



# **Comparação da metodologia RCM ao sistema de armas Pandur II 8x8 nos diferentes Teatros de Operações**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Francisco Augusto Lopes Camilo

## **Orientadores:**

Prof.<sup>a</sup> Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante

Tenente-Coronel Material Énio Rodrigo Pereira Chambel

Engenharia Mecânica Militar

Academia Militar - Lisboa

2023/2024





# **Comparação da metodologia RCM ao sistema de armas Pandur II 8x8 nos diferentes Teatros de Operações**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Francisco Augusto Lopes Camilo

## **Orientadores:**

Prof.<sup>a</sup> Virgínia Isabel Monteiro Nabais Infante

Tenente-Coronel Material Énio Rodrigo Pereira Chambel

Engenharia Mecânica Militar

Academia Militar - Lisboa

2023/2024



### Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.



## **Agradecimentos**

Quero agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram não só para a realização da dissertação de mestrado, mas também no meu percurso na Academia Militar.

Começar por agradecer os meus orientadores, Professora Virgínia Infante e Tenente-Coronel Énio Chambel, pela constante disponibilidade e exigência que permitiram a realização desta dissertação que culmina o trabalho de 6 anos. Agradecer ainda por toda a ajuda e orientação.

Quero agradecer aos envolvidos diretamente na dissertação, com especial destaque ao Tenente Material Filipe Silva que se mostrou sempre disponível para me apoiar ao longo da dissertação, tendo inclusive feito parte do painel de especialistas. Agradecer também aos restantes integrantes do painel Sargento-Ajudante Diogo Almeida e Primeiro-Sargento José Figueiredo, pela sua disponibilidade e conhecimento. Também agradecer ao Regimento de Manutenção por me ter recebido no âmbito do trabalho desenvolvido.

Não posso deixar de agradecer aos meus familiares por todo o apoio que me deram ao longo destes anos, assim como aos meus amigos pelas palavras de apreço.

Ao Curso General Pedro Francisco Massano de Amorim, por todas as memórias e vivências. Com destaque para os engenheiros, e ao parêntese de curso Dinis Gomes.

Por último, agradecer à Academia Militar, na pessoa de todos os comandantes, instrutores e professores que contribuíram na minha formação como militar e engenheiro, mas principalmente como pessoa.

A todos, muito obrigado.



## Resumo

O objetivo desta dissertação é aplicar a metodologia de Manutenção Centrada na Fiabilidade, RCM, ao sistema de armas Pandur II, complementada com o auxílio da Metodologia Delphi, comparando o impacto dos diferentes contextos operacionais em que este sistema de armas opera: Território Nacional, República Centro-Africana e Roménia. A análise assentou na revisão do atual plano de manutenção proposto pelo fabricante, com o objetivo de atualizar o mesmo para aumentar a fiabilidade e disponibilidade da viatura.

Foram recolhidas e analisadas 7164 ordens de trabalho corretivas, entre 2009 e 2024, o que permitiu o cálculo dos tempos médios entre falhas para diferentes componentes da viatura. Posteriormente, foi realizada uma análise de sensibilidade aos valores médios para reparação de forma a atingir a média de 90% de disponibilidade para a Pandur. Tendo-se obtido um valor não superior a 4 horas para se poder atingir a meta proposta.

Como resultados, propõem-se alterações ao atual plano de manutenção, com a introdução de novas tarefas e o ajuste da periodicidade de outras já existentes. A metodologia Delphi acompanhou todo o processo de implementação da RCM, sendo utilizada de forma a validar as tarefas de manutenção propostas e valores utilizados, que não foram possíveis de obter por métricas objetivas.

**Palavras-chave:** RCM, Pandur II 8x8, Fiabilidade, Disponibilidade, Metodologia Delphi.



## Abstract

This thesis applies the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology to the Pandur II armoured vehicle, complemented by the Delphi methodology, to assess and compare the impact of different operating environments, including the National Territory, the Central African Republic and Romania. The study aims to improve the reliability and availability of the vehicle by critically reviewing and updating the manufacturer's existing maintenance plan.

Corrective work orders from 2009 to 2024 were collected and thoroughly analysed to calculate the Mean Time Between Failures for various vehicle components. A sensitivity analysis of the Mean Time to Repair was conducted to evaluate the conditions necessary to achieve the target availability of 90% for the Pandur II fleet. The results showed that an MTTR of no more than 4 hours is required to achieve this operational objective.

Based on these analyses, the study proposes significant changes to the current maintenance plan, including the introduction of new maintenance tasks and adjustments to the frequency of existing tasks. The Delphi methodology was integral throughout the RCM implementation process, providing validation for proposed maintenance tasks and estimated values that could not be derived through objective metrics.

**Keywords:** RCM, Pandur II 8x8, Reliability, Availability, Delphi Methodology



# Conteúdo

Agradecimentos . . . . .	vii
Resumo . . . . .	ix
Abstract . . . . .	xi
Lista de Figuras . . . . .	xv
Lista de Tabelas . . . . .	xvii
Lista de Acrónimos e Siglas . . . . .	xxi
Lista de Símbolos . . . . .	xxiii
<b>1 Introdução . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Enquadramento . . . . .	2
1.3 Objetivos . . . . .	2
1.4 Estrutura da dissertação . . . . .	3
<b>2 Estado da Arte . . . . .</b>	<b>5</b>
2.1 Manutenção . . . . .	5
2.2 Estratégias de Manutenção . . . . .	9
2.3 Metodologia de Manutenção Centrada na Fiabilidade . . . . .	11
2.4 Implementação da Metodologia de Manutenção Centrada na Fiabilidade . . . . .	13
2.5 Questões da RCM . . . . .	15
2.6 Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) e Análise de Modos de Falha, Efeitos e Análise de Criticidade (FMECA) . . . . .	16
2.7 Fiabilidade . . . . .	18
2.7.1 Função Fiabilidade . . . . .	18
2.7.2 Distribuições Estatísticas . . . . .	20
2.8 Disponibilidade . . . . .	25
2.9 Metodologia Delphi . . . . .	26
<b>3 Caso Prático . . . . .</b>	<b>29</b>
3.1 Sistema de Armas Pandur II 8x8 . . . . .	29
3.2 Sistemas e subsistemas em estudo . . . . .	31
3.2.1 Sistema de Potência . . . . .	31
3.2.2 Sistema de Transferência de Potência . . . . .	32

