\_ELE\_REL\_ORG\_REL.ser\_id



```
and elements.elm_id = ele_rel.elm_id_relating

and ele_gro.elgr_id = elements.elgr_id

and wor_req.wre_id = aeswr.wre_id

and aeswr.aes_id = aes.aes_id

and aes.pr_d_id = products.pr_d_id

and aes.pr_d_id is not null

and elements.id like '233%'

and products.pr_d_id = products_pro_rel_cat.pr_d_id

and products_pro_rel_cat.prc_id = pro_cat.prc_id

and pro_cat.csy_id = 6

and substr(wor_req.id, 1, 5) in ('1X282', '1X283', '1X284')

and wor_req.status != 'REJEITADO'

and aeswr.req_quantity >0

and WOR_REQ.WRE_ID = WOR_ORD.WRE_ID

and WOR_ORD.WOR_ID = WOR_ORD_DAT.WOR_ID

and PRO_INS_DEF.PID_ID = aes1.PID_ID

and aes1.AES_ID = aeswr1.AES_ID

and aeswr1.wre_id = WOR_REQ.WRE_ID

and WOR_REQ.WRE_ID = WOR_REQ_DAT.WRE_ID

and WOR_REQ_DAT.ML_ID = MAINTENANCE_LEVEL.ML_ID

and WOR_REQ.WRE_ID = WOR_EFF_WOR_REQ.WRE_ID
```



and WOR\_EFF\_WOR\_REQ.WEF\_ID = WOR\_EFF.WEF\_ID

union

select /\*+ *RULE*

\*/ wor\_req.id INTERV, WOR\_REQ.STATUS, elements.id N\_FUNC, pro\_cat.idNNA, pro\_cat.name no  
me\_art, aeswr.req\_quantity qtd, WOR\_ORD\_DAT.INITIAL\_DATE, WOR\_ORD\_DAT.END\_DATE,

PRO\_INS\_DEF.SERIAL\_NUMBER, WOR\_REQ.ISSUED\_ON, MAINTENANCE\_LEVEL.ID TM, W  
OR\_EFF.id

from elements, act\_ele\_sel\_wor\_req, act\_ele\_sel, ele\_gro, SUB\_ELE\_REL\_ORG\_REL, ELE\_REL, wor\_r  
eq, wor\_ord, wor\_ord\_dat,

act\_ele\_sel\_wor\_req aeswr, act\_ele\_sel aes, products, pro\_ver, pro\_def, products\_pro\_rel\_cat, pro\_cat,  
act\_ele\_sel aes1, act\_ele\_sel\_wor\_req aeswr1, PRO\_INS\_DEF, MAINTENANCE\_LEVEL, wor\_req\_dat,  
wor\_eff\_wor\_req, wor\_eff

where act\_ele\_sel.aes\_id = act\_ele\_sel\_wor\_req.aes\_id

and act\_ele\_sel\_wor\_req.wre\_id = WOR\_REQ.wre\_id

and SUB\_ELE\_REL\_ORG\_REL.seror\_id = act\_ele\_sel.seror\_id

and ele\_rel.ser\_id = SUB\_ELE\_REL\_ORG\_REL.ser\_id

and elements.elm\_id = ele\_rel.elm\_id\_relating

and ele\_gro.elgr\_id = elements.elgr\_id

and wor\_req.wre\_id = aeswr.wre\_id

and aeswr.aes\_id = aes.aes\_id

and aes.pde\_id = pro\_def.pde\_id

and pro\_def.pve\_id = pro\_ver.pve\_id

and pro\_ver.prd\_id = products.prd\_id

and products.prd\_id = products\_pro\_rel\_cat.prd\_id



```
and products_pro_rel_cat.prc_id = pro_cat.prc_id

and pro_cat.csy_id = 6

and aes.pde_id is not null

and substr(wor_req.id, 1, 5) in ('1X282', '1X283', '1X284')

and wor_req.status != 'REJEITADO'

and elements.id like '233%'

and aeswr.req_quantity >0

and WOR_REQ.WRE_ID = WOR_ORD.WRE_ID

and WOR_ORD.WOR_ID = WOR_ORD_DAT.WOR_ID

and PRO_INS_DEF.PID_ID = aes1.PID_ID

and aes1.AES_ID = aeswr1.AES_ID

and aeswr1.wre_id = WOR_REQ.WRE_ID

and WOR_REQ.WRE_ID = WOR_REQ_DAT.WRE_ID

and WOR_REQ_DAT.ML_ID = MAINTENANCE_LEVEL.ML_ID

and WOR_REQ.WRE_ID = WOR_EFF_WOR_REQ.WRE_ID

and WOR_EFF_WOR_REQ.WEF_ID = WOR_EFF.WEF_ID

order by interv
```



