Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Aplicação do Maintenance Scorecard a um equipamento de RMN

Luís Manuel Lopes Marques

Licenciado em Engenharia Mecânica
pelo Instituto Superior Engenharia de Lisboa

Dissertação submetida para a obtenção do grau de mestre
em Manutenção Industrial

Dissertação realizada sob a orientação do Professor Doutor Luís Andrade Ferreira do Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Junho de 2007

Página deixada intencionalmente em branco.

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha esposa Carminda e aos meus filhos Luís Miguel e Clarisse, aos quais atribuo esta e muitas das minhas conquistas.

"*There is a difference between knowing the path and walking the path.*"
"Há uma diferença entre saber o caminho e percorrer o caminho."
Morpheus (The Matrix, 1999)

Agradecimentos

À minha esposa, pelo apoio, paciência e compreensão ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Ao Professor Doutor Luís Andrade Ferreira cuja orientação foi decisiva para a realização desta tese de mestrado quer pelas opções sensatas e realistas apontadas quer pela confiança transmitida quanto ao sucesso das mesmas.

Ao Professor Doutor Jorge Guedes Cabral de Campos, Director do Serviço de Imagiologia Neurológica do Hospital de Santa Maria, pela informação disponibilizada sobre a Ressonância Magnética e actividade assistencial e pela caracterização do serviço com detalhe necessário para a elaboração desta tese.

Ao Engenheiro António Matos Guerra, Professor-Coordenador do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEL, pela disponibilização permanente de instalações que constituíram apoio importante à realização do trabalho.

Ao Engenheiro Nuno R. Pereira, da Philips Portuguesa - Divisão de Sistemas Médicos, responsável pela manutenção do equipamento de Ressonância Magnética Nuclear instalado no Serviço de Imagiologia do Hospital de Santa Maria, pelo fornecimento de informação sobre a manutenção do equipamento para a elaboração desta tese e pela sua permanente disponibilidade para prestar os esclarecimentos solicitados.

Ao Engenheiro Artur Graxinha pelo estímulo e incentivo à realização deste trabalho e também pelos conhecimentos transmitidos que advieram da elaboração da sua tese de mestrado e acima de tudo pela amizade demonstrada ao longo de todo este processo.

Resumo

Em Portugal o serviço nacional de saúde é tendencialmente gratuito, sendo financiado pelo orçamento geral do estado, pelo que a gestão dos activos físicos e activos financeiros se reveste da maior importância no sector da saúde. Face ao desenvolvimento tecnológico dos meios de diagnóstico médico, a aquisição de equipamento de elevada tecnicidade e respectiva manutenção requerem consideráveis recursos financeiros e meios humanos altamente especializados, pelo que o elevado desempenho do equipamento é um factor de sustentabilidade para a área da saúde.

Assim, o Maintenance Scorecard (MSC), uma metodologia baseada na medida do desempenho, é aplicada como ferramenta para desenvolvimento, execução e supervisão de uma estratégia na área da manutenção hospitalar através do tema da rendibilidade. Esta metodologia é aplicada ao equipamento de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) Philips Gyroscan T5-NT, pela importância que este tem como meio de diagnóstico por imagem para o Hospital de Santa Maria, e por ser uma técnica isenta de radiações ionizantes.

A aplicação das ferramentas de análise FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) e HAZOP (HAZard and OPerability Studies) e de indicadores de desempenho, alguns do tipo KPI (Key Performance Indicators) para o desenvolvimento do MSC permitiu concluir que é possível aumentar a disponibilidade e utilização da RMN de modo a eliminar a actual lista de espera de apróximadamente 1000 exames, e reduzir em 13,3% o custo unitário de manutenção preventiva por exame executado.

Palavras chave

Manutenção, Desempenho, Rendibilidade, Maintenance Scorecard, MSC Ressonância Magnética Nuclear, RMN, FMECA e HAZOP.

Zusammenfassung

Das öffentliche Gesundheitssystem in Portugal wird durch den Staat finanziert und ist für die Bürger praktisch kostenlos. Daher kommt dem Management des materiellen und finanziellen Vermögens eine ganz besondere Rolle im Gesundheitssystem zu. Aufgrund der technischen Entwicklung der diagnostischen Geräte wird die Datenerfassung zunehmend komplexer und die Wartung erfordert einen beträchtlichen materiellen und personellen Aufwand. Eine hohe Leistungsfähigkeit der Geräte ist daher ein wichtiger Faktor im Bemühen um Nachhaltigkeit im Gesundheitssystem.

Die Maintenance Scorecard (MSC), eine Methode, die auf Leistungsbewertungen basiert, wurde hier als Mittel für die Entwicklung, Ausführung und Supervision einer Strategie im Bereich der technischen Überwachung und Wartung im Krankenhaus verwendet. Dies vor dem Hintergrund der Kosteneffektivität. Als Anwendungsobjekt der MSC-Methode wurde das Magnetresonanz-Tomogramm (MRT) Philips Gyroscan T5-NT gewählt. Mit seiner Fähigkeit zur Bildgebung ohne ionisierende Strahlung ist es ein wichtiges Diagnoseinstrument am Hospital Santa Maria in Lissabon.

Für die Entwicklung der Maintenance Scorecard kamen die folgenden Werkzeuge zur Anwendung: FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis), HAZOP (HAZard and OPerability Studies), Leistungsindikatoren und KPI (Key Performance Indicators). Im Rahmen dieser Analyse stellte sich heraus, dass es möglich ist, die Verfügbarkeit und effektive Nutzung des MRT soweit zu erhöhen, dass die derzeit bestehende Warteliste von rund eintausend Untersuchungen abgebaut und die Einzelkosten für die Instandhaltung um 13,3% per Untersuchung zu reduziert werden kann.

Schlüsselwörter

Instandhaltung, Leistung, Kosteneffektivität, Maintenance Scorecard, MSC, Magnetresonanz-Tomographie, MRT, FMECA, HAZOP.

Abstract

The National Health Service in Portugal is basically free, as it is financed by the central government budget. As such, the management of the physical and financial assets is of highest importance for the health sector. Due to the technological development of the diagnostic equipment, its acquisition presents a high technical complexity; its maintenance requires considerable financial resources and highly specialized manpower, thus a high performance of the equipment is a factor of sustainability for the health area.

Hence, the Maintenance Scorecard (MSC), a methodology based on performance measurement, is applied as tool for development, execution and supervision of a strategy in the area of the hospital maintenance by using the theme of cost-effectiveness. This methodology is applied to the Magnetic Nuclear Resonance equipment (MNR) Philips Gyroscan T5-NT, not only due to its importance as a medical imaging diagnosis for the Hospital Santa Maria in Lisbon, but also because it is a technique which is free of ionizing radiations.

The analysis tools FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis), HAZOP (HAZard and OPerability Studies), performance indicators and KPI (Key Performance Indicators) were applied for the development of the MSC. This framework allowed the conclusion that it is possible to increase MNR equipment availability and effective utilization in order to eliminate the current waiting list of round about 1000 exams, and to reduce by 13,3 % the unit cost of preventive maintenance per exam done.

Keywords

Maintenance, Performance, Cost-Effectiveness, Maintenance Scorecard, MSC, Nuclear Magnetic Resonance, RMN, FMECA and HAZOP.

Índice de Conteúdos

AGRADECIMENTOS 4
RESUMO 5
ZUSAMMENFASSUNG 6
ABSTRACT 7
ÍNDICE DE CONTEÚDOS 8
ÍNDICE DE FIGURAS 11
ÍNDICE DE TABELAS 13
ÍNDICE DE GRÁFICOS 14
LISTA DE ABREVIATURAS 15
LISTA DE SÍMBOLOS 17
GLOSSÁRIO 19
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS 21
CAPÍTULO 2 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO 25
2.1 – INTRODUÇÃO 25
2.2 – OBJECTIVOS DA MANUTENÇÃO 26
2.3 – TIPOS DE MANUTENÇÃO 26
2.4 – CONCEITO DE FALHA 29
2.5 – MODELOS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO 30
2.6 – CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 33
CAPÍTULO 3 IMPLEMENTAÇÃO DO MAINTENANCE SCORECARD 35
3.1 – INTRODUÇÃO 35
3.2 – PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DO MSC 35
3.3 - DESENVOLVIMENTO 38
3.4 - CRIAÇÃO 45
3.5 - IMPLEMENTAR CONCEITO 46
3.6 - REALIMENTAÇÃO DO CONHECIMENTO E DA APRENDIZAGEM 47
3.7 - FALHAS POTENCIAIS DOS PROGRAMAS DE MEDIDA 48

3.8 - MSC AO NÍVEL DO EQUIPAMENTO 48
3.9 – CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 49
CAPÍTULO 4 RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR 51
4.1 – PRINCÍPIOS FÍSICOS 51
4.1.1 – Propriedades nucleares 51
4.1.2 – O fenómeno da ressonância e da excitação dos núcleos 55
4.1.3 – Processo de relaxação 56
4.1.4 – Sinal FID (Free Induction Decay) 59
4.1.5 – Influência da densidade protónica e dos tempos de relaxação na imagem 61
4.1.6 – A técnica Spin Eco 63
4.2 – A FORMAÇÃO DA IMAGEM 65
4.2.1 – Gradientes de campo magnético 65
4.2.2 – Selecção do corte 66
4.2.3 – Codificação de fase 68
4.2.4 – Codificação em frequência 69
4.2.5 – A imagem 70
4.3 – INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM 72
4.4 – INSTRUMENTAÇÃO EM RMN 73
4.4.1 – O magneto 75
4.4.2 – Bobinas de gradiente 77
4.4.3 – Bobinas de radiofrequência 78
4.4.4 – Sistema de aquisição e de controlo 80
4.4.5 – Blindagem magnética 80
4.4.6 – Blindagem de RF 80
4.4.7 – Conclusões do capítulo 81
CAPÍTULO 5 METODOLOGIA DA ANÁLISE DESENVOLVIDA 83
5.1 – INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS DA METODOLOGIA 83
5.2 – OBTENÇÃO DA INFORMAÇÃO 85
5.3 – INDICADORES DE DESEMPENHO 86
5.4 – ANÁLISE FMEA / FMECA 90
5.5 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO RISCO 91
5.6 – DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS PARA OS FACTORES DO RPN 94
5.7 – MÉTODO HAZOP 97
5.8 – CONCLUSÕES DO CAPÍTULO 100
CAPÍTULO 6 APLICAÇÃO A UM CASO PRÁTICO: EQUIPAMENTO DE RMN 101
6.1 – MSC APLICADO À MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTO HOSPITALAR / RMN 101
6.2 – DETERMINAR O NÍVEL DE DESEMPENHO DESEJADO DO EQUIPAMENTO 102
6.3 – DETERMINAR O NÍVEL DE DESEMPENHO ACTUAL 104

6.4 – ESTRATÉGIA PARA CONSEGUIR O NÍVEL DE DESEMPENHO DESEJADO 105
6.4.1 – EXECUÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA 106
6.4.2 – MEAN TIME TO REPAIR (MTTR)..... 108
6.4.3 – PERCENTAGEM DE HORAS DE PRODUÇÃO UTILIZADAS NA MANUTENÇÃO 109
6.4.4 – DISPONIBILIDADE DO EQUIPAMENTO 111
6.4.5 – CUSTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA POR EXAME 112
6.4.6 – ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO..... 114
6.5 – MSC 115
CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES 117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 119
BIBLIOGRAFIA..... 120
ANEXO A – DIAGRAMAS DO EQUIPAMENTO DE RMN..... 121
ANEXO B – MAPA DE OBRAS DE MANUTENÇÃO CORRECTIVA..... 124
ANEXO C – MAPA DE OBRAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA 126
ANEXO D – INQUÉRITOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS FALHAS..... 128
ANEXO E – ESTUDO HAZOP DE FALHAS POTENCIAIS POR CONJUNTO 142
ANEXO F – ESTUDO HAZOP DA LISTA DE FALHAS..... 145
ANEXO G – ANÁLISE FMECA 149
ANEXO H – CÁLCULO DA TAXA DE AVARIAS: TESTE DE LAPLACE..... 156
ANEXO I – CÁLCULO DO OEE 159
ANEXO J – RELATÓRIOS DE EXAMES RMN DO HSM (2004/ 06) 161

Índice de Figuras

Figura 1 - Sistemas de medida 22
Figura 2 - Fluxograma em árvore dos tipos de manutenção 26
Figura 3 - Definição de Desempenho (Fonte: Mather, 2005) 36
Figura 4 - Implementação do MSC (Fonte: Mather, 2005) 37
Figura 5 - Modelo Base do MSC (Fonte: Mather, 2005) 40
Figura 6 - Vista geral dos tempos de implementação (Fonte: Mather, 2005) 46
Figura 7 - Movimento angular do protão gera momento magnético 52
Figura 8 - Núcleos de hidrogénio na ausência de campo magnético 53
Figura 9 - Núcleos de hidrogénio sujeitos a um campo magnético 54
Figura 10 - Movimento de precessão de um núcleo de hidrogénio sujeito a um campo magnético 54
Figura 11 - Excitação de um núcleo com o vector magnetização M a descrever um movimento de precessão desde a posição de equilíbrio até uma posição perpendicular àquela 55
Figura 12 - Relaxação transversal e longitudinal 56
Figura 13 - Relaxação transversal 57
Figura 14 - Relaxação longitudinal e aumento da magnetização caracterizado pela constante de tempo T_1 58
Figura 15 - Decaimento do sinal Mxy durante a precessão de Larmor 59
Figura 16 - Decaimento do sinal 60
Figura 17 - Contraste em T_1 62
Figura 18 - Contraste em T_2 63
Figura 19 - Diagrama de impulsos, sinais e tempos para a técnica Spin Eco 64
Figura 20 - Desfasamento dos momentos magnéticos na técnica Spin Eco 64
Figura 21 - Selecção do corte 67
Figura 22 - Espessura do corte 67
Figura 23 - Função sinc transforma-se em onda rectangular por aplicação da TF 68
Figura 24 - Gradiente de codificação de fase 69
Figura 25 - Codificação em frequência através do gradiente G_x 70
Figura 26 - Sequência de aplicação dos gradientes 71

Figura 27 - A imagem de Nx × Ny pixels 71
Figura 28 - Variação de contraste com os parâmetros ponderados: 73
Figura 29 - Diagrama de blocos da RMN 74
Figura 30 - Implantação típica de um equipamento de RMN 75
Figura 31 - Localização típica das bobinas de RM 77
Figura 32 - Exemplos de antenas tipo 79
Figura 33 - Blindagem de RF 80
Figura 34 - Fotografia da RMN Gyroscan T5-NT 83
Figura 35 - Formato tipo para documentar o MSC 84
Figura 36 - Fluxograma da metodologia 85
Figura 37 - Tabela FMECA a utilizar neste trabalho 91
Figura 38 - Tabela HAZOP a utilizar neste trabalho 99
Figura 39 - MSC do equipamento de RMN 101
Figura 40 - MSC da Perspectiva da Produtividade 116
Figura 41 - MSC da Perspectiva da Rendibilidade 116
Figura 42 - Diagrama de implantação 122
Figura 43 - Diagrama dos Conjuntos 123
Figura 44 - Mapa de obras de Manutenção Correctiva 125
Figura 45 - Mapa de obras de Manutenção Preventiva 127
Figura 46 - Formato tipo para cálculo do OEE 160

Índice de Tabelas

Tabela 1- Características dos núcleos atómicos 53
Tabela 2 - Tempos de relaxação para vários tecidos humanos..... 59
Tabela 3 - Variação espacial de frequência com o gradiente 66
Tabela 4 - Evolução do número de exames RMN de 2004 a 18-09-2006 (Fonte: HSM)... 83
Tabela 5 - Valores de β..... 93
Tabela 6 - Classificação do factor Ocorrência no RPN..... 95
Tabela 7 - Classificação das consequências funcionais da falha..... 95
Tabela 8 - Tempo de resolução da falha..... 96
Tabela 9 - Matriz de severidade 96
Tabela 10 - Classificação do factor Severidade no RPN..... 97
Tabela 11 - Lista de palavras-chave e respectivo significado 99
Tabela 12 - Consolidação de exames RMN de 2004 a Setembro 2006 no HSM..... 103
Tabela 13 - Matriz de Manutenção Preventiva do Sistema de Refrigeração..... 106
Tabela 14 - Mapa de Obras de Manutenção Preventiva..... 108
Tabela 15 - Consolidação do tempo de paragem devido à manutenção..... 110
Tabela 16 - Lista Parcial do Mapa de Obras de Manutenção Correctiva..... 111
Tabela 17 - Relação entre Contrato Assistência Técnica e Exames RMN efectuados..... 113

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Evolução / Previsão do número de Exames RMN para 2006..... 103
Gráfico 2 - Evolução do Custo Unitário de Manutenção para 2004-06..... 113
Gráfico 3 - Utilização e Disponibilidade do Equipamento de RMN 115

Lista de Abreviaturas

BSC – *Balanced Scorecard*

CMMS – *Computerized Maintenance Management Software*

DEF STAN / UK-MOD – *Defence standard / United Kingdom-Ministry of Defence*

EAM – *Enterprise Asset Management*

ECG – Electrocardiograma

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FID – *Free Induction Decay*

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis*

FMECA – *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*

GMPs – Boas práticas de fabrico (*Good Manufacturing Practices*)

HAZOP – *HAZard and OPerability Studies*

HSM – Hospital de Santa Maria

IP – Protocolo de Internet (*Internet Protocol*)

ISO – *International Organization for Standardization*

JIT – *Just In Time*

LCC / LCP – *Life-cycle cost / Life-cycle profit*

MCDT – Meios Complementares de Diagnóstico e Terapêutica

MIL-STD – Norma Militar (*Military Standard*)

MP – Manutenção Preventiva

MSC – *Maintenance Scorecard*

MTBF – Tempo médio entre falhas (*Mean Time Between Failures*)

MTTR – Tempo médio de reparação (*Mean Time To Repair*)

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

OPE – *Overall Process Effectiveness*

PDCA – *Plan*, *Do*, *Check* e *Act*

PIQT – *Periodic Image Quality Test*

QS – *Quality System standard*

RBM – Manutenção baseada no risco (*Risk-Based Maintenance*)

RCA – *Root Cause Analysis*

RCM – Manutenção centrada na fiabilidade (*Reliability Centered Maintenance*)

RF – Radiofrequência

RMN – Ressonância Magnética Nuclear

RM – Ressonância Magnética

ROI – Retorno do investimento (*Return On Investment*)

RPN – Números de prioridade do risco (*Risk Priority Numbers*)

RX – Raio-X

SAE – *Society of Automotive Engineers*

SRVD – Sistema Remoto de Verificação de Desempenho

TE – Tempo de Eco

TOEE – *Total Overall Equipment Effectiveness*

TPM – Manutenção produtiva total (*Total Productive Maintenance*)

TQMain – *Total Quality Maintenance*

TR – Tempo de Repetição

UK-MOD – *United Kingdom-Ministry of Defence*

Lista de Símbolos

α – Contribuição do modo de falha para a falha do componente / C_m

β – Probabilidade condicional da ocorrência do modo de falha / C_m

γ – Relação giromagnética do protão [MHz/ tesla]

λ_p – Taxa de avarias do modo de falha

ω_L – Frequência de Larmor (frequência angular de precessão do protão)

B_0 – Campo magnético estático [tesla]

B_1 – Campo electromagnético gerado pela RF

C_m – Número de criticidade para o modo de falha

C_r – Número de criticidade para o componente

D – Detecção /RPN

ET – Estatística do teste

F – Flúor: elemento gasoso, não-metal e halogénio (número 9 da classificação periódica)

G_x – Gradidente segundo o eixo x

G_y – Gradidente segundo o eixo y

G_z – Gradidente segundo o eixo z

H – Hidrogénio: gás simples e incolor (número 1 da classificação periódica)

K – kelvin (unidade de temperatura termodinâmica)

M_0 – Módulo do momento magnético inicial do campo estático

M_{xy} – Módulo do momento magnético segundo o plano XY (magnetização transversal)

M_z – Módulo do momento magnético segundo o eixo Z (magnetização longitudinal)

Na – metal leve, alcalino (elemento número 11 da classificação periódica)

O – Ocorrência /RPN

P – Fósforo: sólido, não-metal, família do azoto (número 15 da classificação periódica)

p.p.m. – Partes por milhão

S – Severidade /RPN

T – tesla (unidade de densidade de fluxo magnético)

Página deixada intencionalmente em branco.

Glossário

Artefacto: Componente de sinal bio-eléctrico ou hemodinâmico alheio ao fenómeno que lhe deu origem e na sua visualização e registo tratado como ruído.

Avaria: resultado de um ou vários acontecimentos que colocam um sistema e/ou os seus constituintes (subsistemas, conjuntos, subconjuntos e componentes) num estado em que este é impedido de executar a função requerida.

Causa da falha: processos químicos ou físicos, defeitos de projecto, defeitos de qualidade, ou outros processos que conduzem à falha ou que iniciam o processo físico de deterioração que conduz à falha.

Componente: peça ou conjunto de peças indivisíveis funcionalmente.

Conjunto: grupo de componentes.

Criticidade: medida relativa das consequências de um modo de falha.

Detectabilidade: medida da capacidade de identificação de possíveis avarias dos componentes antes de estas ocorrerem.

Disponibilidade: capacidade do activo físico se encontrar num estado de executar uma função requerida sob dadas condições e num determinado momento ou intervalo de tempo, assumindo que os recursos externos necessários são fornecidos.

Efeitos da falha: consequências que um modo de falha tem na operação, função ou estado de um componente.

Falha: estado no qual um activo físico ou sistema se encontra em que não é capaz de realizar a função requerida com um nível de desempenho desejado.

Fiabilidade: probabilidade de um item poder executar uma função requerida sob determinadas condições durante um dado intervalo de tempo.

Manutenibilidade: probabilidade de uma acção activa de manutenção, para um elemento sobre determinadas condições de utilização, poder ser executada dentro de um intervalo de

tempo estabelecido, quando a manutenção é realizada nas condições pré estabelecidas e com utilização de procedimentos escritos e recursos pré definidos.

Modo de falha: a forma como o componente pode falhar. Geralmente descreve a forma como a falha ocorre e se manifesta.

Ocorrência: representa o número relativo de avarias de um determinado componente.

Risco: combinação da probabilidade de ocorrência ou frequência de ocorrência dum acontecimento ou combinação de acontecimentos que podem conduzir a uma situação potencialmente perigosa.

Segurança: ausência de risco não aceitável.

Severidade: gravidade do efeito de um modo de falha para o processo produtivo.

Sistema: grupo de conjuntos que estão interligados de forma a cumprirem uma função específica.

Taxa de avarias: número de avarias por unidade de tempo.

Tempo de operação: tempo de funcionamento do item em unidades de tempo desempenhando a função requerida.

Capítulo 1 INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

Actualmente os objectivos globais de uma qualquer organização visam prioritariamente a sobrevivência competitiva. Assim, todos os factores que influenciam essa competitividade assumem relevância indiscutível. De entre esses factores, a manutenção aparece como um dos que tem sido mais negligenciado ao longo do tempo. Considerada tarefa secundária e dispendiosa, alvo de reduções fortes em tempo de crise ou em situações económicas difíceis, passou, então, pelos custos das suas intervenções, a ser considerada factor determinante na economia das organizações, capaz de alterar radicalmente os índices de produtividade, e consequente capacidade lucrativa de qualquer actividade socioeconómica.

Assim, para responder eficazmente aos desafios que enfrentam os gestores de activos, nas áreas de risco e de desempenho económico, é necessário adoptar uma abordagem que permita a rentabilização da manutenção no seio das organizações. Neste trabalho, a abordagem que pretende endereçar esta questão é o Maintenance Scorecard (MSC), alternativa recente que aparece como muito promissora nesta área, e que como estratégia permite uma contínua obtenção de benefícios das iniciativas de melhoria adoptadas.

O MSC é uma abordagem integrada usada para desenvolver e executar uma estratégia na área de gestão de activos. Dentro do contexto do MSC, os activos estratégicos não se referem especificamente a equipamento crítico, também dizem respeito às qualificações, às aptidões e às capacidades intangíveis que estão contidas dentro de uma organização.

Como uma metodologia baseada na medida de desempenho, o MSC é construído em torno do uso de indicadores de gestão, ou métricas, conduzindo ao desenvolvimento e à implementação da estratégia. Dentro do MSC o desempenho é definido como o resultado do esforço aplicado para obter o débito desejado dentro do período de tempo desejado.

Os níveis de desempenho desejados necessitam de ser determinados com base no que as organizações requerem dos seus activos, e não com base na capacidade de projecto dos activos. Basear os objectivos no que é requerido, em vez do que é actualmente possível, é a

primeira etapa no planeamento estratégico e é um elemento nuclear da abordagem do MSC.

Os sistemas de medida destacam o nível de melhoria que é requerido para se transitar dos níveis actuais de desempenho para os níveis desejados de desempenho – ver Figura 1. Para que o sistema de medida seja bem sucedido há a necessidade de saber o seguinte:-

- Qual o nível desejado de desempenho de forma quantificada;
- Como podem ser determinados os níveis actuais de desempenho;
- Que acções podem ser tomadas para melhorar o nível de desempenho do nível actual para o nível desejado.

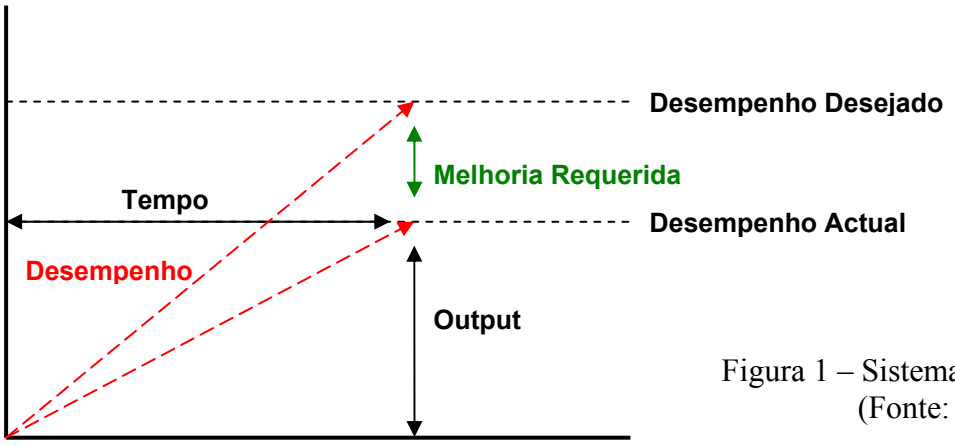


Figura 1 – Sistemas de medida
(Fonte: Mather, 2005)

Assim, ao definir a diferença entre o estado de desempenho desejado e o actual, as organizações podem determinar as acções, as estratégias ou as aquisições que necessitam de empreender. Podem ainda, de uma forma transparente, perceber quais as limitações ou excesso de capacidade dos recursos actuais.

Decidir o que medir é um elemento chave na abordagem estruturada à medição da manutenção, tal como decidir como medir. Muitos dos indicadores que são usados na manutenção são indicadores "tradicionais", tais como a Disponibilidade, a Taxa de Falhas e o MTBF (Mean Time Between Failures), e o MTTR (Mean Time To Repair). Actualmente há indicadores novos que ganham proeminência na gestão da manutenção, tais como Custo da Manutenção por Unidade Produzida, % Manutenção Preventiva Efectuada, Análise de Pareto de Paragens, e Custo da Manutenção vs Valor Estimado de Substituição.

Como objectivo, este trabalho pretende utilizar a abordagem integrada do MSC para desenvolver e propor uma estratégia na área de gestão de equipamento, neste caso particular, do equipamento hospitalar de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) instalado no Serviço de Imagiologia do Hospital de Santa Maria (HSM) em Lisboa.

A estratégia deve garantir que o nível de desempenho desejado é atingido, identificando o número de exames RMN actualmente efectuados, a lista de espera corrente e o crescimento esperado com base na tendência dos anos anteriores, e assim identificar a melhoria requerida. Nesta, a disponibilidade e por consequência a eficaz manutenção do equipamento são elementos chave, sendo a manutenção objecto de estudo através da análise das listas de manutenção correctiva e preventiva fornecidas pela Philips Portuguesa - Divisão de Sistemas Médicos.

Com o propósito de sustentar a estratégia, foram ao longo do trabalho definidos indicadores de desempenho para os níveis Executivo de Gestão e Estratégico, de acordo com os temas Produtividade e Rendibilidade seleccionados para a elaboração do MSC do equipamento de RMN. Também foram desenvolvidos inquéritos aos quais a Philips respondeu e que em conjunto com as listas de manutenção fornecidas permitiram a elaboração dos quadros HAZOP (*HAZard and OPerability Studies*) e FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), que suportam os indicadores de desempenho estratégicos.

O desenvolvimento deste trabalho compreende sete capítulos. Neste primeiro capítulo é feito o enquadramento da estratégia a aplicar no equipamento objecto do estudo, e descreve-se o desenvolvimento do trabalho.

No Capítulo 2 faz-se uma síntese da organização da manutenção, descrevendo genericamente o que é a manutenção, os seus objectivos e tipos, o conceito de falha e alguns dos mais importantes sistemas de gestão da manutenção.

O Capítulo 3 teoriza a implementação do MSC nas suas três etapas: Desenvolvimento, Criação e Implementação (*Embedding* no original), conduzindo à melhoria contínua, seja aplicado a uma organização, a um departamento, ou um equipamento.

No Capítulo 4 são apresentados os princípios físicos da Ressonância Magnética e da formação e interpretação da imagem, na qual se apoia esta técnica de diagnóstico médico.

Também é revista a instrumentação em RMN por blocos funcionais tais como: Magneto, Bobinas de gradiente, Bobinas de radiofrequência (RF), Sistema de aquisição e de controlo, Blindagem magnética e Blindagem de RF.

O Capítulo 5 faz a descrição da metodologia desenvolvida sendo esta baseada no MSC, e das ferramentas de análise FMECA e HAZOP, e de indicadores de desempenho alguns do tipo KPI (*Key Performance Indicators*) tais como: Utilização e Custo Unitário de Manutenção. Também são apresentadas as tabelas de classificação dos parâmetros utilizados nas ferramentas de análise, e adaptadas ao caso em estudo.

No Capítulo 6 a metodologia desenvolvida é aplicada a um caso prático, o equipamento de RMN instalado no Serviço de Imagiologia do HSM. É apresentado um diagrama do MSC aplicado ao equipamento, é determinado o nível de desempenho desejado e o actual e proposto uma estratégia para atingir o nível desejado. São aplicadas as ferramentas de análise FMECA e HAZOP aos mapas de obras de manutenção correctiva e preventiva fornecidos pela Philips Portuguesa, e calculados os indicadores de desempenho, permitindo formular uma estratégia para obter o nível de desempenho desejado. Esta informação é consolidada no formato tipo do MSC para o Nível de Gestão Executivo e Estratégico.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões gerais deste trabalho, avaliando as mais-valias da aplicação do MSC para o desenvolvimento de uma estratégia de manutenção aplicada a um equipamento, e apresenta uma lista de trabalhos futuros com a aplicação do MSC de uma forma mais ampla e adequada à metodologia em causa.

Em apêndice a este trabalho juntam-se os anexos com o diagrama funcional de implantação e dos conjuntos do equipamento de RMN (Anexo A), os mapas de obras de manutenção correctiva (Anexo B) e preventiva (Anexo C), os inquéritos de caracterização das falhas (Anexo D) para suporte à elaboração das tabelas de análise HAZOP (Anexos E e F) e FMECA (Anexo G), o teste de Laplace para identificar a tendência da taxa de avarias (Anexo H), um exemplo do formato do cálculo do OEE (Anexo I), e os relatórios de exames RMN do HSM de 2004 a 2006 (Anexo J).

Capítulo 2 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

2.1 – Introdução

Manutenção é o conjunto de acções conduzidas com o fim de manter em condição aceitável as instalações e o equipamento de forma a assegurar a regularidade da produção, a sua qualidade e a segurança com o mínimo de custos totais. Sob o ponto de vista de evolução podemos considerar que a manutenção tem passado pelas fases seguintes:

- A manutenção é efectuada pelos próprios operários da produção sem qualquer carácter sistemático. Este modelo poderá ser adaptado para unidades muito pequenas e com máquinas simples.
- Existe um serviço próprio de manutenção que actua apenas quando ocorrem avarias e nas reparações gerais. Quando não há avarias os operários da manutenção realizam outras tarefas. Este modelo é ainda bastante simples, é aplicado a unidades em que não existe fabrico em série nem automação.
- O serviço de manutenção existe, e já actua duma forma organizada, existe programação dos serviços e já se realizam previsões. É possível observar este modelo em fábricas com uma certa dimensão embora sem fabrico contínuo.
- Existe serviço de manutenção dominando já a metodologia preventiva, que consiste numa programação anual, inspecções e revisões sistemáticas, uma preparação cuidada para os trabalhos repetitivos, uma gestão de stocks eficientes com substituição periódica de peças críticas etc. É uma fase mais avançada que é necessária nas grandes fábricas com produção contínua.
- Consiste numa abordagem sistémica, em que, são utilizadas várias técnicas de manutenção preventiva e manutenção condicionada. O computador já é utilizado. Este será o modelo mais avançado, que somente algumas instalações ou empresas estão aptas a praticar.

2.2 – Objectivos da Manutenção

Os principais objectivos são:

- Redução dos custos;
- Evitar paragem com perda de produção;
- Evitar quebras de qualidade na produção devido à deterioração dos equipamentos;
- Diminuir tempos de imobilização;
- Reduzir tempos de intervenção através de uma boa preparação do trabalho;
- Reduzir emergências e número de avarias;
- Aumentar a segurança;
- Evitar danos ambientais;
- Aumentar o output da produção;
- Aumentar o tempo de vida das máquinas.

Em resumo: aumentar o débito global da instalação com um custo mínimo.

2.3 – Tipos de Manutenção

De um modo geral, a manutenção de equipamentos ou bens pode ser esquematizada conforme o diagrama seguinte.

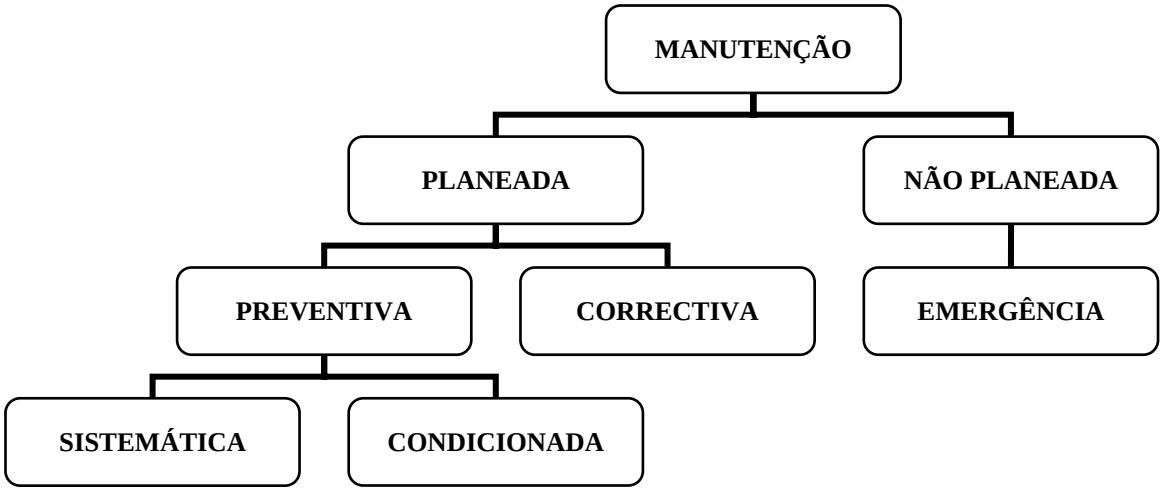


Figura 2 - Fluxograma em árvore dos tipos de manutenção

Manutenção Planeada – Manutenção organizada com antecedência e controlada pelo uso de planos. O Planeamento envolve a preparação e a programação.

Manutenção Preventiva - Manutenção efectuada segundo critérios predeterminados, conduzida com o fim de reduzir a probabilidade de um material entrar em ruptura.

A manutenção preventiva pode ser sistemática ou condicionada (ambas são metódicas).

Manutenção Preventiva Sistemática

- Visita e inspecção periódica (controlo visual da máquina e regulação).
- Reparação preventiva (substituição de peças gastas, controlo de máquinas e regulações várias), em função do tempo ou número de unidades de utilização.
- Revisões periódicas (assenta principalmente em métodos baseados na previsão à ruptura em função do grau de utilização).

Manutenção Preventiva Condicionada

É um tipo de manutenção subordinada à medição de parâmetros predeterminados que revelarão o estado de funcionamento e de degradação de um determinado equipamento.

Os parâmetros de controlo mais comuns são:

- Espectro em frequência do nível de vibrações do equipamento (aplicável principalmente a equipamentos com órgãos rotativos, ou outros que sejam sujeitos a esforços dinâmicos). O espectro funciona como um check-up completo do equipamento, o qual, tratado devidamente, permite indicações precisas sobre o estado de todos os órgãos que constituem o equipamento;
- Análise de óleos. Permite testar a aptidão do lubrificante e estimar o estado de degradação dos órgãos lubrificados mediante a análise das partículas em suspensão (aplicável principalmente a equipamentos transmissores de potência mecânica: redutores, diferenciais etc.);
- Exame do estado de superfícies;
- Exame da estrutura de materiais;

- Exames de dissipação de energia;
- Etc.