3.2.3	Sistema Hidráulico . . . . .	33
3.2.4	Sistema de Aquecimento e Arrefecimento . . . . .	34
3.3	Manutenção no Exército Português . . . . .	35
3.3.1	Plano de manutenção da Pandur II no Exército Português . . . . .	35
3.4	Metodologia RCM . . . . .	36
3.4.1	Contexto Operacional . . . . .	36
3.4.2	Função e Falha Funcional . . . . .	38
3.4.3	Modos de Falha . . . . .	40
3.4.4	Efeitos de Falha . . . . .	41
3.4.5	Determinação de Valores de MTBF . . . . .	42
3.4.6	Ocorrência, Severidade e Risco . . . . .	46
3.4.7	Ações de Mitigação do Risco . . . . .	48
3.4.8	Risco Revisto . . . . .	49
3.5	Disponibilidade . . . . .	50
3.5.1	Seleção dos componentes críticos . . . . .	50
3.5.2	Construção dos <i>Reliability Block Diagrams</i> . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Análise de Resultados</b>	<b>55</b>
4.1	Alterações ao plano de manutenção . . . . .	55
4.2	Comparação dos MTBF em TN, na RCA e na ROU . . . . .	58
4.3	Disponibilidade dos sistemas . . . . .	60
4.3.1	Disponibilidade do Sistema de Potência . . . . .	60
4.3.2	Disponibilidade do Sistema de Transferência de Potência . . . . .	61
4.3.3	Disponibilidade do Sistema Hidráulico . . . . .	62
4.3.4	Disponibilidade do Sistema de Aquecimento e Arrefecimento . . . . .	64
4.3.5	Disponibilidade do Conjunto de Sistemas . . . . .	65
4.3.6	Disponibilidade Pandur II . . . . .	66
<b>5</b>	<b>Conclusões, Limitações e Trabalhos Futuros</b>	<b>69</b>
5.1	Conclusões . . . . .	69
5.2	Limitações . . . . .	70
5.3	Trabalhos Futuros . . . . .	71
	<b>Bibliografia</b>	<b>73</b>
<b>A</b>	<b>Fichas de Decisão RCM</b>	<b>79</b>

# Lista de Figuras

Figura 2.1: Evolução das gerações da manutenção. . . . .	6
Figura 2.2: Custos da manutenção e disponibilidade. . . . .	7
Figura 2.3: Padrões de falha ao longo da evolução da manutenção. . . . .	8
Figura 2.4: Tipos de manutenção. . . . .	9
Figura 2.5: Processo RCM. . . . .	14
Figura 2.6: Processo FMEA/FMECA. . . . .	17
Figura 2.7: Efeito do parâmetro de localização na distribuição de Weibull. . . . .	21
Figura 2.8: Efeito do parâmetro de forma na distribuição de Weibull. . . . .	22
Figura 2.9: Efeito do parâmetro de forma na função fiabilidade. . . . .	22
Figura 2.10: Efeito do parâmetro de forma na taxa de falha. . . . .	22
Figura 2.11: Efeito do parâmetro de escala na distribuição de Weibull. . . . .	23
Figura 2.12: Efeito de $\lambda$ na função densidade de probabilidade da distribuição Exponencial. . . . .	24
Figura 2.13: Efeito de $\sigma$ na função densidade de probabilidade da distribuição Normal. . . . .	25
Figura 3.1: Viatura Blindada de Rodas Pandur II 8x8, na versão ICV ao serviço do Exército Português. . . . .	30
Figura 3.2: Árvore FMEA do SA Pandur II 8x8. . . . .	31
Figura 3.3: Árvore FMEA do Sistema de Potência da Pandur II 8x8. . . . .	32
Figura 3.4: Árvore FMEA do Sistema de Transferência de Potência da Pandur II 8x8. . . . .	33
Figura 3.5: Árvore FMEA do Sistema Hidráulico da Pandur II 8x8. . . . .	34
Figura 3.6: Árvore FMEA do Sistema de Aquecimento e Arrefecimento da Pandur II 8x8. . . . .	34
Figura 3.7: Registo da função e das falhas funcionais do turbo. . . . .	39
Figura 3.8: Continuação do registo para o componente Turbo: parâmetro Modo de Falha (Causa e Mecanismo). . . . .	40
Figura 3.9: Continuação do registo para o componente Turbo: parâmetros dos Efeitos de Falha. . . . .	41
Figura 3.10: Introdução dos dados no Weibull++ para o componente Turbo. . . . .	43
Figura 3.11: Determinação do valor de MTBF para o componente Turbo no software Weibull++. . . . .	44
Figura 3.12: Ficha de informação completa para o componente Turbo. . . . .	48
Figura 3.13: Estrutura utilizada para registar as respostas ao Diagrama de Decisão. . . . .	48
Figura 3.14: Interface do software <i>BlockSim</i> . . . . .	51
Figura 3.15: Interface de escolha dos parâmetros da simulação. . . . .	52
Figura 4.1: Gráfico da métrica <i>RS DTCl</i> para o Sistema de Potência. . . . .	61

Figura 4.2: Gráfico da métrica <i>RS DTCl</i> para o Sistema de Transferência de Potência. . . . .	62
Figura 4.3: Gráfico da métrica <i>RS DTCl</i> para o Sistema Hidráulico. . . . .	63
Figura 4.4: Gráfico da métrica <i>RS DTCl</i> para o Sistema de Aquecimento e Arrefecimento. . . . .	65

# Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Temperatura média anual registada nos anos de 2009 a 2023 . . . . .	36
Tabela 3.2: Tabela com as distribuições e MTBFs dos componentes em estudo em TN, na RCA e na ROU . . . . .	45
Tabela 3.3: Matriz de Risco . . . . .	47
Tabela 3.4: Componentes considerados críticos de cada sistema para análise da disponibilidade. .	50
Tabela 4.1: Proposta de alteração ao plano de manutenção. . . . .	58
Tabela 4.2: Valores de disponibilidade obtidos para o Sistema de Potência para os diferentes valores de MTTR considerados. . . . .	60
Tabela 4.3: Valores de disponibilidade obtidos para o Sistema de Transferência de Potência para os diferentes valores de MTTR considerados. . . . .	61
Tabela 4.4: Valores de disponibilidade obtidos para o Sistema Hidráulico para os diferentes valores de MTTR considerados. . . . .	63
Tabela 4.5: Valores de disponibilidade obtidos para o Sistema de Aquecimento/Arrefecimento para os diferentes valores de MTTR considerados. . . . .	64
Tabela 4.6: Valores de Disponibilidade e Erro para o Conjunto de Sistemas. . . . .	65
Tabela 4.7: Pandur II 8x8 - Comparação de Disponibilidade para Diferentes MTTRs. . . . .	67





# Lista de Acrónimos e Siglas

<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>CBM</b>	Condition-Based Maintenance
<b>CPV</b>	Command Post Vehicle
<b>DMSA</b>	Direção de Manutenção e Sistemas de Armas
<b>FMEA</b>	Failure Modes and Effects Analysis
<b>FMECA</b>	Failure Modes Effects and Criticality Analysis
<b>FND</b>	Forças Nacionais Destacadas
<b>HM</b>	Horas de Motor
<b>ICV</b>	Infantry Carrier Vehicle
<b>IFV</b>	Infantry Fighting Vehicle
<b>MINUSCA</b>	Missão Multidimensional Integrada das Nações Unidas para a Estabilização da República Centro-Africana
<b>MTBF</b>	Mean Time Between Failure
<b>MTTF</b>	Mean Time To Failure
<b>MTTR</b>	Mean Time To Repair
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>OT</b>	Ordens de Trabalho
<b>OTAN</b>	Organização do Tratado do Atlântico Norte
<b>R-CA</b>	Root Cause Analysis
<b>RBDs</b>	Reliability Block Diagrams
<b>RBI</b>	Risk-Based Inspection
<b>RCA</b>	República Centro-Africana
<b>RCM</b>	Reliability Centered Maintenance
<b>ROU</b>	Roménia
<b>RPN</b>	Risk Priority Number
<b>RS DTCI</b>	ReliaSoft Downtime Criticality Index
<b>RWS</b>	Remote Weapon Station
<b>SA</b>	Sistema de Armas
<b>TN</b>	Território Nacional
<b>TO</b>	Teatro de Operações