## **Anexo II- DN60, Recolha de dados dos consumos de sobressalentes**

O Anexo II “DN60” encontra-se no ficheiro de *Microsoft Excel* ® “Anexos.xls” na folha Anexo-DN60 em CD-ROM.

## **Anexo III- DN59, Horas de Funcionamento dos Motores Propulsores**

O Anexo III “DN59” encontra-se no ficheiro de *Microsoft Excel* ® “Anexos.xls” na folha Anexo-DN59 em CD-ROM.

## **Anexo IV- Decomposição em Peças dos Motores Propulsores MTU**

O Anexo IV da “Decomposição em Peças dos Motores MTU” encontra-se no ficheiro de *Microsoft Excel* ® “Anexos.xls” na folha Anexo-DecomposiçãoMTU em CD-ROM.

## **Anexo V- LIMS dos Motores MTU**

O Anexo “Erro! A origem da referência não foi encontrada.” encontra-se no ficheiro de *Microsoft Excel* ® “Anexos.xls” na folha Anexo-LIMSdosMTU em CD-ROM.

## **Anexo VI- Síntese de Classificação Hierárquica de Dados**

Para explicar a criação dos dendrogramas considere-se por exemplo, o caso de 3 objetos em que foi construída uma matriz de dissemelhanças.



$$D_1 = [d_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 \\ 2 & 0 & 4 \\ 3 & 4 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Estas matrizes  $D_1$  (dissemelhanças) ou  $S_1$  são conhecidas por matrizes de proximidades e são matrizes  $n \times n$ . A matriz de dissemelhança mede o grau de afastamento entre dois objetos já a matriz de semelhanças mede o grau de proximidade entre objetos. As dissemelhanças podem ser transformadas em semelhanças e vice versa, através da equação:

$$d_{ij} = 1 - s_{ij}$$

Inicialmente considera-se que cada grupo é um grupo singular como tal procuram-se os dois objetos mais próximos, identificados pelo elemento de menor valor na matriz  $D_1$ , ou seja,  $[d_{ij}] = \min(d_{ij}; i, j = 1, \dots, 3)$ , resultando em  $d_{12} = 2$ , os dois objetos 1 e 2 unem-se para formar o grupo 1-2. Passa-se então a criação da nova matriz de dissemelhanças  $D_2$ . Primeiro:

$$d_{(1-2)3} = \min(d_{1-3}, d_{2-3}) = d_{2-3} = 4$$

A nova matriz é dada por:

$$D_2 = [d_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1-2 & 3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1-2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 4 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Tem-se então o dendrograma:

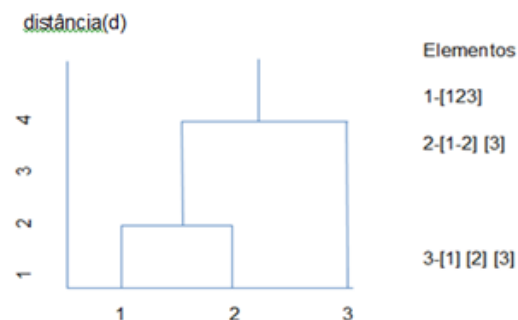


Figura 20-Dendrograma de Exemplo

Como se pode concluir, da visualização dos dendrogramas este tipo de análise e aglomeração de dados é realizado por etapas construídas hierarquicamente.



## Anexo VII- Síntese do Coeficiente de Jaccard e Método do K vizinhos mais próximos

Inicialmente para a análise foi utilizado método do k vizinhos mais próximos, juntamente com o coeficiente de Jaccard como medida de similaridade a matriz de dados binários, pois é uma medida bastante viável para variáveis qualitativas<sup>42</sup>.