A aplicação da manutenção sistemática não evita completamente a ruptura. Ela apresenta um custo elevado, pois normalmente são substituídos componentes que não atingiram nem a metade da sua vida potencial. Este custo assume uma maior expressão quando a substituição de peças implica a desmontagem parcial ou total do equipamento, com consequente paragem da produção.

Num futuro próximo, a substituição sistemática de materiais tenderá a desaparecer progressivamente, excepto em alguns materiais que apresentem um custo muito baixo, cedendo lugar aos métodos de manutenção condicionada.

A implementação inicial de um sistema de manutenção condicionada apresenta os seguintes custos:

- Determinação dos pontos de controlo e fixação do parâmetro e limites relevantes;
- Selecção e compra dos equipamentos;
- Formação dos operários e dos engenheiros;
- Análise dos parâmetros medidos.

No entanto a manutenção condicionada apresenta as seguintes vantagens:

- Aumento do tempo médio entre duas revisões (produtividade superior e redução do custo de manutenção).
- Eliminação do efeito provocado pelas rupturas imprevisíveis.
- Eliminação das substituições de peças em bom estado de funcionamento.
- Redução do stock de peças de substituição.
- Redução das paragens da produção.
- Redução dos problemas causados por erros de execução de intervenções de manutenção.

<u>Manutenção correctiva</u>

Manutenção conduzida de forma a reparar os materiais e a reconduzi-los no estado de bom funcionamento – será a programação das reparações no que respeita à melhoria do estado do material.

Engloba as gama-tipo e as intervenções para melhoria do estado do material mesmo sem avaria.

A manutenção correctiva consiste em:

- Analisar o estado geral dos equipamentos
- Estudar as avarias repetitivas
- Estudar os pontos críticos
- Agrupar as avarias por causa
- Elaboração das gamas-tipo (que contêm a sequência de operações para cada tipo de intervenção).
- Eliminação da repetição das avarias se possível através da análise das causas dos modos de falha.

Manutenção por emergência ou ruptura

É o tipo de manutenção necessária à colocação de um equipamento em funcionamento imediato, no caso de manutenção paliativa, e que supõe uma paragem posterior. Em alternativa, repor o equipamento no estado "inicial" através de uma manutenção correctiva. Ainda, este tipo de manutenção está associada à ruptura de um material e consequente avaria com paragem da máquina.

2.4 – Conceito de Falha

A função do equipamento pode ser descrita como o preenchimento de requisitos definidos para trabalhar num determinado ambiente operativo. Assim, uma falha funcional acontece quando o equipamento já não cumpre a função no seu ambiente operativo (Mather, 2005).

Segundo Assis (2004), em fiabilidade, considera-se que falha da função requerida significa: cessação de funcionamento ou, mais frequentemente, degradação de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório.

A falha de um órgão pode acontecer de forma súbita: é a chamada falha catastrófica; ou lenta e progressivamente: é a chamada falha por degradação.

A falha catastrófica resulta da variação súbita de uma ou mais características de um órgão, inutilizando-o. A sua ocorrência é casual e, logo, imprevisível.

A falha por degradação resulta da variação progressiva de uma ou mais características de um órgão, para além dos seus limites de resistência. Estas falhas manifestam-se sobretudo em componentes de equipamentos que se encontram em contacto com o produto que fabricam. Embora se verifiquem aleatoriamente, estas falhas podem ser previstas e, logo, evitadas através de manutenção preventiva.

Como definição, avaria implica a alteração ou cessação da possibilidade de um bem ou equipamento realizar uma função predeterminada (Ferreira, 1998).

A chamada avaria surge como um caso particular de falha. O termo avaria refere-se não só à ocorrência de uma falha mas integra também a consequência: o equipamento pára. É de notar que uma falha não implica necessariamente a paragem do equipamento, podendo continuar em funcionamento degradado até surgir a oportunidade de correcção (Assis, 2004).

Finalmente, as causas essenciais de falha de um órgão podem classificar-se de acordo com as seguintes seis categorias:

- Erros de projecto;
- Má selecção de material;
- Defeitos de fabrico;
- Manutenção inadequada (ou omissa);
- Sobrecargas em serviço;
- Condições de ambiente imprevistas.

2.5 – Modelos de Gestão da Manutenção

Uma estratégia de manutenção para ser estabelecida deve ter em conta:

- O conhecimento dos diferentes tipos de manutenção.
- O objectivo da minimização de custos e de minimização de percas de produção.
- A estratégia de substituição de equipamentos que podem ter um custo mais elevado que o seu custo de reparação.
- Etc.

Os diversos tipos de manutenção deverão ser conjugados consoante os objectivos a atingir e os equipamentos em causa. Podem coexistir na mesma unidade, manutenção correctiva, preventiva e por emergência.

Ainda, uma estratégia de gestão da manutenção deve assegurar a optimização do conjunto de equipamentos de uma unidade produtiva, a partir do domínio de três factores (Monchy, 1989):

1. Económico: menores custos, economia de energia etc.
2. Humano: condições de trabalho, segurança, ergonomia, saúde etc. e
3. Técnico: disponibilidade e durabilidade das máquinas.

Existe uma vasta literatura propondo inúmeros sistemas de manutenção, e de um modo geral, todos abordam estes três domínios, cada qual, destacando um ou outro aspecto, mas fazendo uso de muitos conceitos similares. Sherwin (2000), por exemplo, tece considerações e comparações sobre alguns dos mais importantes sistemas de gestão da manutenção, tendo em conta o momento histórico em que foram idealizados e as expectativas organizacionais em relação à função manutenção. Mostra que existe uma estreita relação entre todos. Os sistemas considerados são:

Modelo terotecnológico básico, desenvolvido pelo governo inglês, considerado como o primeiro sistema a destacar a importância do custo de vida dos equipamentos (*Life-cycle cost* ou LCC);

Modelo terotecnológico avançado, incorporando recursos de Tecnologia da Informação e focado na rendibilidade do ciclo de vida dos equipamentos (*Life-cycle profit* ou LCP);

Modelo de Eindhoven, que descreve a manutenção como um conjunto de actividades e funções interrelacionadas. Destaca-se por ter tratado a manutenção de forma integrada com outras actividades do processo produtivo e por ter trazido à luz questões relevantes como a engenharia de manutenção e o planeamento e programação da manutenção;

Total Quality Maintenance (TQMain), modelo desenvolvido por Basim Al-Najjar (1996), baseado nos princípios da Qualidade Total, em especial no ciclo PDCA (*Plan*, *Do*, *Check* e *Act*), ou Ciclo de Shewhart ou de Deming que o propôs. Destaca o combate aos custos, representado pelas seis grandes perdas salientadas no TPM (*Total Productive*

Maintenance), e pela proposta de adopção da manutenção preventiva condicionada, baseada na análise de vibração. Utiliza a vida até ao limite de desgaste de cada peça, maximizando a disponibilidade e minimizando as perdas de produção e de qualidade devido a paragens do equipamento. Propõe a integração da manutenção na produção e o planeamento conjunto de ambas. Utiliza uma versão modificada do indicador de performance OEE, denominando-se OPE (Overall Process Effectiveness) sendo calculado para o processo no qual a máquina é utilizada. Assim, a mesma máquina pode ter diferentes OPEs para diferentes processos que lhe sejam requeridos cumprir.

Total Productive Maintenance (TPM) ou Manutenção Produtiva Total, considerada como um programa de gestão de equipamentos, implementado ao nível de toda a companhia, que enfatiza o envolvimento dos operadores com a manutenção dos equipamentos e a melhoria contínua, combinando técnicas de manutenção preventiva sistemática e condicionada com conceitos de Qualidade Total. A implementação deste sistema requer uma mudança de atitude dos operadores que são encorajados a participar nas actividades de manutenção, através do seu envolvimento no desenvolvimento e execução dos planos de manutenção. Uma das chaves do sucesso do TPM é o desenvolvimento do sentido de propriedade. O programa, concebido por Nakajima em 1988, foi originalmente lançado na indústria japonesa que adoptava o sistema JIT (*Just In Time*), com o propósito de combater as perdas devido às paragens das máquinas. Utiliza o indicador de performance OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) sendo este o resultado de três factores: disponibilidade (inclui tempo de paragem planeado), desempenho (produção efectiva / produção teórica) e qualidade (unidades válidas / total de unidades produzidas) – formato tipo para cálculo do OEE no Anexo I. De acordo com Nakajima (1988) o TPM está interessado somente nos aspectos terotecnológicos do equipamento.

Reliability-centered Maintenance (RCM), ou Manutenção Centrada na Fiabilidade, projectada para seleccionar, reforçar e melhorar os programas de manutenção preventiva sistemática ou preditiva (preventiva condicionada). Esta metodologia foi concebida originalmente, durante a década de 60, para aplicação na indústria aeronáutica, e foi inicialmente documentada para uso fora desta indústria no ano de 1978. Finalmente, John Moubray produziu a primeira versão comercialmente viável do RCM a que chamou "RCM II" no seu primeiro livro de 1990.

E ainda, outras abordagens mais recentes tais como:

Risk-Based Maintenance (RBM) ou Manutenção Baseada no Risco, outra metodologia surgida recentemente, com o objectivo de optimizar o retorno financeiro relacionado com a decisão de fazer ou não fazer a manutenção. Avalia-se o retorno financeiro, a probabilidade de falha e a severidade da consequência caso a falha ocorra, para depois se tomar uma decisão. Esta abordagem baseada no risco substitui a classe de criticidade por dois dos três campos que a constituem, a probabilidade de ocorrência e a consequência. O produto destes dois campos, o risco, transforma-se num indicador da importância de cada modo de falha para o risco total associado ao sistema.

Maintenance Scorecard (MSC) é uma abordagem detalhada e completa usada para desenvolver e implementar uma estratégia na área de gestão de activos (= *asset management*). Como uma metodologia baseada na medida do desempenho, o MSC é construído em torno do uso de indicadores de gestão, ou de métricas, de modo a conduzir ao desenvolvimento e à implementação da estratégia. Preconiza também que as vantagens competitivas sustentáveis surgem da implementação da estratégia, e não meramente do seu desenvolvimento. A implementação do MSC é tratada no capítulo seguinte devido à sua importância neste trabalho.

2.6 – Conclusões do capítulo

Neste capítulo foram definidos os conceitos principais referentes à organização da Manutenção e apresentadas as principais estratégias utilizadas no âmbito desta actividade.

A principal conclusão é que, face às tecnologias de produção existentes e face às tecnologias de informação agora aplicadas à organização da manutenção, o Maintenance Scorecard aparece como sendo uma ferramenta extremamente útil para um controlo eficaz desta actividade, no âmbito da gestão de activos nas organizações.

Página deixada intencionalmente em branco.

Capítulo 3 IMPLEMENTAÇÃO DO MAINTENANCE SCORECARD

3.1 – Introdução

Presentemente, o principal desafio dos gestores de activos passa pelo balanceamento entre a actividade lucrativa e as responsabilidades intrínsecas ao desenvolvimento do negócio, entre os ganhos de curto prazo e as mais valias dos accionistas a longo prazo, e entre o risco aceitável e o inaceitável. Estes desafios contribuíram para a necessidade de uma ferramenta e/ou estratégia de gestão de activos que permita rentabilizar a manutenção no seio as organizações, assegurando a competitividade destas a curto e longo prazo. Neste contexto o Maintenance Scorecard, cuja implementação será desenvolvida neste capítulo, suporta as organizações nesta demanda fazendo da gestão de activos uma fonte de vantagem competitiva.

3.2 – Processo de implementação do MSC

O Maintenance Scorecard (MSC) é uma ferramenta para o desenvolvimento e implementação de uma estratégia, e para monitorizar o progresso dos objectivos definidos na estratégia de manutenção. Assim sendo o MSC é mais do que uma colecção de indicadores de desempenho utilizados nos equipamentos e/ou pessoas.

Tal como qualquer estratégia de melhoria, a forma como é conduzida a implementação na empresa determina o seu sucesso. Isto é particularmente verdadeiro para o MSC, que na fase inicial de implementação é trabalhado a partir dos níveis mas elevados de gestão.

MSC apresenta-se como um solução para a gestão da manutenção, entre outras possíveis, sendo neste caso uma aproximação detalhada que tem em conta a influência de outras áreas na gestão dos activos e vice-versa. Assim, compreende uma abordagem vertical, na qual os objectivos da empresa são aplicados a toda a companhia, e uma abordagem horizontal,

trabalhando entre as várias áreas de modo a garantir que os recursos estão focados onde é suposto estarem focados.

Na base do MSC está o Gráfico de Desempenho, ver Figura 3, fundamental para o entendimento do modelo de implementação requerido para se obter os melhores resultados através do MSC. As etapas analíticas dentro deste modelo são as seguintes:

1. Determinar os níveis de desempenho desejados dos equipamentos, pessoas, sistemas e capacidade tecnológica baseado nos desafios que a organização enfrenta dentro da sua área de negócio e nas vantagens competitivas que procura obter.
2. Determinar os níveis actuais de desempenho através da análise, medida e observação, tendo em consideração o intervalo de factores que afectam a actividade de gestão dos activos no universo industrial da actualidade.
3. Determinar as estratégias que permitam transitar dos níveis reais de desempenho para os níveis desejados de desempenho. O resultado desta etapa é a formação de planos estratégicos, com objectivos quantificados.
4. Definir as qualificações, as potencialidades e as capacidades de todos os recursos que serão necessários para atingir os objectivos definidos nos planos estratégicos.

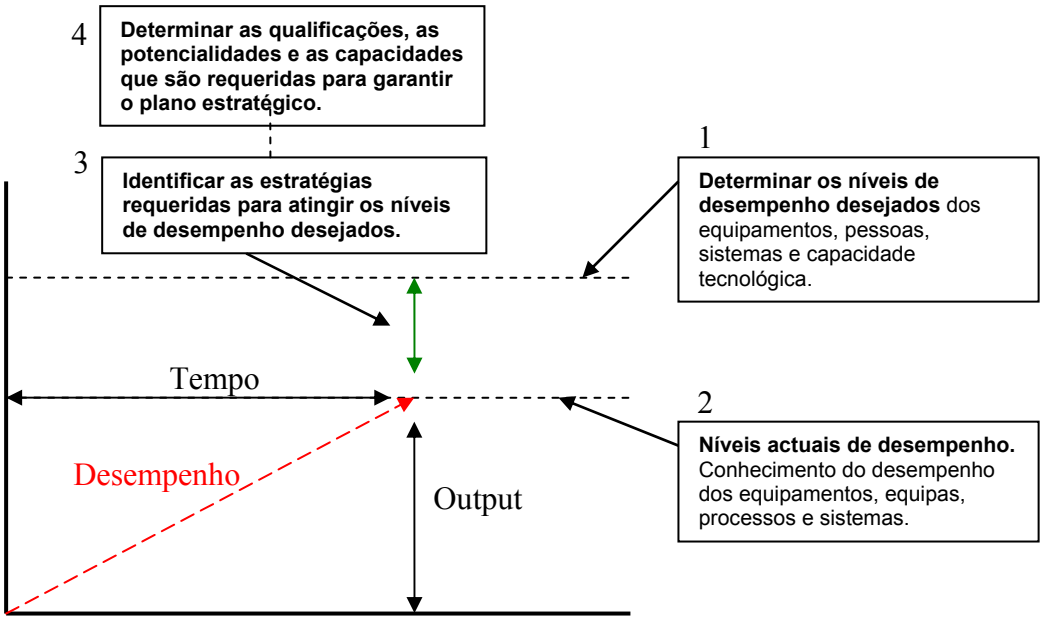


Figura 3 - Definição de Desempenho (Fonte: Mather, 2005)

Esta abordagem, mesmo que isolada, produzirá resultados para a organização, particularmente em torno da formação de planos estratégicos e da identificação das qualificações, das potencialidades e das capacidades que são requeridas para conseguir o desempenho desejado.

O gráfico da Figura 4 mostra as três etapas fundamentais que são necessárias para a completa implementação do MSC. O modelo é uma abordagem compreensiva à mudança do pensamento na empresa, e como consequência requer um entendimento detalhado e integrado de todos os aspectos da sua implementação.

1. Desenvolver os objectivos, os planos estratégicos, as medidas e identificar factores críticos para o sucesso de modo a conseguir vantagem competitiva.
2. Criar as ferramentas, qualificações, capacidades e processos para garantir o cumprimento dos planos estratégicos.
3. Encaixar as mudanças dentro da organização de modo a focar todos os esforços na procura da realização e refinamento dos planos estratégicos.

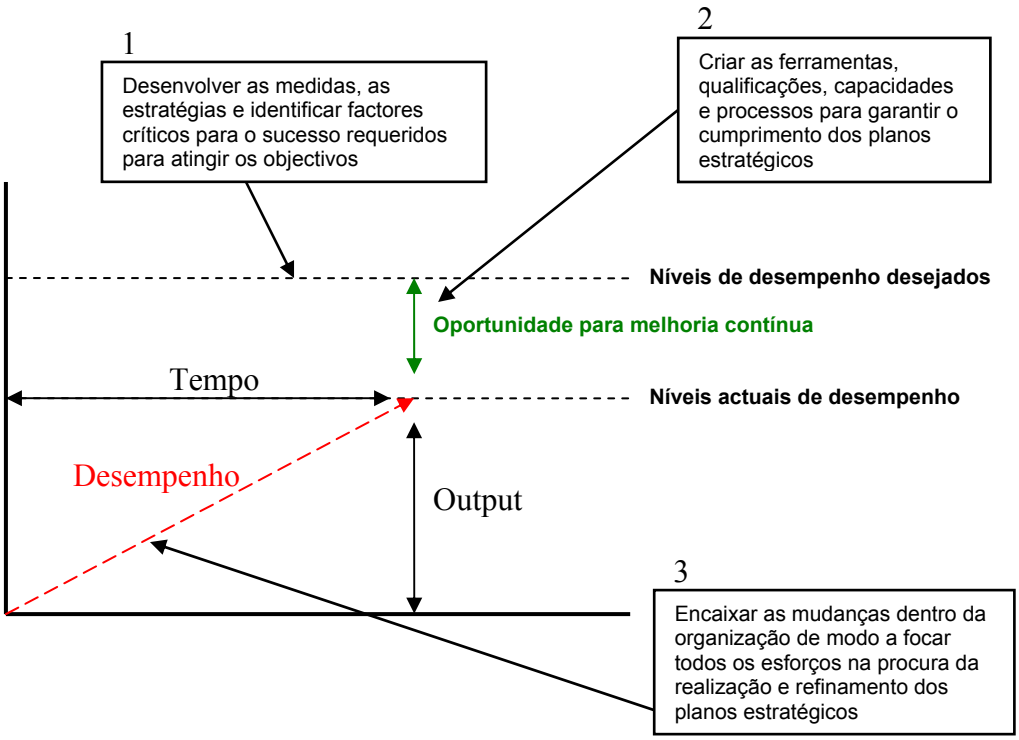


Figura 4 - Implementação do MSC (Fonte: Mather, 2005)

Cada passo dentro do modelo de implementação é complexo e requer muita e dedicada atenção. No entanto, não se pretende com este processo gerar muito papel e pouca acção. O objectivo do MSC é a obtenção de vantagem competitiva e não a tentativa de o conseguir (Mather, 2005).

3.3 - Desenvolvimento

A fase do desenvolvimento é onde os desafios, os objectivos, as estratégias e os planos ao nível de toda a companhia são definidos. Isto necessita ser feito para a área específica na qual a companhia opera. Não pode ser inteiramente compreendido por um único sector da actividade pelo que requer de uma forma transversal o envolvimento dos vários níveis de gestão na companhia.

A adopção do MSC não significa negligenciar o trabalho que pode ter sido feito anteriormente na definição da estratégia, acções ou de iniciativas sobre desempenho. O mais frequente é o MSC providenciar um modo de validação, questionando e adaptando o trabalho já efectuado, e assegurando que este continua relevante para a mudança dos objectivos e desafios dentro da companhia. Um dos principais efeitos do MSC em qualquer organização é a sua capacidade de criar um objectivo comum para os planos estratégicos existentes e regimes de medidas, caso estas existam.

Primeiro, existe a comunicação directa aos níveis estratégicos e funcionais dos objectivos e dos níveis desejados de desempenho da organização. Segundo, existe uma realimentação dos constrangimentos existentes, dos níveis de desempenho actuais e iniciativas locais possíveis para que se consigam atingir os objectivos. Como resultado final tem-se toda a direcção da companhia focada em atingir os objectivos relacionados com a gestão do parque de equipamentos, baseada na realidade económica e capacidade existente em casa, para responder aos desafios enfrentados por todos na organização.

Este passo é crucial independentemente se o MSC é implementado a partir dos níveis executivos ou a nível local. Os processos do desenvolvimento são baseados em fazer as seguintes três perguntas na seguinte ordem:

1. Qual o ambiente operativo actual dentro da companhia?

2. Onde pode ser conseguida a vantagem competitiva na companhia?
3. Que qualificação, potencialidade ou capacidade adicional permitirão à organização fazer a "ponte" entre os níveis de desempenho desejados e os actuais?

Qual o ambiente operativo actual dentro da companhia?

Ao definir o ambiente operativo da organização são então definidos os desafios que a companhia enfrenta, e daqui a importância do gestor do parque de equipamentos. Outro benefício do MSC neste caso é a troca de informação referente aos desafios que as várias áreas funcionais enfrentam dentro da empresa.

Ao definir as condições e os constrangimentos do actual ambiente operativo, é também importante definir as futuras potenciais situações que a companhia enfrentará em termos de requisitos para a sua gestão de activos. Assim, apresentam-se alguns exemplos das áreas onde as tendências futuras devem ser consideradas.

1. Pressões nas margens de lucro.
2. Previsão de mudanças ao nível regulamentar e legislativo.
3. Desafios específicos tais como crescimento da base de activos, redução da utilização do equipamento ou uma despesa substancial com objectivos importantes.
4. Reacção forçada a eventos tais como mudança global do clima; um exemplo actual é traduzido na necessidade de aumentar a eficiência dos equipamentos para diminuir o consumo de energia.
5. Condições operacionais das diferentes fábricas dentro da organização etc.

Estas situações, que podem ser consideradas como uma selecção representativa, não são normalmente tomadas em consideração quando se idealiza a gestão da base de activos. Entretanto são às vezes mais importantes do que o usual pensamento de meramente baixar os custos de manutenção directos. Aqui está outra das mudanças chave no paradigma que ocorre durante a implementação do MSC, focos no pensamento criativo sobre questões estratégicas e na obtenção do desempenho pretendido em vez de focos nas questões tácticas tais como na melhoria da execução e do desempenho.

Enquanto se conseguem mais benefícios do MSC quando é aplicado a partir dos níveis mais elevados de gestão, este também pode ser implementado ao nível departamental, do

processo, ou do equipamento. No entanto, este último formato de implementação terá sempre a falta de visão da equipa de liderança da companhia e necessitará de extrapolar os requisitos da companhia através de outros meios. Um dos itens chave que faltará também no MSC será o alinhamento dos objectivos e das iniciativas através de toda a companhia, deixando o padrão de iniciativas de gestão e de melhoria correntes no mesmo ponto em que antes se encontravam.

Onde pode ser conseguida a vantagem competitiva na companhia?

Ao trabalhar o desenvolvimento do MSC através da companhia, todas as perguntas e a análise são feitas de acordo com o Modelo Base do MSC – ver Figura 5. Isto assegura que se fazem todas as perguntas relacionadas com as áreas que foram definidas como importantes para a gestão de activos. De notar que a estrutura proposta não é rígida mas segundo Mather (2005) a maioria das iniciativas estratégicas dentro da gestão de activos encaixa-se nas perspectivas apresentadas na Figura 5.

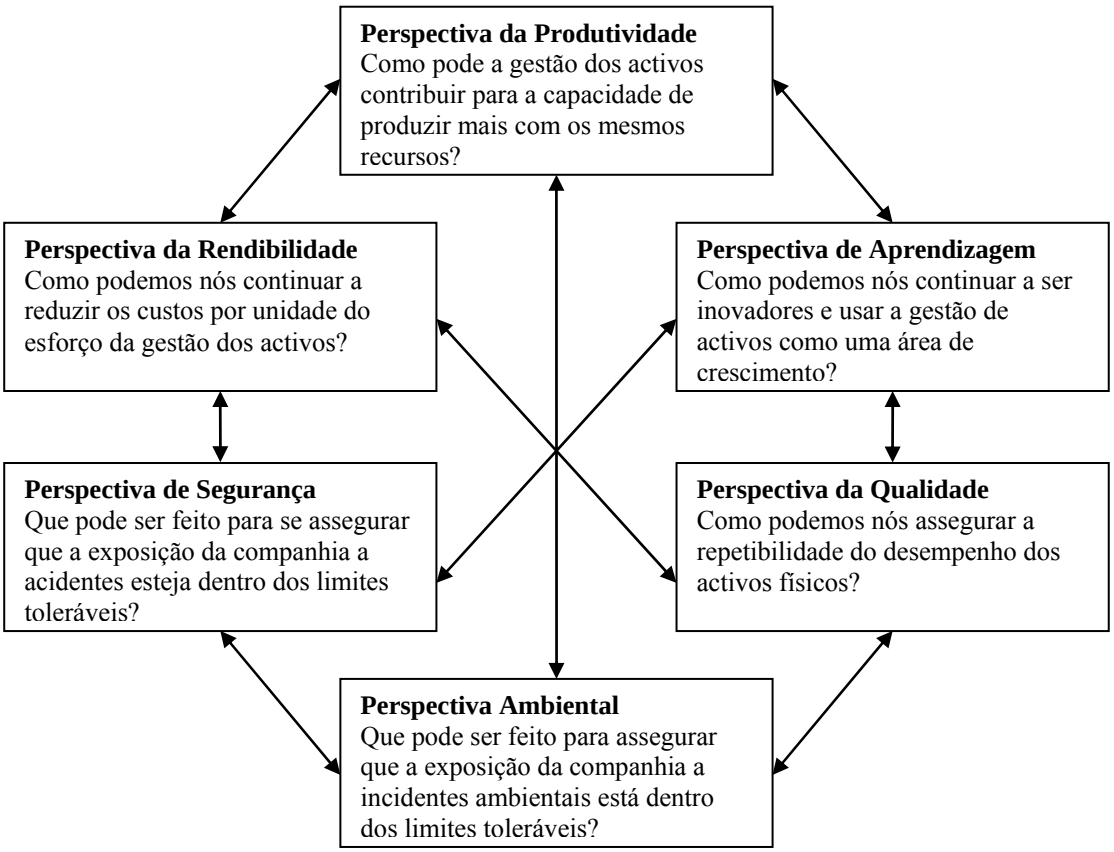


Figura 5 - Modelo Base do MSC (Fonte: Mather, 2005)

As perspectivas apresentadas na Figura 5 necessitam agora de ser validadas.

- Os objectivos da companhia nesta área contribuem para o compromisso total da organização para com os seus accionistas?
- Os objectivos da companhia nesta área satisfazem as necessidades requeridas pelos seus clientes?
- Quais são as necessidades do gestor de activos, nesta área, por outras áreas funcionais da companhia (recursos humanos, comercial, financeiro, marketing, gestão de materiais ou outra)?
- Quais são os efeitos dos objectivos da companhia nesta área com relação a outras áreas do MSC?

A primeira etapa na fase do desenvolvimento revela sempre um grande número áreas onde a atenção é requerida, e às vezes numa quantidade surpreendente de áreas.

Tal como já foi dito, meramente duplicar o que outros estão fazendo não é adequado para a realização de vantagens competitivas sustentadas. Assim, repetir processos e técnicas de outros não fornecerá ganhos competitivos, fornece meramente meios de igualar o desempenho da competição. O objectivo é desenvolver soluções inovadoras para os desafios que a companhia enfrenta.

Com o advento da privatização muitas organizações reduzem a dimensão da função de engenharia de fiabilidade, preferindo adquirir os serviços a terceiros com base na necessidade do momento e não os ter disponíveis de uma forma permanente. Quando considerando estas questões, há necessidade de compreender como estas afectam o que o MSC refere como necessidade competitiva.

Os processos ou as capacidades que promoveram um distanciamento entre a companhia e os seus concorrentes necessitarão de ser destacados para imediato tratamento. Não se trata de um processo de criação de vantagem competitiva, mas sim de uma acção correctiva para omissões na gestão.

As companhias de capital intensivo, pela sua própria natureza, necessitam de gastar grande parte dos seus recursos financeiros na substituição, renovação e melhoria dos activos existentes.

Que qualificação, potencialidade ou capacidade adicional permitirão à organização fazer a "ponte" entre os níveis de desempenho desejados e os actuais?

Uma vez definidos os desafios e os objectivos da companhia, o processo procura agora um modo de os tornar realidade. Esta parte do processo do desenvolvimento não é feita frequentemente ao nível executivo de gestão pois a quantidade de detalhe que é requerido está para além do que é acedido por este nível.

A etapa requer participação ao nível da gestão de estratégia a fim converter os objectivos da companhia em planos estratégicos capazes de serem trabalhados.

É frequente nesta etapa a necessidade de um bom de trabalho analítico para determinar o desempenho, determinar o custo-benefício para conseguir as vantagens empresariais, e ainda dar ênfase às boas práticas da indústria que podem ajudar a preencher o espaço existente entre o estado actual e o pretendido.

Os elementos chave para esta parte do processo do desenvolvimento são os gestores seniores e a equipa de engenharia sénior. Fornecem a orientação onde o foco deve estar, que questões e problemas enfrenta a implementação do MSC, e quais os objectivos que estarão fora do alcance das capacidades operacionais actuais.

Implementação ao nível executivo

Ao implementar novos paradigmas e novas maneiras de pensar em toda a companhia, é muito melhor faze-lo através de um método de transferência de conhecimento do que contratar alguém para o fazer pela companhia. Este é um dos conceitos fundamentais na moderna gestão de consultadoria.

Muitas vezes os projectos de melhoria, que resultariam em economias substanciais ou noutros benefícios, são atrasados ou não tentados simplesmente porque os recursos pretendidos não estão disponíveis, não obstante a intenção de fazer seguir os projectos. Isto é particularmente verdadeiro na abordagem de transferência do conhecimento em áreas tais como RCM (*Reliability Centered Maintenance*), RCA (*Root Cause Analysis*), implementações ERP (*Enterprise Resource Planning*) e outras iniciativas de fiabilidade.

Isto apresenta-se como um problema para as companhias no que diz respeito à implementação de toda e qualquer iniciativa de melhoria. Para superar isto, o MSC utiliza uma combinação de sessões de trabalho, entrevistas orientadas, e analistas garantirão que o projecto possa ser empreendido, enquanto vão transferindo conhecimento àqueles que serão encarregados da sustentabilidade e posterior desenvolvimento dos modelos do MSC.

A fase do desenvolvimento do MSC começa com um estudo inicial para determinar todas as pressões e oportunidades que uma companhia tem dentro de seu ambiente operativo específico. Esta etapa é realizada através de uma série de entrevistas altamente estruturadas e de questionários de pré-ligação, e das revisões de planeamento estratégico existente combinado com a informação disponível da indústria.

A informação resultante é então apresentada nas primeiras sessões de trabalho de nível executivo. Projectado para conseguir muito em pouco tempo, estas sessões de trabalho são muito intensas e focadas. A intenção expressa é geralmente rever a informação recolhida, dentro do contexto das perspectivas do MSC, e começar a formular os objectivos da companhia que conduzirão às vantagens quando implementados.

O valor de usar consultores externos durante todo o processo do MSC não deve ser subestimada. Os consultores trazem uma perspectiva exterior e forçam os participantes, em sessões de análise, a procurar as verdadeiras áreas de melhoria e não somente áreas que agradam a um ou dois elementos da equipa de directores.

Identificação de Estratégias

As iniciativas tais como RCM, Lógica de Eliminação de Problemas, conjunto de procedimentos administrativos, inovação tecnológica, modelação da disponibilidade e TPM (*Total Productive Maintenance*) são apenas algumas das potenciais estratégias que podem ser usadas para promover o esforço de melhoria na manutenção. Podem também incluir o *outsourcing* (requisição externa), *insourcing* (requisição interna), aquisições ou alterações importantes no modelo.

O foco do MSC nesta área deve ser o de definir, claramente e de um modo quantificado, as necessidades da organização. Uma vez identificadas é possível comparar o requerido com as iniciativas potenciais. Parte do trabalho a nível estratégico passa por definir as

iniciativas requeridas, determinar o ROI (*Return On Investment*) e o período do retorno, e colocar em acção um plano que apresente resultados.

Elaboração do plano

O plano para implementar estas iniciativas é uma das etapas da logística e planeamento pela qual se tem de passar, enquanto se focam os recursos da companhia. Cada plano deve assegurar que está conforme com os seguintes critérios:-

- Justificável de acordo com as directrizes dos objectivos originais da companhia.
- Tem uma linha-temporal definida para a obtenção de benefícios para cada fase de cada iniciativa.
- Mudança cultural integrada dentro de cada corrente, conforme requerido, como parte da sua implementação.
- Contém plano detalhado de recursos para o uso de recursos externos e de recursos internos.
- Como uma etapa separada mas igualmente importante, inclui planos de contingência para o uso da estrutura de Tecnologias de Informação e respectivas implicações.

Durante o processo de criação da estratégia há às vezes a necessidade de informar com a realimentação de outras áreas o nível executivo da empresa sobre as limitações encontradas a nível estratégico ou funcional, em particular nos casos onde existem mudanças que originam esperança no retorno do investimento e no benefício. Se tal situação ocorrer, existem várias opções disponíveis a nível executivo: a primeira opção é baixar as expectativas; a segunda opção é aumentar os níveis de investimento; a terceira opção e frequentemente a melhor são procurar meios alternativos para conseguir resultados similares.

Ao longo de todo o processo associado ao MSC a atenção está sempre direccionada para a linha da frente na promoção da mudança e da melhoria. É importante terminar tão rapidamente e eficientemente quanto possível estas etapas de modo a não criar um projecto que seja pesado na burocracia e insignificante nos resultados.

Planeamento de Medidas Funcionais

Finalizando o processo de revisão e alinhamento ao nível directivo, o trabalho começa por identificar os indicadores funcionais e tácticos que serão requeridos para assegurar todos os objectivos da companhia e que estes são atingidos.

Os Processos e os Resultados

O método de implementação do MSC foi projectado para ser claro no uso e na participação dos recursos organizacionais. Isto pode mudar de organização para organização. Assim, é importante que as organizações actuem de uma foram ágil e desburocratizada. É também uma realização na qual a mudança permanente não pode ser conseguida sem algum nível de participação da equipa de funcionários permanente da organização (Mather, 2005).

3.4 - Criação

A fase da criação do MSC é onde as iniciativas começam a ocorrer e são definidos os mecanismos de relatório. Tal como todas as outras fases a atenção ao detalhe é crucial. Qualquer erro aqui pode afectar os resultados da implementação ou até alienar a força de trabalho. A criação é a fase do MSC na qual o detalhe começa a ser conhecido do pessoal de nível médio e nível táctico da companhia e da força de trabalho em geral.

Actividades empreendidas durante a fase da criação

A fase da criação visa primeiramente garantir a estrutura de elaboração de relatórios, os processos associados ao negócio e as iniciativas estratégicas que são requeridas para fazer as mudanças, adquirir os dados, e para produzir os relatórios e os indicadores que serão necessários.

Embora a maioria das companhias tenham um sistema CMMS (*Computerized Maintenance Management Software*) ou EAM (*Enterprise Asset Management*) implementado, não são utilizados frequentemente de uma maneira que capture informação de boa qualidade referente aos activos físicos ou ao desempenho da força de trabalho.

Assim, melhorar o formato de obtenção de dados dos sistemas também poderá fazer parte da fase de criação.

A fase de criação é também um período em que muitas das iniciativas estratégicas são iniciadas (Mather, 2005).

3.5 - Implementar Conceito

A fase de implementar o conceito começa uma vez terminada a fase da criação. Consiste principalmente em introduzir os conceitos e os indicadores que devem ser usados aos vários níveis da companhia onde serão aplicados. Um diagrama temporal genérico da implementação do MSC pode ser observado na Figura 6.

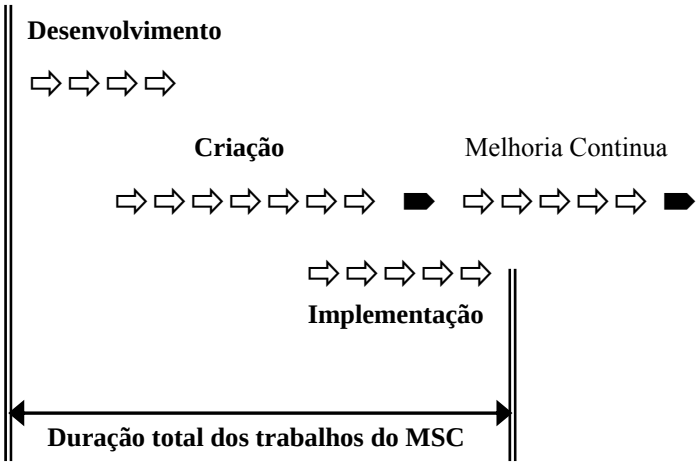


Figura 6 - Vista geral dos tempos de implementação (Fonte: Mather, 2005)

Esta fase do MSC foca-se em três áreas em particular:

- Alinhar as funções dos trabalhadores, nas suas mentes, com os objectivos gerais da organização.
- Mudar a maneira de pensar dos trabalhadores através da introdução de novo modelo de pensamento na gestão dos activos, como exemplo os equipamentos.
- Permitir que tenham uma participação e uma influência real sobre os projectos e os resultados a nível táctico.

Considerando estas áreas como três áreas fundamentais constrói-se a mudança cultural através da organização permitindo às pessoas

1. Tornarem-se cientes da importância do que estão a fazer na companhia;
2. Tornarem-se cientes de novas maneiras de contribuir nas suas funções;
3. Fazerem uso do novo modelo de pensamento que aprenderam.