**TPM** Total Productive Maintenance  
**VBTP** Viatura Blindada de Transporte de Pessoal



# Lista de Símbolos

## Simbolos gregos

$\beta$	Parâmetro de forma
$\eta$	Parâmetro de escala
$\gamma$	Parâmetro de localização
$\lambda$	Taxa de falha



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivação

Devido à elevada relevância estratégica da Pandur II nos diversos Teatro de Operações (TO) onde se encontra projetada, é fundamental assegurar uma elevada disponibilidade operacional deste Sistema de Armas (SA). A Pandur II, oferece a combinação de elevada blindagem, poder de fogo e mobilidade, desempenhando um papel crítico tanto em missões de combate como em operações de demonstração de força, sendo assim um elemento-chave no sucesso das missões das Forças Nacionais Destacadas (FND). Consequentemente, a sua indisponibilidade pode comprometer a prontidão e a eficácia da força no terreno, tornando imperativo atualizar o seu plano de manutenção.

Desde a projeção da Pandur II para o TO da Roménia (ROU), no âmbito da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), e para o TO da República Centro-Africana (RCA), sob a égide da Organização das Nações Unidas (ONU), observou-se um aumento significativo do número de Horas de Motor (HM) das viaturas. Este incremento resulta da intensificação dos treinos orientados para a missão, a fim de aprontar adequadamente as FND. As viaturas têm sido intensamente utilizadas tanto no Território Nacional (TN) durante a fase de aprontamento, como nos respetivos TO durante as missões. Naturalmente, o aumento das HM conduziu a um crescimento das Ordens de Trabalho (OT), tendo sido registadas 7164 OT corretivas no período de 04FEV09 a 30JUN24.

Este estudo visa realizar uma comparação do impacto dos diferentes contextos operacionais (TN, ROU, RCA), com o objetivo de atualizar os planos de manutenção às exigências específicas de cada TO. Particularmente no TO da RCA, a cadeia logística enfrenta desafios acrescidos, sobretudo no que concerne ao reabastecimento de sobressalentes, o que agrava a necessidade de um plano de manutenção atual e adaptado às condições do terreno.

A Pandur II desempenha um papel fundamental nas missões atuais devido à sua capacidade de mobilidade, poder de fogo, choque e proteção, elementos que são cruciais para o sucesso das operações militares. A disponibilidade operacional da Pandur II reflete-se assim diretamente na capacidade da força em cumprir as suas missões. Assim, estudar os fatores que influenciam a sua disponibilidade e implementar medidas que mitiguem o impacto das falhas é essencial de forma a garantir a prontidão e

a eficácia da força.

## 1.2 Enquadramento

Atualmente, o Exército Português encontra-se envolvido em missões internacionais de elevado relevo, projetado através das Forças Nacionais Destacadas (FND) em dois teatros de operações além-fronteiras. Desde janeiro de 2017, o exército opera no TO da RCA ao serviço da ONU, integrando a Missão Multidimensional Integrada das Nações Unidas para a Estabilização da República Centro-Africana (MINUSCA). Em paralelo, desde abril de 2022, as forças portuguesas estão projetadas no TO da ROU, sob a égide da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), no reforço do flanco leste da organização em resposta ao contexto de segurança agravado pela guerra na Ucrânia.

A exigência destes TO requer uma elevada disponibilidade dos SA ao dispor do exército. A Pandur II 8x8, sendo uma viatura blindada de transporte de pessoal, destaca-se pelas suas capacidades de proteção, mobilidade e poder de fogo e choque, sendo essencial para o cumprimento das missões internacionais e para cimentar a força de Portugal junto dos aliados da OTAN e dos países da ONU assim como reforçar as alianças estratégicas e os compromissos internacionais.

O presente estudo dá continuidade à investigação já iniciada no Exército Português sobre a aplicação da metodologia Reliability Centered Maintenance (RCM). O Tenente-Coronel de Material Énio Chambel aplicou a metodologia RCM ao sistema Pandur II como um todo na sua tese de doutoramento, mas com maior foco na aplicação de redes de Petri. No âmbito da tese de doutoramento do Tenente-Coronel Chambel, o Tenente de Material Filipe Silva, na sua dissertação de mestrado [1], aplicou a metodologia RCM ao sistema de refrigeração da Pandur II, com foco na atualização do plano de manutenção. O trabalho aqui desenvolvido pretende avançar ainda mais, realizando um estudo comparativo do impacto dos diferentes contextos operacionais (TN, RCA, Roménia) nas viaturas Pandur II, com o objetivo de adaptar os planos de manutenção às necessidades específicas de cada TO.

## 1.3 Objetivos

Esta dissertação tem como principal objetivo aplicar a metodologia de Manutenção Centrada na Fiabilidade, na nomenclatura inglesa RCM de forma a realizar um estudo comparativo entre o TN e os diferentes TO em que o SA Pandur II 8x8 se encontra atualmente projetado, efetuando um estudo ao atual plano de manutenção proposto pelo fabricante para as viaturas.

O objetivo é prever quais os componentes mais propensos a falhar no futuro. Adicionalmente, pretende-se que a aplicação da RCM melhore a gestão de stock e contribua para uma redução dos custos operacionais, traduzindo-se num ganho financeiro significativo para a instituição.

Este estudo visa identificar, analisar e quantificar as diferenças nos padrões de falhas e nas exigências de manutenção, de forma a atualizar os planos de manutenção para aumentar a fiabilidade e disponibilidade das viaturas.

## 1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação de mestrado é dividida em cinco capítulos fundamentais. No primeiro capítulo, a Introdução, é feita uma primeira abordagem ao tema em estudo, incluindo a motivação para explorar este tema e como se enquadra na restante literatura, são ainda apresentados os objetivos pretendidos a alcançar na dissertação.

O segundo capítulo corresponde ao Estado da Arte, onde é feita uma revisão da literatura, onde são revistos trabalhos no âmbito da dissertação e são identificadas as lacunas existentes na literatura que se pretende colmatar com esta dissertação. Neste capítulo são abordados temas, inicialmente, mais gerais como a manutenção e diferentes estratégias de manutenção, partindo daí para o particular onde é abordada a metodologia RCM, a análise FMEA e FMECA, a função fiabilidade e as diferentes distribuições de vida. Por último, é abordada a disponibilidade e a metodologia Delphi.

No terceiro capítulo é apresentado o caso prático, SA Pandur II 8x8, onde são descritas e explicadas as etapas percorridas para a aplicação da metodologia RCM ao caso prático, assim como são apresentadas algumas dificuldades encontradas e as simplificações necessárias.