O coeficiente de Jaccard é utilizado para dados binários e relaciona o número de exemplares comuns e o número de exemplares encontrados, calculado através da fórmula:

$$CCJ_{ij} = \frac{a}{a + b + c}$$

Em que todas as medidas são definidas a partir de dois dados cruzados, neste caso os NNA, definidos por *i* e *j* na matriz de proximidades, isto pode ser observado através de uma tabela de contingência, ou neste caso de similaridades:

|          |   | Objeto j |     | Total     |
|----------|---|----------|-----|-----------|
|          |   | 1        | 0   |           |
| Objeto i | 1 | A        | C   | a+c       |
|          | 0 | B        | D   | b+d       |
| Total    |   | a+b      | c+d | a+b+c+d=t |

Tabela 26- Tabela de Contingência

As variáveis apresentam o valor 1 se a característica estiver presente e 0 ausente. Todas as variáveis são contagens como tal: *a* representa o número de variáveis de entre as *t* observadas, que tomam o valor 1 para os dois objetos, *b* as variáveis que apresentam o valor 0 para o objeto *i* e 1 para o objeto *j*, *c* as variáveis que apresentam o

<sup>42</sup> Sim/Não ou 0/1 ou Presente/Ausente



valor 1 para o objeto  $i$  e 0 para o objeto  $j$ ,  $d$  a característica que não está presente em nenhum dos objetos.

Como se pode observar, para a determinação do coeficiente de similaridade de Jaccard não entram as variáveis  $d$  que não estão presentes na amostra, neste caso podemos definir o coeficiente de Jaccard por:

$$CCJ_{ij} = s_{ij} = \frac{a}{a + b + c}$$

e o respetivo coeficiente de dissemelhança pode ser calculada por:

$$d_{ij} = 1 - \frac{a}{a + b + c}$$

Pode-se então concluir que  $CCJ_{ij} = 1$  dá o coeficiente de semelhança máximo, ou seja, quando  $b$  e  $c$  são nulos,  $CCJ_{ij} = 0$  dá o coeficiente de dissemelhança máximo (quando  $a = 0$ ). Os valores  $CCJ_{ij}$  estão sempre compreendidos no intervalo de valores  $[0,1]$ .

O dendrograma de similaridade é construído da mesma forma que foi apresentado na Figura 20, localizou-se o valor máximo  $s_{ij} < 1$ , sendo esses dois elementos agrupados, ficando  $n - 1$  agrupamentos, em seguida localizou-se o valor máximo de  $s_{ij} < 1$ , ficando  $n - 2$  agrupamentos e assim sucessivamente. O dendrograma representa a visualização da matriz referida anteriormente com os respetivos NNA e LIMS, através de *hierarchical clustering*.