Isto cria uma dinâmica poderosa que permite a mudança cultural, muitas vezes devida e conduzida pela própria força de trabalho.

A experiência mostra que os esforços bem sucedidos no MSC requerem constante discussão e comunicação dos indicadores e objectivos do MSC através dos vários níveis da organização. Ligando indicadores e objectivos ao desempenho pessoal, incluindo estes nas discussões sobre desempenho e progresso, e afixando os gráficos nas áreas comuns de trabalho, confere à implementação uma natureza permanente e de melhoria contínua (Mather, 2005).

3.6 - Realimentação do conhecimento e da aprendizagem

Em todos os níveis do MSC há uma necessidade de realimentação do programa em curso. No decorrer do processo há frequentemente a ideia de que os objectivos são muito agressivos ou demasiado conservadores. Ao contrário de outras áreas, as leis da física governam a gestão dos equipamentos. Há limitações físicas no quanto o equipamento pode produzir, a velocidade a que pode trabalhar, ou os níveis de qualidade ou de eficiência que pode entregar.

A realimentação em anel é importante não somente para determinar o que poderá ser feito melhor, mas também para registar o que foi aprendido sobre a maneira como a manutenção é efectuada e a possibilidade de fazer melhor.

O MSC deve ser implementado como uma iniciativa viva. A realimentação deve ser incorporada e o MSC deve ser modificado para o reflectir. Mudanças na regulamentação, legais, ambientais e tecnológicas podem fazer uma grande diferença na maneira como o

trabalho é realizado. Assim, o MSC necessita ser flexível o bastante para responder a estas mudanças de uma maneira positiva (Mather, 2005).

3.7 - Falhas potenciais dos programas de medida

Possivelmente o maior e o mais comum erro em programas de medida da gestão de activos é tentar sumariar todas as medidas operacionais num único indicador ou no máximo em dois ou três. Focando-se somente num índice complexo, tal como o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), os gestores estão a restringir a sua visão de toda a área de manutenção.

Pessoas ou equipas que definem as suas próprias ferramentas e indicadores da medida, e/ou implementação de indicadores como meio de responder à pressão da companhia para obter somente informação, tem o efeito de produzir um ambiente reactivo.

Usar indicadores como controlo reactivo na gestão em vez de os utilizar como ferramentas proactivas é outro erro comum.

Não envolver outros sectores de gestão é o último e um erro potencialmente fatal no MSC ou de qualquer outro sistema da medida (Mather, 2005).

3.8 - MSC ao nível do equipamento

Enquanto o MSC é capaz de conseguir a maioria dos resultados quando aplicado primeiramente a partir dos níveis mais elevados de gestão, é frequente o caso deste nível de gestão não estar envolvido no processo devido a uma multiplicidade de razões diferentes. Nestes casos o MSC também pode ser aplicado ao nível do equipamento, sistema, frota ou processo. Neste nível fornece os meios para determinar as iniciativas requeridas para melhorar o desempenho dos activos, mas com frequência não é capaz de levar em conta melhorias que possam ser requeridas num leque mais vasto de activos da companhia tais como qualificação da mão-de-obra, gestão do conhecimento ou avanço tecnológico. (Mather, 2005).

3.9 – Conclusões do capítulo

Tal como apresentado neste capítulo, existem duas fases distintas dos benefícios da implementação do MSC. A primeira está relacionada com o MSC em si enquanto que a segunda fase está relacionada com as iniciativas estratégicas que promove. Cada uma destas fases origina resultados específicos, que podem produzir efeitos através de toda a organização.

O resultado mais óbvio da implementação desta ferramenta de gestão da manutenção é o próprio maintenance scorecard, que expõe toda uma hierarquia de indicadores que podem ser usados para promover a mudança na organização tal como para monitorizar o progresso desta em direcção aos níveis desejados de desempenho. Veremos em capítulos posteriores a sua aplicação a um equipamento específico, neste caso da área de imagiologia hospitalar.

Página deixada intencionalmente em branco.

Capítulo 4 RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

As primeiras imagens clínicas obtidas por Ressonância Magnética, técnica isenta de radiações ionizantes, apareceram no final da década de setenta. Com ampla divulgação e crescente utilização nos últimos vinte anos, o seu uso para a prática médica veio permitir uma grande diferenciação e mesmo caracterização dos tecidos moles do organismo. O diagnóstico ao nível do Sistema Nervoso Central e do aparelho Músculo-Esquelético é incomparável, fornecendo também indicações precisas sobre outros orgãos do corpo. Assim, pela sua importância para a prática médica em geral e para o Hospital de Santa Maria em particular, foi seleccionado o equipamento de Ressonância Magnética Nuclear Philips Gyroscan T5-NT instalado no hospital citado. Acresce o facto, também importante, de existirem dados disponíveis e sistematizados sobre a manutenção preventiva e correctiva deste equipamento, e que foram cedidos pela Divisão de Sistemas Médicos da Philips.

4.1 – Princípios físicos

4.1.1 – Propriedades nucleares

O átomo é constituído por um núcleo com carga eléctrica positiva e por orbitais com electrões de carga eléctrica igual e de sinal contrário à carga do núcleo. As imagens de ressonância magnética nuclear, como o próprio nome indica, baseiam-se nas propriedades do núcleo dos átomos, os protões, nomeadamente no seu *número quântico de spin,* no *número quântico magnético* e no seu comportamento quando submetidos a um campo magnético.

A compreensão deste fenómeno passa pela mecânica quântica. Nesta, assentando no modelo atómico de Bohr com a solução matemática de Schrödinger, os números quânticos surgem naturalmente caracterizando as partículas e os seus movimentos.

O protão possui um momento angular definido pelo respectivo numero quântico de momento angular l, associado à sua energia cinética. De acordo com a teoria electromagnética, qualquer carga eléctrica em rotação gera um campo magnético e comporta-se como um pequeno imã (Figura 7). Por isso o protão tem um momento magnético que é quantificado pelo número quântico magnético ml.

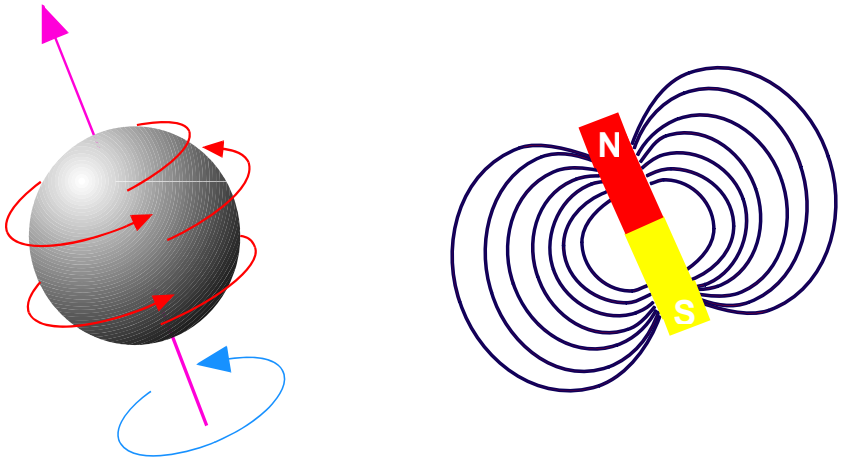


Figura 7 - Movimento angular do protão gera momento magnético

O pequeno imã em rotação tem um momento angular de spin e, podendo o movimento de rotação ter dois sentidos, o sentido dos ponteiros do relógio e o contrário, o número quântico de spin ms, pode ter dois valores: -½ e +½.

Mas apenas alguns átomos são utilizados na RMN. Para compreensão deste fenómeno é necessário recordar a sua estrutura atómica.

Os átomos possuem camadas electrónicas ou níveis de energia que são formados por sub camadas ou sub níveis de energia nos quais os electrões se situam em orbitais. Mais rigorosamente as orbitais são a localização mais provável dos electrões, num número máximo de dois. A cada orbital é atribuído um numero quântico magnético cujo valor varia de -ml a +ml. De acordo com o principio de exclusão de Pauli, os dois electrões da mesma orbital tem spins opostos e portanto momento magnético zero. A menos que exista uma orbital com um único electrão desemparelhado e neste caso com um valor de momento magnético.

Conclui-se que os átomos com um número atómico par não possuem momento magnético. São exemplos de elementos biologicamente abundantes e com numero atómico impar o $^{1}_{1}H$ (Hidrogénio), $^{9}_{19}F$ (Flúor), $^{15}_{31}P$ (Fósforo) e o $^{11}_{23}Na$ (Sódio). O hidrogénio é o elemento mais abundante no corpo humano e possui o núcleo com o maior momento magnético pelo que dele se obtém o mais forte sinal em ressonância magnética.

Tabela 1- Características dos núcleos atómicos

Núcleo	Concentração (mol/l)	Sensibilidade relativa	Protões/ Neutões desemparelhados	Número quântico de spin (ms)	Frequência de ressonância MHz		
					0,5 T	1 T	1,5 T
^{1}H	99,0000	1,000	1	± 1/2	21,3	42,6	63,80
^{19}F	0,0066	0,830	1	± 1/2	20,0	40,1	60,20
^{31}P	0,3500	0,066	1	± 1/2	8,6	17,2	25,70
^{23}Na	0,0780	-	1	± 3/2	5,7	11,3	17,10

As características constantes da Tabela 1 e resultados experimentais conduziram à utilização do ^{1}H para obtenção de imagens de RMN continuando a ser investigada a utilização de outros núcleos dos quais apenas o fósforo revelou ter aplicações relevantes. Na ausência de campo magnético os núcleos ^{1}H encontram-se aleatoriamente orientados no espaço (Figura 8).

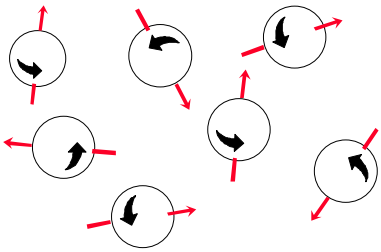


Figura 8 - Núcleos de hidrogénio na ausência de campo magnético

Quando são colocados num forte e homogéneo campo magnético B_0, comportam-se como minúsculas agulhas de bússola alinhando-se com a direcção do campo (Figura 9) e

assumindo um dos sentidos do número quântico de spin.

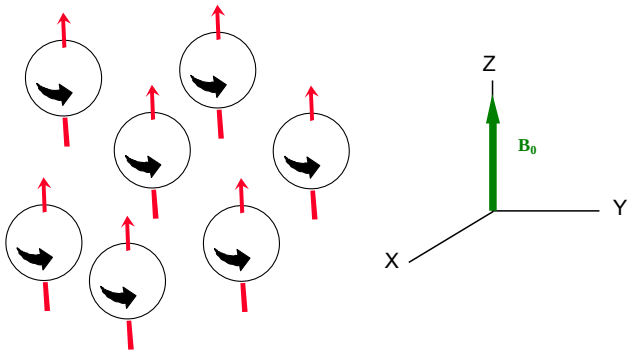


Figura 9 - Núcleos de hidrogénio sujeitos a um campo magnético

Porque a orientação do campo não é perfeita e apresenta-se com pequenas oscilações os vectores de spin dos núcleos descrevem um movimento de precessão em torno do vector B_0 cuja frequência é designada frequência de Larmor e é dada por

$$\omega_L = \gamma B_0 \tag{4.1}$$

B_0 – Campo magnético expresso em Gauss ou tesla (1 tesla = 10K Gauss)

γ – Relação giromagnética do protão que é uma constante de cada núcleo, cujo valor para o hidrogénio é de 42,57 MHz/T

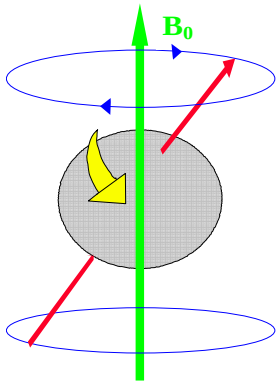


Figura 10 - Movimento de precessão de um núcleo de hidrogénio sujeito a um campo magnético

Para o hidrogénio a frequência de Larmor é proporcional ao valor do campo magnético que, para os equipamentos comercializados, varia entre 0,5 T e 3,0 T.

Constata-se então que os núcleos de hidrogénio vibram a frequências que variam de 21,28 MHz a 127,71 MHz quando submetidos aos campos magnéticos dos equipamentos comercializados.

Estes valores situam-se no espectro da radiação não ionizante na faixa das radiofrequências abaixo dos 3×10^9 Hz.

4.1.2 – O fenómeno da ressonância e da excitação dos núcleos

Cada objecto que pode vibrar fa-lo-á com maior amplitude sob a influência de uma força aplicada à mesma frequência que a frequência de ressonância natural do objecto. É exemplo deste fenómeno a vibração de um diapasão por influência de outro igual que na sua proximidade foi posto a vibrar, por transferência de energia do primeiro para o segundo.

Um efeito de ressonância semelhante ocorre quando um núcleo atómico é sujeito a um campo electromagnético cuja frequência é igual à frequência de precessão. O campo electromagnético B_1, gerado com o sinal de radiofrequência à frequência de Larmor, é perpendicular à direcção do campo magnético B_0 e os núcleos são inclinados a partir da direcção de equilíbrio deste até ao plano XY.

A duração e a amplitude do campo B_1 podem ser tais que o núcleo se inclina para qualquer ângulo, por exemplo 90º ou 180º, a partir da direcção de equilíbrio B_0 (Figura 11).

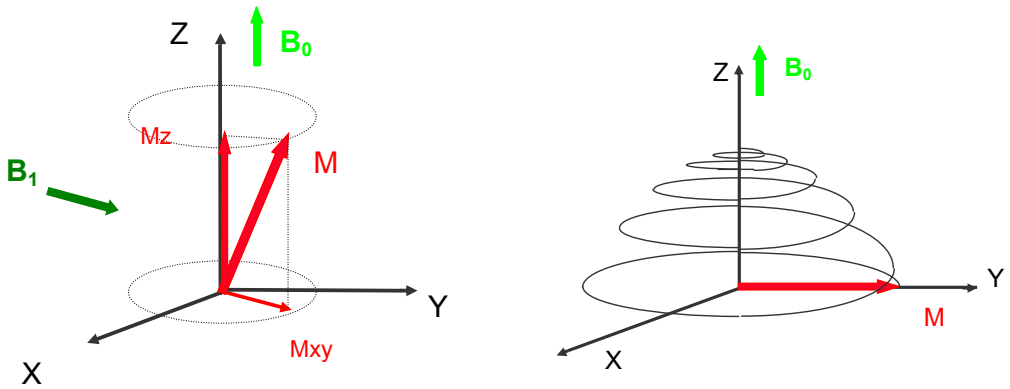


Figura 11 - Excitação de um núcleo com o vector magnetização M a descrever um movimento de precessão desde a posição de equilíbrio até uma posição perpendicular àquela

Durante este deslocamento de M o núcleo absorveu energia e fica excitado.

4.1.3 – Processo de relaxação

Assim que a RF cessa, o núcleo reorientar-se-á na direcção do campo homogéneo B_0, processo este que se designa por relaxação. Durante este movimento parte da energia absorvida é radiada na forma de um fraco campo electromagnético que pode ser detectado por uma antena (Figura 12).

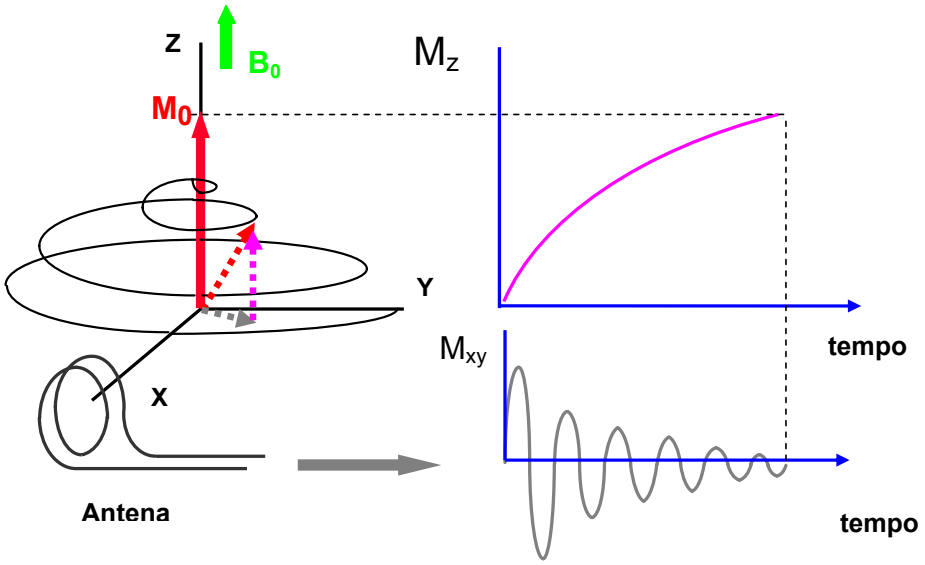


Figura 12 - Relaxação transversal e longitudinal

Durante o processo de relaxação o vector momento magnético tem duas componentes, uma segundo o plano XY e outra segundo o eixo dos Z.

Durante este processo as duas componentes do momento magnético regressam aos seus valores iniciais, isto é, a componente no plano XY, designada por *transversal,* que atingiu o seu valor máximo passa a zero e a componente segundo o eixo dos Z, designada por *longitudinal*, que estava a zero passa ao seu valor máximo, conforme se pode ver na Figura 12.

No processo de relaxação transversal, também designado por *relaxação spin-spin*, a energia absorvida pelos núcleos é permutada entre os próprios núcleos e enquanto um

núcleo absorve energia outro núcleo vizinho liberta-a e ocorre um decaimento exponencial do vector momento magnético segundo o plano XY.

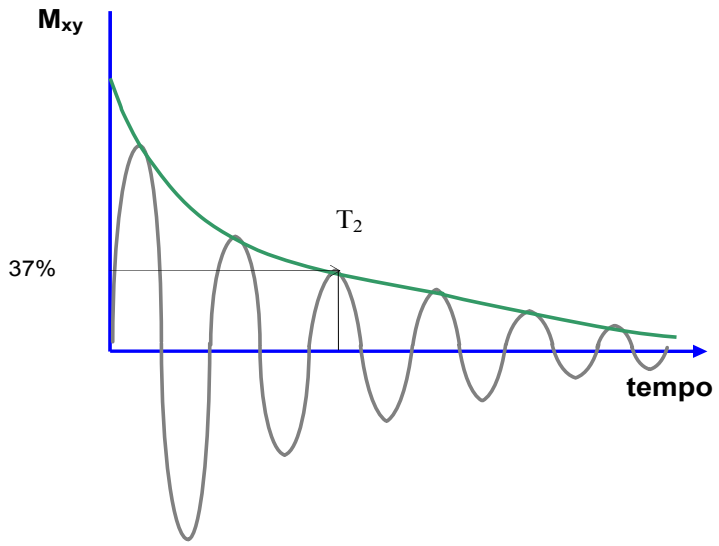


Figura 13 - Relaxação transversal

O valor do módulo do momento magnético é dado pela expressão

$$M_{xy} = M_0 e^{-t/T_2} \tag{4.2}$$

na qual T_2 é a constante de tempo de relaxação spin-spin e corresponde ao tempo que demora a perder-se 63% do sinal original, como se pode ver Figura 13.

No processo de relaxação longitudinal também designado por *relaxação spin-rede*, a energia absorvida é trocada entre os núcleos excitados e a rede molecular envolvente. Desta forma dá-se a recuperação da magnetização longitudinal segundo o eixo dos Z num processo exponencial segundo a expressão

$$M_z = M_0\left(1 - e^{-t/T_1}\right) \tag{4.3}$$

na qual T_1 é a constante de tempo de relaxação spin-rede e corresponde ao tempo que o vector magnetização longitudinal demora a recuperar 63% (= $1-e^{-1}$) do sinal original, conforme se pode ver na Figura 14.

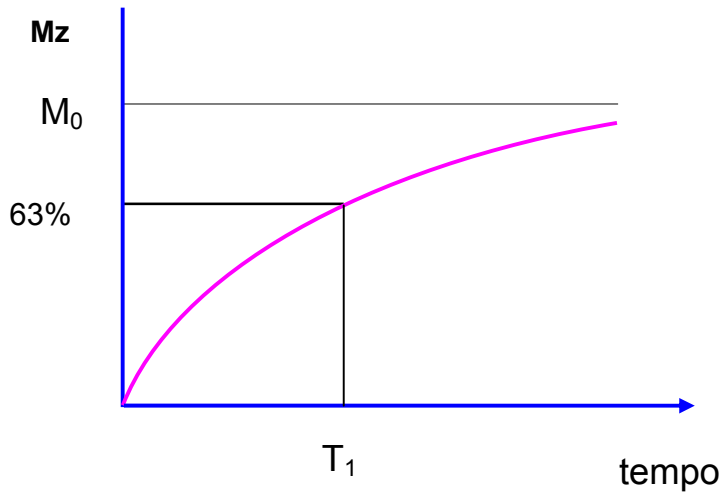


Figura 14 – Relaxação longitudinal e aumento da magnetização caracterizado pela constante de tempo T_1

De notar que T_1 e T_2 são dependentes da temperatura, do campo magnético e da composição química da matéria à qual o átomo está ligado.

Na água ou em fluido biológico semelhante, líquido céfalo raquidiano por exemplo, os núcleos estão relativamente livres com movimentos rápidos o que dificulta a transmissão de energia. Por isso têm tempos de decaimento T_1 e T_2 muito longos. Na matéria sólida e pastosa, ossos e tecidos, nos quais é mais eficaz a manutenção do campo magnético, aumenta a interacção spin-spin entre núcleos e por isso T_2 é reduzido. Ainda na matéria sólida e pastosa a interacção spin-rede é geralmente pouco eficaz na medida em que a frequência de vibração das suas moléculas é menor que a vibração dos seus núcleos e por isso os tempos de transferência T_1 são longos embora muito inferiores aos tempos de transferência na água.

Estes tempos podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempos de relaxação para vários tecidos humanos

Tecido	T_1 [ms]		T_2 [ms]
	0,5 T (21,28 MHz)	1,5 T (63,86 MHz)	
Gordura	215	260	84
Fígado	323	490	43
Rins	449	650	58
Baço	554	780	62
Matéria branca	539	790	92
Parênquima	500	800	84
Pulmão	600	830	79
Músculo/esqueleto	600	870	47
Matéria cinzenta	656	920	101
Líquido céfalo raquidiano	>4000	>4000	>2000

Fonte: Aplicações clínicas em imagem por Ressonância Magnética – Nuno Ricardo Pereira

4.1.4 – Sinal FID (Free Induction Decay)

Conforme se pode verificar na Figura 12 as relaxações transversal e longitudinal,

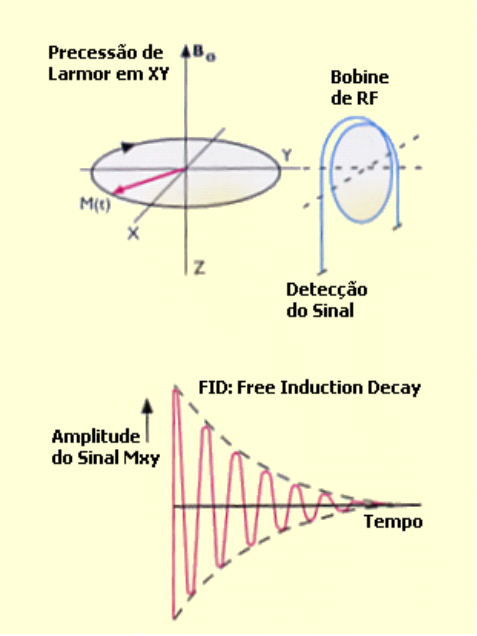


Figura 15 – Decaimento do sinal M_{xy} durante a precessão de Larmor

constituem o retorno do vector magnetização à posição correspondente à ausência de RF, com restituição da energia absorvida durante a excitação. A devolução desta energia, que ocorre à frequência de Larmor, apresenta-se no plano XY como a componente magnetização transversal M_{xy}, que pode ser recolhida por uma antena e constitui o sinal de RMN (ver Figura 15).

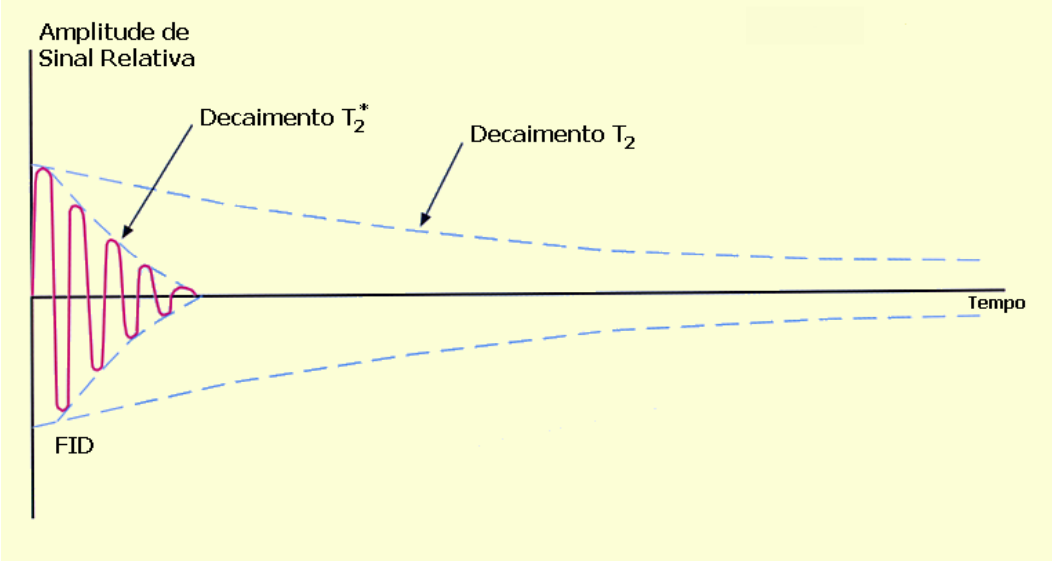


Figura 16 – Decaimento do sinal

Este sinal caracteriza-se por oscilar à frequência de Lamor, por possuir uma frequência inicial proporcional à densidade dos núcleos existentes no tecido e decresce exponencialmente em amplitude até ao valor zero.

Designado por Free Induction Decay (FID), evolui do valor máximo para zero segundo a constante de tempo T_2 que apresenta um valor teórico. De facto o campo B_0 não é uniforme, a frequência de precessão dos spins não é exactamente a mesma e a interacção entre eles geram um valor real de T_2^* significativamente inferior a T_2.

O valor de T_2^* é dado pela fórmula

$$\frac{1}{T_2^*} = \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_2(\text{variável})} \tag{4.4}$$

Sendo:

T_2^* – Constante de tempo real;

T_2 – Constante de tempo teórica em campo homogéneo;

$T_{2\,(variável)}$ – Constante de tempo resultante das não homogeneidades do campo.

Deste modo as frequências de precessão dos núcleos variam em torno da frequência ω_L.

4.1.5 – Influência da densidade protónica e dos tempos de relaxação na imagem

Já verificámos que os parâmetros mensuráveis na RMN são:

- A densidade de protões;
- O tempo de relaxação longitudinal spin-rede, T_1;
- O tempo de relaxação transversal spin-spin, T_2.

Para além destes a frequência de Larmor pode mudar ligeiramente, dependendo do ambiente químico em que o núcleo se insere. Este fenómeno é conhecido como deslocamento químico.

Os primeiros três são importantes para a construção da imagem, enquanto o último é usado na espectrometria RMN para identificar a presença de vários compostos orgânicos e inorgânicos.

A imagem RMN é essencialmente uma forma de tomografia por emissão, imagem de um corte transversal, na qual a informação requerida para a produção de imagem é gerada a partir do sinal electromagnético originado no interior do corpo humano. A base para este sinal é a presença de protões pelo que quanto mais protões existem num determinado volume, maior é o sinal oriundo desse volume.

$$S = k \times n \tag{4.5}$$

com

k – constante

n – densidade de protões

Contudo, embora a densidade protónica seja importante, é a variação da intensidade do sinal devida à influência dos tempos de relaxação que faz da imagem de protões uma técnica atractiva como técnica de diagnóstico baseada na imagem.

O contraste nas imagens RMN é obtido por ponderação dos parâmetros anteriores, isto é, as imagens são construídas com predominância de informação de um deles e por opção do técnico que opera o equipamento.

No contraste pela relaxação longitudinal o tempo T_1, em materiais biológicos, para os protões assume valores que podem variar de cerca de três décimas de segundo até vários segundos, dependendo da intensidade do campo magnético e assume valores específicos para cada tipo de tecido biológico. A aplicação de uma sequência de impulsos de RF de 90°[1], separados entre si por um Tempo de Repetição (TR), e a detecção dos sinais resultantes designa-se por método de saturação recuperação – ver Figura 17. Se for aplicado um TR maior que T_1 a componente longitudinal da magnetização tem tempo suficiente para recuperar completamente e voltar à condição de equilíbrio inicial antes da aplicação do ciclo seguinte. Se TR é reduzido para valor inferior a T_1 a recuperação da magnetização longitudinal é parcial ficando com um valor inferior.

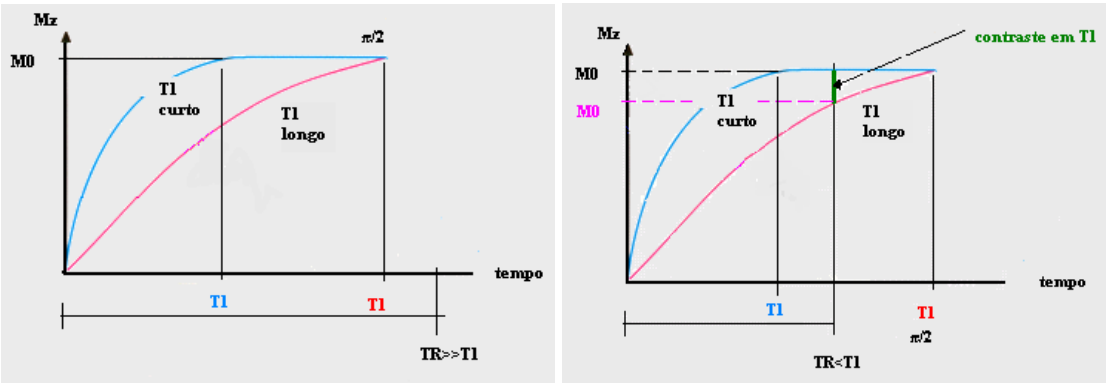


Figura 17 - Contraste em T_1

Por este método, escolhendo adequadamente TR, é possível discriminar tecidos, no caso da figura assinalados a vermelho e a azul, com valores de T_1 diferentes através do contraste gerado pela diferença de intensidade dos vectores magnetização daqueles tecidos.

No contraste pela relaxação transversal T_2 o valor máximo do sinal é obtido imediatamente a seguir à excitação dos protões. Este valor do sinal decai a uma taxa caracterizada por T_2 e

se um pequeno tempo de atraso ocorre depois da excitação antes da detecção do sinal se iniciar, Tempo de Eco (TE), o valor deste nos diferentes tecidos terá decaído de um determinado valor dependente do seu valor característico T_2. Isto pode novamente ser usado para dar contraste à imagem – ver Figura 18.

A formação de imagens de RMN consegue-se com aplicação de sequências de impulsos de RF de forma a dar maior peso aos parâmetros desejados. Uma sequência amplamente utilizada e com a qual se obtém uma imagem ponderada em T_2 é constituída por um impulso de 90º[1] seguido de vários de 180º. Esta técnica é designada por Spin Eco (SE).

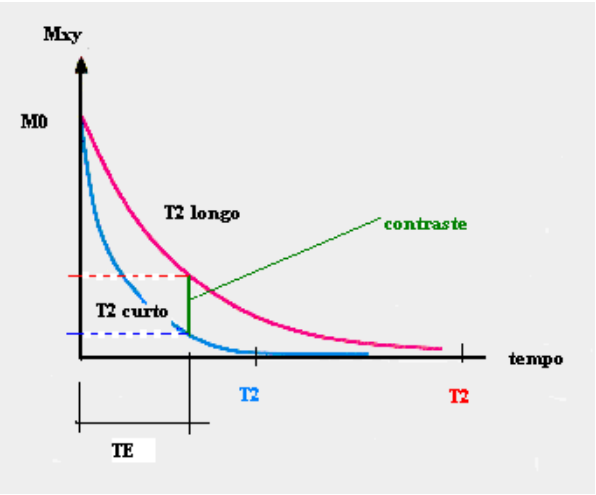


Figura 18 - Contraste em T_2

Além desta, que pode considerar-se uma técnica base, existem outras tais como a Inversion Recovery, Eco de Gradiente, Fast Field Eco, Short Time Inversion Recovery, Turbo Spin Eco, Turbo Field Eco, Eco Planar Imaging etc. que não serão tratadas no presente trabalho porque não se enquadram nos seus objectivos.

4.1.6 – A técnica Spin Eco

A técnica Spin Eco consiste na aplicação de uma onda rádio com um impulso de 90º seguido de vários de 180º. O impulso de 90º excita os núcleos rodando o vector

[1] Um impulso de 90º significa que a RF aplicada à frequência de Larmor tem uma amplitude e duração que lhe conferem energia suficiente para levar o vector magnetização do eixo Z para o plano XY, isto é, rode 90º.

magnetização do eixo dos Z para o plano XY. Inicia-se um processo de desfasagem das frequências de precessão dos núcleos devido às não homogeneidades do campo magnético, que conforme já referido caracteriza-se pela constante de tempo de decaimento do sinal FID, T_2^*, com um valor típico da ordem dos 20 ms. Passado algum tempo e resultado da diferença de frequências de precessão dos diversos núcleos, estes começam a ficar desfasados. Após o tempo TE/2, sendo TE o tempo de eco definido como o tempo que decorre entre o impulso de 90º e a amplitude máxima do eco, é aplicado um impulso de 180º – ver Figura 19.

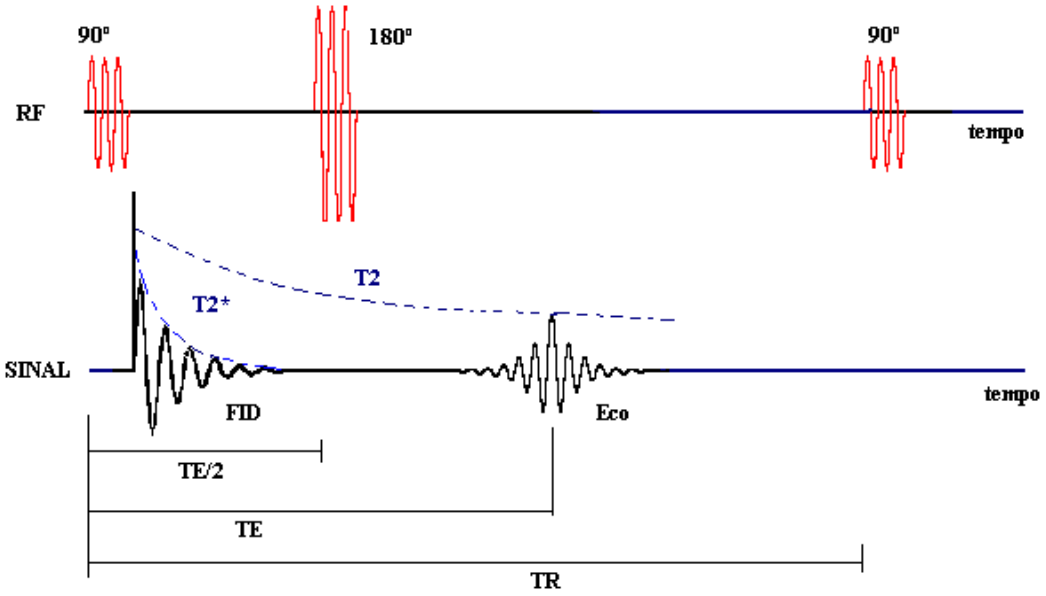
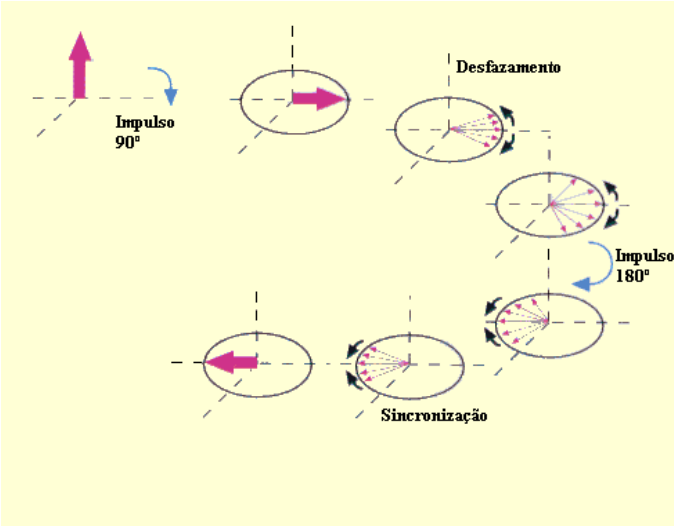


Figura 19 - Diagrama de impulsos, sinais e tempos para a técnica Spin Eco



Este impulso vai fazer com que o vector magnetização total rode 180º no plano transversal e cada um dos núcleos inicia um processo de precessão em sentido contrário mas com as mesmas diferentes frequências e ao fim de

Figura 20 – Desfasamento dos momentos magnéticos na técnica Spin Eco

mais um TE/2 todos estão novamente em fase e nesse momento o sinal de eco atinge o seu valor máximo – ver Figura 20.