No quarto capítulo são analisados e discutidos todos os resultados e são justificadas as ações de manutenção propostas, assim como as atualizações ao atual plano de manutenção.

No quinto, e último, capítulo estão explanadas as conclusões retiradas desta dissertação, assim como bem definidas as limitações encontradas, por fim são apresentadas possíveis propostas de trabalho futuro.



# Capítulo 2

## Estado da Arte

No capítulo do Estado da Arte é realizada uma revisão de literatura com o objetivo de apresentar os conceitos teóricos mais relevantes na realização desta dissertação. Nomeadamente, a metodologia RCM e a metodologia Delphi.

### 2.1 Manutenção

Manutenção é um conceito que se encontra em constante evolução, sempre associado às necessidades da sociedade em que se insere, tal como Marius Basson refere na sua obra: “Nos últimos 50 anos, a manutenção mudou e continua a mudar, talvez mais do que qualquer outra disciplina de gestão” [2]. John Moubray definiu, na sua obra *RCM II - Reliability Centered Maintenance*, a manutenção como sendo “Garantir que os ativos<sup>1</sup> físicos continuam a fazer o que os utilizadores pretendem que façam” [4]. Já a norma NP EN 13306:2021 define manutenção como a “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou repô-lo num estado em que ele pode desempenhar a função requerida” [3]. As definições apresentadas sustentam a terminologia quotidiana associada à manutenção, compreendendo que se trata de tudo aquilo que é realizado para manter um determinado sistema em funcionamento.

Com a evolução da indústria, tanto em quantidade quanto em complexidade dos sistemas associados, a manutenção precisou acompanhar esse desenvolvimento. Foi necessário que todo o pessoal envolvido, desde operários a engenheiros, adotasse novas formas de pensar e atuar [2]. Uma manutenção bem executada e implementada contribui para o prolongamento do tempo de vida útil dos sistemas, além de aumentar a sua fiabilidade e disponibilidade, o que se traduz em ganhos financeiros para a organização [5].

A manutenção precisou ainda de se adaptar às exigências legais e sociais impostas pelas questões ambientais do século XXI [2]. Como Garetti and Taisch descreveram em 2012 os modelos de produção baseavam-se no paradigma de “recursos ilimitados e na capacidade de regeneração ilimitada do mundo” [6], o que levou a uma mudança do paradigma elevando a importância da manutenção inserida na sus-

---

<sup>1</sup> Ativo é um bem que tem potencial ou real valor para uma organização [3].

tentabilidade e no ciclo de vida dos sistemas, apresentando uma redefinição do papel da manutenção como “um método primordial para a gestão do ciclo de vida cujo objetivo é fornecer à sociedade as funções necessárias, minimizando o consumo de material e energia” [7].

A evolução da manutenção pode ser dividida em 4 gerações, ver figura 2.1.

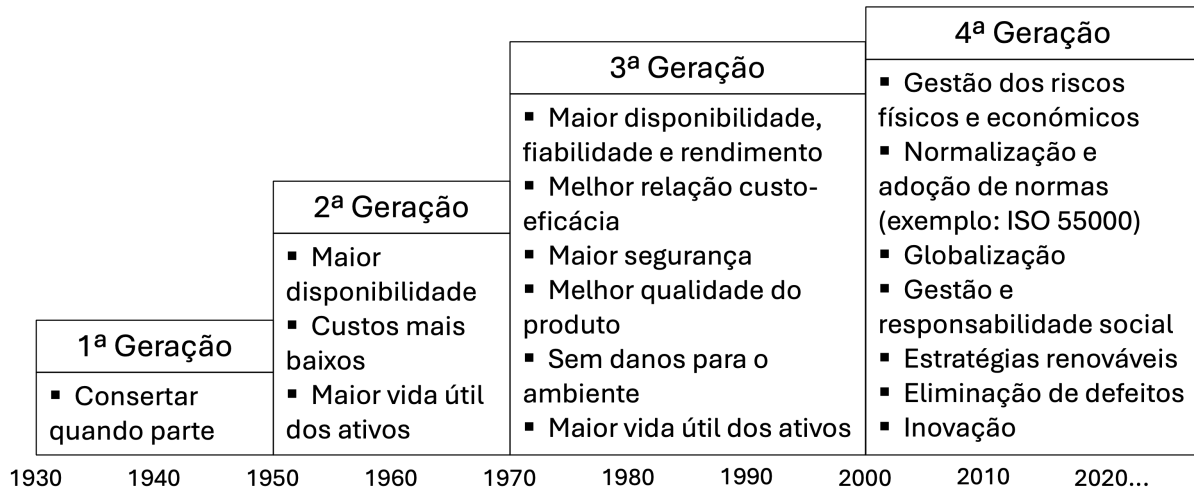


Figura 2.1: Evolução das gerações da manutenção, adaptado de [2].

A 1ª geração da manutenção compreende o período desde a 1ª Revolução Industrial, no final do século XVIII, até ao início da 2ª Guerra Mundial. Nessa época, a indústria caracterizava-se por ser pouco automatizada e a disponibilidade não era um fator de preponderância. Devido ao sobredimensionamento das máquinas, estas tornavam-se bastante fiáveis e de fácil reparação, não havendo, por isso, uma rotina de manutenção preventiva definida. A manutenção limitava-se a ações de limpeza e lubrificação, e as máquinas operavam até à falha, sendo realizadas apenas ações de manutenção corretiva [2].

A 2ª geração da manutenção surgiu como uma necessidade imposta pela 2ª Guerra Mundial. A crescente procura por produção, aliada à escassez de mão-de-obra disponível, levou a uma maior automatização da indústria, o que, conseqüentemente, introduziu sistemas maiores e mais complexos, tornando a indústria cada vez mais dependente deles. Novamente, a necessidade de manter a produção constante trouxe preocupações com conceitos como a disponibilidade, levando ao aparecimento da manutenção preventiva, que consistia em realizar tarefas de manutenção em intervalos de tempo fixos. Com a introdução da manutenção preventiva, os custos associados à manutenção também aumentaram, incentivando a criação de programas e planos de manutenção, ver figura 2.2. A crescente complexidade dos sistemas resultou no aumento dos seus custos, motivando as altas chefias a procurar estratégias de forma a prolongar o ciclo de vida dos ativos [2].