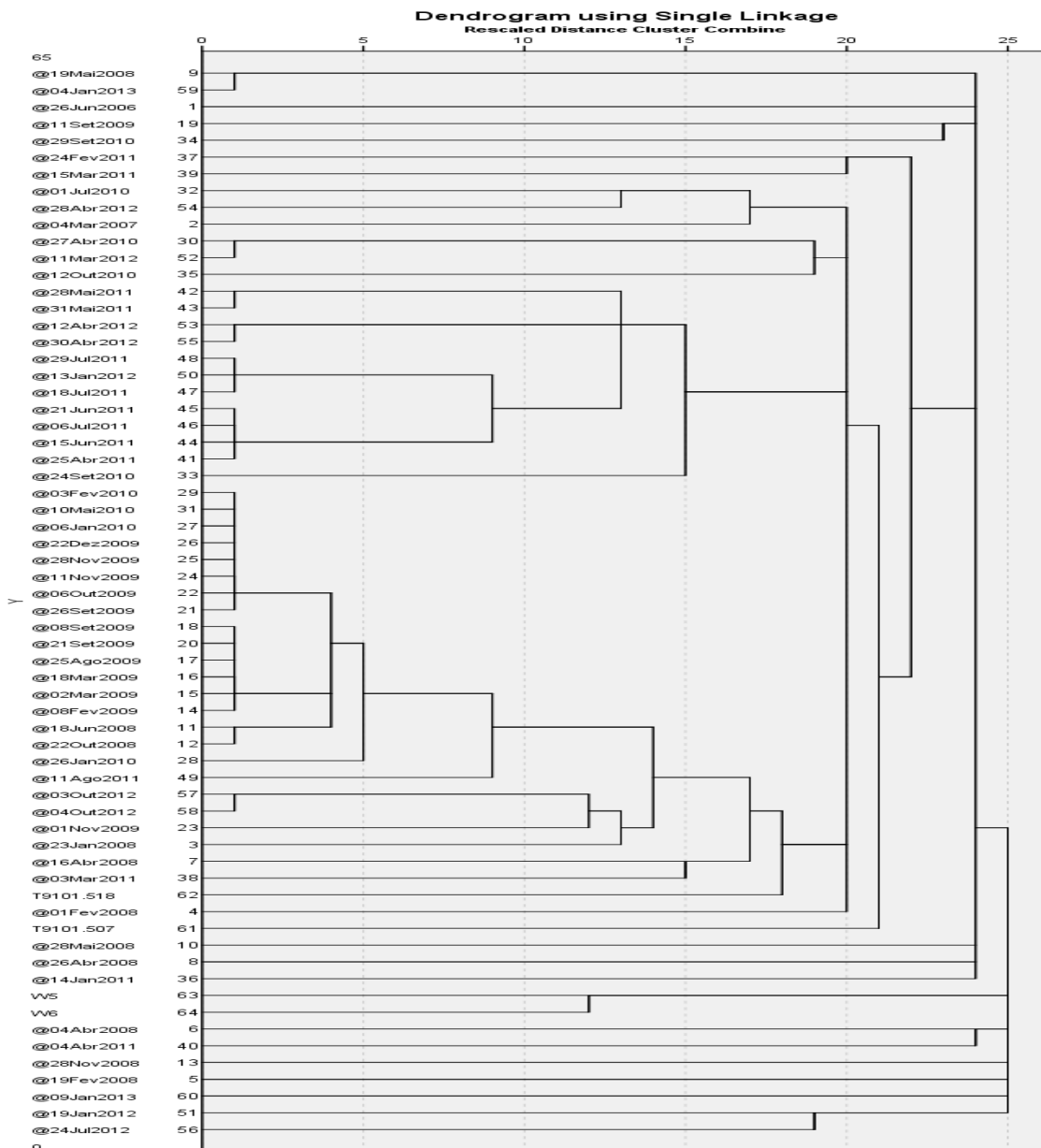


Figura 21-Dendrograma criado através da Distância de Jaccard

Como se pode observar pelo dendrograma anterior, que existem várias datas de requisição diferentes cujas listas de sobressalentes são semelhantes. Veja-se o caso por exemplo das datas de 3 e 4 de Outubro de 2012, cujas requisições são idênticas, pois provavelmente terá sido uma repetição da requisição, porém este dendrograma não nos permite observar totalmente a tendência de utilização das LIMS pois estas estão a distâncias ainda elevadas de grande parte das intervenções, no entanto, este dendrograma permite-nos concluir que as revisões W5 e W6 são próximas no que diz respeito aos sobressalentes utilizados o que implica que muitos dos sobressalentes



utilizados nas W5 são comuns às W6. Isto pode ser verificado através do DN59 em anexo 3 onde as horas após as revisão W5 (Descarbonização) e W6 (Revisão Geral) coincidem.

Em conclusão, esta metodologia não nos permite observar de todo as tendências de utilização das LIMS, como tal foi necessário recorrer a outra metodologia.

## Anexo VIII- Síntese do Critério de Aglomeração de Ward

O critério de aglomeração de dados escolhido foi o de Ward, “este critério baseia-se na comparação entre a aplicação dos quadrados dos desvios das observações em relação à média dos grupos, ou seja, o centróide de cada “cluster”, estes centróides são calculados a partir de uma distribuição de várias variáveis, assim sendo, esta metodologia trata o *cluster analysis* como uma análise à variância ao invés de utilizar as próprias distâncias para associações.” (CALDEIRA, 2006)

Podemos então definir esta metodologia como uma metodologia a 3 tempos onde inicialmente são calculadas as médias das variáveis de cada grupo, em seguida é calculado o quadrado da distância euclidiana entre essas médias e os valores das variáveis para cada objeto, finalmente somam-se as distâncias para todos os indivíduos e otimiza-se a variância.

Inicia-se a análise com  $n$  “clusters” de tamanho 1. No primeiro passo  $n - 1$  clusters de tamanho 1 continuam a existir. É criado um “cluster” de tamanho 2, posteriormente é efetuado o cálculo da distância euclidiana entre as variáveis e a média dessa variável no centróide do “cluster”, essa distância pode ser designada como  $r^2$ .