4.2 – A formação da imagem

Nos números anteriores do presente capítulo foram descritos os princípios físicos que permitem obter sinais de RM e como conseguir contraste entre os diversos tipos de tecidos. Falta compreender a construção de uma imagem, neste caso tomográfica, a partir dos sinais emitidos pelos núcleos de hidrogénio.

Sabendo-se que a frequência de ressonância de cada núcleo é função do valor do campo magnético estático, identificado anteriormente como B_0, na fatia do corpo cuja imagem se pretende obter é necessário criar um valor de campo diferente do restante. Este obtém-se por aplicação de um campo que origina um gradiente que altera a frequência de ressonância dos núcleos em função da sua posição espacial. Assim, este processo de obtenção de imagem de RM comporta duas operações:

- Selecção do corte;
- Codificação espacial do sinal de RM do corte escolhido.

4.2.1 – Gradientes de campo magnético

As alterações do campo magnético são provocadas por três pares de bobinas, as bobinas de gradiente, situadas no interior do magneto e orientadas segundo os três eixos X, Y e Z, este último na direcção de B_0. Os gradientes alteram linearmente o valor de B_0 na direcção de cada um dos eixos a partir do isocentro do magneto onde o campo tem o valor de B_0.

A frequência de precessão em cada ponto do eixo é dada pela expressão

$$\omega = \gamma\,(B_0 + G_r) \quad r = x,y,z \tag{4.6}$$

com

B_0 – Campo magnético expresso em Gauss ou tesla (1 tesla = 10 K Gauss);

γ – É a relação giromagnética do protão que é uma constante de cada

núcleo, cujo valor para o hidrogénio é de 42,57 MHz/T;

G_r – Gradiente magnético segundo uma direcção r.

A título de exemplo um gradiente linear de 1 G/cm aplicado a um campo de 1 tesla gera as variações apresentadas na Tabela 3.

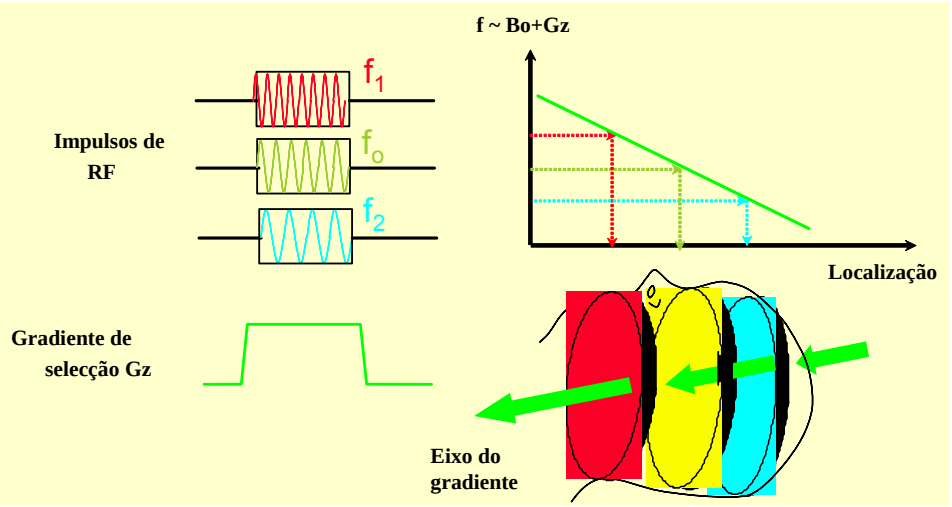
Tabela 3 - Variação espacial de frequência com o gradiente

Posição ao longo do eixo	Intensidade do campo magnetico [Gauss]	Frequência de Larmor do ^1H [MHz]
No isocentro	10.000	42,5700
A 1 cm negativo do isocentro	9.999	42,5657
A 2 cm negativos do isocentro	9.998	42,5614
A 1 cm positivo do isocentro	10.001	42,5742
A 2 cm positivos do isocentro	10.002	42,5785
A 10 cm negativos do isocentro	9.990	42,5274

Fonte: Aplicações clínicas em imagem por Ressonância Magnética – Nuno Ricardo Pereira

4.2.2 – Selecção do corte

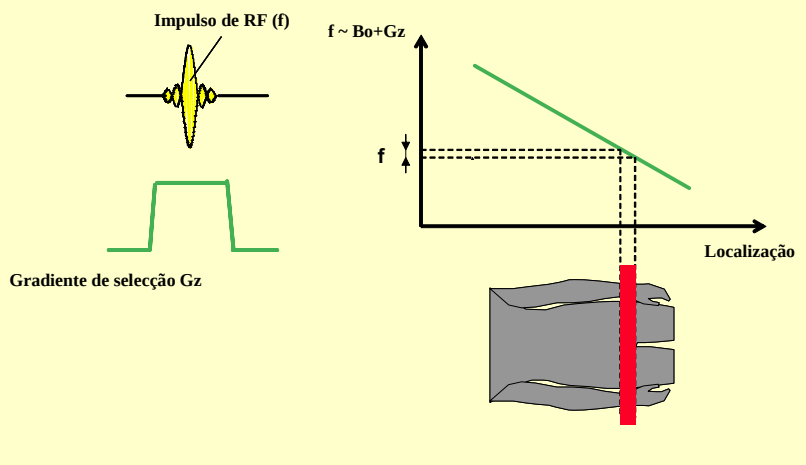
A selecção do plano de corte é efectuada criando um gradiente no campo magnético num eixo perpendicular ao plano de corte seleccionado. Ao longo do eixo a frequência de precessão dos núcleos vai variando tendo um valor particular no ponto de intersecção com o plano definido. Aplicando um impulso de RF com uma estreita largura de banda de frequências, os núcleos excitados são apenas aqueles que, situando-se no eixo do campo ao longo do gradiente, têm frequências de ressonância iguais às da largura de banda do impulso de RF. Fica deste modo seleccionado o plano e fica também garantido que os restantes planos que intersectam o gradiente ao longo do eixo do campo não entram em ressonância porque a sua frequência de precessão é diferente. Na Figura 21 mostra-se a selecção de três cortes por aplicação de três frequências crescentes correspondentes a localizações de campo com valor crescente.



Fonte: PHILIPS Medical Systems – *Ressonância Magnética - Aplicações Clínicas*

Figura 21 - Selecção do corte

A espessura do corte depende da amplitude do gradiente e da largura de banda do impulso de RF – ver Figura 22.



Fonte: PHILIPS Medical Systems – *Ressonância Magnética - Aplicações Clínicas*

Figura 22 - Espessura do corte

Quanto maior for a amplitude do gradiente maior a diferença entre dois pontos do seu eixo ficando assim melhor definidos e reduzidos os contornos da faixa excitada. Na Figura 22

pode verificar-se que a alterações no gradiente correspondem variações da inclinação da linha que o representa e consequentemente variações na espessura do corte. A largura de banda determina o intervalo de frequências que vai ser excitado, pelo que quanto menor for o intervalo menor será a espessura do corte, o que também se pode ver na mesma figura.

Para que o impulso de excitação de RF seja uniforme ao longo do corte é necessário que contenha apenas a frequência desejada. Tal não acontece na realidade pelo que o impulso de RF é modulado com uma função seno cardinal para que a sua transformada de Fourier tenha um espectro rectangular, Figura 23, obtendo-se deste modo um impulso uniforme ao longo do corte.

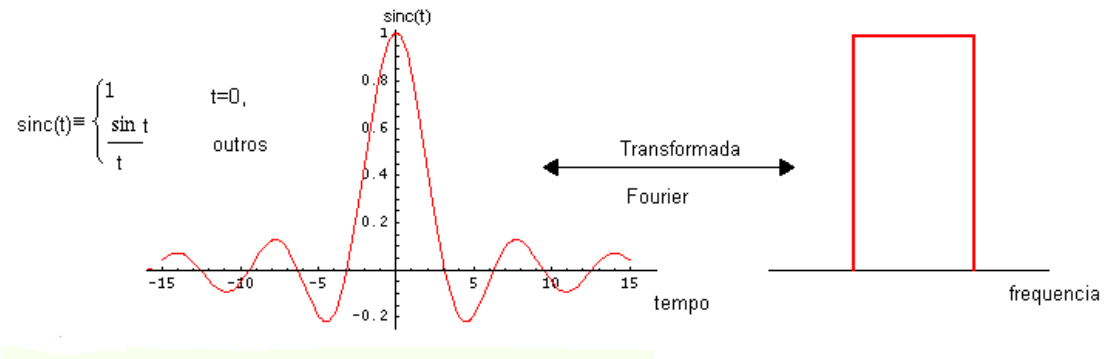


Figura 23 - Função sinc transforma-se em onda rectangular por aplicação da TF

4.2.3 – Codificação de fase

Gerado o campo para obtenção do gradiente de selecção de corte e aplicado o impulso de RF os núcleos do corte seleccionado precessam com a mesma frequência e em fase. Perpendicular ao campo gerado para obtenção do gradiente de corte é gerado outro campo para obtenção do gradiente de codificação de fase que produz uma variação de campo na direcção de um dos eixos do plano XY, por exemplo o eixo Y, alterando a frequência de precessão e consequentemente a respectiva fase ao longo deste eixo.

Após cessação dos campos magnéticos que originaram os gradientes anteriores o campo magnético principal retoma o valor inicial B_0 e a frequência de precessão volta ao valor

também inicial, correspondente a B_0, mas mantendo o desfasamento adquirido. Da Figura 24 verificamos que devido ao gradiente obtido foram conseguidas pequenas fatias no corte, perpendiculares ao campo que originou o gradiente e ao longo das quais a frequência de precessão é igual, sendo variável e crescente entre elas no sentido do crescimento do campo.

O campo magnético para obtenção do gradiente de codificação de fase é aplicado Ny vezes, tantas quantos as leituras necessárias á construção da imagem.

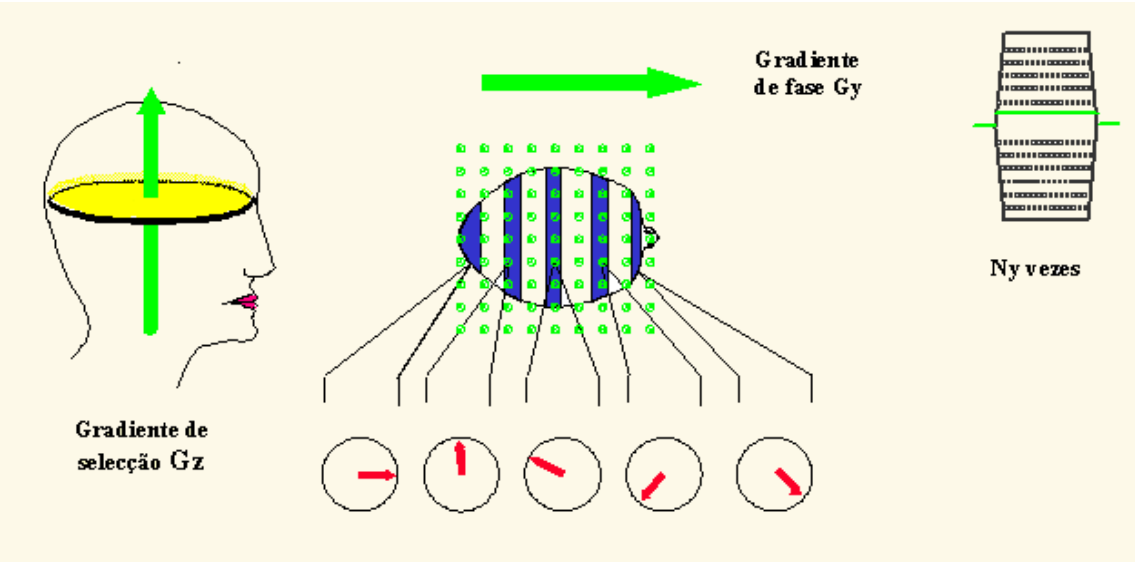


Figura 24 - Gradiente de codificação de fase

4.2.4 – Codificação em frequência

Seleccionado o corte ao longo do eixo Z e efectuada a codificação de fase numa direcção Y, é necessário agora codificar o sinal no plano XY, por um processo conhecido como codificação em frequência, para se construir a imagem. Para o efeito aplica-se um campo magnético ao longo de um dos eixos obtendo-se um gradiente no campo, habitualmente ao longo do eixo dos X e por isso identificado como G_x. Este altera a frequência de precessão dos núcleos obtendo-se um sinal composto pelas diversas frequências de precessão ao longo do campo que deu origem ao gradiente. Os núcleos ao longo das linhas

perpendiculares ao eixo do campo que originou o gradiente precessarão com a mesma frequência – ver Figura 25.

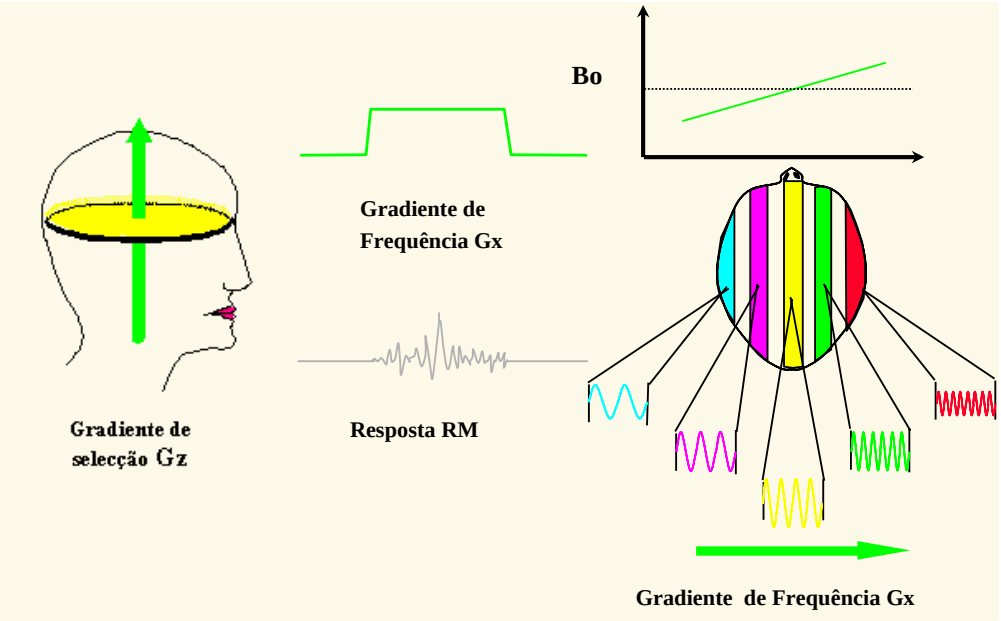


Figura 25 - Codificação em frequência através do gradiente G_x

O gradiente aplicado designa-se também por gradiente de leitura pois a leitura do sinal faz-se durante a aplicação do gradiente.

4.2.5 – A imagem

Por aplicação do gradiente de selecção de corte é definida a secção do corpo a ser convertida numa imagem. Seguidamente, com o gradiente de fase codificam-se Ny linhas do plano seleccionado com ângulos de fase diferentes dos respectivos movimentos de precessão. Por fim, por aplicação do gradiente para codificação de frequência, perpendicular ao campo que originou o gradiente para codificação de fase, são definidas Nx linhas com frequências de precessão diferentes. Com o cruzamento destas linhas obtêm-se Nx × Ny pontos que pelo seu pequeno volume se designam por *voxel* e que se

identificam pela precessão dos seus núcleos a uma determinada frequência e fase. Na Figura 26 podemos ver a sequência de aplicação dos gradientes.

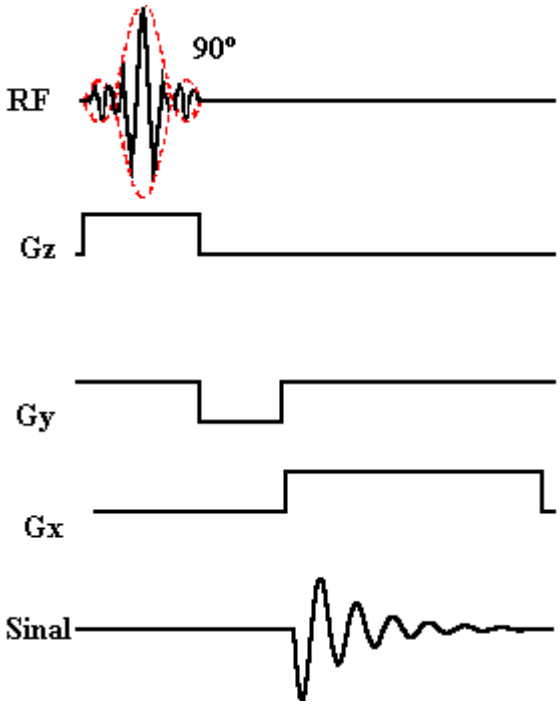


Figura 26 - Sequência de aplicação dos gradientes

Com este conjunto de Nx × Ny sinais e através da transformada bidimensional de Fourier reconstrói-se uma imagem de Nx × Ny pixels, Figura 27.

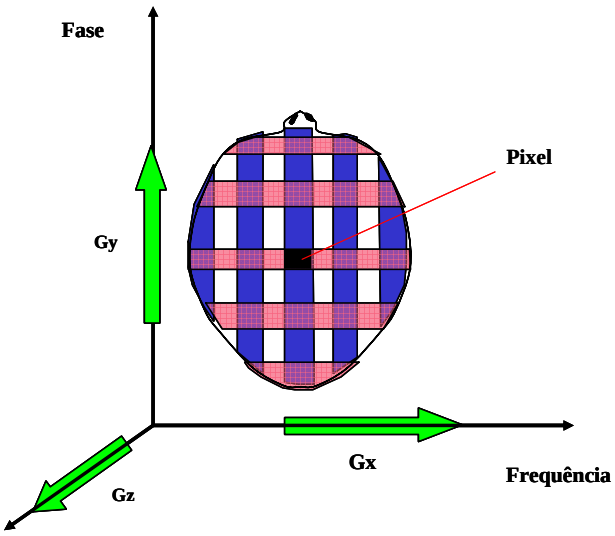


Figura 27 - A imagem de Nx × Ny pixels

4.3 – Interpretação da imagem

As imagens de RMN distinguem tecidos com densidades diferentes já que a esta diferença corresponde também diferença na densidade protónica. Nos tecidos moles e na água existe mais elevada densidade de protões que nos tecidos fibrosos, ossos e ar. Aqueles produzem um sinal de maior intensidade e imagens com maior brilho ao contrário destes que com menor densidade protónica produzem um sinal menos intenso e uma imagem com menor brilho.

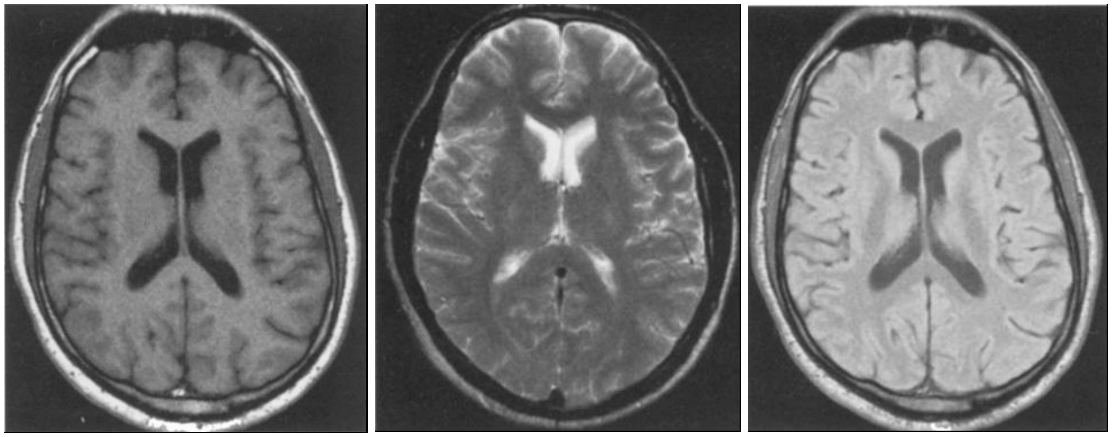
No entanto o valor do sinal não depende apenas da densidade protónica nos tecidos mas também dos tempos de relaxação T_1 e T_2, conforme já descrito anteriormente, e estes da mobilidade dos protões no meio a que pertencem. Por exemplo nos sólidos, os tempos de relaxação T_1 são longos e T_2 são curtos o que contribui para a redução do valor do sinal recolhido e para uma imagem mais escura. Esta é a vantagem da RMN relativamente a outros meios de diagnóstico baseados na permeabilidade dos tecidos, por exemplo à radiação X. Na RMN obtém-se contraste não só a partir da densidade protónica mas também daqueles tempos permitindo a diferenciação entre tecidos moles como se pode verificar na Tabela 2.

Os tecidos com tumores são frequentemente identificáveis através da medida do T_1 e do T_2, uma vez que a resposta T_1 e T_2 do tecido com tumor é diferente da do tecido saudável. Também a matéria cinzenta e branca no cérebro podem ser diferenciadas pelos seus tempos de relaxação diferentes.

O líquido céfalo-raquidiano, é usualmente apresentado como zona escura devido ao seu longo tempo de relaxação T_1. Em geral, os detalhes com um T_1 mais longo aparecem com maior contraste, isto é, mais escuros na imagem.

Um outro factor que influencia a intensidade do sinal é a fonte do sinal estar ou não em movimento. Por exemplo, a intensidade do sinal do sangue fluindo é frequentemente diferente do líquido em repouso com a mesma densidade protónica e tempos de relaxação.

Por fim, apresenta-se a Figura 28 com três imagens obtidas pela técnica Spin Eco, ponderadas respectivamente em T_1, T_2 e em densidade protónica, podendo verificar-se a influência dos TE e TR.



Fonte: Basic Principles of MR Imaging, Philips

Figura 28 - Variação de contraste com os parâmetros ponderados:

Imagem da esquerda – corresponde a uma imagem ponderada em T_1 com TE curto (20 ms) e um TR também curto (400 ms);

Imagem central – corresponde a uma imagem ponderada em T_2 com um TE longo (122ms) e um TR também longo (2000 ms);

Imagem da direita – ponderada na densidade protónica com um TE curto (20 ms) e um TR longo (2000 ms).

4.4 – Instrumentação em RMN

A RMN, conforme descrito nos números anteriores do presente capitulo, utiliza a combinação de um campo magnético estático e variações locais deste campo (gradiente de campo magnético) para codificar a informação no espaço.

A informação tem origem nos núcleos existentes no tecido após excitação por uma radiofrequência (RF). Um sistema de detecção capta a energia de um sinal de RF reemitido e um sistema computorizado de processamento digital constrói a imagem. Este objectivo é conseguido utilizando uma estrutura que funcionalmente tem a seguinte organização:

- Magneto, gerador do campo magnético estático;
- Sistema gerador de gradientes de campo magnético constituído por amplificadores de gradiente e bobines de gradiente;
- Amplificador de RF com bobine emissora e receptores;
- Sistema de controlo e aquisição de dados para processamento digital e medição de parâmetros fisiológicos tais como respiração e ECG;

- Sistema de reconstrução de imagem;
- Consola para operação do sistema, visualização de imagens e introdução de parâmetros pelo operador;
- Sistema de arquivo de imagens;
- Mesa para posicionamento do doente no magneto durante o exame;
- Escudo de protecção magnética e escudo de protecção de RF.

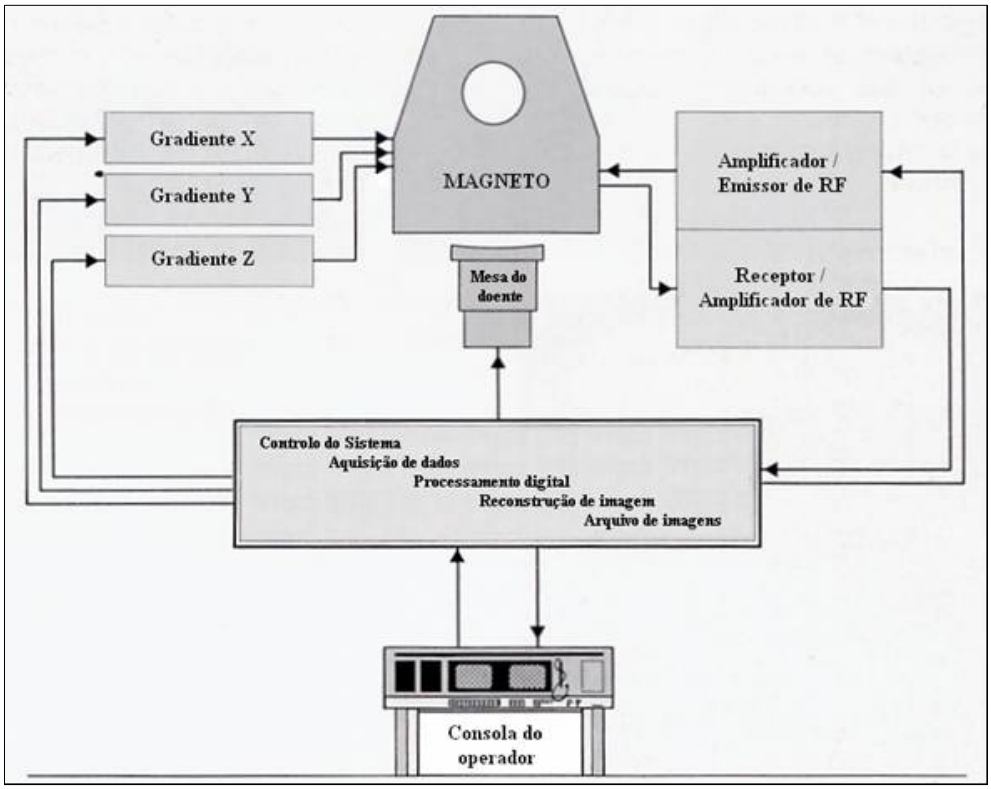


Figura 29 - Diagrama de blocos da RMN

No equipamento em estudo estas funcionalidades são realizadas pelos seguintes conjuntos, conforme consta do Anexo A:

A – Sistema de refrigeração, utilizando hélio para refrigeração do magneto supercondutor à temperatura de 4,3 K;

B – Consola do sistema de informação, que para além da consola do operador comporta o arquivo de imagens;

D – Bastidor de gradientes, com todo o sistema gerador de gradientes;

F – Bastidor de aquisição de dados, que inclui todo o sistema de amplificação de RF e aquisição de dados para processamento digital;

H – Alimentação eléctrica;

L – Mesa do paciente;

M – Conjunto do magneto;

S – Diversos, incluindo as bobinas de emissão e recepção;

Z – Filtros de sinais, para prevenir interferências com o sinal de RF.

Seguidamente apresenta-se uma implantação típica de um equipamento de RMN – ver Figura 30.

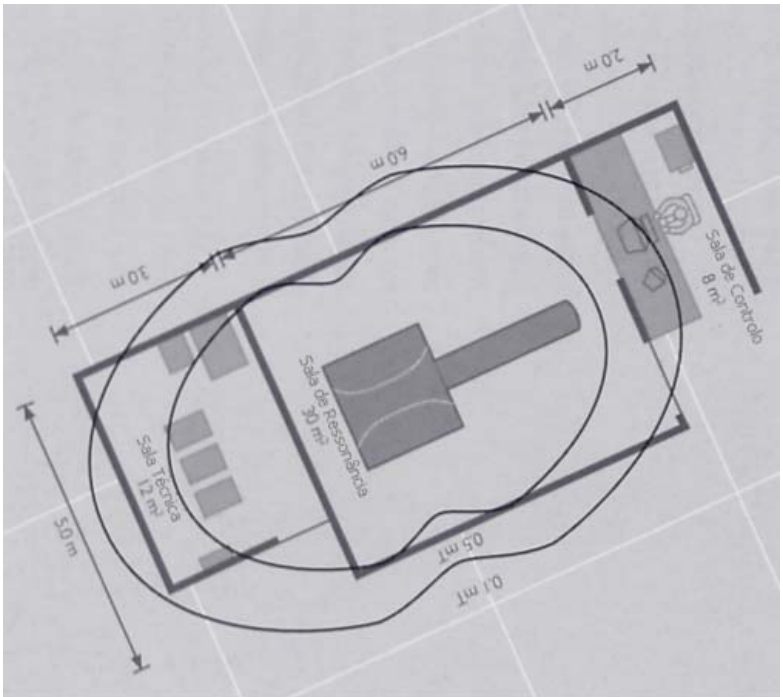


Figura 30 - Implantação típica de um equipamento de RMN

4.4.1 – O magneto

Os equipamentos vulgarmente comercializados para uso clínico estão disponíveis com intensidades de campo que variam de 0,5 tesla a 3 tesla (densidade de fluxo magnético).

Para comparação: o campo magnético da terra varia entre 0,2 Gauss e 0,7 Gauss (1 Gauss é igual a 0,0001 tesla).

A utilização de intensidades de campo mais elevadas resulta numa magnetização efectiva mais elevada e potencialmente em sinais mais intensos. Na realidade o contraste da imagem diminui para campos muito elevados e a relação sinal ruído degrada-se pela maior atenuação da RF no corpo humano porque a frequência de ressonância e a absorção de energia de radiofrequência aumentam com a intensidade crescente do campo.

Por outro lado os níveis elevados da energia de RF requeridos para a operação em campos mais intensos podem, em alguns casos, exceder as directrizes e/ou normas actuais para a deposição de energia no paciente.

Além da intensidade, a homogeneidade do campo magnético é um parâmetro importante no sistema do magneto. Um campo homogéneo gera imagens sem distorção e com a máxima relação sinal-ruído.

É comum especificar a homogeneidade do campo com a aceitação de uma variação de aproximadamente 2 p.p.m. (partes por milhão) sobre num volume esférico de 25 cm de diâmetro situado no isocentro do magneto ou de aproximadamente 5 p.p.m. ao longo do corpo.

Existem três tipos de magnetos: magnetos resistivos, magnetos permanentes e magnetos supercondutores.

O magneto-resistivo consiste na passagem de uma corrente eléctrica de elevada intensidade através dos enrolamentos duma bobina, criando desse modo um campo magnético.

Os magnetos permanentes não necessitam de qualquer fonte de alimentação para criar o campo magnético, mas apenas geram intensidades de campo baixas.

Para campos magnéticos de intensidades mais elevadas são usados magnetos supercondutores, que têm os enrolamentos da bobina imersos num líquido criogénico, o hélio líquido, que se encontra à temperatura de 4,3 K. A esta temperatura os enrolamentos tornam-se supercondutores pelo que induzida uma corrente, cerca de 300 ampere, a fonte externa apenas fornecerá uma tensão residual para garantir aquele valor de corrente no enrolamento mantendo desta forma o campo magnético. Esta temperatura só é possível pela utilização de dois escudos térmicos que são mantidos às temperaturas de 15 e 60 K

através dum dispositivo designado por "Cold Head" que é responsável pela expansão e compressão do hélio líquido de forma a conseguir a transmissão de calor necessário aquelas temperaturas. Para impedir trocas de calor com o exterior o reservatório de hélio e os escudos térmicos encontram-se numa câmara de vácuo. Apesar dos mecanismos descritos existe um inevitável consumo de hélio que origina a sua recarga periódica.

4.4.2 – Bobinas de gradiente

Um gradiente de campo magnético é um campo magnético que varia linearmente numa determinada direcção. Na RMN G_x, G_y e G_z são os gradientes que se desenvolvem segundo as três direcções ortogonais x, y e z somando-se ao campo principal.

Estes gradientes são produzidos por três conjuntos de bobinas posicionadas ortogonalmente conforme se pode ver na Figura 31.

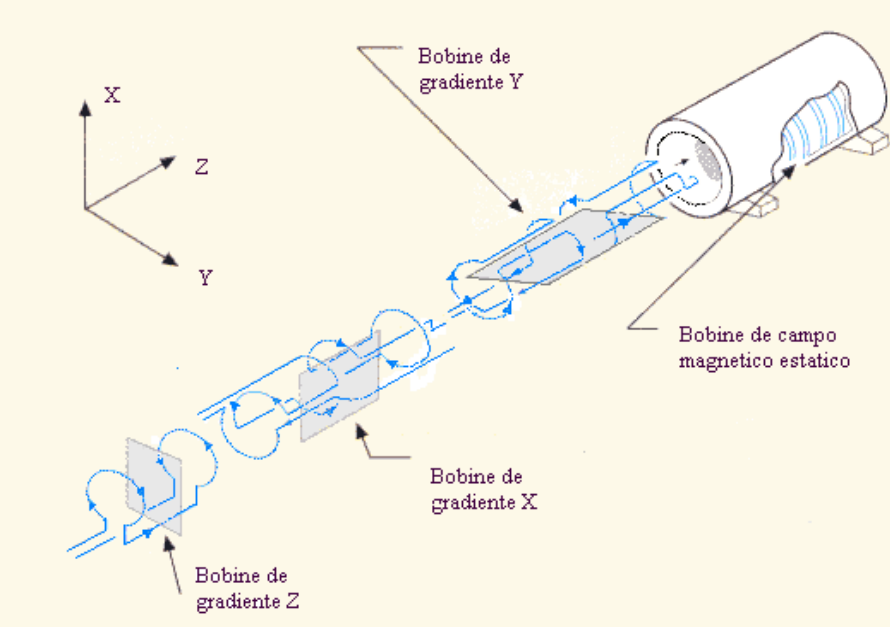


Figura 31 - Localização típica das bobinas de RM

Cada conjunto de bobinas é alimentado por uma fonte de alimentação com controlo individual. Além de gerar os gradientes orientados segundo os eixos x, y, ou z, alimentando as bobinas de gradiente em combinação, é possível gerar gradientes de campo magnético com uma qualquer orientação.

As correntes através das bobinas de gradiente são da ordem de várias centenas de ampere. Consequentemente, forças electrodinâmicas de grande intensidade actuam nas peças mecânicas do equipamento e estas vibram durante a comutação do gradiente, produzindo o ruído acústico característico da RMN durante o seu normal funcionamento. Este ruído deve-se às correntes de eddy (correntes eléctricas de indução que se desenvolvem nas massas metálicas por acção de um campo magnético variável, também conhecidas por correntes de Foucault). As correntes de eddy por sua vez também produzem um campo não desejado o que causa artefactos nas imagens. Os efeitos das correntes de eddy são minimizados pela concepção das bobinas de gradiente fortemente blindadas, onde o efeito do campo da corrente de eddy é minimizado por um campo gerado por uma bobina adicional na vizinhança da bobina original de gradiente.

4.4.3 – Bobinas de radiofrequência

As bobinas de radiofrequência, mais vulgarmente designadas por antenas de radiofrequência, são usadas para a excitação dos núcleos e/ou para a detecção do sinal. Podem ser usadas individualmente ou em conjunto podendo uma bobina ser usada para excitação ou para detecção ou para ambas as funções. As bobinas devem estar sintonizadas com a frequência de ressonância dos núcleos que estão a ser observados.

Para detecção óptima do sinal, o corpo em observação deve encher a maior parte da bobina de detecção. Tipicamente, é recomendado um factor de enchimento de 70% ou superior.

As antenas de RF típicas são de três tipos: antenas de superfície, antenas de quadratura e antenas de sinergia.

As antenas de superfície são flexíveis tendo a vantagem de se adaptarem aos diversos contornos anatómicos e apresentarem por isso um factor de enchimento muito elevado. Têm a limitação de apenas serem detectoras e por isso apenas podem ser usadas em conjunto com uma antena de quadratura. São antenas típicas de superfície as antenas para extremidades, envolventes de corpo e de mama.

Nas antenas de quadratura, rígidas, cada barra actua como uma antena individual perpendicular a outra obtendo-se um ganho muito elevado pela combinação dos dois sinais. São vulgares antenas de quadratura para a cabeça e para o corpo.

A antena de sinergia é composta por uma rede de bobinas de quadratura que recebem em simultâneo o sinal de RM, consequentemente sem aumento do tempo de varrimento. Cada bobina cobre uma parte diferente do corpo, por exemplo da coluna e após uma medição, as imagens de todos os elementos da bobina podem ser combinadas num grande campo de visionamento da imagem. Nesta imagem, a relação sinal-ruído é melhor em aproximadamente 50% em comparação com as imagens de uma bobina de superfície flexível do tamanho de um dos elementos da antena. São frequentes antenas de sinergia para o corpo, coluna e coração. Exemplos de antenas tipo são apresentados na Figura 32.

Figura 32 - Exemplos de antenas tipo

A – Antena tipo sinergia para coluna total
B – Antena tipo quadratura para cabeça
C – Antena tipo quadratura para extremidades
D – Antena abdominal e torácica

4.4.4 – Sistema de aquisição e de controlo

O sistema de aquisição e controlo está localizado na sala técnica e funcionalmente serve de ponte entre o computador da consola de trabalho, o reconstrutor de imagens e o controlo de gradientes, de RF e de monitorização fisiológica. Este sistema, executa o processamento dos programas de RM, a aquisição e desmodulação do sinal de imagem de RM, a aquisição e desmodulação dos sinais de RM e sua transferência para o processador de matrizes, a calibração automática de RF e dos gradientes e o processamento dos sinais fisiológicos.

4.4.5 – Blindagem magnética

A blindagem magnética é necessária para proteger a área circundante dos efeitos do campo magnético. Muitos objectos tais como relógios, cartões de crédito etc. podem ser danificados por um campo magnético. Do ponto de vista clínico o perigo é elevado para dispositivos tais como os pacemakers e outros implantes. Para evitar estes perigos é necessário isolar o magneto construindo uma blindagem magnética para limitar a extensão da zona do campo. Por outro lado a blindagem também é necessária para manter a homogeneidade do campo magnético que pode ser distorcida por factores externos nomeadamente pela passagem de viaturas, comboios ou elevadores.