A 3ª geração da manutenção alinha-se com o início da 3ª Revolução Industrial, destacando-se pela personalização em massa dos produtos, abandonando a produção em massa introduzida na 2ª Revolução Industrial. As tecnologias digitais introduzidas na época levaram a que toda a indústria assentasse cada vez mais na maquinaria e não na mão-de-obra, levando a uma especialização da mesma com designers, engenheiros, entre outras profissões especialistas a tornarem-se o núcleo dos traba-

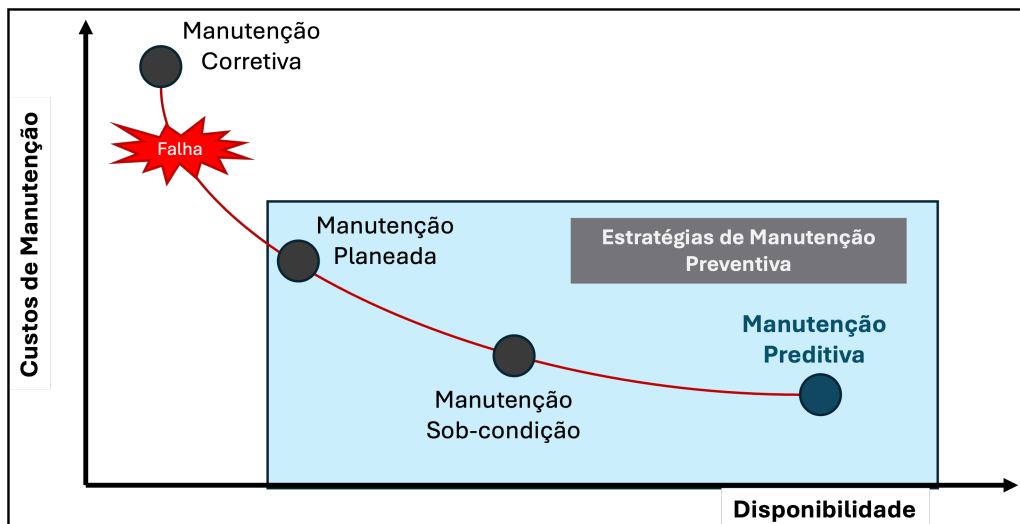


Figura 2.2: Custos da manutenção e disponibilidade, adaptado de [8].

lhadores da indústria. O surgimento de novas tecnologias, como a Internet e o computador pessoal, formaram a base de uma nova tendência de consumo com expectativas renovadas, equilibrando a disponibilidade dos equipamentos com a sua fiabilidade. Foi nesse contexto que a metodologia RCM foi introduzida pela primeira vez [1, 2].

A 4ª geração da manutenção surge novamente de uma necessidade criada pela 4ª Revolução Industrial. A era industrial atual trouxe a interligação de sistemas integrada com a inteligência artificial, alterando a forma como interagimos com as “máquinas” e com o mundo social. Muitos dos trabalhos atuais serão substituídos ao mesmo tempo que novos serão criados, numa constante evolução, como Marius Basson escreveu “A 4ª Revolução Industrial levará a uma melhor produtividade e a uma maior segurança, fiabilidade e qualidade” [2]. A consciencialização ambiental, referida anteriormente, tem sido exercida pelas entidades governamentais, com uma maior pressão sobre as empresas no sentido de haver uma maior regulamentação na gestão de ativos [2]. É assim expectável que a manutenção venha a corresponder a estas necessidades apresentando uma melhoria na sustentabilidade, suportada pelas inovações tecnológicas e pela gestão do ciclo de vida dos ativos [9].

Atualmente, a literatura já faz referências à Indústria 5.0 e à 5ª geração da manutenção. Enquanto a Indústria 4.0 foi marcada pela robotização e automação das fábricas, a Indústria 5.0 foca-se num modelo mais colaborativo, onde os humanos e as máquinas trabalham em conjunto. Ao contrário da Indústria 4.0, que dava prioridade à automação total e à personalização em massa, a Indústria 5.0 combina essa eficiência com uma maior experiência personalizada e centrada no ser humano, “A indústria pode ajudar a atingir objetivos sociais para além do emprego e do crescimento, tornando-se um fornecedor resiliente de prosperidade” [10]. O objetivo principal é colocar os humanos a trabalhar numa sinergia com as máquinas, maximizando a eficiência e a criatividade. Enquanto as máquinas assumem as tarefas repetitivas e de maior risco, os humanos ficam responsáveis pelas funções criativas e de supervisão estratégica, aumentando a segurança e a inovação.

Um dos maiores desafios da Indústria 5.0 é a escassez de mão-de-obra qualificada, assim como a

criação de ambientes de trabalho híbridos que promovam uma interação ética e eficiente entre humanos e máquinas. Além disso, é crucial desenvolver tecnologias que garantam que essa integração mantenha elevados padrões de segurança e bem-estar para os trabalhadores [11]. Isso implica que os sistemas de manutenção sejam adaptáveis e flexíveis, além de eficientes.

A 5ª geração da manutenção, por sua vez, está diretamente relacionada a esses avanços. Dependendo de plataformas tecnológicas integradas que centralizam os planos de manutenção e as ordens de trabalho corretivas, garantindo que a informação flua perfeitamente entre os sistemas e as diferentes áreas da empresa. Com a evolução da manutenção preditiva, a Inteligência Artificial torna-se uma ferramenta essencial, pois permite a análise de grandes volumes de dados, a identificação de padrões e a antecipação de falhas. Isso permite também a colaboração com especialistas e consultores externos em tempo real, otimizando a tomada de decisão e reduzindo o tempo de inatividade [12].

Ao longo das gerações da manutenção, a forma como se interpretava a probabilidade de uma falha ocorrer também evoluiu. Inicialmente, a generalização seria que a probabilidade de um sistema falhar aumentava com as horas de utilização ou a idade do mesmo. Posteriormente, foi aceita pela comunidade científica a teoria da *bathub curve*, que essencialmente dizia que um sistema passava por três fases durante a sua vida: sendo mais provável de falhar na fase da **mortalidade infantil** (fase inicial) e na **fase do desgaste** (fase final), mantendo-se a probabilidade de falhar mais baixa e relativamente constante durante o tempo de **vida útil** [2]. Durante a 3ª geração da manutenção e o avanço na gestão da manutenção foi consensual que existiam seis padrões de falha [13], conforme ilustrado na figura 2.3.

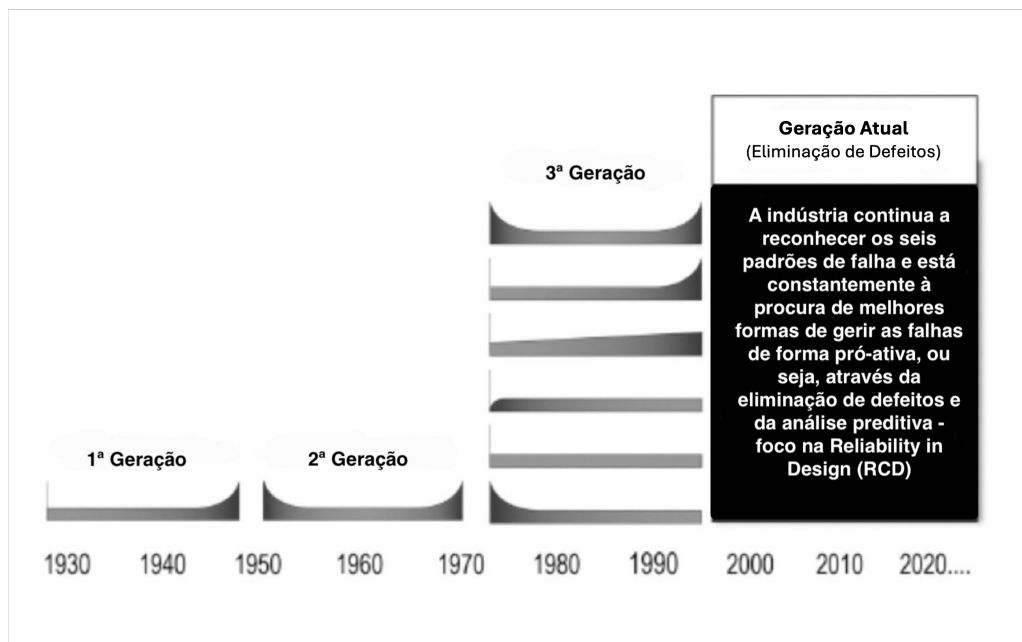


Figura 2.3: Padrões de falha ao longo da evolução da manutenção, adaptado de [2].