Considerando  $X_{ijk}$ , onde  $X$  representa o valor para a variável  $k$  na observação  $j$  pertencente ao “cluster”  $i$ . Temos:

$$ESS(\text{Error Sum of Squares}) = \sum_i \sum_j \sum_k |X_{ijk} - \bar{x}_{i,k}|^2$$



Onde se comparam as variáveis de cada observação com as respectivas médias de cada variável no “cluster”. Se:

$$ESS \cong 0,$$

implica que a observação  $j$  está próxima do centróide.

$$TSS(\text{Total Sum of Squares}) = \sum_i \sum_j \sum_k |X_{ijk} - \bar{x}_{..k}|^2$$

Onde se comparam as variáveis de cada observação com as médias das observações para aquela variável, a variância de cada objeto pode ser definida por:

$$r^2 = \frac{TSS - ESS}{TSS}$$

O par de objetos que contenham o menor ESS de forma a obter  $r^2 \cong 1$ , vão formar o primeiro “cluster”, na segunda etapa  $n - 2$  “clusters” de tamanho 1 são formados a partir de  $n - 1$ , aqui poderá haver 2 “clusters” de tamanho 2 ou um de tamanho 3, em seguida é novamente calculado o valor de  $r^2$ . A cada etapa isto se sucede até obter um único “cluster” de tamanho  $n$ .

## **Anexo IX- “Two-Step Cluster Analysis”-Descrição das Etapas**

### **Primeira Etapa: “Pré-Clustering”**

O primeiro passo do processo de *Two-Step* é a formação de “pré-clusters”<sup>43</sup>. O objetivo é reduzir o tamanho da matriz que contém as distâncias entre todos os pares possíveis de casos. O algoritmo decide, com base em uma medida de distância. Cada caso insere-se num “pré-clusters”, caso hajam casos idênticos num pré-cluster já formado um outro caso insere-se nesse “pré-cluster”, caso contrário inicia-se outro “pré-cluster”. Quando o procedimento de “pré-clustering” estiver concluído, todos os

---

<sup>43</sup> “Pre-clusters” são apenas os aglomerados de casos originais que são utilizados no lugar dos dados brutos do agrupamento hierárquico.



casos do mesmo “*pré-cluster*” são tratados como uma única entidade. O tamanho da matriz de distância não depende do número de casos, mas sim do número de “*pré-clusters*”.

Esta primeira etapa explora as observações uma a uma e decide se a observação deve ser integrada nos grupos formados, através da identificação e regiões densas (nuvens de observações que estatisticamente se encontram próximas). Caso isto não se verifique, as nuvens de densidade entre o grupo e a observação não coincidem.

Para a explicação da primeira etapa veja-se:

Sejam  $C_k$  e  $C_{k'}$  dois grupos que irão ser unidos resultando na constituição do grupo  $C_{\langle k,k' \rangle}$ , onde este último representa a combinação formada pelos grupos  $C_k$  e  $C_{k'}$ . Cada observação é processada uma única vez sendo encaminhada para o nó folha e correspondente subgrupo ( $C_k$  ou  $C_{k'}$ ) mais próximo, que se designa por *Cluster Feature Entry* (CFE).

Cada subconjunto ( $C_k$  e  $C_{k'}$ ) é identificado por um conjunto de estatísticas que sumariza informação sobre ele, a que se dá o nome de *Cluster Feature* (CF). A este conjunto de estatísticas sumarizadas chama-se árvore ou *Cluster Feature-Tree* (CF-Tree). Cada CF tem informação sobre o número de elementos do subgrupo, a média e variância para cada variável contínua e a frequência associada a cada categoria de cada variável categorizada.

Assim, cada nó da *CF-Tree* é caracterizado pelo  $CF_k$  em que se inclui informação sobre:

- a) o número de observações no grupo  $C_k$ ;
- b) a soma dos valores de cada atributo contínuo associado às observações do grupo  $C_k$ ;
- c) a soma dos quadrados dos valores de cada atributo contínuo para as observações do grupo  $C_k$ ;
- d) um vector onde se reúnem os números de observações do grupo  $C_k$  por cada categoria de cada variável categorizada.