Os magnetos podem ser blindados de forma passiva através do seu chapeamento com pesadas placas de ferro o que acarreta um elevado peso extra. Também podem ser protegidos de forma activa através de uma bobina externa supercondutora com campo contrário ao principal.

4.4.6 – Blindagem de RF

O sinal da imagem de RM é relativamente fraco, pelo que pequenas interferências externas de RF podem degradar de forma significativa a qualidade da imagem. Por consequência, os sistemas de RM requerem

Figura 33 – Blindagem de RF

que a sala seja blindada às fontes externas de RF. Isto envolve a aplicação de protecções condutoras nas paredes, soalho, tectos e porta da sala de RM constituindo uma gaiola de Faraday – ver Figura 33.

4.4.7 – Conclusões do capítulo

O presente capítulo foi iniciado com a descrição dos princípios físicos nos quais se fundamenta a obtenção de sinais de RM.

O fenómeno baseia-se na propriedade das partículas atómicas, em particular dos núcleos, terem o movimento de spin. Pela sua abundância e pelo seu elevado momento magnético os núcleos de hidrogénio são utilizados na RMN, começando por se alinharem perante um campo estático, excitarem por aplicação de um sinal de RF e emitirem a energia absorvida na excitação por ausência daquele sinal.

Neste processo a ressonância ocorre entre a frequência do sinal de RF aplicado e a frequência de precessão dos núcleos de hidrogénio, designada por frequência de Larmor, e é utilizada para a selecção do corte e para a codificação do sinal de RM para que este possa ser utilizado na construção de imagens.

As imagens obtidas e o seu contraste dependem da densidade de protões nos tecidos em observação e dos tempos de recuperação dos protões da situação de excitados para o estado de energia mínima, tempos de relaxação T_1 e T_2.

Existem várias técnicas de imagem de RM sendo a Spin Eco considerada uma técnica base e como tal foi tratada. Deste modo é possível obter imagens tomográficas com contraste entre tecidos de densidades semelhantes (tecidos moles), o que não é possível através de outras tecnologias baseadas na permeabilidade, por exemplo aos Raio-X.

Este equipamento é, no fundamental, constituído por uma bobina supercondutora que gera o campo principal estático, bobinas de gradiente que geram os campos variáveis para selecção dos cortes e codificação do sinal e os geradores e receptores de RF cuja energia dos sinais é transmitida aos protões e devolvida constituindo o sinal de RM. A reconstrução de imagem só é possível através de software e hardware específicos.

Página deixada intencionalmente em branco.

Capítulo 5 METODOLOGIA DA ANÁLISE DESENVOLVIDA

5.1 – Introdução e objectivos da metodologia

Figura 34 - Fotografia da RMN Gyroscan T5-NT (cortesia do Hospital Santa Maria)

O equipamento em estudo é a Ressonância Magnética Nuclear (RMN), marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT de 0,5 tesla, instalado no Hospital de Santa Maria, no Serviço de Imagiologia – ver figura 34, encontrando-se em funcionamento há dez anos sob um regime de trabalho que se pode considerar intenso para este tipo de equipamento. A actividade do equipamento pode avaliar-se pela Tabela 4 a seguir apresentada.

Tabela 4 - Evolução do número de exames RMN de 2004 a 18-09-2006 (Fonte: HSM)

HSM: Evolução do número de exames RMN de 2004 a 18-09-2006						
Ano	**2004**		**2005**		**até 18-09-2006**	
Tipo de Exame	RM Corpo	RM Neuro	RM Corpo	RM Neuro	RM Corpo	RM Neuro
Total Corpo / Neuro	1229	3047	1272	3381	906	2606
TOTAL ANO	**4276**		**4653**		**3512**	

O equipamento de RMN destina-se a doentes internados e a doentes em regime ambulatório, a actividade é planeada já que o número de exames efectuados para doentes oriundos da Urgência é de 3% a 4%, sendo irrelevante. Para a Consulta e Hospital de Dia (ambulatório com internamento inferior a um dia) o planeamento é efectuado com prazos muito dilatados, da ordem de semanas, na medida em que a procura supera largamente a capacidade instalada. Para o internamento o planeamento é efectuado tendo em vista uma

resposta num prazo de dias, sempre inferior a uma semana de forma a não aumentar a demora média. Estas condições de operação do equipamento devem ser consideradas no estabelecimento do seu plano de manutenção ou na avaliação da manutenção realizada. Sendo importante a disponibilidade operacional global na medida em que o hospital necessita de satisfazer as necessidades dos utentes em exames de ressonância magnética (RM), poderá aceitar-se uma disponibilidade instantânea menos exigente, suportada pelo planeamento, desde que dela não resultem prazos clinicamente inaceitáveis.

Na procura da melhoria da gestão de activos do Serviço de Imagiologia, neste caso particular do desempenho do equipamento de RMN quer ao nível da disponibilidade operacional ou dos custos de manutenção, pretende-se desenvolver um modelo estratégico da medida de desempenho da manutenção que possa ser utilizado para monitorizar o impacto da manutenção e mostrar a relação entre as métricas operacionais e financeiras. Assim, uma estrutura do tipo *balanced scorecard* denominada Maintenance Scorecard (MSC) foi adoptada para avaliar a contribuição da manutenção na RMN para os objectivos estratégicos do Serviço de Imagiologia. Este processo é documentado em termos de temas estratégicos num formato tipo conforme exemplo na Figura 35, que neste caso particular apresenta a perspectiva da produtividade como tema estratégico.

Perspectiva da Produtividade								
Como podemos nós continuar a reduzir os custos por unidade do esforço da gestão dos activos?								
Nível de Gestão Executivo			**Nível Estratégico**			**Nível Funcional**		
Objectivos	**Indicadores**	**Metas**	**Qualificações Capacidades e Aptidões**	**Indicadores**	**Metas**	**Execução Objectivos**	**Indicadores**	**Metas**

Figura 35 - Formato tipo para documentar o MSC

Por sua vez, na Figura 36 pode-se observar as várias fases da metodologia da análise a desenvolver para a obtenção do modelo estratégico da medida do desempenho da manutenção.

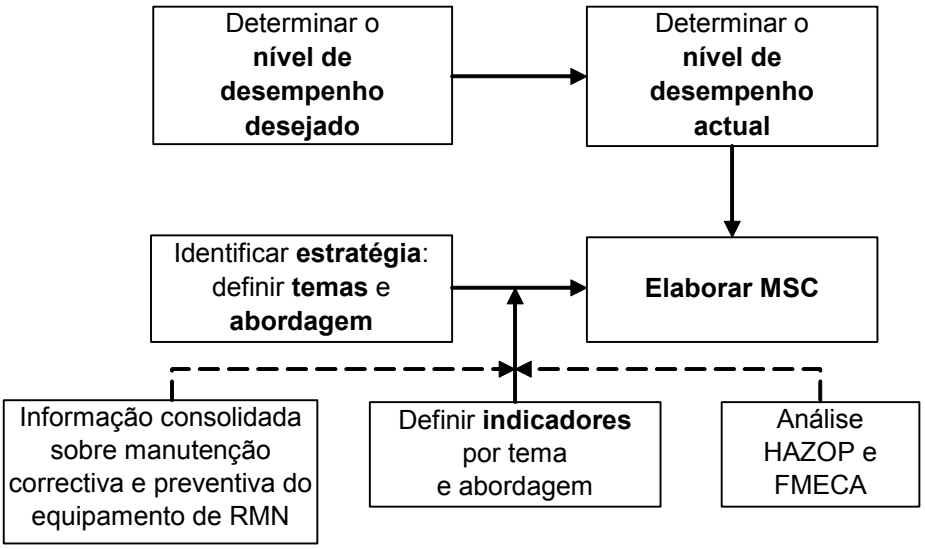


Figura 36 - Fluxograma da metodologia

Nos pontos seguintes são definidos os temas estratégicos e os respectivos indicadores de desempenho que os suportam. Ainda, é elaborado um estudo de HAZOP (*HAZard and OPerability Studies*) descrevendo os possíveis modos de falha de cada um dos conjuntos do equipamento de RMN. Este estudo é comparado com outro estudo de HAZOP elaborado a partir da lista de falhas ocorridas durante os anos de 2004 e 2005 com o intuito de identificar os conjuntos críticos para a elaboração dos FMECAs (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*). Devido ao baixo número de modos de falhas são elaborados FMECAs para os trinta e sete modos de falha agrupados por conjunto do equipamento.

5.2 – Obtenção da informação

A Philips Portuguesa, Divisão de Sistemas Médicos, forneceu uma lista de ocorrências relativas à manutenção correctiva e preventiva referente aos anos de 2004 e 2005, bem como os diagramas de implantação do equipamento de RMN.

A classificação existente nos diagramas, que se encontram no Anexo A, foi utilizada na divisão do equipamento em conjuntos e subconjuntos.

No Anexo B encontra-se o mapa de obras de manutenção correctiva referente aos dois anos contendo datas e materiais aplicados. Neste mapa as falhas foram organizadas por conjunto funcional da máquina. No Anexo C encontra-se o mapa de obras de manutenção preventiva contendo as datas de intervenção referentes ao mesmo período.

Para cada intervenção correctiva a Philips atribuiu um número de obra que identifica cada um dos trinta e sete inquéritos de caracterização das falhas elaborados para recolha da informação necessária e suficiente para a elaboração dos FMECAs. Estes inquéritos foram concluídos com o suporte da Divisão de Sistemas Médicos e constituem o Anexo D.

Finalmente, o Serviço de Imagiologia e o Serviço de Instalações e Equipamentos forneceram a informação referente à exploração operacional do equipamento de RMN e os custos de assistência técnica, respectivamente. Esta informação serve de base à determinação dos níveis actuais e dos níveis desejados de desempenho, e assim identificar as estratégias requeridas para atingir os níveis desejados de desempenho.

5.3 – Indicadores de desempenho

Para a análise deste equipamento e suporte às estratégias requeridas para atingir os níveis desejados de desempenho foram seleccionados vários indicadores de desempenho, a seguir apresentados.

Manutenção preventiva em atraso – número de tarefas preventivas não terminadas na data programada.

Este indicador é vital para um programa eficaz de gestão da manutenção. O desempenho da manutenção preventiva referenciada à data programada é importante para a operacionalidade do equipamento, tal como para reduzir a exposição da organização ao risco.

A calendarização das tarefas de reparação ou revisão são baseadas na substituição ou reparação de um componente no fim da sua vida tecnológica útil. Este é o ponto onde a

probabilidade condicional de falha começa a aumentar rapidamente. Assim, se as intervenções calendarizadas não acontecerem, há então um aumento da probabilidade do equipamento vir a falhar.

Ainda, como benefício, este indicador reforça a importância da programação e da execução no que diz respeito ao controlo da falha.

Finalmente, para produzir esta métrica requer-se a sistematização das ordens de trabalho produzidas para as actividades programadas de manutenção.

Mean Time To Repair (MTTR) / Tempo Médio de Reparação

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Tempo total para reparar (para o período)}}{\text{Número de falhas (para o período)}} \tag{5.1}$$

Esta métrica é a medida padrão da eficácia da função da manutenção na reparação. É usada com mais eficácia quando aplicada a falhas específicas.

O MTTR é um indicador poderoso de iniciativas de melhoria nas áreas de execução de acções de reparação. Um período típico do MTTR conterá os seguintes tempos:

- Problema identificado pelos operadores ou técnicos de manutenção durante uma inspecção;
- Recursos da manutenção atribuídos à tarefa de reparação;
- Início da tarefa de reparação;
- Tempo de reparação;
- Tarefa concluída;
- Supervisor/ operadores notificados do término da reparação;
- Retorno ao serviço.

Dentro do "Tempo de Reparação" pode haver atrasos devidos a razões de ordem variada. A aptidão de seguir todos estes tempos-de-espera, como aqueles associados ao atraso na execução da acção de reparação, fornecerá um manancial de áreas com potencial de melhoria. Este indicador pode também ser usado como uma medida da manutenibilidade do equipamento, e assim alimentar iniciativas de reajuste na concepção.

Quando esta medida é aplicada a mais de uma falha específica, transforma-se num indicador de desempenho do Departamento de Manutenção.

Para produzir esta medida é necessário a capacidade de gravar cada evento de falha e respectiva duração de forma precisa.

Disponibilidade do Equipamento (*Equipment Availability*)

Este indicador mede a percentagem de tempo que um recurso está apto a trabalhar relativo ao tempo total.

$$\text{Disponibilidade} = \left(\frac{\text{Tempo Total - Tempo Não Disponível}}{\text{Tempo Total}} \right) \times 100 \qquad (5.2)$$

A disponibilidade é o indicador mais usado no "arsenal" da gestão da manutenção. É também o indicador mais visto pelos níveis executivos de gestão na maioria das companhias a nível mundial. Como tal, um dos principais benefícios desta métrica é o seu reconhecimento imediato pela maioria das pessoas, mesmo que remotamente associadas à gestão de activos físicos. A disponibilidade fornece uma perspectiva unidimensional da aptidão da equipa de manutenção, em particular, ter o equipamento disponível para operação.

Ao implementar um sistema de elaboração de relatórios de disponibilidade deve atender-se a que este deve ter a capacidade de ligar os períodos de indisponibilidade às respectivas ordens de trabalho, para que seja possível ter uma visão detalhada do trabalho efectuado durante o período em causa. Isto será uma mais-valia nos programas subsequentes de análise de redução da indisponibilidade.

De notar que a disponibilidade é somente uma métrica parcial da função primária do equipamento, da instalação ou do sistema. A disponibilidade é usada para indicar se algo está ou não a trabalhar, e não faz referência à indisponibilidade parcial, i.e., à disponibilidade de funções secundárias. Assim, esta métrica não deve ser usada para tomar decisões e fazer julgamentos de forma isolada.

Custo Unitário de Manutenção

Aumentar a rendibilidade do regime de manutenção é o objectivo de toda e qualquer organização da manutenção. A medida dos custos unitários do esforço de manutenção é a melhor medida directa desta. Para ser usado como uma medida de melhoria necessita ser comparada com valores anteriores ao início das acções de melhoria.

Esta métrica fornece um retrato da rendibilidade dos regimes da manutenção duma forma resumida quando traduzida num gráfico (ver o Gráfico 2 no Capítulo 6). Permite também com facilidade identificar níveis baixos de produção ou picos na despesa da manutenção. Esta medida, ou o gráfico, devem ser usados conjuntamente com outras fontes de informação como uma lista ou tabela das "Causas de Perda de Produção".

Produzir esta métrica requer um sistema robusto de gestão da informação para suportar o processo de gestão dos activos, em particular um que permita a colecta exacta de todos os custos que contribuem para o esforço da manutenção, bem como todos os níveis de produção da instalação.

Utilização (*Availability Usage* também *Effective Utilization*)

$$\text{Utilização} = \left(\frac{\text{Tempo Utilizado}}{\text{Tempo Disponível}} \right) \times 100 \qquad (5.3)$$

Esta medida dá uma indicação clara da utilização do tempo disponível do equipamento.

Na reparação de equipamentos, há frequentemente diversas etapas que consomem tempo da disponibilidade (*uptime*) e afectam a eficaz utilização do equipamento. Um processo típico pode consistir nas seguintes etapas:-

- Reparação concluída;
- Operações notificadas;
- Operador identificado ou as operações alteraram-se para acomodar o equipamento disponível;
- Utilização do equipamento.

Se a necessidade for tal que o equipamento é requerido para operação imediata, então esta medida pode fornecer uma boa indicação do tempo que levou a notificar a Produção e para que estes coloquem o equipamento de novo em serviço. Neste contexto, é um indicador forte para optimizar processos correntes entre os departamentos de manutenção e de produção. É também um bom indicador da forma como é usado o investimento que a companhia fez nos activos físicos. A maioria de indústrias de capital intensivo podem empregar este indicador neste formato.

Nas situações onde não existe uma grande necessidade do equipamento, este indicador mostra a utilização dos activos da companhia dentro do tempo total que poderiam ser usados.

De notar que este indicador pode dar sinais enganadores quando usado nas operações onde há uma procura flutuante. Isto aplica-se particularmente às operações do tipo sazonal quando a companhia ou fábrica não está a funcionar, ou no caso de níveis baixos de produção por períodos de tempo longos.

Nas situações onde há uma elevada procura contínua de produção, este indicador mostrará somente os atrasos em colocar o equipamento de novo em serviço. Se pretender fazer uma análise adicional, então outros pontos de espera necessitarão também ser medidos tais como "retorno para a produção" e "tarefas de início de serviço concluídas." A medição deste indicador, tal como outros indicadores baseados no tempo, são muito dependentes da existência de meios adequados para gravar os tempos associados à condição do equipamento.

5.4 – Análise FMEA / FMECA

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) e Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA) são metodologias idealizadas para identificar modos de falha potenciais para um produto ou processo, para avaliar o risco associado aqueles modos de falha, para classificar as questões em termos da importância e para identificar e colocar em prática acções correctivas de modo a endereçar as questões mais sérias.

Em geral, produzir um FMEA/ FMECA requer a identificação da seguinte informação: Componente, Função, Modo de Falha (modo como o componente falha), Causa da Falha (processos que conduzem à falha), Efeitos da Falha (consequências provenientes do modo de falha), Controlo Actual, Acções Recomendadas / Observações e quando aplicável, outros detalhes relevantes.

Neste tipo de análise os métodos mais comuns para avaliar o risco associado às questões identificadas durante a análise e para dar prioridade às acções correctivas são:-

- Análise de Criticidade (FMEA + Criticality Analysis = FMECA) e,
- Números de Prioridade do Risco/ Risk Priority Numbers (RPNs).

Existem directivas e standards publicados sobre as exigências e recomendações do formato de relatório FMEA/ FMECA. Alguns das principais normas publicadas para este tipo de análise incluem as normas SAE J1739 e MIL-STD-1629A. Além disso, muitas indústrias e companhias desenvolveram seus próprios procedimentos para ir ao encontro das exigências específicas dos seus produtos, processos e equipamentos. No caso particular deste trabalho, será utilizado o FMECA tipo da Figura 37.

FMECA nº _____ **Data:** _____
Sistema: _____
Conjunto: _____ **Preparado por:** _____

					Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
Obra nº	Comp.	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias	Probabilidade condicional de ocorrência da falha	Contribuição do modo de falha para a falha	Tempo de Operação	Criticidade	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade (C=OxSxD)

Figura 37 - Tabela FMECA a utilizar neste trabalho

5.5 – Métodos de avaliação do risco

Um FMEA típico inclui um método para avaliar o risco associado aos problemas potenciais identificados pela a análise efectuada. Os dois métodos mais comuns, Análise de Criticidade e Números de Prioridade do Risco/ Risk Priority Numbers (RPNs), são descritos em seguida.

Números de Prioridade do Risco/ Risk Priority Numbers (RPNs)

Para usar o método RPN para avaliar o risco, a equipa de análise deve:-

- Avaliar a severidade (S) de cada efeito da falha;
- Avaliar a probabilidade da ocorrência (O) para cada causa da falha;
- Avaliar a probabilidade da detecção (D) prévia para cada causa da falha (i.e., a probabilidade de detectar o problema antes que este atinja o utilizador ou cliente final) e,
- Calcular de seguida o RPN a partir do produto das três avaliações de acordo com a expressão 5.4 apresentada de seguida:

$$RPN = S \times O \times D \tag{5.4}$$

O RPN pode então ser usado para comparar questões e/ou oportunidades em aberto dentro da análise e dar prioridade aos problemas para a acção correctiva. Este método da avaliação de risco, do tipo qualitativo, é geralmente associado ao Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).

Análise de Criticidade

A norma militar MIL-STD-1629A descreve dois tipos de análise de criticidade: quantitativa e qualitativa.

Para usar o **método quantitativo** da análise de criticidade, a equipa de análise deve:-

- Definir a taxa de avarias para cada componente (λ_p) para um dado tempo de operação (t);
- Avaliar a probabilidade condicional da ocorrência do modo de falha (β);
- Identificar a contribuição do modo de falha (α) para a falha do componente e,
- Calcular a crititicidade de cada modo de falha potencial a partir do produto dos quatro factores de acordo com a expressão 5.5 apresentada de seguida:

$$C_m = \lambda_p \times \beta \times \alpha \times t \tag{5.5}$$

O cálculo da criticidade para cada componente obtém-se do somatório das criticidades de cada modo de falha identificado para o componente, de acordo com a expressão 5.6 apresentada de seguida:

$$C_r = \sum_{n-1}^{j} (C_m)_n, n = 1,2,3,..., j \tag{5.6}$$

Ainda, as expressões 5.5 e 5.6 podem ser encontradas no Task 102 da MIL-STD-1629A, tal como os valores de β a seguir apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de β

Efeito do modo de falha	**Valor de β**
Perda efectiva	= 1,00
Perda provável	> 0,10 e < 1,00
Perda possível*	> 0 e ≤ 0,10
Sem efeito	= 0

(*) Havendo avaria poderá não haver consequências.

As taxas de avarias (λ_p) referentes a cada modo de falha foram calculadas com base na lista de 37 falhas (ver Anexo B) fornecida pela Philips. No período sobre o qual incidiu o estudo verifica-se que a quase totalidade dos modos de falha ocorreu apenas uma vez com excepção de um que ocorreu duas vezes, de três que ocorreram três vezes, de um que ocorreu quatro vezes e de um outro que ocorreu seis vezes. Para os que ocorreram quatro ou mais vezes foi possível a aplicação do teste de Laplace (ver Anexo H) para verificar a tendência da taxa de avarias. Para os restantes modos de falha considerou-se a máquina no período de vida útil, o MTBF igual ao tempo de operação em análise, e o cálculo da taxa de falhas de acordo com a expressão 5.7 apresentada de seguida:

$$\lambda_p = \frac{\text{Nº de falhas}}{\text{Tempo de operação}} \tag{5.7}$$

Contribuição do modo de falha (α) para a falha, ainda de acordo com a norma Americana MIL-STD-1629A, é a probabilidade expressa por um número decimal correspondente à contribuição do modo de falha em causa para a falha a que se refere. Existindo diversos modos de falha a soma dos valores de α será igual à unidade. No presente trabalho estes valores foram atribuídos pela opinião do analista.

O cálculo do tempo de operação (t) no caso em estudo não é pacífico na medida em que o equipamento tem dez anos de vida e o período sobre o qual incide o estudo é de dois anos. Considerou-se o início dos tempos a 19 de Setembro de 2003, isto é, na data da manutenção preventiva realizada imediatamente antes de Janeiro de 2004.

Para usar o **método qualitativo** da análise de criticidade para avaliar o risco e dar prioridade a acções correctivas, a equipa de análise deve:-

- Avaliar a severidade (S) dos efeitos potenciais da falha;
- Avaliar a probabilidade da ocorrência (O) para cada modo de falha potencial e,
- Comparar os modos de falha através de uma Matriz de Criticidade, que identifique a severidade na linha horizontal e a ocorrência na linha vertical.

Estes métodos da avaliação de risco, quantitativo e qualitativo, são geralmente associados ao Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA).

Aplicações e Benefícios

O procedimento Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMEA/ FMECA) é uma ferramenta que tem sido adaptada de muitas maneiras diferentes para muitas finalidades diferentes. Pode contribuir para melhorar o projecto de produtos e processos, resultando numa fiabilidade mais elevada, numa melhor qualidade, numa maior segurança, numa maior satisfação do cliente, e numa redução de custos.

A ferramenta pode também ser usada para estabelecer e optimizar planos de manutenção para sistemas reparáveis e/ou contribuir para planos de controlo e outros procedimentos de garantia de qualidade. Fornece uma base de conhecimento dos modos de falha e informação de acções correctivas que podem ser usadas como um recurso no futuro para pesquisa de defeitos e como uma ferramenta de treino para novos engenheiros.

Além disso, os FMEA/ FMECA são frequentemente requeridos para dar cumprimento às exigências de segurança e de qualidade, tais como ISO 9001, QS 9000, ISO/TS 16949, Seis Sigma (6δ) e Boas Práticas de Fabrico (GMPs), entre outras.

Neste trabalho é aplicado o método quantitativo conforme a MIL-STD-1629A e o método qualitativo dos Números de Prioridade do Risco para análise da criticidade.

5.6 – Definição de critérios para os factores do RPN

O – Ocorrência que traduz a possibilidade da falha ocorrer em função da taxa de avarias, foi expressa numa escala de 1 a 5, conforme mostra a Tabela 6 a seguir apresentada.

Tabela 6 - Classificação do factor Ocorrência no RPN

Nível		Taxa de avarias	Classificação
Frequente	(A)	4000 /10^6 dia < λ	5
Provável	(B)	3000 /10^6 dia < λ ≤ 4000 /10^6 dia	4
Ocasional	(C)	2000 /10^6 dia < λ ≤ 3000 /10^6 dia	3
Remota	(D)	1250 /10^6 dia < λ ≤ 2000 /10^6 dia	2
Improvável	(E)	λ ≤ 1250 /10^6 dia	1

Assim, foi considerada como "Improvável" a ocorrência de uma falha num período superior a 820 dias e considerada como "Frequente" a ocorrência de quatro ou mais falhas no mesmo espaço de tempo, e que corresponde ao período do estudo.

S – Severidade de uma falha considera-se que resulta das consequências funcionais da falha e do tempo de paragem que a mesma origina. Esta foi classificada em cinco níveis: marginal, aceitável, grave, muito grave e inaceitável, tendo sido adicionado mais um nível além dos utilizados na norma Americana MIL-STD-882D. Nem de todas as falhas resultam paragens do equipamento e as paragens, quando ocorrem, têm consequências diferentes de acordo com o período de indisponibilidade que originam.

Para definição dos níveis de severidade é construída uma matriz de severidade de dupla entrada: consequências funcionais × tempo de resolução da falha – ver Tabela 9.

Agora, para avaliação das consequências funcionais foi elaborada a Tabela 7. Não surgindo dúvidas quanto à interpretação dos itens com a classificação de 1, 3 e 4, importa esclarecer o conceito de "redução de eficiência", que significa a existência de falhas das quais resultaram incómodos para o operador, para o paciente ou perdas económicas no funcionamento do equipamento de RMN. "Redução de funcionalidades" e "Paragem do equipamento" são classificados com 3 (muito grave) e 4 (inaceitável) respectivamente.

Tabela 7 - Classificação das consequências funcionais da falha

Consequências funcionais	Classificação
Paragem do equipamento	4
Redução de funcionalidades na execução de exames	3
Redução da eficiência	2
Sem consequências funcionais	1

Na Tabela 8 o tempo de resolução da falha é independente das suas consequências. Também foi considerado que o tempo total de paragem é igual ao tempo de reparação já que na manutenção hospitalar e nos equipamentos críticos os "tempos mortos" associados à reparação estão minimizados. Ainda nesta tabela, e tendo em conta a actividade da máquina, considerou-se que a não execução de exames por um período de 1 hora seria irrelevante, por um período acima de 7 horas teria consequências graves, e por um período superior a 14 horas seria inaceitável.

Tabela 8 - Tempo de resolução da falha

Tempo de resolução da falha	Classificação
Igual ou acima de 14 horas	5
Resolução até 14 horas	4
Resolução até 7 horas	3
Resolução até 4 horas	2
Resolução no mesmo dia até ao limite de 1 hora	1

Na Tabela 9 para a matriz de severidade adoptou-se uma escala de severidade de acordo com a norma Americana MIL-STD-882D.

Tabela 9 - Matriz de severidade

			Consequências funcionais			
			Sem consequências	Redução de eficiência	Redução de funcionalidades	Paragem do equipamento
			1	2	3	4
Tempo de resolução da falha	< 1 hora	1	1	2	3	4
	≤ 4 horas	2	2	4	6	8
	≤ 7 horas	3	3	6	9	12
	≤ 14 horas	4	4	8	12	16
	≥ 14 horas	5	5	10	15	20

Finalmente, na Tabela 10 apresentam-se cinco níveis de severidade que se adaptam ao caso em estudo. A paragem do equipamento mesmo que por um período inferior a 1 hora e a falha sem consequências imediatas mas por um período superior a 7 horas não serão consideradas falhas marginais de categoria V, mas aceitáveis de categoria IV.

Tabela 10 - Classificação do factor Severidade no RPN

Severidade		Critérios de classificação dos níveis de severidade	Classificação
Marginal	**V**	Para valores de 1 a 3 da matriz de severidade	1
Aceitável	**IV**	Para valores de 4 a 9 da matriz de severidade	2
Grave	**III**	Para valores de 10 a 12 da matriz de severidade	3
Muito Grave	**II**	Ocorrência de paragem do equipamento e tempo de resolução da falha até às 14 horas ou redução de funcionalidades acima de 14 horas - valores 15 e 16 da matriz de severidade	4
Inaceitável	**I**	Ocorrência simultânea de paragem do equipamento e tempo de resolução da falha acima de 14 horas - valor de 20 da matriz de severidade	5

D – Detectibilidade, para este factor apenas foram consideradas as hipóteses de detecção da falha antes da sua ocorrência (= 1) ou não detecção da falha (= 2).

5.7 – Método HAZOP

A palavra HAZOP é um acrónimo de "HAZard and OPerability Studies", ou seja, o estudo de riscos da operacionalidade. Este método tem como objectivo estudar todas as etapas de um processo e as suas possíveis variáveis, de modo a obter todos os caminhos possíveis de falhas do processo, desde a concepção, projecto, execução e operação.

O HAZOP é uma técnica estruturada, que pode ser aplicada a hardware digital e/ou electromecânico de um sistema, a um processo de produção químico ou a sistemas de comunicações, identificando os perigos que resultam dum potencial mau funcionamento no processo. É essencialmente um processo qualitativo.

Um estudo HAZOP é empreendido tipicamente por uma equipa multidisciplinar que envolve engenheiros, gestores de produção, projectistas e os especialistas de segurança. Todo este conhecimento e perícia é reunido durante as sessões de HAZOP com o propósito de estimular a criatividade do colectivo e gerar ideias novas.

Fazer um estudo de HAZOP no estado inicial do projecto permite evitar potenciais problemas que depois do projecto concluído apenas são resolvidos com alterações que originam encargos de ordem variada.

A equipa de HAZOP examina sistematicamente o projecto do processo proposto aplicando a cada subsistema as palavras-chave que representam desvios nos parâmetros pretendidos do processo, determinando as consequências nas condições operativas desse subsistema e consequentemente do sistema.

Para aplicar o método HAZOP importa definir alguns termos:

- Objectivos do projecto: define o funcionamento esperado do subsistema bem como o seu nível de desempenho;
- Desvio: diferença em relação ao valor do atributo de um subsistema definido pelos objectivos do projecto desse sistema;
- Atributo: é uma propriedade física ou lógica de um subsistema;
- Palavra-chave: palavras que são usadas para qualificar o desvio em relação ao atributo do sistema. Na Tabela 11 está exemplificada uma lista de palavras-chave e o seu significado;
- Causa: razões pelas quais podem acontecer desvios em relação ao atributo ou atributos do subsistema;
- Consequência: resultados dos desvios em relação ao(s) atributo(s) do subsistema;
- Protecção: dispositivos de protecção que previnem as causas e/ou as consequências do desvio;
- Acção: acções levadas a cabo para eliminar as causas e para reduzir ou eliminar as consequências.

Tabela 11 - Lista de palavras-chave e respectivo significado

(Tabela reproduzida da norma DEF STAN 00-58, UK-MOD)

Palavras-Chave	Significado
Não	Nenhum dos objectivos do projecto foi atingido e nada mais acontece.
Mais	Existe um aumento quantitativo.
Menos	Existe uma diminuição quantitativa.
Bem como	Para além de todos os objectivos do projecto serem atingidos ainda se verificaram outras acções.
Parte de	Só alguns dos objectivos do projecto é que foram atingidos.
Inverso	Foram atingidos objectivos com valor lógico oposto.
Outro	Substituição completa. Não foram atingidos os objectivos originais mas acontece algo completamente diferente.
Cedo	Algo acontece mais cedo que o esperado.
Tarde	Algo acontece mais tarde que o esperado.
Antes	Algo acontece antes de ser esperado, de acordo com a ordem ou sequência proposta.
Depois	Algo acontece depois de ser esperado, de acordo com a ordem ou sequência proposta.

O estudo de HAZOP é documentado numa tabela tipo a seguir apresentada na Figura 38.

Estudo HAZOP: Equipamento de Ressonância Magnética Nuclear							
Hazop Nº	Conjunto ou Subsistema	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Protecção	Acção

Figura 38 - Tabela HAZOP a utilizar neste trabalho

No presente trabalho foram elaborados dois estudos de HAZOP. O primeiro ao nível do projecto, e com o apoio do especialista em RMN da Divisão de Sistemas Médicos da Philips Portuguesa, foram identificadas potenciais falhas cuja possível ocorrência deve

entender-se na ausência de manutenção. Também foram identificados os conjuntos susceptíveis de falhas cuja consequência é a paragem do equipamento.

No segundo estudo agora ao nível da operação, e com base na lista de avarias ocorridas durante dois anos, pretendeu-se identificar os conjuntos críticos no equipamento em funcionamento, e agora submetido a um programa de manutenção preventiva definido pelo construtor Philips.

5.8 – Conclusões do capítulo

Depois do enquadramento do equipamento de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) em estudo no serviço utilizador apresentando também a sua actividade, foi proposto a utilização do Maintenance Scorecard (MSC) para desenvolvimento de um modelo estratégico da medida do desempenho da manutenção com o objectivo de identificar oportunidades de melhoria que permitam ao equipamento satisfazer as necessidades do Hospital de Santa Maria na execução de exames RMN.

São descritos os indicadores para a fase de criação do MSC, que na perspectiva da rendibilidade e do desempenho melhor suportam a estratégia, e as ferramentas de análise HAZOP e FMECA para a selecção de dados nos mapas de manutenção correctiva e preventiva de modo a permitir uma utilização mais eficaz dos indicadores. O fluxograma da metodologia encontra-se na Figura 36 da secção 5.1.

Assim, a métrica seleccionada permitirá determinar o nível de desempenho desejado do equipamento bem como o nível de desempenho actual, de modo a determinar as capacidades requeridas para garantir o plano estratégico.

Capítulo 6 APLICAÇÃO A UM CASO PRÁTICO: Equipamento de RMN

6.1 – MSC aplicado à Manutenção de Equipamento Hospitalar / RMN

Actualmente os novos formatos de gestão estão a mudar os serviços hospitalares de manutenção. A manutenção e a engenharia em instituições de saúde tornaram-se actividades que devem ter uma estratégia de gestão e não serem apenas um centro de custo a ser suportado pela organização, mas também um meio de aumentar a rendibilidade da organização e protegê-la contra acções judiciais. Assim, o modelo actual pode ser transformado num sistema integral incluído na estrutura da estratégia hospitalar usando o "Maintenance Scorecard" (MSC).

No caso particular do equipamento em estudo, Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de 0,5 tesla (0,5 T) da Philips, considerando os temas estratégicos da "Produtividade" e da "Rendibilidade", propõe-se dois indicadores de "Nível Executivo de Gestão", um para cada tema, e quatro indicadores de "Nível Estratégico", dois para cada tema. De acordo com o proposto, apresenta-se na Figura 39 o MSC para o equipamento de RMN.

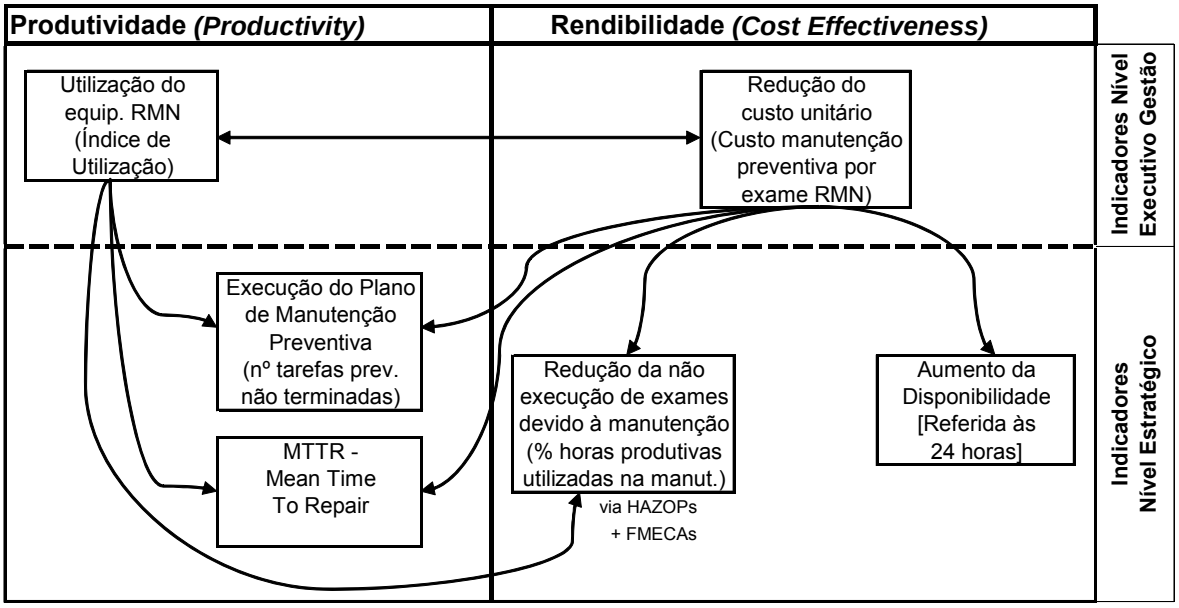


Figura 39 - MSC do equipamento de RMN

Agora, para o desenvolvimento do nível estratégico do MSC é requerido:-

- A determinação dos níveis actuais de desempenho, tendo em consideração as limitações impostas por ambos os factores internos e externos dentro da organização;
- Análise de desempenho para compreender o que está dentro da capacidade actual do projecto da organização;
- Idealizar estratégias para conseguir o nível de desempenho desejado;
- Criar medidas para monitorizar o progresso, ou aptidão para sustentar, as iniciativas estratégicas para os níveis de desempenho desejados.