Atualmente o foco vai além de acompanhar os padrões de falha, mas sim em eliminar ou mitigar as falhas, onde estas são cada vez menos toleráveis. Exige-se que o equipamento funcione desde a sua implementação, o que carece de mais pessoal qualificado em todo o processo de desenho, montagem e implementação dos sistemas [2].

## 2.2 Estratégias de Manutenção

A figura 2.4 representa os dois grandes grupos em que a manutenção se divide em relação à falha de um sistema [3]. Manutenção preventiva se for realizada antes da falha ocorrer, esta pode ser dividida em planeada, se seguir uma métrica temporal, ou preditiva, normalmente, associada à sensorização dos equipamentos e com base na real condição dos mesmos. Manutenção corretiva se for realizada após a falha do equipamento, que também se divide em de emergência se a falha for corrigida imediatamente após a falha, e de oportunidade quando a falha é corrigida, por exemplo, em manutenções programadas, normalmente associada a falhas não críticas [14, 15].

A escolha entre manutenção preventiva e corretiva está muitas vezes associada ao custo, seja de indisponibilidade ou de reparação. No entanto, a seleção vai além do custo, tendo em conta também o impacto da falha na segurança, no custo das intervenções preventivas em comparação com as corretivas, e na disponibilidade de peças sobressalentes e mão-de-obra qualificada. Além disso, a complexidade do sistema também pode influenciar a escolha, uma vez que sistemas mais sofisticados requerem estratégias de manutenção mais avançadas [16].

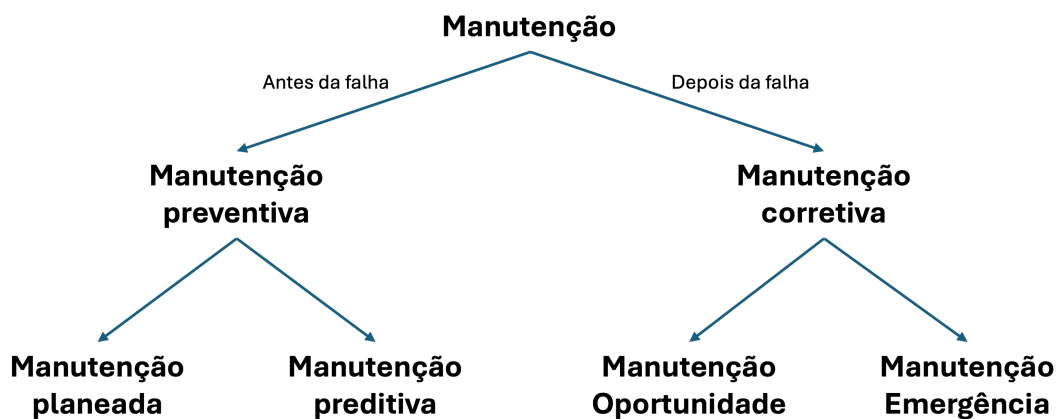


Figura 2.4: Tipos de manutenção, adaptado de [3].

Atualmente, estão presentes diversas metodologias na literatura que poderiam ter sido aplicadas de forma a alcançar o referido equilíbrio.

A metodologia Condition-Based Maintenance (CBM) é uma metodologia que se baseia, como o nome indica, na condição atual ou futura do ativo e reconhece que uma intervenção deverá ser feita com base na condição ou na performance do ativo. Esta metodologia tem como objetivo minimizar os custos de inspeção e reparação, com base na análise e interpretação de dados sobre as condições de operação de componentes críticos de um ativo. Isto significa que um ativo só é retirado de serviço e intervencionado se houver sinais evidentes de degradação, tendo como ponto forte o facto de a manutenção só ser realizada quando a necessidade é iminente ao invés de após um determinado tempo de serviço, reduzindo os custos associados à mesma [17]. Embora a metodologia CBM ofereça benefícios, apresenta a limitação de não equilibrar a manutenção preventiva com a manutenção corretiva, conduzindo a momentos em que as equipas de manutenção se encontram em *stand-by* e a momentos de sobrecarga [18]. Ainda a dificuldade de recolha contínua de dados operacionais da Pandur

II em contextos operacionais como, por exemplo, o da RCA limita a eficácia da CBM. Isto faz com que a RCM, sendo uma abordagem mais abrangente na análise e prevenção de falhas, seja uma escolha mais sustentada.

A metodologia Total Productive Maintenance (TPM) tem por foco a eliminação dos principais fatores de perdas na produção. Esta metodologia promove a comunicação entre os mais baixos e os mais altos escalões, desde os operários aos engenheiros responsáveis, criando-se uma relação de sinergia [17]. No entanto, esta metodologia apresenta fragilidades na avaliação do risco e da esperança de vida dos equipamentos, assim como na determinação das tarefas de manutenção necessárias [1].

A metodologia Risk-Based Inspection (RBI) foi desenvolvida pela American Petroleum Institute (API), e o seu foco é a definição e avaliação do risco. Esta metodologia parte da premissa que a maioria dos componentes com maior risco estão concentrados numa pequena parte do sistema. Assim deve ser feito investimento extra e prioritário na manutenção destes componentes, sendo este custo extra compensado com a redução da manutenção nos demais componentes com menor risco associado [19]. Devido à sua génese esta metodologia é muito direcionada para o desgaste associado a hidrocarbonetos, revelando algumas falhas na determinação dos tempos das inspeções da condição e na determinação de estratégias de gestão de risco alternativas [1]. Sendo a Pandur II uma viatura tática militar de rodas, podendo ser projetada para diversos contextos operacionais, torna-se fundamental prever os principais tempos de falha de certos componentes, permitindo assim preparar toda a cadeia logística necessária à manutenção das viaturas. Como tal, a RCM ganha vantagem sobre a RBI por integrar estratégias de gestão de risco e ter como ponto forte a determinação dos tempos de falha.

A metodologia Root Cause Analysis (R-CA) foca-se na determinação das causas das falhas, como o nome indica, no entanto, não é direcionada para a formulação de ações de mitigação de risco [1]. Esta metodologia é mais adequada em análises de melhoria contínua [20]. De forma hipotética, esta metodologia poderia assumir relevância para a Pandur II num contexto posterior à implementação da metodologia RCM, permitindo uma melhoria do processo de implementação e na localização de causas de falha que a metodologia RCM não identificasse.