“A constituição da *CF-Tree* é um fator determinante na eficiência computacional alcançada pelo algoritmo, pois armazena menos informação que se mostra ser a necessária para o cálculo de todas as medidas para efetuar o agrupamento.” (JESUS, 2007).

Da análise de *pré-clusters* que é realizada na primeira etapa resulta que quando  $C_k$  e  $C_{k'}$  se juntam formando  $C_{\langle k, k' \rangle}$ , a *CF-Tree* do novo grupo corresponde à “soma” das duas *Cluster Features* dos dois grupos iniciais.

“A construção desta *CF-Tree* encontra-se dependente de três parâmetros:  $B$  - *Branching Factor* que limita o número de nós descendentes numa ramificação;  $T$  - *Threshold Value* que limita a distância de fusão de dois subgrupos;  $D$  - *Maximum Tree Depth* que é o número máximo de níveis que a árvore pode ter.” (JESUS, 2007).

Sendo  $B$  o fator que limita o número de nós descendentes numa ramificação tem no máximo  $B$  entradas de forma.

As entradas de forma são definidas em (JESUS, 2007) como  $[CF_k, Child_k]$  onde  $k = 1, \dots, B$ .

$Child_k$  representa o sub-grupo que é uma das entradas para o nó,  $CF_k$  representa o *CF* de cada folha.

Em cada nó deve verificar-se que todos os dados apresentam uma distância máxima de  $T$  uns dos outros. Caso isso não se verifique se o número de nós descendentes de uma ramificação for inferior ao limite  $B$  inicia-se um novo subgrupo. Se o valor de  $B$  for excedido, o nó é dividido em dois, as *Cluster Features Entries* são redistribuídas pelos dois novos nós. A partição inicia-se pelas duas *CF* mais afastadas sendo as restantes afetadas segundo a proximidade aos novos nós.

Se a árvore crescer para além do tamanho máximo permitido ela irá ser reconstruída utilizando um valor maior para  $T$ .

O valor de  $T$  condiciona a quantidade de regiões densas. Valores elevados de  $T$  originam menos subgrupos que conseqüentemente poderá originar heterogeneidade intra-grupos, porém, computacionalmente o processo torna-se mais rápido e eficiente.

O contrário também se verifica, elevados valores de  $T$  originam um número elevado de subgrupos mais homogêneos, mas simultaneamente pode tornar o processo de agrupamento mais lento.



## Segunda Etapa: “Hierarchical Clustering of Preclusters”

Na segunda etapa, o *IBM SPSS Statistics* usa o cluster hierárquico padrão algoritmo nas “*pré-clusters*”. Grupos que formam hierarquicamente permitem explorar uma gama de soluções com diferentes números de “*clusters*”.

No *IBM SPSS Statistics* pode-se especificar qual o número de clusters a serem formados, ou então, pode-se deixar o algoritmo selecionar o número ideal baseado ou na Schwarz Bayesian Criterion (BIC) ou no Akaike’s Information Criterion (AIC).

### Exame ao número de Clusters

Os parâmetros iniciais pré-definidos pelo IBM SPSS para a construção da CF-Tree são T= 0;B= 8; D= 3. Sendo estas variáveis categóricas a medida de distância para definir os “*clusters*” foi o “*log-likelihood*”. Utilizando um dos critérios como seleção automática do número de “*clusters*”, o coeficiente de silhueta melhores resultados. Esta silhueta é uma medida que apresenta a qualidade do “*cluster*”. Para cada caso num “*cluster*” a silhueta calcula a distância média para todos os outros casos nesse “*cluster*” e a distância média a todos os casos em todos os outros “*clusters*”. Para cada caso a silhueta é a diferença entre a média mais pequena entre a distância mais pequena entre “*clusters*” e a média mais pequena dentro do próprio “*cluster*” a dividir pela média de distância maior dentro do próprio “*cluster*”.

Para uma solução boa o que se pretende é que as médias das distâncias entre os casos do mesmo “*cluster*” e casos de “*clusters*” diferentes sejam o maior possível e que a média das distâncias maiores dentro do próprio “*cluster*” seja o menor, sendo o valor nesse caso próximo de 1.

Quando se tem casos que são muito diferentes de outros casos e não necessariamente semelhantes entre si, eles podem ter um grande impacto na formação de “*clusters*”, aumentando o número total de “*clusters*” ou fazer “*clusters*” menos homogéneos.