De salientar que, os indicadores dentro do MSC não necessitam de ter qualquer relação de encadeamento ou matemático entre si. O que estes representam é um nível de causa/efeito, ou dependências. Dentro do MSC isto é referido como causalidade. Assim, como exemplo, o indicador "Disponibilidade", nos termos de formular horários de trabalho, causa um efeito no indicador "Redução do custo unitário". Esta relação pode ser calculada mas não será uma mais-valia no uso do MSC.

Finalmente, as únicas limitações que existem no uso do MSC para definir uma estratégia, e os seus indicadores relevantes, são os limites estabelecidos pela organização na criação destes.

6.2 – Determinar o nível de desempenho desejado do equipamento

Utilizando os relatórios "Estatística de Modelos por Grupos de Exames de 01-01-2004 a 31-12-2004" e "Estatística de Modelos por Grupos de Exames de 01-01-2005 a 31-12-2005" fornecidos pelo Hospital de Santa Maria (HSM), ver Anexo J, foi possível consolidar os exames RMN na Tabela 12 por tipo de exame e por serviço utilizador.

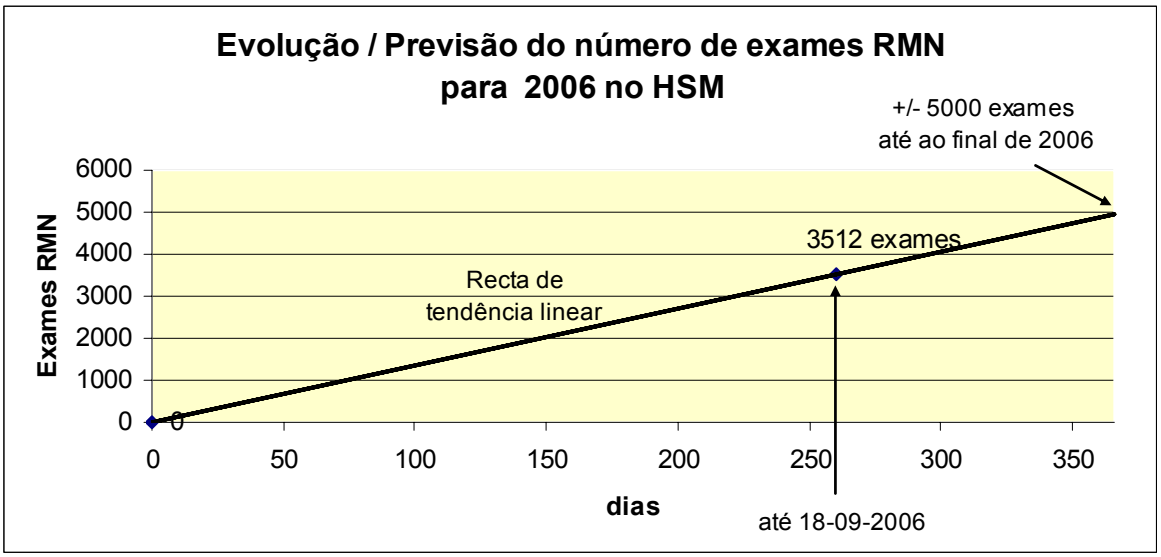
Tabela 12 - Consolidação de exames RMN de 2004 a Setembro 2006 no HSM

HSM: Exames de Ressonância Magnética Nuclear - 2004 a Setembro 2006						
Ano	**2004**		**2005**		**até 18-09-2006**	
Origem / Tipo	RM Corpo	RM Neuro	RM Corpo	RM Neuro	RM Corpo	RM Neuro
Consulta	509	924	603	1718	341	1298
Hospital Dia	118	106	133	94	98	122
Internamento	577	1831	501	1367	445	1060
MCDT	20	40	32	56	16	23
Urgência	5	146	3	146	6	103
Total Corpo/ Neuro	1229	3047	1272	3381	906	2606
TOTAL ANO	**4276**		**4653**		**3512**	

Hospital Dia – Ambulatório com internamento inferior a um dia
MCDT – Meios Complementares de Diagnóstico e Terapêutica

Considerando um crescimento linear na execução de exames, é previsível a execução de aproximadamente 5000 exames até final do ano de 2006, conforme mostra o Gráfico 1. Ainda, e de acordo com fonte do HSM à data de conclusão do presente trabalho, existe uma fila de espera de 1000 exames RMN, número que se mantém constante há pelo menos um ano. Assim, e para garantir que a oferta satisfaz a procura, é requerida uma produção mínima de 6000 exames RMN durante o ano para o equipamento de 0,5 T da Philips.

Gráfico 1 - Evolução / Previsão do número de Exames RMN para 2006



6.3 – Determinar o Nível de Desempenho Actual

Para determinar a capacidade actual instalada foi considerado o horário normal de produção, isto é, 12h/dia distribuídas por dois turnos de trabalho a saber, 1º turno das 8h às 14h, e 2º turno das 14h às 20h. Cada turno é suportado por uma equipa constituída por um médico, um técnico de imagiologia, um auxiliar e um administrativo. Este último faz a recepção dos doentes e paginação dos relatórios dos exames, garantindo a apresentação padrão do HSM.

Para o equipamento de RMN de 0,5 T da Philips foi considerado um valor médio de 45 minutos para a execução de cada exame, conforme informação do director do Serviço de Imagiologia Neurológica, Professor Doutor Jorge Guedes Cabral de Campos. Assim, a capacidade actual instalada teórica é de 16 exames/dia para uma utilização do equipamento de 12h/dia, conforme referido no parágrafo anterior, sendo possível realizar 4000 exames para um ano com 250 dias de produção – ver expressão 6.1 a seguir apresentada. De notar que para este cálculo não foram consideradas quaisquer ineficiências associadas à redução de funcionalidades do equipamento por falha ou paragem do mesmo por avaria, ou até paragens para acções de manutenção correctiva ou preventiva.

$$\text{Número de exames} = \frac{60\text{min/h} \times 12\text{h/dia} \times 250\text{dias/ano}}{45\text{min/exame}} = 4000\ \text{exames/ano} \qquad (6.1)$$

Após leitura da Tabela 12 apresentada na secção anterior, é possível concluir que os níveis actuais de desempenho são superiores inclusivo à capacidade actual instalada teórica, isto devido ao prolongamento eventual do 2º turno até às 23h da noite de modo a garantir que os exames marcados para a semana que termina não transitam para a semana seguinte, sendo a regra unicamente válida para os pacientes internados no hospital, não se aplicando aos pacientes do ambulatório para os quais existe uma fila de espera constante de aproximadamente 1000 exames RMN.

6.4 – Estratégia para conseguir o nível de desempenho desejado

Considerando que por norma o equipamento se encontra disponível a partir das 20h nos dias úteis, e não é utilizado para exames com marcação durante o fim-de-semana, é possível com o prolongamento do horário até às 23h nos dias úteis e com a utilização do Sábado e Domingo no horário das 8h às 23h (= 15h produção/dia) aumentar a capacidade de produção para 20 exames/dia ou 7300 exames anuais, isto para um ano de 365 dias de produção – ver expressão 6.2 a seguir apresentada. O prolongamento deve ser suportado pelo aumento da semana de trabalho para as 37h, ao invés das 30 horas actuais, com o benefício de eliminar o trabalho extraordinário quase diário das 20h às 23h. O período de trabalho ao fim-de-semana deve ser suportado pelas equipas do Serviço de Urgência.

$$\text{Número de exames}^{*} = \frac{60\ \text{min/h} \times 15\ \text{h/dia} \times 365\ \text{dias/ano}}{45\ \text{min/exame}} = 7300\ \text{exames/ano} \qquad (6.2)$$

(*) Não foram consideradas ineficiências do processo ou paragens do equipamento para manutenção.

Para a manutenção será colocado o desafio de planear as intervenções para o período das 23h às 8h da manhã. Modo operativo aplicável a situações que não originem a paragem do equipamento, e à manutenção preventiva que actualmente é feita por norma à Sexta-feira durante o período de normal execução de exames – ver Tabela 14 na secção seguinte.

Pelo que, para a produção agora proposta de 7300 exames anuais, relativamente aos 4000 calculados para o processo actual, existe uma quase duplicação da capacidade de execução de exames. Assim, relativamente ao novo horário proposto das 8h às 23h e considerando 365 dias de produção, é necessário garantir um índice de disponibilidade mínimo de 85%, que permita chegar aos 6205 exames anuais, para uma média de 17 exames/dia, ficando os restantes 15% ou três exames/dia atribuídos às ineficiências do processo e/ou manutenção.

O número de 6205 exames anuais satisfaz as necessidades actuais considerando uma utilização do equipamento superior a 95% e os seguintes números: 5000 exames como previsão até final do ano de 2006 no modo operativo actual, mais 1000 exames requeridos pelo Serviço de Consultas Externas do hospital e que se encontram em fila de espera.

Finalmente, e de uma forma genérica, a estratégia proposta para garantir que a execução de exames RMN satisfaz a procura assenta no aumento da capacidade do Serviço de

Imagiologia para uma produção de 15h/dia e 365 dias/ano, num índice de disponibilidade mínimo de 85% do equipamento através de uma manutenção correctiva e preventiva mais eficiente e de uma utilização superior a 95% da RMN para a qual contribuem os turnos de 37 horas semanais e o suporte das equipas do Serviço de Urgência ao fim-de-semana.

Em termos de MSC o processo, ou estratégia para atingir os objectivos, é documentado em função do tema estratégico e da abordagem, e respectiva métrica. Assim, para o tema estratégico da perspectiva da produtividade ao nível executivo de gestão é proposto o "Índice de Utilização", e para o nível estratégico o "número de tarefas preventivas não terminadas na data programada" e o "Mean Time To Repair" (MTTR) em horas. Para o tema estratégico da perspectiva da rendibilidade ao nível executivo é proposto o "Custo de Manutenção Preventiva por exame", e para o nível estratégico a "% de horas de produção utilizadas na manutenção" e a "Disponibilidade do equipamento". Uma representação gráfica do MSC descrito é apresentado na Figura 39 da primeira secção deste capítulo.

6.4.1 – Execução do plano de manutenção preventiva

De acordo com a Philips e para o equipamento Gyroscan T5-NT de 0,5 T, a Manutenção Preventiva (MP) mais eficiente envolve seis inspecções de MP, com um intervalo de quatro meses para um ciclo de dois anos, que se encontra implementado na RMN do HSM.

Como exemplo, e para o conjunto "Sistema de Refrigeração" do qual fazem parte os subconjuntos "761-AA: Compressor Criogénico" e "761-AB: Cabeça Fria", apresenta-se seguidamente na Tabela 13 a respectiva matriz do programa de MP cedida pela Philips.

Tabela 13 - Matriz de Manutenção Preventiva do Sistema de Refrigeração

Acções de Manutenção Preventiva	1º	2º	3º	4º	5º	6º	T(min)
Sistema de refrigeração							
Verificar a pressão do compressor	X	X	X	X	X	X	5
Verificar o valor do contador horário	X	X	X	X	X	X	5
Verificar circuitos de água e da bobine			X			X	10
Verificar o fluxo da água	X			X			20
Substituir adsorvente		X					30
Substituir "cabeça fria"		X					120

De acordo com o manual de manutenção do equipamento, não se pretende que sejam realizadas reparações ou pesquisa de defeitos durante as acções de manutenção preventiva, de modo a não reduzir o tempo disponível para as actividades de manutenção planeada, pois o tempo previsto para cada intervenção, coluna T (minutos) na Tabela 13, é somente para a execução da respectiva tarefa. Excepção para reparações associadas a elementos de segurança, e de outros que possam afectar a verificação das calibrações durante a acção de MP. Também para os procedimentos de manutenção preventiva marcados com "S" de segurança, caso exista falha no cumprimento do mesmo, é mandatório a acção correctiva.

No final das acções de MP é feito um teste de qualidade de imagem, denominado pela Philips de PIQT (*Periodic Image Quality Test*), para verificar que não foram introduzidos problemas graves durante a sessão de manutenção.

Ainda, e de acordo com o manual, existe a possibilidade de utilizar o "Sistema remoto de verificação de desempenho" (SRVD) para determinar se o equipamento está a necessitar de manutenção correctiva, procedimento a aplicar antes de cada MP. Como o SRVD não está implementado no equipamento em estudo, obriga à deslocação dum técnico ao HSM para análise do livro de registo de falhas e verificação do desempenho da RMN, com a consequente reserva do equipamento por razões técnicas impedindo o mesmo de efectuar exames, e reduzindo a sua disponibilidade.

Assim, como acção de melhoria com o objectivo de obter maior disponibilidade, é proposto a implementação de um SRVD no equipamento de RMN do HSM.

Finalmente, no que concerne à execução do plano de manutenção preventiva, foram cumpridas as seis inspecções com um intervalo aproximado de quatro meses para o ciclo bienal 2004/05, não existindo tarefas preventivas não terminadas na data programada, conforme mostra a Tabela 14 a seguir apresentada. De notar que esta tabela foi construída a partir do "Mapa de Obras de Manutenção Preventiva" fornecido pela Philips e que se encontra no Anexo C.

Também o estudo HAZOP assumindo o estado inicial do projecto identificou potenciais problemas, ver Anexo E, que não se concretizaram, isto após análise HAZOP da lista de falhas, ver Anexo F, pelo que se conclui que o plano de manutenção preventiva definido pela Philips é adequado para o equipamento.

Tabela 14 - Mapa de Obras de Manutenção Preventiva

Equipamento RMN Philips Gyroscan NT 0,5T - Manutenção Preventiva								
Ciclo bienal	Insp#	Obra#	Técnico	Inicio do trabalho		Fim do trabalho		Tempo de trab
				Data	Inic_trab	Data	Fim_trab	
02/03	6ª	LIS.01259	N.Pereira	sexta-feira, 3-10-2003	11:00	03-10-03	20:00	8:00
		LIS.01259	M.Castela	sexta-feira, 3-10-2003	11:30	03-10-03	17:00	4:30
04/05	1ª	LIS.02124	N.Pereira	sexta-feira, 6-02-2004	9:30	06-02-04	15:00	5:30
	2ª	LIS.02941	N.Pereira	sexta-feira, 28-05-2004	11:30	28-05-04	18:00	5:00
	3ª	LIS.03841	N.Pereira	sexta-feira, 1-10-2004	10:00	01-10-04	17:30	6:00
	4ª	LIS.04739	N.Pereira	sexta-feira, 25-02-2005	10:00	25-02-05	19:15	7:45
	5ª	LIS.05651	N.Pereira	sexta-feira, 8-07-2005	10:00	08-07-05	17:00	6:00
	6ª	LIS.06483	N.Pereira	sexta-feira, 7-10-2005	10:00	07-10-05	18:00	7:00
		LIS.06483	N.Pereira	domingo, 9-10-2005	10:30	09-10-05	12:30	2:00
06/07	1ª	LIS.07400	N.Pereira	sexta-feira, 3-02-2006	10:30	03-02-06	13:00	2:30
							Total	**54:15**

6.4.2 – Mean Time To Repair (MTTR)

No Anexo B encontra-se o "Mapa de Obras de Manutenção Correctiva" fornecido pela Philips. Neste mapa estão registadas as intervenções no equipamento de RMN do HSM ocorridas durante os anos de 2004 e 2005.

Assim, e de acordo com o Anexo B, em 2004 o equipamento tem um registo de 22 falhas ocasionando um tempo de paragem para reparação de 147h58, e em 2005 regista 14 falhas com 56h10 de paragem. Seguidamente é feito o cálculo dos MTTRs aplicando a expressão 5.1 mencionada no Capítulo 5.

$$\text{Ano de 2004} \Rightarrow \text{MTTR} = \frac{147\text{h}58}{22} = 6{,}73\,\text{h} \approx 6\text{h}43 \qquad (6.3)$$

$$\text{Ano de 2005} \Rightarrow \text{MTTR} = \frac{56\text{h}10}{14} = 4{,}01\,\text{h} \approx 4\text{h} \qquad (6.4)$$

O MTTR referente ao ano de 2004 é consideravelmente superior ao do ano de 2005 devido ao tempo de reparação de 100h13 registado na Obra nº LIS.02624 de 31 de Março de 2004. Este elevado tempo de reparação foi ocasionado pela avaria e consequente substituição de

uma das bobines de gradiente que estão instaladas aos pares no magneto, existindo um par por cada um dos eixos X, Y e Z. Estas têm como função a criação de gradientes de campo magnético para codificação espacial do sinal de RF. De acordo com a Philips, a avaria deveu-se à falha do isolamento entre espiras da bobine de gradiente, e o elevado tempo de reparação deve-se à difícil substituição das bobines pois requer a desmontagem da blindagem do magneto onde estas estão instaladas. Ainda, e de acordo com a Philips, à escala global e num parque superior a 1000 equipamentos de RMN, durante os anos de 2004 e 2005 este modo de avaria apenas foi registado três vezes: uma em Março/2004 no HSM, outra em Abril/2005 no Hospital Shanghai Renji (Xangai, China) e uma terceira em Maio/2005 no Hospital Universitário de Fukuoka (Fukuoka, Japão).

Assim, devido a este modo de avaria raro, não é possível tirar conclusões sobre a tendência do MTTR. Agora, não considerando este modo de avaria raro o MTTR seria de 2h10 em 2004 e poder-se-ia concluir que existe uma tendência de crescimento do MTTR, pois em 2005 foi de 4 horas. Em conformidade com esta simulação, será credível propor um MTTR não superior a 4 horas para o ano de 2006, e tentativamente para os dois anos seguintes, período que o equipamento completará doze anos ao serviço do HSM. Este índice também deve utilizado para renegociar o contrato de assistência técnica do equipamento comparando o tempo médio de intervenção registado com o valor predefinido, que neste caso será de quatro horas.

6.4.3 – Percentagem de horas de produção utilizadas na manutenção

Durante o ano de 2004 foram registadas 22 falhas ocasionando 20 paragens com um tempo de intervenção para manutenção correctiva de 147h58, e ainda três paragens com um total de 16h30 para manutenção preventiva, e em 2005 foram registadas 14 falhas originando igual número de paragens num total de 56h10 para manutenção correctiva, e quatro paragens com um total de 22h45 para manutenção preventiva, de acordo com os mapas de obras fornecidos pela Philips e que se encontram nos Anexos B e C. Assim, para 2004 e 2005 o tempo total de paragem devido à manutenção é de 164h28 e de 78h55 respectivamente. Informação consolidada na Tabela 15 a seguir apresentada.

Tabela 15 - Consolidação do tempo de paragem devido à manutenção

\ Anos	2004		2005	
Tipo Manutenção \	Nº Parag.	Horas	Nº Parag.	Horas
Manutenção Correctiva	20	147:58	14	56:10
Manutenção Preventiva	3	16:30	4	22:45
Total	23	164:28	18	78:55

De acordo com o estudo FMECA no Anexo G, a manutenção correctiva efectuada em 2004 cujo efeito da falha não tem consequências imediatas para o sistema foi de 10h50 com o maior número de ocorrências devidas a falhas no "rato", no "leitor de discos ópticos" e no "enchimento do magneto com hélio", informação consolidada na Tabela 16 apresentada no fim desta secção. Não considerando o tempo de reparação de 100h13 registado na Obra nº LIS.02624 de 31 de Março de 2004 por se enquadrar numa situação de excepção explicada na secção anterior, as 10h50 representam aproximadamente 23% da manutenção correctiva de 2004 (ver expressão 6.5), e somando as três intervenções de manutenção preventiva temos que 42,5% do total da manutenção de 2004 (ver expressão 6.6) devia ter sido efectuada no período das 23h às 8h da manhã de modo a aumentar a disponibilidade do equipamento de RMN.

$$\%\,\text{Manutenção Correctiva}_{2004} = \frac{10\text{h}50}{(147\text{h}58 - 100\text{h}13)} = 22{,}7\% \tag{6.5}$$

$$\%\,\text{Manutenção}_{2004} = \frac{(10\text{h}50 + 16\text{h}30)}{(164\text{h}28 - 100\text{h}13)} = 42{,}5\% \tag{6.6}$$

Agora, no ano de 2005 a manutenção correctiva efectuada cujo efeito da falha não tem consequências imediatas para o sistema foi de 19h40 com o maior número de ocorrências devidas a falhas também no "rato", no "leitor de discos ópticos" e no "enchimento do magneto com hélio", conforme se observa na Tabela 16. Assim, as 19h40 representam 35% (ver expressão 6.7) da manutenção correctiva de 2005, e somando as quatro intervenções de manutenção preventiva temos que aproximadamente 54% (ver expressão 6.8) do total da manutenção de 2005 também devia ter sido efectuada no horário de não produção.

$$\%\,\text{Manutenção Correctiva}_{2005} = \frac{19\text{h}40}{56\text{h}10} = 35\% \tag{6.7}$$

$$\%\,\text{Manutenção}_{2005} = \frac{(19\text{h}40 + 22\text{h}45)}{78\text{h}55} = 53{,}8\% \tag{6.8}$$

Assim, as intervenções de manutenção correctiva nos componentes "rato", "leitor de discos ópticos" e "enchimento do magneto com hélio" que estão associadas a falhas sem consequências imediatas para o sistema, de acordo com o estudo FMECA no Anexo G, sempre que ocorrerem devem ser efectuadas no horário de não produção das 23h às 8h da manhã, também aplicável à manutenção preventiva que deve ser planeada para o mesmo horário.

Tabela 16 - Lista Parcial do Mapa de Obras de Manutenção Correctiva

Equipamento RMN Philips Gyroscan NT 0,5T - Lista Parcial do Mapa de Obras de Manutenção Correctiva									
Obra#	Conj.	Sub conj.	Descrição da avaria	Início do trabalho		Fim do trabalho		Intervenção (hrs.)	
				Data	Inic_trab	Data	Fim_trab	2004	2005
LIS.01660	A	761-AA	Compressor não arranca.	14-01-04	17:30	14-01-04	17:45	0:15	
LIS.02354	A	761-AA	Compressor do hélio não liga.	01-03-04	15:30	01-03-04	16:00	0:30	
LIS.05579	A	761-AA	Compressor do hélio desligado.	16-05-05	15:00	17-05-05	14:30		7:30
LIS.02080	B	777-BHG	Não comunica com a "Easy Vision".	16-01-04	12:10	16-01-04	12:45	0:35	
LIS.02151	B	775-BM	Monitor verde.	08-03-04	9:00	08-03-04	11:00	2:00	
LIS.02705	B	777-BHG	Substituição do rato.	19-04-04	11:40	19-04-04	11:55	0:15	
LIS.03036	B	775-BEO	Problemas com o disco óptico.	16-06-04	16:15	16-06-04	17:00	0:45	
LIS.03036A	B	777-BHG	Problemas com o rato do computador.	16-06-04	15:00	16-06-04	15:30	0:30	
LIS.03036B	B	775-BEG	Problemas com ventiladores da consola.	16-06-04	15:30	16-06-04	16:15	0:45	
LIS.04401	B	777-BHG	Problemas com o rato.	06-12-04	16:15	06-12-04	17:00	0:45	
LIS.05284	B	775-BEO	Problemas com o leitor de discos ópticos.	05-04-05	13:30	05-04-05	18:10		4:40
LIS.06004	B	777-BHG	Problemas com o rato.	12-07-05	11:30	12-07-05	12:00		0:30
LIS.06893	B	775-BEO	Disco óptico avariado.	16-11-05	16:00	16-11-05	16:30		0:30
LIS.03168	M	760-MA	Enchimento de hélio.	17-06-04	9:00	17-06-04	11:00	2:00	
LIS.03277	M	760-MA	Fornecimento de hélio.	01-07-04	10:00	01-07-04	12:00	2:00	
LIS.03830	M	760-MB	Substituir baterias no "Magn. P. Supply".	16-09-04	19:00	16-09-04	19:30	0:30	
LIS.04429	M	760-MA	Enchimento de hélio.	21-01-05	11:00	21-01-05	12:30		1:30
LIS.05104	M	760-MA	Enchimento de hélio.	11-03-05	9:00	11-03-05	11:00		2:00
LIS.06002	M	760-MA	Enchimento de hélio.	12-07-05	10:00	12-07-05	12:00		2:00
LIS.06815	M	760-MA	Enchimento de hélio.	03-11-05	19:00	03-11-05	20:00		1:00
							Totais	**10:50**	**19:40**

6.4.4 – Disponibilidade do equipamento

Actualmente o equipamento de RMN tem uma capacidade teórica de 16 exames/dia para uma utilização de 12 horas diárias em dois turnos de 6h + 6h, sendo possível realizar 4000 exames por ano, isto para 250 dias de produção considerado padrão na área da saúde.

Para este tipo de exames é possível considerar as 23h como limite para atendimento dos doentes, assim para o cálculo do "Tempo Total" mencionado na fórmula 5.2 do capítulo cinco são consideradas 15 horas (8h-23h) de produção diária para os 250 dias de trabalho. Ainda na mesma fórmula, para o cálculo do "Tempo Não Disponível" apenas é considerado o tempo de manutenção correctiva e preventiva mencionado na Tabela 15 da secção anterior, não sendo considerado outros tempos de paragem associados a ineficiências do processo. De acordo com as fórmulas 6.9 e 6.10 a seguir apresentadas, a disponibilidade do equipamento devido unicamente a razões de manutenção é de 95,6% e 97,9% para 2004 e 2005 respectivamente.

$$\%\,\text{Disponibilidade}_{2004} = \left(\frac{(15\text{h} \times 250) - 164\text{h}28}{(15\text{h} \times 250)} \right) = 95{,}6\% \qquad (6.9)$$

$$\%\,\text{Disponibilidade}_{2005} = \left(\frac{(15\text{h} \times 250) - 78\text{h}55}{(15\text{h} \times 250)} \right) = 97{,}9\% \qquad (6.10)$$

Considerando que o equipamento pode funcionar 365 dias por ano, e de acordo com as fórmulas 6.11 e 6.12, a disponibilidade aumenta para valores de 97% e 98,6% nos anos de 2004 e 2005 respectivamente. De notar que a estratégia delineada assenta numa disponibilidade mínima do equipamento de 85% ficando este valor desde já validado.

$$365\text{d} \Rightarrow \%\,\text{Disponibilidade}_{2004} = \left(\frac{(15\text{h} \times 365) - 164\text{h}28}{(15\text{h} \times 365)} \right) = 97{,}0\% \qquad (6.11)$$

$$365\text{d} \Rightarrow \%\,\text{Disponibilidade}_{2005} = \left(\frac{(15\text{h} \times 365) - 78\text{h}55}{(15\text{h} \times 365)} \right) = 98{,}6\% \qquad (6.12)$$

6.4.5 – Custo de manutenção preventiva por exame

De acordo com a informação fornecida pelo Serviço de Instalações e Equipamentos do HSM, foi construída a Tabela 17 a seguir apresentada que relaciona o valor anual do

contrato de assistência técnica do equipamento RMN com o número de exames efectuados no ano em questão, e na qual é possível constatar uma diminuição do custo unitário da manutenção por exame RMN efectuado, em conformidade com o aumento de produção registada. A evolução pode ser observada num formato mais visual através do Gráfico 2.

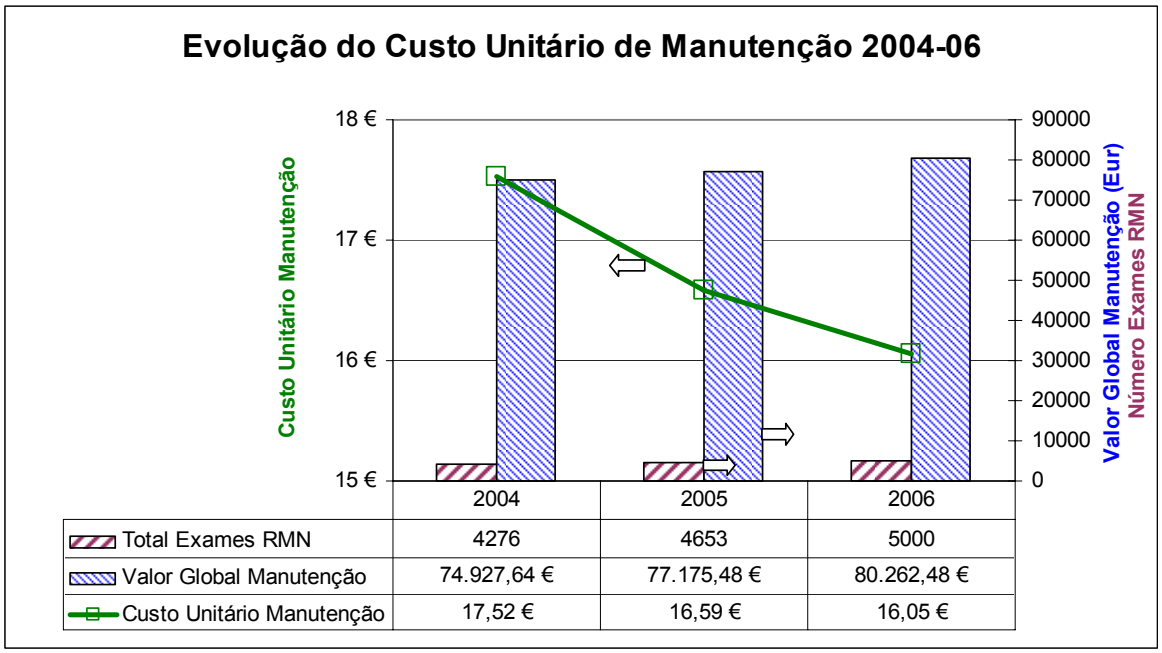
Tabela 17 - Relação entre Contrato Assistência Técnica e Exames RMN efectuados

HSM: Equipamento RMN Philips Gyroscan NT 0,5T						
Ano	**Exames RMN Total Ano**	**Var.***	**Contrato Assistência Técnica (sem IVA)**	**Var.***	**Custo Unitário Manutenção por Exame**	**Var.***
2003	n.d.	- - -	72.745,32 €	- - -	n.d.	- - -
2004	**4276**	**- - -**	**74.927,64 €**	**3,0%**	**17,52 €**	**- - -**
2005	**4653**	**8,8%**	**77.175,48 €**	**3,0%**	**16,59 €**	**-5,3%**
2006	5000	7,5%	80.262,48 €	4,0%	16,05 €	-3,2%

(*) Variação relativa ao ano anterior n.d. - não disponível

Nota: Total Ano 2006 de Exames RMN foi estimado.

Gráfico 2 - Evolução do Custo Unitário de Manutenção para 2004-06



Agora, considerando uma produção de 6000 exames RMN e, à semelhança do que aconteceu para 2006, um aumento de 4% no contrato de assistência técnica para 2007,

obtém-se um custo unitário da manutenção por exame de 13,91 Euro (ver expressão 6.13), isto é, uma redução de 13,3% (ver expressão 6.14) para 2007 relativo ao ano de 2006.

$$\text{Custo Unitário Manutenção} = \frac{\left(80.262{,}48\ \text{Euro} + 4\%\right)}{6000\ \text{exames}} = 13{,}91\ \text{Euro/exame} \quad (6.13)$$

$$\text{Redução \% Custo Unit. Manut. por exame} = \left(\frac{16{,}05 - 13{,}91\ \text{Euro}}{16{,}05\ \text{Euro}}\right) \times 100 = 13{,}3\ \% \quad (6.14)$$

6.4.6 – Índice de Utilização

Sabendo que o equipamento de RMN tem uma capacidade de 4000 exames/ano para um horário de 12h/dia e para 250 dias de produção anual, de acordo com a expressão 6.1, é possível concluir que o equipamento tem um índice de utilização superior a 100%, pois o número de exames efectuado foi sempre superior à capacidade teórica do Serviço de Imagiologia conforme mostra a Tabela 12 da secção 6.2. De notar que para este cálculo não foram considerados quaisquer tipo de ineficiências do processo ou paragens do equipamento para manutenção.

Agora, a diferença entre os exames efectuados e a capacidade teórica deve-se ao prolongamento quase diário do horário de produção até às 23h sendo então válido que o mesmo seja adoptado para horário padrão do serviço, que também deve produzir durante o período do fim-de-semana no horário das 8h às 23h suportado pela equipa do Serviço de Urgência. O Gráfico 3 a seguir apresentado dá uma percepção visual da oportunidade de melhoria em termos de horário de utilização do equipamento de RMN mostrando os períodos de utilização e disponibilidade actual e o período nocturno para uma semana de sete dias.

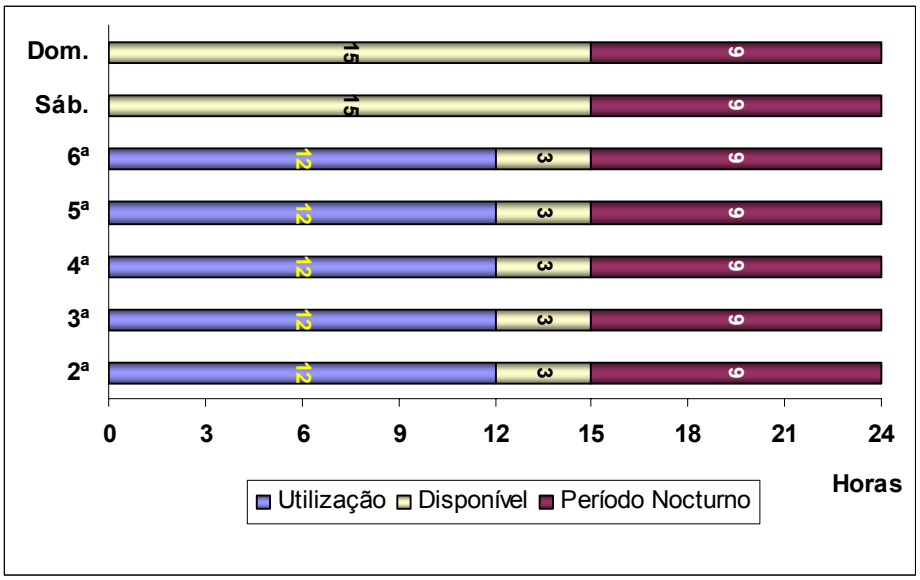
Considerando então um horário de 15h/dia e para 365 dias de produção anual é possível realizar 7300 exames/ano (ver expressão 6.2) e quase duplica a capacidade do Serviço de Imagiologia em realizar exames RMN. Assumindo uma disponibilidade de 85% é requerido uma utilização do equipamento superior a 97% para garantir a execução dos 6000 exames pretendidos, de acordo com a expressão 6.15 a seguir apresentada. Agora,

considerando uma disponibilidade de 95% no seguimento do cálculo efectuado numa das secções anteriores, é possível com um índice de utilização de 0,87 satisfazer o número de exames requerido, de acordo com a expressão 6.16.

$$7300 \text{ exames/ano} \times 0{,}85 \times 0{,}97 \geq 6000 \text{ exames/ano} \qquad (6.15)$$

$$7300 \text{ exames/ano} \times 0{,}95 \times 0{,}87 \geq 6000 \text{ exames/ano} \qquad (6.16)$$

Gráfico 3 - Utilização e Disponibilidade do Equipamento de RMN



6.5 – MSC

As Figuras 40 e 41 mostram o processo do MSC documentado ao Nível de Gestão Executivo e ao Nível Estratégico na sua fase inicial de criação, servindo para mostrar o processo de decisão que está por detrás da escolha dos indicadores, e da estratégia associada à gestão dos activos funcionais que são requeridos para cumprir com as metas e atingir os objectivos. O MSC é documentado em termos de temas estratégicos, conforme o processo evolui, neste caso é apresentado o tema estratégico da rendibilidade na sua perspectiva e na perspectiva do desempenho. Ainda, a documentação apresenta os indicadores por níveis com as respectivas iniciativas e metas definidas, de modo a atingir os objectivos pretendidos.

Finalmente, esta documentação serve dois propósitos fundamentais. Primeiramente é para registar a métrica de modo a possibilitar o entendimento da estratégia da organização taravés da leitura das iniciativas do MSC. Também é utilizado para registar qualquer alteração e/ou evolução do MSC de modo a mantê-lo actualizado. De notar que este processo foi concebido de forma a minimizar a quantidade de documentação a utilizar, e permitir um fácil entendimento da estratégia exposta no documento.

Tema estratégico	**Melhoria da RENDIBILIDADE**	Data de criação	**Outubro-2006**

Perspectiva da Produtividade

Como pode a gestão dos activos contribuir para a capacidade de produzir mais com os mesmos recursos?

Nível de Gestão Executivo						**Nível Estratégico**					
	Objectivos		**Indicadores**		**Metas**		**Qualificações Capacidades e Aptidões**		**Indicadores**		**Metas**
1	Maximizar a utilização do equipamento de RMN	A	Índice de Utilização	A	Utilização mínima de **87%** para garantir a execução de 6000 exames de RMN	1	Serviço de Engenharia de suporte à manutenção de equipamentos	A	Número de tarefas preventivas não terminadas	A	**Zero tarefas** por cada ciclo bienal.
								B	MTTR (Mean Time To Repair)	A	**4h**

Figura 40 - MSC da Perspectiva da Produtividade

Tema estratégico	**Melhoria da RENDIBILIDADE**	Data de criação	**Outubro-2006**

Perspectiva da Rendibilidade

Como podemos nós continuar a reduzir os custos por unidade do esforço da gestão dos activos?