A metodologia RCM pode ser definida como uma abordagem sistemática às funções de um sistema, falhas, causas e efeitos das falhas (Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)) [21]. Esta combina técnicas preventivas e corretivas de forma a determinar a política de manutenção mais rentável a ser implementada [22]. A aplicação da metodologia RCM permite identificar os componentes críticos da Pandur II, o que adicionado à integração com a análise FMEA permite um profundo conhecimento dos modos de falha e do risco associado a cada um, permitindo manter uma alta disponibilidade das viaturas, especialmente em contextos operacionais de elevada exigência logística e operacional.

Foi assim decidido aplicar a metodologia RCM com o objetivo de fazer um estudo ao plano de manutenção em vigor e analisar possíveis atualizações ao mesmo, uma vez que o SA Pandur II ocupa um grau elevado de relevância para o contexto operacional do Exército Português. A análise funcional e o estudo dos modos de falha pressupostos pela RCM, constituem-se como uma mais-valia na análise do SA nos seus pontos fortes e pontos críticos. De realçar ainda o facto de uma correta aplicação da metodologia RCM resultar num conjunto de propostas de tarefas de manutenção, essenciais para

aprimorar o atual plano de manutenção recomendado pelo fabricante.

Em resumo, as metodologias CBM, TPM, RBI e R-CA apresentam vantagens significativas em certos contextos, no entanto, a abordagem compreensiva e sistemática da RCM permite-lhe ganhar vantagem no estudo adequado da Pandur II, dado o seu equilíbrio entre prevenção e correção de falhas. A capacidade de integrar análises detalhadas dos modos de falha e efeitos, assim como do risco em diferentes TO torna a metodologia RCM mais robusta para garantir a continuidade operacional e minimizar os tempos de indisponibilidade.

## **2.3 Metodologia de Manutenção Centrada na Fiabilidade**

A manutenção centrada na fiabilidade, RCM na nomenclatura inglesa, tem a sua origem na indústria aeronáutica com o intuito de aumentar a fiabilidade das aeronaves, mas sempre com o objetivo de reduzir os custos da manutenção. Em 1960, a indústria aeronáutica americana desenvolveu o primeiro processo da metodologia RCM. Este processo abrangente permitia a seleção cuidadosa das tarefas de manutenção mais adequadas para garantir a operabilidade das aeronaves, reduzindo simultaneamente os custos. [4].

Em 1978, Nowlan e Heap da United Airlines publicaram o relatório [23] que utiliza pela primeira vez o termo RCM, tendo tido uma rápida adesão por parte de várias indústrias que pretendiam melhorar os seus programas de manutenção, pelas razões enunciadas e por não existir há data uma estratégia de manutenção que apresentasse resultados tão satisfatórios [4]. A metodologia RCM alterou o conceito da manutenção preventiva de manter os equipamentos em condições de utilização “perfeitas”, para manter os equipamentos em condições de utilização “funcionais” (tornando a definição de contexto operacional determinante), levando a um conhecimento de como o sistema funciona com um todo, quais as suas falhas e as causas associadas às mesmas [21].

Posteriormente foram lançadas diversas versões, também denominadas por RCM, que pretendiam fazer uma continuidade e aperfeiçoamento do trabalho de Nowlan e Heap após estes terem lançado o primeiro relatório. No entanto, muitas dessas versões mostravam-se menos rigorosas que o procedimento original na tentativa de agilizar processos, levando a resultados menos satisfatórios [2]. Em 1997, foi lançada uma das obras mais notáveis, no que à metodologia RCM concerne, o livro RCMII de John Moubray [4]. Após isto, em 1999, surge a norma SAE JA1011 e o guia SAE JA1012, o que trouxe credibilidade à metodologia e solidificou as bases criadas pelo relatório de 1978 e pelo livro de 1997, cimentando a metodologia RCM na indústria mundial.

Com a constante evolução da indústria e com a manutenção a acompanhar esta evolução, surgiu a necessidade de atualizar o RCMII. Após anos de trabalho foi lançado o livro RCM3 por Marius Branson [2], este livro foi uma revisão do RCMII, mas agora incluindo também uma abordagem baseada no risco, adicionando uma nova dimensão à manutenção e à gestão da manutenção. A introdução da avaliação baseada no risco surgiu da necessidade de lidar com a crescente complexidade dos sistemas modernos e a exigência de integrar segurança e desempenho com uma gestão eficaz de custos e integridade ambiental. A RCM3 começa por identificar os riscos, depois quantifica-os, e de seguida define as

melhores estratégias para os abordar, considerando para isso os aspetos físicos e económicos dos riscos, eliminando-os ou mitigando-os de forma a torná-los toleráveis para as organizações [2].

A manutenção preventiva tradicional apresentava intervalos de tempo rígidos para as ações de manutenção, levando a que o intervalo de manutenção fosse demasiado curto quando o equipamento era novo, e demasiado longo quando o equipamento atingia um maior nível de utilização ou idade. Esta abordagem fazia com que a manutenção preventiva não tivesse uma relação custo-benefício razoável nas situações descritas, podendo aumentar a probabilidade de falha do equipamento [24].

A manutenção centrada na fiabilidade tem por objetivo otimizar a eficiência, a fiabilidade, a produtividade e os custos, integrando diversas estratégias de manutenção. Dessa forma, pretende-se um maior acerto nos intervalos de tempo da manutenção preventiva tradicional, tentando alcançar um equilíbrio entre disponibilidade e fiabilidade, mantendo o equipamento num estado funcional com custos controlados [15].

Segundo o livro RCMII quando aplicada corretamente, a metodologia RCM permite alcançar os seguintes resultados [1, 4]:

- Maior integridade ambiental e segurança;
- Melhor desempenho operacional (regras para selecionar as ações de manutenção mais adequadas e com maior valor acrescentado);
- Melhor custo-benefício na manutenção (maior foco nas ações com maior impacto na operacionalidade do equipamento);
- Uma base de dados completa (conjunto de informações sobre as principais necessidades de manutenção do ativo);
- Maior motivação das pessoas;
- Melhor trabalho de equipa;
- Maior vida útil de sistemas de elevado custo.

Para considerar os pontos descritos e envolver todos os participantes ligados ao ativo em estudo, a metodologia RCM oferece uma abordagem passo a passo, o que se constitui como uma das suas principais vantagens. A metodologia RCM coloca a fiabilidade como prioritária na gestão do ativo, e integra outras abordagens, além da centrada na fiabilidade, como a centrada no risco [2].

A manutenção centrada na fiabilidade pode descrever-se como sendo um processo de decisão lógico e estruturado, para identificar as políticas de forma a gerir os modos de falha que podem causar falhas a um sistema. Pode ainda ser definida como uma metodologia para a avaliação do sistema, permitindo alcançar o melhor plano de manutenção programada preventiva [25].

No livro RCM3 o autor define a manutenção centrada na fiabilidade como “um processo utilizado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer ativo físico no seu contexto operacional”, de seguida o autor vai mais longe e propõe para a sua metodologia revista como “um processo usado para definir o número mínimo necessário e seguro de ações de manutenção, engenharia e outras estratégias

de gestão do risco de maneira a garantir um nível tolerável de segurança, integridade ambiental e capacidade operacional rentável, conforme especificado pelas normas de gestão de ativos da organização em que se insere” [1, 2].