Nível de Gestão Executivo						**Nível Estratégico**					
	Objectivos		**Indicadores**		**Metas**		**Qualificações Capacidades e Aptidões**		**Indicadores**		**Metas**
1	Diminuição do Custo Unitário de exame de RMN	A	Custo Unitário de exame de RMN devido à manutenção preventiva	A	máximo de **13,91 Euro** por exame realizado	1	Serviço de Engenharia de suporte ao planeamento da manutenção	A	% de horas produtivas utilizadas na manutenção	A	reduzir de **30% a 40%** a manutenção efectuada no período das 8h às 23h
								B	% Disponibilidade		mínimo: **85%** tentativo: 95% para 365 dias de produção no período das 8h às 23h

Figura 41 - MSC da Perspectiva da Rendibilidade

Capítulo 7 CONCLUSÕES

O Maintenance Scorecard (MSC) apresenta uma nova abordagem ao desenvolvimento de estratégias assentes na medição utilizando indicadores de desempenho. Assim, em vez de construir um programa de medida à volta do que a manutenção faz, o MSC propõe que o programa seja desenvolvido à volta de como a manutenção pode contribuir para a maximizar os rendimentos dos activos a longo prazo.

Para a metodologia desenvolvida assente no MSC, foram escolhidos indicadores de desempenho de modo a criar uma estratégia e conduzi-la com o objectivo de eliminar filas de espera na execução de exames de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) e portanto dotar o Hospital de Santa Maria (HSM) com a capacidade requerida no Serviço de Imagiologia.

Os indicadores foram aplicados ao Nível Executivo de Gestão e ao Nível Estratégico do MSC com maior eficácia pela utilização das ferramentas de análise FMECA e HAZOP, esta última aplicada também à lista de "obras de manutenção correctiva" fornecida pela Philips Portuguesa e permitiu concluir que o plano de manutenção preventiva proposto e executado pelo construtor é adequado à utilização que é feita da máquina RMN Philips Gyroscan T5-NT instalada no HSM em 1996.

Finalmente, o MSC desenvolvido na perspectiva da produtividade e da rendibilidade, e proposto na última secção do Capítulo 6, mostra a possibilidade de melhoria da situação actual ao nível do desempenho e dos custos de manutenção, e ainda a possibilidade de se conseguir a capacidade requerida na execução de exames. Também, permite identificar as limitações do equipamento actual e como tal planear a aquisição de uma outra máquina com o tempo necessário para reunir os recursos humanos e financeiros requeridos para tal empreendimento, sendo também esta uma mais-valia do MSC, i.e., a convergência entre a gestão de activos físicos e a gestão de activos financeiros, e de importância maior neste caso pelo facto do Serviço Nacional de Saúde ser financiado por dinheiros públicos.

TRABALHOS FUTUROS

Está em curso desde o final de 2006 a instalação de um software do tipo CMMS no HSM, neste caso particular, o software Maximo a ser implementado pelos consultores da Allegro Systems. Este programa vai permitir a colecta de dados sobre as tarefas e tempos de reparação por equipamento, e consequente identificação de todo equipamento hospitalar instalado permitindo adequar os recursos às reais necessidades eliminando o desperdício.

Assim, para trabalhos futuros e com a informação a disponibilizar pelo Maximo, é proposto aplicar o MSC ao hospital de uma forma transversal à organização, noutras perspectivas como a da Qualidade, a Ambiental, e a da Segurança e assim promover a convergência entre a gestão de activos físicos e financeiros, com óbvio ganho para os utentes da instituição. Com o detalhe da informação disponível no futuro ao Nível Funcional do MSC será possível criar ligações directas entre os objectivos do Nível de Gestão Executivo e as actividades do dia-a-dia, i.e., com as qualificações, as aptidões e capacidades que são necessárias desenvolver para atingir os resultados pretendidos.

Referências Bibliográficas

ASSIS, Rui – **Apoio à Decisão em Gestão da Manutenção: Fiabilidade e Manutenibilidade.** Lisboa: LIDEL-Edições Técnicas, 2004. ISBN 972-757-298-7.

FERREIRA, Luís Andrade – **Uma Introdução à Manutenção.** Porto: Publindústria Edições Técnicas, 1998. ISBN 972-95794-4-X.

MATHER, Daryl – **The Maintenance Scorecard: Creating Strategic Advantage.** New York: Industrial Press, 2005. ISBN 0-8311-3181-0.

MONCHY, François – (1989) **Função Manutenção: Formação Para a Gerência da Manutenção Industrial.** São Paulo: Edições Durban/Ebras, 1989.

PEREIRA, Nuno Ricardo T. – Aplicações Clínicas em Imagem por Ressonância Magnética. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2000. Projecto e Estágio em Engenharia Física.

SHERWIN, David – A review of overall models for maintenance management. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 6, n.º 3 (2000), p. 138-164.

Bibliografia

ABÁSOLO, Antonio Fernández – New Measure of Hospital Maintenance; Balanced Scorecard. Journal of Health Management. Vol. 8, n.º 1 (2006), p. 139-143.

ALSYOUF, Imad – Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 12, n.º 2 (2006), p. 133-149.

ARAGAKI, Wagner K. ; SCARPI, Marinho J. ; LINZMAYER, Eduardo – Metodologia para implantação de programa de manutenção de um aparelho de facoemulsificação. Arq Bras Oftalmol 2004;67:259-65.

Def Stan 00-58. Issue 2 (19-May-2000), HAZOP Studies on Systems Containing Programmable Electronics Part 2: General Application Guidance. Glasgow: Defence Procurement Agency.

HORNAK, Joseph P. – The Basics of MRI. Henrietta, New York, Interactive Learning Software/ www.cis.rit.edu/htbooks/mri/, Fevereiro 2007.

KAPLAN, Robert S. and NORTON, David P. – The Balanced Scorecard – Measures that Drive Performance. Harvard Business Review. January-February 1992, p. 92-100.

MIL-STD-1629A. 1980, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Washington DC: Engineering Specifications and Standards Department.

PHILIPS Medical Systems, Principles of MR Imaging. The Netherlands.

Anexo A – Diagramas do equipamento de RMN

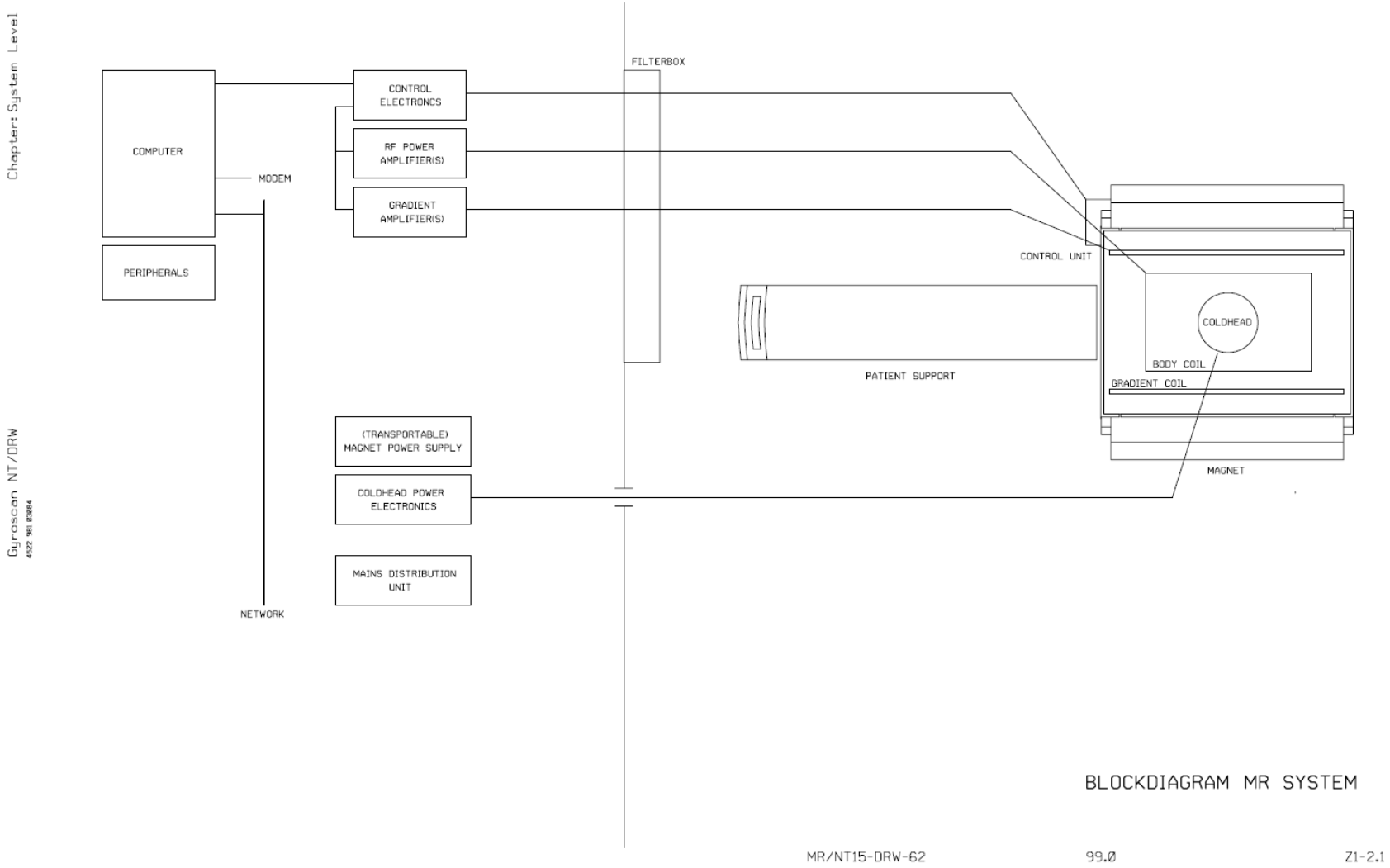


Figura 42 - Diagrama de implantação

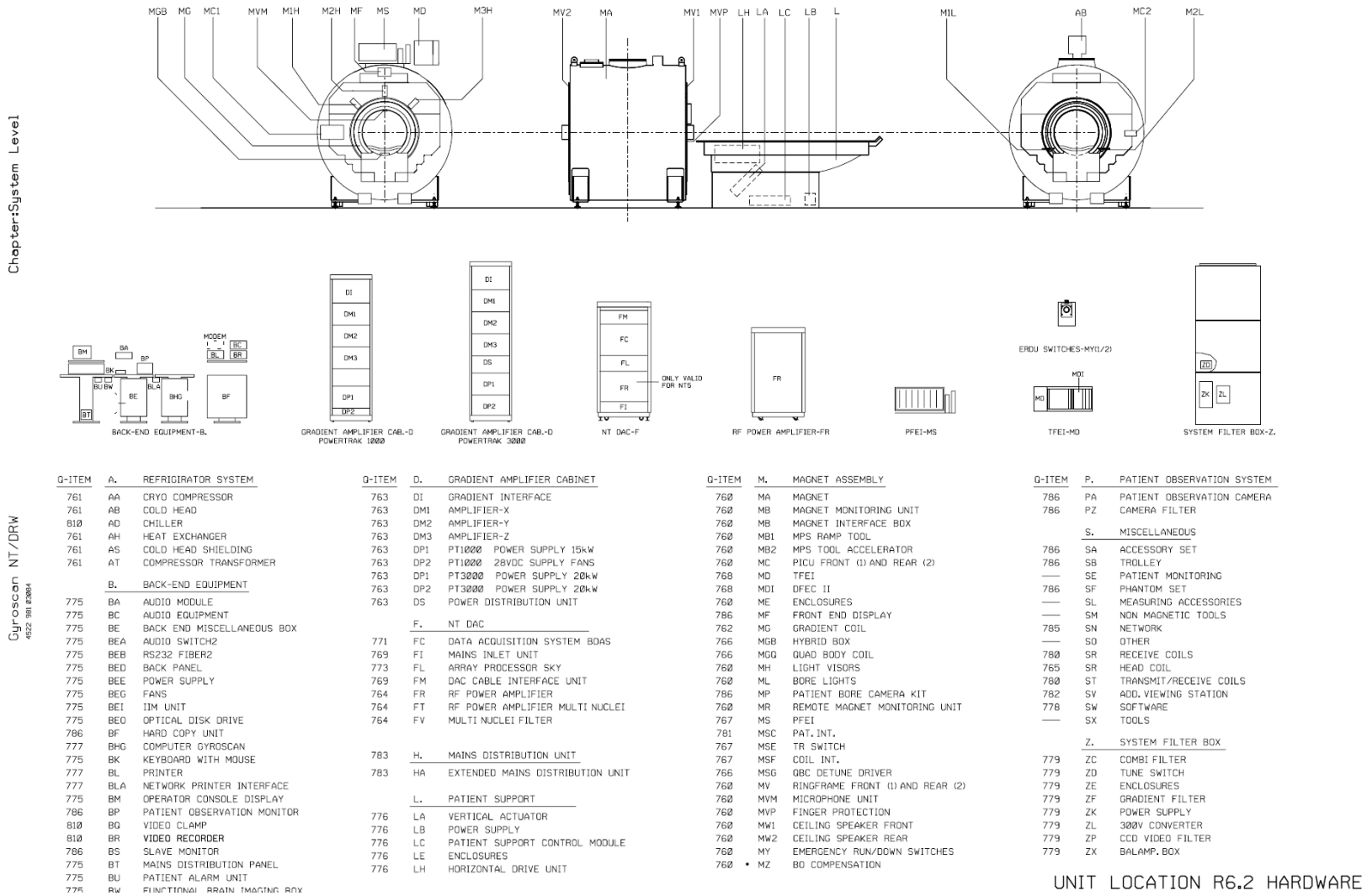


Figura 43 - Diagrama dos Conjuntos

ANEXO B – Mapa de obras de Manutenção Correctiva

Mapa de Obras de Manutenção Correctiva

Philips Portuguesa S.A.

Obra#	Conj.	Sub conj.	Descrição da avaria	Chamada		Material			Inicio do trabalho			Fim do trabalho			Intervenção (hrs.)		Fecho Obra	Ti
				Data	Hora	Número	Descrição	Preço	Data	Inic_viag	Inic_trab	Data	Fim_trab	Fim_viag	2004	2005		(dias)
LIS.01660	A	761-AA	Compressor não arranca.	12-01-2004	16:00				14-01-2004	17:00	17:30	14-01-2004	17:45	18:15	0:15		19-01-2004	**101**
LIS.02354	A	761-AA	Compressor do hélio não liga.	01-03-2004	8:00				01-03-2004	15:00	15:30	01-03-2004	16:00	16:30	0:30		05-03-2004	**150**
LIS.05579	A	761-AA	Compressor do hélio desligado.	16-05-2005	14:23				16-05-2005	14:30	15:00	17-05-2005	14:30	15:00		7:30	20-05-2005	**591**
LIS.06626	A	761-AB	Consumo excessivo de hélio.	10-10-2005	15:36	452215011821	COLD HEAD SC.8C (NT)	17.186,88 €	13-10-2005	18:30	19:00	14-10-2005	2:00	02:30		12:00	20-11-2005	**738**
LIS.06626	A	761-AB				452213074033	ABSORVER	60,00 €										**0**
LIS.02080	B	777-BHG	Não comunica com a "Easy Vision".	16-01-2004	8:00				16-01-2004	11:50	12:10	16-01-2004	12:45	13:10	0:35		26-01-2004	**105**
LIS.02151	B	775-BM	Monitor verde.	28-01-2004	12:00	452213187781	VIDEO CABLE	925,21 €	08-03-2004	n.d.	9:00	08-03-2004	11:00	n.d.	2:00		12-03-2004	**117**
LIS.02705	B	777-BHG	Substituição do rato.	14-04-2004	12:17	452213137301	MOUSE 3 BUTTON	217,16 €	19-04-2004	11:20	11:40	19-04-2004	11:55	12:15	0:15		19-04-2004	**194**
LIS.03036	B	775-BEO	Problemas com o disco óptico.	29-05-2004	16:08	452209003381	OPTICAL DISK DRIVE 2.6GB	4.656,62 €	16-06-2004	n.d.	16:15	16-06-2004	17:00	17:30	0:45		18-06-2004	**239**
LIS.03036A	B	777-BHG	Problemas com o rato do computador.	28-05-2004	16:08	452213137301	MOUSE 3 BUTTON	217,16 €	16-06-2004	15:00	15:00	16-06-2004	15:30	15:30	0:30		18-06-2004	**238**
LIS.03036B	B	775-BEG	Problemas com ventiladores da consola.	28-05-2004	16:08	282203101235	VENTILADOR	70,27 €	16-06-2004	15:00	15:30	16-06-2004	16:15	n.d.	0:45		18-06-2004	**238**
LIS.04401	B	777-BHG	Problemas com o rato.	03-12-2004	15:13	452213137301	MOUSE 3 BUTTON	217,16 €	06-12-2004	15:45	16:15	06-12-2004	17:00	17:00	0:45		10-12-2004	**427**
LIS.05284	B	775-BEO	Problemas com o leitor de discos ópticos.	05-04-2005	11:47				05-04-2005	13:00	13:30	05-04-2005	18:10	18:40		4:40	19-04-2005	**550**
LIS.06004	B	777-BHG	Problemas com o rato.	11-07-2005	16:00	452213137301	MOUSE 3 BUTTON	217,16 €	12-07-2005	11:00	11:30	12-07-2005	12:00	12:00		0:30	11-08-2005	**647**
LIS.06618	B	777-BHG	Problemas com o disco de dados.	10-10-2005	8:00				10-10-2005	09:30	10:30	10-10-2005	12:45	13:15		2:15	21-10-2005	**738**
LIS.06893	B	775-BEO	Disco óptico avariado.	14-11-2005	16:06	452209003381	OPTICAL DISK DRIVE 2.6GB	4.656,62 €	16-11-2005	16:00	16:00	16-11-2005	16:30	17:00		0:30	20-11-2005	**773**
LIS.04006	D	763-DM1	Problemas nos gradientes.	11-10-2004	8:00	452215013411	POWER MODULE 75 ARMS	3.867,78 €	12-10-2004	12:00	12:30	12-10-2004	14:30	14:30	2:00		18-11-2004	**374**
LIS.02025	F	769-FI	Problemas na fonte de alimentação.	06-01-2004	8:00	271217100117	FILTER FEEDTHROUGH	192,70 €	08-01-2004	10:00	10:15	09-01-2004	14:25	14:25	17:55		26-02-2004	**95**
LIS.02025	F	769-FI				941501920002	POWER SUPPLY (5V-20A)	701,86 €										**0**
LIS.02025	F	769-FI				282203101235	VENTILADOR	70,27 €										**0**
LIS.02244	F	764-FR	Sistema bloqueia com algumas sequências.	07-02-2004	8:00				07-02-2004	10:00	10:30	07-02-2004	12:30	13:00	2:00		12-02-2004	**127**
LIS.02371	F	764-FR	Os "turbos spinecos" só vão até aos 20%.	02-03-2004	8:00				02-03-2004	10:00	10:30	02-03-2004	11:30	12:00	1:00		19-03-2004	**151**
LIS.06004A	F	764-FR	Problemas de radiofrequência.	11-07-2005	16:00				12-07-2005	n.d.	12:00	14-07-2005	17:00	17:30		5:00	11-08-2005	**647**
LIS.02624	M	762-MG	Não dá imagem.	31-03-2004	18:04	452213159602	GRADIENTCOIL NTX	15.798,18 €	31-03-2004	19:15	19:30	12-04-2004	12:00	12:30	100:13		30-04-2004	**180**
LIS.02744	M	760-MC	Controle de respiração partido.	20-04-2004	8:00				21-04-2004	09:30	10:30	14-05-2004	16:00	16:00	3:30		20-05-2004	**200**
LIS.03168	M	760-MA	Enchimento de hélio.	16-06-2004	18:33	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		17-06-2004	n.d.	9:00	17-06-2004	11:00	n.d.	2:00		22-06-2004	**257**
LIS.03277	M	760-MA	Fornecimento de hélio.	30-06-2004	17:42	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		01-07-2004	n.d.	10:00	01-07-2004	12:00	n.d.	2:00		06-07-2004	**271**
LIS.03561	M	781-MSC	Problemas com controlo respiratório .	05-08-2004	9:00				05-08-2004	09:30	10:00	05-08-2004	10:30	10:30	0:30		15-08-2004	**307**
LIS.03752	M	781-MSC	Sensor respiratório avariou.	02-09-2004	8:00				02-09-2004	10:30	11:00	02-09-2004	12:30	13:00	1:30		24-09-2004	**335**
LIS.03830	M	760-MB	Substituir baterias no "Magneto power supply".	15-09-2004	18:20	452215014251	ERDU BATTERY (CONJ. 6)	111,30 €	16-09-2004	18:31	19:00	16-09-2004	19:30	20:00	0:30		23-09-2004	**348**
LIS.04429	M	760-MA	Enchimento de hélio.	07-12-2004	15:35	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		21-01-2005	n.d.	11:00	21-01-2005	12:30	n.d.		1:30	21-01-2005	**431**
LIS.04557	M	760-MVP	Problema c/ o sensor de protecção de dedos.	27-12-2004	8:00	452213057985	SWITCH PLATE FRONT	880,81 €	25-02-2005	08:30	08:30	25-02-2005	9:00	09:00		0:30	09-03-2005	**451**
LIS.04557	M	760-MVP				452213163531	QBC DUST STRIPS (NO FOAM)	306,68 €										**0**
LIS.05104	M	760-MA	Enchimento de hélio.	10-03-2005	13:54	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		11-03-2005	00:00	9:00	11-03-2005	11:00	n.d.		2:00	11-03-2005	**524**
LIS.06002	M	760-MA	Enchimento de hélio.	11-07-2005	18:00	330	HELIO LIQ. RESSONANCIA DEWAR		12-07-2005	00:00	10:00	12-07-2005	12:00	n.d.		2:00	14-07-2005	**647**
LIS.06241	M	781-MSC	"Respiratory hose" danificado.	22-08-2005	11:12	452211747703	RESP INT CARD	1.525,92 €	22-08-2005	16:30	17:00	24-08-2005	14:30	15:00		1:30	20-09-2005	**689**
LIS.06815	M	760-MA	Enchimento de hélio.	03-11-2005	18:29				03-11-2005	19:00	19:00	03-11-2005	20:00	20:00		1:00	03-11-2005	**762**
LIS.01142	S	780-SR	Bobine da coluna lombar desligada.	09-01-2004	14:51	452213156511	QTL CONNECTION CABLE	109,44 €	12-01-2004	10:30	11:00	12-01-2004	18:30	19:00	7:30		03-02-2004	**98**
LIS.02282	S	765-SR	Cabo da antena de crânio avariado.	15-02-2004	9:01	452213029887	CABLE ASSY QHC (T5NT5-NT)	783,09 €	17-02-2004	11:00	11:30	17-02-2004	12:30	12:30	1:00		20-02-2004	**135**
LIS.06017	S	780-SR	Problemas com a antena QTL.	14-07-2005	15:37	452213156511	QTL CONNECTION CABLE	693,60 €	03-08-2005	10:30	11:00	09-08-2005	13:15	13:45		10:45	20-10-2005	**650**
LIS.06017	S	780-SR				452211757351	SUPPLY CARD 300V	1.420,38 €										**0**
LIS.06757	S	780-SR	Antena de crânio não dá sinal.	26-10-2005	18:07	452213029887	CABLE ASSY QHC (T5NT5-NT)	783,09 €	31-10-2005	15:00	15:15	07-11-2005	15:00	15:30		4:30	06-12-2005	**754**
														Totais	**147:58**	**56:10**		

Fonte: Philips Portuguesa S.A., Divisão de Sistemas Médicos

Início de contagem dos tempos	**3-Out-03**
Fim da contagem tempos	**31-Dez-05**
	820

Figura 44 - Mapa de obras de Manutenção Correctiva

ANEXO C – Mapa de obras de Manutenção Preventiva

Mapa de Obras de Manutenção Preventiva

Philips Portuguesa S.A.

Obra#	Folha de trabalho	Técnico	Inicio do trabalho			Fim do trabalho			Tempo de intervenção			
			Data	Inic_viag	Inic_trab	Data	Fim_trab	Fim_viag	Breaks	Trab	total 2004	total 2005
LIS.01259	2556	N.Pereira	sexta-feira, 3-10-2003	10:30	11:00	3-10-2003	18:30	18:30	1:00	6:30	n.a.	n.a.
LIS.01259	2556	N.Pereira	sexta-feira, 3-10-2003	18:30	18:30	3-10-2003	20:00	20:30	0:00	1:30	n.a.	n.a.
LIS.01259	2556	M.Castela	sexta-feira, 3-10-2003	11:00	11:30	3-10-2003	17:00	17:00	1:00	4:30	n.a.	n.a.
LIS.02124	086A26	N.Pereira	sexta-feira, 6-02-2004	9:00	9:30	6-02-2004	15:00	16:30	0:00	5:30	5:30	
LIS.02941	086A4H	N.Pereira	sexta-feira, 28-05-2004	11:00	11:30	28-05-2004	18:00	18:30	1:30	5:00	6:30	
LIS.03841	086A6D	N.Pereira	sexta-feira, 1-10-2004	9:30	10:00	1-10-2004	17:30	18:00	1:30	6:00	7:30	
LIS.04739	086A91	N.Pereira	sexta-feira, 25-02-2005	9:30	10:00	25-02-2005	18:30	18:30	1:30	7:00		8:30
LIS.04739	086A91	N.Pereira	sexta-feira, 25-02-2005	18:30	18:30	25-02-2005	19:15	19:45	0:00	0:45		0:45
LIS.05651	086ABA	N.Pereira	sexta-feira, 8-07-2005	9:30	10:00	8-07-2005	17:00	17:30	1:00	6:00		7:00
LIS.06483	086AC	N.Pereira	sexta-feira, 7-10-2005	9:30	10:00	7-10-2005	18:00	18:30	1:00	7:00		8:00
LIS.06483	086AC	N.Pereira	domingo, 9-10-2005	10:00	10:30	9-10-2005	12:30	13:00	0:00	2:00		2:00
LIS.07400	086AEU	N.Pereira	sexta-feira, 3-02-2006	10:00	10:30	3-02-2006	13:00	14:30	0:00	2:30	n.a.	n.a.
								Totais	**8:30**	**54:15**	**19:30**	**26:15**

Fonte: Philips Portuguesa S.A., Divisão de Sistemas Médicos

n.a. - não aplicável

Figura 45 - Mapa de obras de Manutenção Preventiva

ANEXO D – Inquéritos de caracterização das falhas

LIS.01142

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Antena de coluna torácica / lombar				
Identificação do subconjunto		780 - SR				
Identificação do conjunto		S - Diversos				
Função		Recepção do sinal de RF após excitação dos protões de hidrogénio para execução de exames de coluna torácica / lombar				
Modo de falha 1		Bobine da coluna lombar desligada				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Cabo de ligação danificado				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Não funcionamento da antena de coluna torácica / lombar				
	Para o conjunto	Falha na recepção do sinal				
	Para o sistema	Impossibilidade de execução de exames de coluna torácica / lombar				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	0,30	Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3	X	X	X
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			X
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do cabo de ligação da antena.				
	Modo de falha 2					

LIS.01660

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Compressor de Hélio				
Identificação do subconjunto		761 - AA				
Identificação do conjunto		A - Sistema de refrigeração				
Função		Diminuir o nível de evaporação de hélio líquido				
Modo de falha 1		Compressor não arranca				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Protecção eléctrica do compressor desliga quando existem picos de corrente				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total na recuperação de hélio				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	0,20	Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal>falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal>falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Ligação da protecção eléctrica do compressor.				
	Modo de falha 2					

LIS.02025

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Fonte de alimentação				
Identificação do subconjunto		769 - FI				
Identificação do conjunto		F - Bastidor de aquisição de dados				
Função		Alimentação eléctrica do bastidor F				
Modo de falha 1		Fonte queimada				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Avaria da unidade de ventilação - Motor queimado e filtro colmatado				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Inoperacionalidade da fonte de alimentação				
	Para o conjunto	Inoperacionalidade do bastidor de aquisição de dados				
	Para o sistema	Falha Total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	X	X	X
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3	X	X	X
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da fonte de alimentação, de um dos cinco ventiladores e do filtro.				
	Modo de falha 2					

LIS.02080

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Software				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B - Consola de sistema de informação				
Função		Comunicação com estações de trabalho exteriores				
Modo de falha 1		Falha de comunicação com estações de trabalho externas				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Configuração incorrecta do sistema				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Parcial				
	Para o conjunto	Parcial				
	Para o sistema	Sem consequências				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,15	Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	0,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			X
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Reconfiguração do endereço do IP				
	Modo de falha 2					

LIS.02151

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Cabo de vídeo				
Identificação do subconjunto		775 - BM				
Identificação do conjunto		B - Consola de sistema de informação				
Função		Transferência de imagens do computador para o monitor				
Modo de falha 1		Mau contacto na ficha terminal do cabo				
Modo de falha 2		Cabo trilhado				
Causas da falha 1		Envelhecimento				
Causas da falha 2		Cortado por acção mecânica				
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Monitor verde				
	Para o conjunto	Sem consequências				
	Para o sistema	Sem consequências				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto	Monitor verde				
	Para o conjunto	Sem consequências				
	Para o sistema	Sem consequências				
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,20	Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			0,7		
	Modo de falha 2			0,3		
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X		
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X		
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do cabo				
	Modo de falha 2	Substituição do cabo				

LIS.02244

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo de amplificação do sinal de RF				
Identificação do subconjunto		764 - FR				
Identificação do conjunto		F - Bastidor de aquisição de dados				
Função		Criação de RF para excitação dos protões de hidrogénio				
Modo de falha 1		Interrupção de exames a meio da sequência (devido à interrupção da cadeia de RF)				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Envelhecimento dos tubos de amplificação (implica o reajuste do ganho)				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria no amplificador de RF				
	Para o conjunto	Inoperacionalidade do bastidor de aquisição de dados				
	Para o sistema	Falha total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	X	X	X
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3	X	X	X
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Reajuste do ganho do amplificador de RF				
	Modo de falha 2					

LIS.02282

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Antena de Crânio				
Identificação do subconjunto		765 - SR				
Identificação do conjunto		S - Diversos				
Função		Recepção do sinal de RF após excitação dos protões de hidrogénio para execução de exames de crânio				
Modo de falha 1		Cabos de ligação da antena partidos				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Fadiga mecânica dos cabos				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria da antena de crânio				
	Para o conjunto	Falha na recepção do sinal				
	Para o sistema	Falha Parcial - Impossibilidade de execução de exames de crânio				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	0,7	Muito alta	6			
		Alta	5	X		
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			X
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do cabo de ligação da antena de crânio				
	Modo de falha 2					

LIS.02354

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Compressor de Hélio				
Identificação do subconjunto		761 - AA				
Identificação do conjunto		A - Sistema de refrigeração				
Função		Diminuir o nível de evaporação de hélio líquido				
Modo de falha 1		Compressor de hélio desligado				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Protecção eléctrica do compressor desliga quando existem picos de corrente				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total na recuperação de hélio				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,20	Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Ligação da protecção eléctrica do compressor.				
	Modo de falha 2					

LIS.02371

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo de amplificação do sinal de RF				
Identificação do subconjunto		764 - FR				
Identificação do conjunto		F - Bastidor de aquisição de dados				
Função		Criação de RF para excitação dos protões de hidrogénio				
Modo de falha 1		Interrupção de exames a meio da sequência (devido à interrupção da cadeia de RF)				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Envelhecimento dos tubos de amplificação (implica o reajuste do ganho)				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria no amplificador de RF				
	Para o conjunto	Inoperacionalidade do bastidor de aquisição de dados				
	Para o sistema	Falha total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	X	X	X
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Reajuste do ganho do amplificador de RF				
	Modo de falha 2					

LIS.02624

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Bobine de gradiente				
Identificação do subconjunto		762 - MG				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Criação de gradientes de campo magnético para codificação espacial do sinal de RF				
Modo de falha 1		Ausência de imagem				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Falha do isolamento entre espiras da bobine de gradiente				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha total - Não funcionamento duma bobine de gradiente				
	Para o conjunto	Falha total - Avaria do conjunto do magneto				
	Para o sistema	Falha total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	X		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3	X	X	X
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da bobine de gradiente e execução dos respectivos ajustes.				
	Modo de falha 2					

LIS.02705

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Rato do computador da consola				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B - Consola de sistema de informação				
Função		Navegação no software de aplicações da consola				
Modo de falha 1		Mola do botão do lado direito do rato partida				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,10	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do rato do computador da consola.				
	Modo de falha 2					

LIS.02744

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo do sensor respiratório				
Identificação do subconjunto		760 - MC				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Envio de ar para o sensor de sincronização respiratória para os exames do abdómen e do torax				
Modo de falha 1		Tubo de ligação ao sensor partido				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Choque mecânico				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total (para alguns exames de abdómen ou torax)				
	Para o conjunto	Falha Parcial - Ausência de sincronização respiratória				
	Para o sistema	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,30	Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do tubo do sensor respiratório				
	Modo de falha 2					

LIS.03036

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Gravador de discos ópticos				
Identificação do subconjunto		775 - BEO				
Identificação do conjunto		B - Consola de sistema de informação				
Função		Gravação de exames nos discos ópticos externos				
Modo de falha 1		Sistema não grava imagens para os discos ópticos externos				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico na unidade de gravação				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,10	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2	X	X	X
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave-falha total	3			
		Aceitavel-falha parcial	2			
		marginal-falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectavel	2	X	X	X
		Detectavel	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectavel	2			
		Detectavel	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da unidade de discos ópticos				
	Modo de falha 2					

LIS.03036A

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Rato do computador da consola				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B - Consola do sistema de informação				
Função		Navegação no software de aplicações da consola				
Modo de falha 1		Cursor apresenta dificuldades de movimento				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,10	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do rato do computador da consola.				
	Modo de falha 2					

LIS.03036B

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Ventiladores da consola				
Identificação do subconjunto		775 - BEG				
Identificação do conjunto		B - Consola do sistema de informação				
Função		Arrefecimento da consola				
Modo de falha 1		Ventoinha não funciona				
Modo de falha 2						
Modo de falha 3						
Causas da falha 1		Enrolamentos da ventoinha queimados				
Causas da falha 2						
Causas da falha 3						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,10	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do ventilador				
	Modo de falha 2					

LIS.03168

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio líquido				
Identificação do subconjunto		760 - MA				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto				
Modo de falha 1		Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Evaporação do hélio líquido				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Inexistente				
	Para o sistema	Falha Inexistente				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,05	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					

LIS.03277

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio líquido				
Identificação do subconjunto		760 - MA				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto				
Modo de falha 1		Nível de hélio liquido baixo no interior do magneto				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Evaporação do hélio liquido				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Inexistente				
	Para o sistema	Falha Inexistente				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,05	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					

LIS.03561

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo do sensor respiratório				
Identificação do subconjunto		760 - MC				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Envio de ar para o sensor de sincronização respiratória para os exames do abdómen e do torax				
Modo de falha 1		Tubo de ligação ao sensor partido				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Choque mecânico				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total (para alguns exames de abdómen ou torax)				
	Para o conjunto	Falha Parcial - Ausência de sincronização respiratória				
	Para o sistema	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,30	Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do tubo do sensor respiratório				
	Modo de falha 2					

LIS.03752

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo do sensor respiratório				
Identificação do subconjunto		760 - MC				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Envio de ar para o sensor de sincronização respiratória para os exames do abdómen e do torax				
Modo de falha 1		Tubo de ligação ao sensor partido				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Choque mecânico				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total (para alguns exames de abdómen ou torax)				
	Para o conjunto	Falha Parcial - Ausência de sincronização respiratória				
	Para o sistema	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,30	Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do tubo do sensor respiratório				
	Modo de falha 2					

LIS.03830

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Baterias para unidade de monitorização do magneto				
Identificação do subconjunto		760 - MB				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Alimentação da unidade de monitorização do magneto em caso de falha de energia				
Modo de falha 1		Alarme de falha de bateria na unidade de monitorização do magneto				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Problemas com as baterias colocadas anteriormente				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Inexistente				
	Para o sistema	Falha Inexistente				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,05	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X		
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X		
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição das baterias				
	Modo de falha 2					

LIS.04006

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Módulo de potência para os gradientes				
Identificação do subconjunto		763 - DM1				
Identificação do conjunto		D - Bastidor de gradiente				
Função		Fornecer potência para os gradientes				
Modo de falha 1		Gradientes sem alimentação				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Avaria no módulo de potência de alimentação dos gradientes				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Total				
	Para o sistema	Falha Total - Impossibilidade de efectuar exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta =1	6	X		
		Alta > 0.5 e < 1	5			
		Moderada > 0.3 e =0.5	4			
		Baixa > 0.1 e = 0.3	3			
		Muito baixa > 0 e =0.1	2			
		Remota = 0	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3	X	X	X
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do módulo de potência dos gradientes				
	Modo de falha 2					

LIS.04401

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Rato do computador da consola				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B - Consola de sistema de informação				
Função		Navegação no software de aplicações da consola				
Modo de falha 1		Cursor apresenta dificuldades de movimento				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,10	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
	Modo de falha 3					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do rato do computador da consola.				
	Modo de falha 2					

LIS.04429

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio líquido				
Identificação do subconjunto		760 - MA				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto				
Modo de falha 1		Nível de hélio líquido baixo no interior do magneto				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Evaporação do hélio líquido				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Inexistente				
	Para o sistema	Falha Inexistente				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,05	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					

LIS.04557

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Interruptor de protecção dos dedos do doente				
Identificação do subconjunto		760 - MVP				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Protecção para evitar que os dedos dos doentes fiquem entalados entre a mesa e o magneto				
Modo de falha 1		Falha de funcionamento do interruptor				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico do interruptor				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total - Ausência de protecção da mão do doente				
	Para o conjunto	Falha Total - Ausência de protecção da mão do doente				
	Para o sistema	Falha Total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	X		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3	X	X	X
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do sensor de protecção dos dedos do doente.				
	Modo de falha 2					

LIS.05104

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio líquido				
Identificação do subconjunto		760 - MA				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto				
Modo de falha 1		Nível de hélio líquido baixo no interior do magneto				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Evaporação do hélio líquido				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Inexistente				
	Para o sistema	Falha Inexistente				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,05	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					

LIS.05284

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Gravador de discos ópticos				
Identificação do subconjunto		775 - BEO				
Identificação do conjunto		B - Consola de sistema de informação				
Função		Gravação de exames nos discos ópticos externos				
Modo de falha 1		Sistema não grava imagens para os discos ópticos externos				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Sujidade no módulo óptico da unidade de gravação dos discos				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,10	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Limpeza do módulo óptico da unidade de gravação de discos ópticos				
	Modo de falha 2					

LIS.05579

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Compressor de Hélio				
Identificação do subconjunto		761 - AA				
Identificação do conjunto		A - Sistema de refrigeração				
Função		Diminuir o nível de evaporação de hélio líquido				
Modo de falha 1		Compressor de hélio desligado				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Protecção eléctrica do compressor desliga quando existem picos de corrente				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
	0,20	Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Ligação da protecção eléctrica do compressor.				
	Modo de falha 2					

LIS.06002

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio líquido				
Identificação do subconjunto		760 - MA				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto				
Modo de falha 1		Nível de hélio líquido baixo no interior do magneto				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Evaporação do hélio líquido				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Inexistente				
	Para o sistema	Falha Inexistente				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,05	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					

LIS.06004

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Rato do computador da consola				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B - Consola do sistema de informação				
Função		Navegação no software de aplicações da consola				
Modo de falha 1		Cursor apresenta dificuldades de movimento				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,10	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do rato do computador da consola.				
	Modo de falha 2					

LIS.06004A

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Tubo de amplificação do sinal de RF				
Identificação do subconjunto		764 - FR				
Identificação do conjunto		F - Bastidor de aquisição de dados				
Função		Criação de RF para excitação dos protões de hidrogénio				
Modo de falha 1		Interrupção de exames a meio da sequência (devido à interrupção da cadeia de RF)				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Envelhecimento dos tubos de amplificação (implica o reajuste do ganho)				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria no amplificador de RF				
	Para o conjunto	Inoperacionalidade do bastidor de aquisição de dados				
	Para o sistema	Falha total - Impossibilidade de execução de exames				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	X	X	X
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Reajuste do ganho do amplificador de RF				
	Modo de falha 2					

LIS.06017

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Antena de coluna torácica / lombar				
Identificação do subconjunto		780 - SR				
Identificação do conjunto		S - Diversos				
Função		Recepção do sinal de RF após excitação dos protões de hidrogénio para execução de exames de coluna torácica / lombar				
Modo de falha 1		Sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Placa electrónica de identificação da antena danificada				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Não funcionamento da antena de coluna torácica / lombar				
	Para o conjunto	Falha na recepção do sinal				
	Para o sistema	Impossibilidade de execução de exames de coluna torácica / lombar				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	0,30	Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3	X	X	X
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			X
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da placa de identificação da antena e do cabo de ligação da antena (preventivo porque o cabo estava esmagado)				
	Modo de falha 2					

LIS.06241

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Sensor de controlo respiratório				
Identificação do subconjunto		781 - MSC				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Sincronizar a respiração do doente com a execução do exame				
Modo de falha 1		Sensor não faz leituras				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Avaria electrónica na placa de aquisição do sinal				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total (para alguns exames de abdómen ou torax)				
	Para o conjunto	Falha Parcial - Ausência de sincronização respiratória				
	Para o sistema	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	0,30	Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3	X		
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	X
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	conjunto	subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	subconjunto	conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da placa de aquisição do sinal do sensor respiratório				
	Modo de falha 2					

LIS.06618

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Disco de dados do computador (disco rígido)				
Identificação do subconjunto		777 - BHG				
Identificação do conjunto		B - Consola do sistema de informação				
Função		Armazenamento das imagens adquiridas				
Modo de falha 1		Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Disco rígido com blocos danificados				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Total				
	Para o sistema	Falha Total				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	X	X	X
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3	X	X	X
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Formatação (de baixo nível) do disco de dados do sistema				
	Modo de falha 2					

LIS.06626

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Sistema de compressão e expansão do hélio gasoso ("Cabeça Fria" - Êmbolo de compressão no magneto)				
Identificação do subconjunto		761 - AB				
Identificação do conjunto		A - Sistema de refrigeração				
Função		Refrigeração do Magneto				
Modo de falha 1		Paragem do êmbolo de compressão de hélio no Magneto				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Desgaste mecânico				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Total				
	Para o conjunto	Falha Total				
	Para o sistema	Falha Total				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	1,00	Muito alta	6	X		
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3	X	X	X
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição da unidade de compressão de hélio gasoso.				
	Modo de falha 2					

LIS.06757

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Antena de Crânio				
Identificação do subconjunto		765 - SR				
Identificação do conjunto		S - Diversos				
Função		Recepção do sinal de RF após excitação dos protões de hidrogénio para execução de exames de crânio				
Modo de falha 1		Cabos de ligação da antena partidos.				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Fadiga mecânica dos cabos				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Avaria da antena de crânio				
	Para o conjunto	Falha na recepção do sinal				
	Para o sistema	Falha Parcial - Impossibilidade de execução de exames de crânio				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
	0,7	Muito alta	6			
		Alta	5	X		
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			X
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do cabo de ligação da antena de crânio				
	Modo de falha 2					

LIS.06815

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Hélio líquido				
Identificação do subconjunto		760 - MA				
Identificação do conjunto		M - Conjunto do magneto				
Função		Produção das condições para a supercondutividade do magneto				
Modo de falha 1		Nível de hélio líquido baixo no interior do magneto				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Evaporação do hélio líquido				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Inexistente				
	Para o sistema	Falha Inexistente				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,05	Muito baixa	2	X		
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	0,0	0,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	0,0	0,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1	X	X	X
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Enchimento de hélio no reservatório do magneto				
	Modo de falha 2					

LIS.06893

Ressonância Magnética Nuclear, marca Philips, modelo Gyroscan T5-NT

Identificação do componente		Gravador de discos ópticos				
Identificação do subconjunto		775 - BEO				
Identificação do conjunto		B - Consola de sistema de informação				
Função		Armazenamento das imagens adquiridas				
Modo de falha 1		Impossibilidade de gravação de imagens para o disco (falha intermitente)				
Modo de falha 2						
Causas da falha 1		Gravador com problemas mecânicos				
Causas da falha 2						
Efeitos da falha 1	Para o subconjunto	Falha Parcial				
	Para o conjunto	Falha Parcial				
	Para o sistema	Falha Parcial				
Efeitos da falha 2	Para o subconjunto					
	Para o conjunto					
	Para o sistema					
β- Probabilidade de ocorrência do modo de falha (MIL - STD - 1629A, 1980)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
	0,10	Muito baixa	2	X	X	X
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
α - Contribuição do modo de falha para a avaria				Subconjunto	Conjunto	Sistema
	Modo de falha 1			1,0	1,0	1,0
	Modo de falha 2					
		Soma (igual a 1)		1,0	1,0	1,0
Ocorrência (O) (Avaliada pela taxa de avarias)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Muito alta	6			
		Alta	5			
		Moderada	4			
		Baixa	3			
		Muito baixa	2			
		Remota	1			
Severidade (S)	Modo de falha 1			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			X
		Aceitável > falha parcial	2	X	X	
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
	Modo de falha 2			Sistema	Conjunto	Subconjunto
		Muito grave > falha total	3			
		Aceitável > falha parcial	2			
		Marginal >falha parc. s/ consq.	1			
Detectabilidade (D)	Modo de falha 1			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2	X	X	X
		Detectável	1			
	Modo de falha 2			Componente	Subconjunto	Conjunto
		Não detectável	2			
		Detectável	1			
Acção	Modo de falha 1	Substituição do gravador de discos ópticos				
	Modo de falha 2					

ANEXO E – Estudo HAZOP de falhas potenciais por conjunto

Hazop Nº	Conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Protecção	Acção
1	A – Sistema de refrigeração	Eficiência no arrefecimento do Magneto	Menos	Fugas de hélio ou mau rendimento da "cabeça fria".	Consumo excessivo de hélio.		Reposição do nível de hélio.
2	A – Sistema de refrigeração	Execução de exames	Não	Paragem do compressor por desgaste mecânico	Ausência de arrefecimento do Magneto		Substituição da unidade de compressão de hélio
3	B – Consola de sistema de informação	Execução de exames	Não	Avaria no planeamento, processamento, armazenamento e visualização de imagens.	Não obtenção de imagens.		Reparação dos elementos avariados.
4	B – Consola de sistema de informação	Segurança do doente	Menos	Avaria no sistema de comunicação por voz com o doente e alarme.	Incerteza do estado do doente		Reparação do sistema de comunicação e alarme.
5	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Avaria nos amplificadores.	Não obtenção de imagens.		Substituição dos amplificadores.
6	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Avaria de fontes de alimentação de amplificadores.	Não obtenção de imagens.		Substituição das fontes de alimentação
7	D – Bastidor de Gradiente	Execução de exames	Não	Falha do sistema de ventilação.	Aumento de temperatura com falha do bastidor.		Reparação do sistema de ventilação.
8	D – Bastidor de Gradiente	Segurança do doente	Menos	Falha do sensor térmico e fluxo de ar da bobine dos gradientes.	Aumento de temperatura da bobine e risco de queimadura do doente.		Substituição do sensor térmico.

Hazop Nº	Conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Protecção	Acção
9	F – Bastidor de aquisição de dados	Execução de exames	Não	Avarias em placas de aquisição de dados e reconstrução de imagem.	Falha de construção de imagem.		Substituição das placas.
10	H – Quadro eléctrico	Execução de exames	Não	Avaria de aparelhagem de protecção eléctrica.	Falha de alimentação eléctrica.		Substituição da aparelhagem avariada.
11	L – Mesa de suporte do doente	Execução de exames	Não	Avarias mecânicas com imobilização da mesa.	Não centragem do doente.		Reparação da avaria.
12	M – Conjunto do magneto	Execução de exames	Não	Avaria no sensor de dedos.	Actuação do sistema de segurança impedindo lesão do operador ou do doente		Substituição do sensor.
13	M – Conjunto do magneto	Segurança do doente	Menos	Deficiente encaminhamento dos cabos das antenas.	Queimaduras do doente por radiofrequência.		Reposição correcta dos cabos.
14	M – Conjunto do magneto	Segurança do doente	Menos	Bypass de antenas de segurança de RF.	Queimaduras do doente por radiofrequência.		Conexão das antenas.
15	M – Conjunto do magneto	Segurança do doente e do operador	Menos	Sobrepressão do hélio com fuga para a sala.	Contaminação da atmosfera da sala com hélio. Risco de asfixia devido à estratificação do hélio/ ar.		Eliminação da sobrepressão e ventilação da sala.
16	S – Diversos	Execução de exames	Parte de	Avaria nas antenas de recepção de sinal.	Não recepção do sinal referente à(s) antena(s) avariada(s).		Substituição da(s) antena(s).

ANEXO F – Estudo HAZOP da lista de falhas

Hazop Nº	Nº Obra	Conjunto	Sub conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Acção
1	2354 5579	A- Sistema de refrigeração	761-AA	Eficiência no arrefecimento do magneto	Menos	Protecção eléctrica do compressor desliga quando existem picos de corrente	Conjunto em funcionamento mas com maior consumo de hélio	Rearme da protecção eléctrica do compressor
2	6626	A- Sistema de refrigeração	761-AB	Execução de exames	Não	Desgaste mecânico	Ausência de arrefecimento do Magneto	Substituição da unidade de compressão de hélio
3	3036B	B- Consola de sistema de informação	775-BEG	Arrefecimento da consola	Menos	Enrolamentos queimados de um dos ventiladores	Redução do caudal de ar de arrefecimento	Substituição do ventilador
4	5284	B- Consola de sistema de informação	775-BEO	Armazenamento das imagens dos exames	Mais tarde	Sujidade no módulo de gravação dos discos ópticos	O sistema, a RMN, funciona mas o subconjunto está fora de serviço e os exames não são gravados em disco óptico	Limpeza do módulo óptico da unidade de gravação de discos ópticos
5	3036 6893	B- Consola de sistema de informação	775-BEO	Armazenamento das imagens dos exames	Mais tarde	Desgaste mecânico da unidade de gravação de discos ópticos	O sistema, a RMN, funciona mas o subconjunto está fora de serviço e os exames não são gravados em disco óptico	Substituição da unidade de discos ópticos
6	2151	B- Consola de sistema de informação	775-BM	Visualização	Menos	Envelhecimento da ficha terminal do cabo de ligação ao monitor da consola	Mau contacto originando monitor verde	Substituição do cabo
7	2151	B- Consola de sistema de informação	775-BM	Visualização	Menos	Cabo trilhado por acção mecânica	Má ligação originando monitor verde	Substituição do cabo

Hazop Nº	Nº Obra	Conjunto	Sub conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Acção
8	3036A 2705 4401 6004	B- Consola de sistema de informação	777-BHG	Operação fácil e expedita do computador	Menos	Cursor do computador apresenta dificuldades de movimento por desgaste mecânico do rato	A RMN funciona mas o operador tem dificuldade em trabalhar com o computador	Substituição do rato
9	2080	B- Consola de sistema de informação	777-BHG	Comunicação com estações externas	Não	Configuração incorrecta do endereço do IP	Falha de comunicação com estações de trabalho externas	Reconfiguração do endereço do IP
10	6618	B- Consola de sistema de informação	777-BHG	Realização de exames	Não	Disco rígido com blocos danificados	Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido do computador	Formatação de baixo nível do disco
11	4006	D – Bastidor de Gradiente	763-DM1	Execução de exames	Não	Falha de componente electrónico (módulo de potência) para os gradientes	Impossibilidade de obtenção de imagem	Substituição do módulo de potência de um dos gradientes
12	2244 2371 6004A	F – Bastidor de aquisição de dados	764-FR	Execução de exames	Não	Envelhecimento dos tubos de amplificação RF requerendo reajuste do ganho	Interrupção na formação de imagens	Reajuste do ganho da cadeia de RF
13	2025	F – Bastidor de aquisição de dados	769-FI	Execução de exames	Não	Motor da unidade de ventilação queimado e filtro da entrada de ar colmatado	Fonte de alimentação queimada	Substituição da fonte de alimentação do ventilador e do filtro
14	3168 3277 4429 5104 6002 6815	M – Conjunto do magneto	760-MA	Nível de hélio	Menos	Evaporação de hélio	Abaixamento do nível de hélio no reservatório do magneto	Enchimento do reservatório do magneto com hélio

Hazop Nº	Nº Obra	Conjunto	Sub conjunto	Atributo	Palavra chave	Causa	Consequência	Acção
15	3830	M – Conjunto do magneto	760-MB	Segurança do Magneto	Menos	Baterias da unidade de monitorização do magneto esgotadas prematuramente	Impossibilidade de monitorizar o magneto em caso de falha de energia	Substituição das baterias
16	2744 3561 3752	M – Conjunto do magneto	760-MC	Execução de exames	Parte de	Tubo de ligação ao sensor partido	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória	Substituição do tubo
17	4557	M – Conjunto do magneto	760-MVP	Execução de exames	Não	Desgaste mecânico do interruptor de protecção de dedos	Actuação do sistema de segurança impedindo o acidente no manuseamento da mesa do doente	Substituição do sensor de protecção de dedos
18	2624	M – Conjunto do magneto	762-MG	Execução de exames	Não	Falha do isolamento entre espiras da bobine de gradiente	Ausência de imagem	Substituição da bobine de gradiente e execução dos respectivos ajustes
19	6241	M – Conjunto do magneto	781-MSC	Execução de exames	Parte de	Avaria na placa de aquisição do sinal do sensor respiratório	Não execução de alguns exames específicos devido à ausência de sincronização respiratória	Substituição da placa
20	2282 6757	S - Diversos	765-SR	Execução de exames	Parte de	Cabo de ligação da antena de crânio partido	Sistema não detecta a antena de crânio	Substituição do cabo de ligação da antena
21	6017	S - Diversos	780-SR	Execução de exames	Parte de	Placa de identificação da antena da coluna torácica / lombar danificada	Sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar	Substituição da placa de identificação da antena e do cabo de ligação

ANEXO G – Análise FMECA

FMECA nº 1 **Data:**
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: A - Sistema de Refrigeração **Preparado por:** Luís Marques

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha (modo como o componente falha)	Causa da Falha (processos que conduzem à falha)	Efeitos da Falha (consequências provenientes do modo de falha)		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O * S * D$
1660 2354 5579	761-AA Cryo Compressor	Recuperação de hélio	Compressor de hélio fora de serviço	Protecção électrica do compressor desliga quando existem picos de corrente	Maior consumo de hélio	Sem consequências imediatas	0,003659	0,20	1,00	820	0,6	4	2	2	16
6626	761-AB Cold Head	Arrefecimento do magneto	Paragem do êmbolo de compressão de hélio no Magneto	Desgaste mecânico	Ausência de arrefecimento do Magneto	Impossibilidade de execução de exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,0	1	4	2	8
											1,6				24

FMECA nº 2 **Data:**
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: B - Consola de sistema de informação **Preparado por:** Luís Marques

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha (modo como o componente falha)	Causa da Falha (processos que conduzem à falha)	Efeitos da Falha (consequências provenientes do modo de falha)		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O * S * D$
3036B	775 - BEG Fans	Arrefecimento da consola de sistema de informação	Uma das ventoínhas não funciona	Enrolamentos da ventoinha queimados	Redução da capacidade de arrefecimento da consola sem consequências imediatas	Redução da capacidade de arrefecimento da consola sem consequências imediatas	0,001220	0,10	1,00	820	0,100	1	1	2	2
3036 5284 6893	775 - BEO Optical Disk Drive	Gravação de imagens nos discos ópticos externos	Impossibilidade de gravação de imagem nos discos ópticos	Desgaste mecânico na unidade de gravação	Os exames não são gravados em disco óptico mas a consola continua a funcionar	Os exames não são gravados em disco óptico mas a RMN continua a funcionar	0,003659	0,10	1,00	820	0,300	4	1	2	8
2151	775 -BM Operator Console Display	Visualização de imagens	Ecran verde	Deficiência no cabo de ligação ao monitor	Deficiente visualização de imagens	Deficiente visualização de imagens	0,001220	0,20	1,00	820	0,200	1	1	2	2
2705 3036A 4401 6004	777 - BHG Computer Gyroscan	Unidade de processamento de dados e gestão do sistema	Dificuldade em navegar na aplicação de software	Desgaste mecânico do rato	RMN funciona mas o operador tem dificuldade em trabalhar com o computador	RMN funciona mas o operador tem dificuldade em trabalhar com o computador	0,004878	0,10	0,50	820	0,200	5	1	2	10
6618			Impossibilidade de gravação original de imagens no disco rígido	Disco rígido com blocos danificados	Os exames não são gravados no disco rígido	Impossibilidade de realizar exames	0,001220	1,00	0,30	820	0,300	1	2	2	4
2080			Impossibilidade de comunicação com estações de trabalho externas	Configuração incorrecta do sistema	Sem consequências para o conjunto não sendo possível visualizar imagens em estações de trabalho	Sem consequências para a RMN não sendo possível visualizar imagens em estações de trabalho exteriores	0,001220	0,15	0,20	820	0,030	1	1	2	2
											0,530				16

FMECA nº 3 **Data:**
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: D - Bastidor de gradiente **Preparado por:** Luís Marques

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha (modo como o componente falha)	Causa da Falha (processos que conduzem à falha)	Efeitos da Falha (consequências provenientes do modo de falha)		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O * S * D$
4006	763 - DM1 Gradient Amplifier Cabinet	Alimentação das bobines de gradiente X Y Z	Gradientes sem alimentação	Avaria no módulo de potência de alimentação dos gradientes	Parcialmente fora de serviço	Impossibilidade de realizar exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,000	1	2	2	4

FMECA nº 4 **Data:**
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: F - Bastidor de aquisição de dados **Preparado por:** Luís Marques

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha (modo como o componente falha)	Causa da Falha (processos que conduzem à falha)	Efeitos da Falha (consequências provenientes do modo de falha)		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O * S * D$
2244 2371 6004A	764 -FR RF Power Amplifier	Amplificar o sinal de RF	Interrupção da cadeia de RF	Envelhecimento dos tubos de amplificação	Impossibilidade de criação de sinal de RF	Interrupção de exames a meio da sequência	0,003659	1,00	1,00	820	3,00	4	3	2	24
2025	769-FI Mains Inlet Unit	Alimentação eléctrica ao bastidor	Bastidor sem alimentação eléctrica	Fonte de alimentação queimada devido à falha do ventilador e colmatação do filtro	Bastidor sem alimentação eléctrica	Impossibilidade de realizar exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,00	1	5	2	10
											4,00				34

FMECA nº 5 **Data:**
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: M - Conjunto do magneto **Preparado por:** Luís Marques

Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade C =O*S*D
3168 / 3277 / 4429 / 5104 / 6002 / 6815	760-MA Magnet	Criação do campo magnético de 0,5T	Nível de hélio liquido no interior do magneto baixo	Evaporação do hélio liquido	Sem efeitos imediatos considerando o reenchimento imediato	Sem efeitos imediatos considerando o reenchimento imediato	0,007317	0,05	1,000	820	0,30	5	1	1	5
3830	760-MB Magnet Monitoring Unit	Monitorização do magneto	Alarme de falha de bateria na unidade de monitorização do magneto	Baterias da unidade de monitorização do magneto esgotadas prematuramente	Impossibilidade de monitorizar o magneto em caso de falha de energia	Impossibilidade de monitorizar o magneto em caso de falha de energia	0,001220	0,05	1,000	820	0,05	1	1	1	1
2744 / 3561 / 3752	760-MC PICU Front and Rear	Ligação de parâmetros fisiológicos	Tubo de ligação ao sensor partido	Choque mecânico	Ausência de sincronização respiratória	Não execução de alguns exames específicos	0,003659	0,30	1,000	820	0,90	4	2	2	16
4557	760-MVP Finger Protection	Protecção dos dedos do doente	Falha de funcionamento do interruptor de protecção de dedos	Desgaste mecânico do interruptor de protecção de dedos	Ausência de protecção dos dedos	Impossibilidade de execução de exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,00	1	2	2	4
2624	762-MG Gradient Coil	Criação de gradientes de campo magnético para codificação espacial do sinal de RF	Ausência de imagem	Falha do isolamento entre espiras da bobine de gradiente	Não funcionamento duma bobine de gradiente	Impossibilidade de execução de exames	0,001220	1,00	1,00	820	1,00	1	5	2	10
6241	781-MSC Pat. Int.	Interface com o paciente	Sensor não faz leituras	Avaria na placa de aquisição do sinal do sensor respiratório	Ausência de sincronização respiratória	Não execução de alguns exames específicos	0,001220	0,30	1,000	820	0,30	1	2	2	4
									6,00		3,55				40

FMECA nº 6 **Data:**
Sistema: RMN Philips Gyroscan
Conjunto: S - Diversos **Preparado por:** Luís Marques

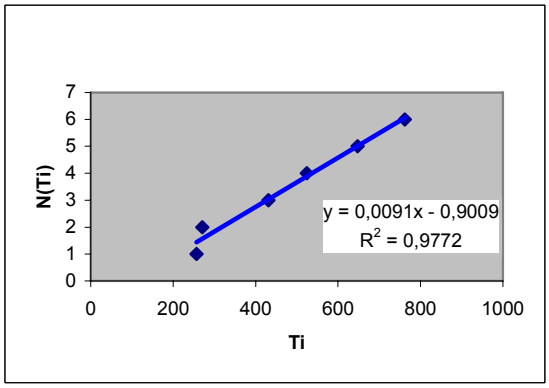
Obra nº	Componente	Função	Modo de Falha (modo como o componente falha)	Causa da Falha (processos que conduzem à falha)	Efeitos da Falha (consequências provenientes do modo de falha)		Criticidade / MIL-STD-1629A					Criticidade / RPN			
					Conjunto	Sistema	Taxa de Avarias λp	Probabilidade condicional de ocorrência da falha β	Contribuição do modo de falha para a falha α	Tempo de Operação t /dias	Criticidade $C = \beta * \alpha * \lambda p * t$	Ocorrência (O)	Severidade (S)	Detectabilidade (D)	Criticidade $C = O * S * D$
2282 6757	765-SR Head Coil	Recolha de sinal RF em exames de crânio	Sistema não detecta a antena de crânio	Cabos de ligação da antena partidos devido a fadiga mecânica	Não captação de sinal	Impossibilidade de efectuar exames de crânio	0,002439	0,70	1,00	820	1,40	3	2	2	12
6017	780-SR Receive Coils	Recolha de sinal RF em exames de coluna lomabar torácica	Sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar	Placa de identificação da antena da coluna torácica / lombar danificada	Não captação de sinal	Impossibilidade de efectuar exames de coluna	0,001220	0,30	0,50	820	0,15	1	3	2	6
1142			Sistema não detecta a antena de coluna torácica / lombar	Bobine da coluna lombar desligada / cabo danificado	Não captação de sinal	Impossibilidade de efectuar exames de coluna	0,001220	0,30	0,50	820	0,15	1	3	2	6
											1,70				24

ANEXO H – Cálculo da taxa de avarias: Teste de Laplace

TESTE de LAPLACE

OB nº	Ti	N(Ti)	T 0
3168	257	1	820
3277	271	2	
4429	431	3	
5104	524	4	
6002	647	5	
6815	762	6	

SUM Ti	N
2892	6



Formulação de Hipóteses

Ho : Taxa de avarias é constante ($\lambda(t)$ = Cte.)

H1 : Taxa de avarias não constante ($\lambda(t) \neq$ Cte.)

Nível de Significância

α = 5%

$Z_{\alpha/2}$ = -1,95996

$Z_{(1-\alpha/2)}$ = 1,959963

Cálculo da Estatística do Teste - Limitado no Tempo

$$ET = \left(\sqrt{12 \times N}\right) \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{N \times T_0} - 0,5\right)$$

ET = 0,7450

Regras de Decisão

ET > Zα => Rejeição de Ho

ET < Zα => Teste inconclusivo, aceita-se Ho

Decisão: **Teste inconclusivo, aceita-se Ho**

Valor de Prova: **Prob (ET ≥ 0,7450)=** 100,00%

TAXA de AVARIAS

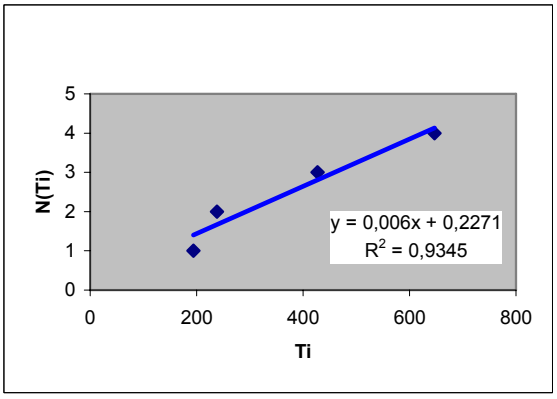
$\lambda(T) = N(T)/T$

$\lambda(T)$ = 0,007317 /dia

MTBF = 137 dias

TESTE de LAPLACE

OB nº	Ti	N(Ti)	T 0	SUM Ti	N
2705	194	1	820	1506	4
3036A	238	2			
4401	427	3			
6004	647	4			



Formulação de Hipóteses

Ho : Taxa de avarias é constante ($\lambda(t)$ = Cte.)

H1 : Taxa de avarias não constante ($\lambda(t) \neq$ Cte.)

Nível de Significância

α = 5%

$Z_{\alpha/2}$ = -1,95996

$Z_{(1-\alpha/2)}$ = 1,959964

Cálculo da Estatística do Teste - Limitado no Tempo

$$ET = \left(\sqrt{12 \times N}\right) \times \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{N \times T_0} - 0,5\right)$$

ET = -0,2830

Regras de Decisão

ET > Zα => Rejeição de Ho

ET < Zα => Teste inconclusivo, aceita-se Ho

Decisão: **Teste inconclusivo, aceita-se Ho**

Valor de Prova: **Prob (ET ≥ -0,2830)=** 100,00%

TAXA de AVARIAS

$\lambda(T) = N(T)/T$

$\lambda(T)$ = 0,004878 /dia

MTBF = 205 dias

ANEXO I – Cálculo do OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Formato Tipo para Cálculo do OEE (Overall Equipment Effectiveness)

Produto / Modelo **Data**

	Dados de Produção			Dados de Cálculo		
A	Duração do Turno		Horas =	0	Minutos	
B	Pequenas Paragens		Paragens @	**0**	Minutos/evento	0 min total
C	Refeições (Paragens)		Paragens @	**0**	Minutos/evento	0 min total
D	Avarias (Total Paragens)		Minutos			
E	Tempo de Ciclo Ideal		Peças / min			
F	Total Peças Produzidas		Peças			
G	Peças Rejeitadas		Peças			

	Variáveis de Suporte	Cálculo		Dados do cálculo					
H	Tempo Produção Planeada	Duração do Turno - Paragens	A - (B+C)	0	-	0	=	0	min
I	Tempo de Operação	Tempo Produção Planeada - Avarias (Paragens)	H - D	0	-	0	=	0	min
J	Peças Válidas	Total Peças Produzidas - Peças Rejeitadas	F - G	0	-	0	=	0	Peças

	Factores do OEE	Cálculo		Dados do cálculo				OEE %
K	Disponibilidade	Tempo de Operação / Tempo Produção Planeada	I / H	0	/	0	=	0,00%
L	Desempenho	(Tt. Peças Produzidas/ T. Operação)/ T. Ciclo Ideal	(J / I) / E	0	/	0	=	0,00%
M	Qualidade	Peças Válidas / Total Peças Produzidas	J / F	0	/	0	=	0,00%

OEE total	Disponibilidade x Desempenho x Qualidade	K * L * M	0,0000	x	0,0000	x	0,0000	=	**0,00%**

Figura 46 - Formato tipo para cálculo do OEE

ANEXO J – Relatórios de Exames RMN do HSM (2004/ 06)

SANTA MARIA

Estatística de Modelos por Grupos de Exames de 01-01-2004 a 31-12-2004

Grupo	Número de Exames
RM Corpo	1229
Consulta	509
Colangio por RM	4
RM articular	303
RM cotovelo	1
RM do abdómen	90
RM do coração	16
RM do tórax	18
RM joelho	2
RM pélvica	73
RM punho	1
RM tibio-társica	1
Hosp. Dia	118
Colangio por RM	1
RM articular	19
RM do abdómen	73
RM do tórax	5
RM pélvica	20
Internamento	577
Colangio por RM	44
RM articular	214
RM do abdómen	180
RM do coração	15
RM do tórax	23
RM joelho	1
RM pélvica	100
MCDT	20
Colangio por RM	4
RM articular	11
RM do abdómen	3
RM do tórax	2
Prov. Inexistente	2
RM articular	2
Urgência	3
RM articular	1
RM do abdómen	1
RM do tórax	1
RM Neuro	3047
Consulta	924
RM crânio-encefálica	529
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	379
RM da coluna cervical	1
RM da coluna lombo-sagrada	2
RM do pescoço	7
RM maxilo-facial	6
Hosp. Dia	106
RM crânio-encefálica	37
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	68
RM do pescoço	1
Internamento	1831
RM crânio-encefálica	1.135
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	669
RM da coluna cervical	8
RM da coluna dorsal	3
RM da coluna lombo-sagrada	3

Documento processado por computado Impresso em 18-09-2006 Página 1 / 2

SANTA MARIA

Estatística de Modelos por Grupos de Exames de 01-01-2004 a 31-12-2004

Grupo	Número de Exames
RM do pescoço	12
RM maxilo-facial	1
MCDT	40
RM crânio-encefálica	21
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	16
RM da coluna cervical	1
RM da coluna lombo-sagrada	1
RM maxilo-facial	1
Prov. Inexistente	1
RM crânio-encefálica	1
Urgência	145
RM crânio-encefálica	80
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	65
TOTAL	**4276**

Documento processado por computado Impresso em 18-09-2006 Página 2 / 2

SANTA MARIA

Estatística de Modelos por Grupos de Exames de 01-01-2005 a 31-12-2005

Grupo	Número de Exames
RM Corpo	1272
Consulta	603
Colangio por RM	6
RM antebraço	3
RM articular	95
RM cotovelo	4
RM do abdómen	113
RM do coração	20
RM do tórax	23
RM fémur	6
RM joelho	145
RM mão	3
RM ombro	59
RM pé	16
RM pélvica	84
RM perna	7
RM punho	6
RM tibio-társica	11
RM úmero	2
Hosp. Dia	133
RM articular	15
RM do abdómen	70
RM do tórax	6
RM fémur	1
RM joelho	5
RM ombro	3
RM pélvica	25
RM perna	5
RM tibio-társica	2
RM úmero	1
Internamento	501
Colangio por RM	53
RM articular	41
RM do abdómen	197
RM do coração	13
RM do tórax	16
RM fémur	4
RM joelho	35
RM mão	1
RM ombro	10
RM pé	14
RM pélvica	102
RM perna	11
RM punho	1
RM tibio-társica	3
MCDT	32
Colangio por RM	4
RM articular	3
RM cotovelo	1
RM do abdómen	2
RM do tórax	1
RM joelho	12
RM ombro	5
RM pélvica	2
RM tibio-társica	2

Documento processado por computado Impresso em 18-09-2006 Página 1 / 2

SANTA MARIA

Estatística de Modelos por Grupos de Exames de 01-01-2005 a 31-12-2005

Grupo	Número de Exames
Urgência	3
RM do coração	1
RM joelho	1
RM ombro	1
RM Neuro	3381
Consulta	1718
RM crânio-encefálica	978
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	249
RM da coluna cervical	186
RM da coluna dorsal	79
RM da coluna lombo-sagrada	218
RM do pescoço	5
RM maxilo-facial	3
Hosp. Dia	94
RM crânio-encefálica	50
RM da coluna cervical	12
RM da coluna dorsal	12
RM da coluna lombo-sagrada	18
RM do pescoço	2
Internamento	1367
RM crânio-encefálica	873
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	57
RM da coluna cervical	144
RM da coluna dorsal	131
RM da coluna lombo-sagrada	147
RM do pescoço	8
RM maxilo-facial	7
MCDT	56
RM crânio-encefálica	32
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	1
RM da coluna cervical	8
RM da coluna dorsal	2
RM da coluna lombo-sagrada	12
RM maxilo-facial	1
Urgência	146
RM crânio-encefálica	85
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	7
RM da coluna cervical	18
RM da coluna dorsal	16
RM da coluna lombo-sagrada	20
TOTAL	**4653**

Documento processado por computado Impresso em 18-09-2006 Página 2 / 2

SANTA MARIA

Estatística de Modelos por Grupos de Exames de 01-01-2006 a 18-09-2006

Grupo	Número de Exames
RM Corpo	906
Consulta	341
RM antebraço	2
RM articular	26
RM cotovelo	1
RM do abdómen	58
RM do tórax	4
RM fêmur	3
RM joelho	114
RM mão	1
RM ombro	51
RM pé	8
RM pélvica	52
RM perna	7
RM punho	3
RM tibio-társica	10
RM úmero	1
Hosp. Dia	98
RM articular	8
RM do abdómen	53
RM do tórax	3
RM joelho	4
RM ombro	1
RM pélvica	28
RM perna	1
Internamento	445
Colangio por RM	57
RM antebraço	1
RM articular	29
RM do abdómen	149
RM do coração	25
RM do tórax	33
RM fêmur	2
RM joelho	38
RM musculo-esquelética	1
RM ombro	12
RM pé	3
RM pélvica	88
RM perna	7
MCDT	16
RM articular	1
RM do abdómen	3
RM do tórax	1
RM joelho	8
RM ombro	1
RM pélvica	2
Urgência	6
RM articular	1
RM do abdómen	1
RM joelho	3
RM ombro	1
RM Neuro	2606
Consulta	1298
RM crânio-encefálica	765
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	47

Documento processado por computado Impresso em 18-09-2006 Página 1 / 2

SANTA MARIA

Estatística de Modelos por Grupos de Exames de 01-01-2006 a 18-09-2006

Grupo	Número de Exames
RM da coluna cervical	171
RM da coluna dorsal	65
RM da coluna lombo-sagrada	241
RM do pescoço	5
RM maxilo-facial	3
RM, mapeamento cortical	1
Hosp. Dia	122
RM crânio-encefálica	74
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	1
RM da coluna cervical	6
RM da coluna dorsal	18
RM da coluna lombo-sagrada	22
RM do pescoço	1
Internamento	1060
RM crânio-encefálica	683
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	18
RM da coluna cervical	114
RM da coluna dorsal	98
RM da coluna lombo-sagrada	133
RM do pescoço	10
RM maxilo-facial	4
MCDT	23
RM crânio-encefálica	8
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	1
RM da coluna cervical	5
RM da coluna dorsal	1
RM da coluna lombo-sagrada	7
RM maxilo-facial	1
Urgência	103
RM crânio-encefálica	61
RM da coluna - cervical, dorsal, lombo-sagrada (cada segmento)	4
RM da coluna cervical	12
RM da coluna dorsal	13
RM da coluna lombo-sagrada	13
TOTAL	**3512**

Documento processado por computado Impresso em 18-09-2006 Página 2 / 2