A metodologia RCM, com a sua abordagem estruturada e centrada na fiabilidade, é particularmente adequada para otimizar o plano de manutenção do SA Pandur II. Ao equilibrar as necessidades operacionais com a gestão eficaz de custos, esta metodologia proporciona uma base sólida para garantir o aumento do tempo de vida do ativo e a funcionalidade das viaturas em ambientes operacionais exigentes.

## **2.4 Implementação da Metodologia de Manutenção Centrada na Fiabilidade**

Diferentes autores consideram que a implementação da manutenção centrada na fiabilidade tem diferentes objetivos principais.

Os autores *Carretero et al*, consideram que esta possui três objetivos principais, primeiro garantir a segurança e fiabilidade dos sistemas focando-se nas suas funções mais importantes, considerando que estas são o que é pretendido do equipamento; segundo prevenir ou mitigar as consequências das falhas e não as falhas em si; e terceiro reduzir os custos associados à manutenção ou retirar ações de manutenção que não sejam estritamente necessárias, entendendo que nem todas as falhas podem ser intervencionadas antes de acontecerem [21].

No entanto, no seu livro, Basson define seis resultados tangíveis (1-6) e dois menos tangíveis (7-8) [2]:

1. Contexto operacional;
2. Risco inerente definido e quantificado;
3. Manutenção calendarizada;
4. Processos de utilização e procedimentos de manutenção revistos;
5. Risco revisto ou residual;
6. Alterações únicas para uma utilização continuada segura do ativo;
7. Grande entendimento do processo por todos os intervenientes;
8. Melhor trabalho de equipa.

De forma a atingir os objetivos enumerados, é necessário seguir algumas etapas, conforme ilustrado na figura 2.5: preparação e planeamento da RCM, análise das falhas funcionais, seleção das tarefas críticas, implementação da RCM e, por fim, a melhoria contínua [26]. Este último passo é de elevada relevância, uma vez que a RCM não é um método perfeito, podendo ser necessário realizar

ajustes periódicos. Além disso, o contexto operacional pode sofrer alterações, assim como é importante verificar os impactos das mudanças no plano de manutenção. Por último, o melhor entendimento e conhecimento sobre o sistema em estudo, ou a disponibilidade de novas tecnologias, pode ser útil na revisão e atualização da estratégia de manutenção [27].

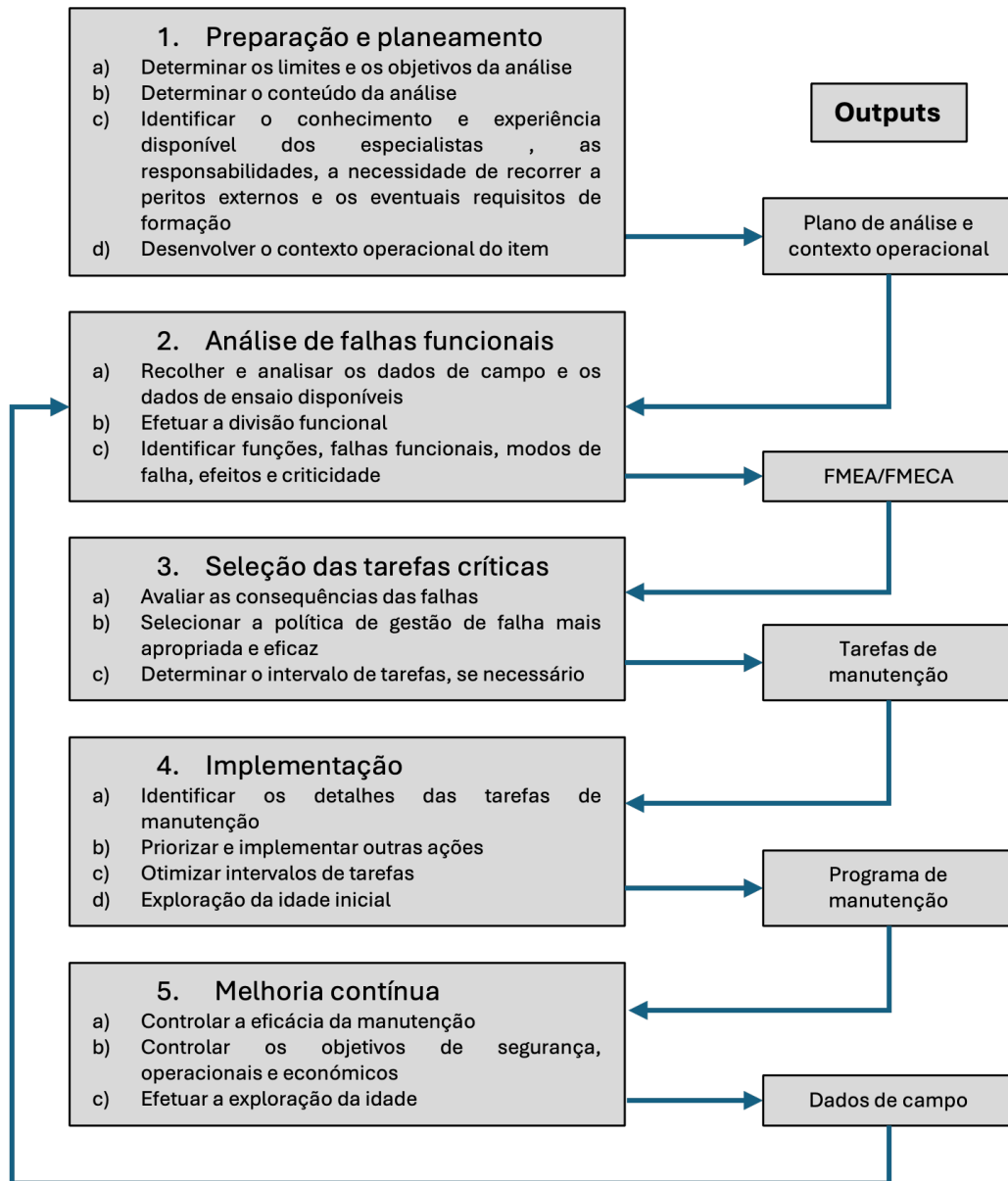


Figura 2.5: Processo RCM, adaptado de [26].

Independentemente do processo utilizado para a metodologia RCM, esta deverá responder a cada uma das 8 questões propostas por Basson na sua obra RCM3 [2], a norma SAE JA1011 propõe apenas 7 questões [28], no entanto, nesta dissertação seguiu-se o modelo proposto por Basson.

## 2.5 Questões da RCM

O modelo mais atual de RCM é o RCM3, que inclui uma abordagem baseada em risco e outras inovações importantes. O processo proposto pelo RCM3 envolve responder a oito questões fundamentais, que ajudam a definir um plano de manutenção otimizado [1, 2]:

### 1. **Quais são as condições de operação?:**

A norma NP EN 13306 define condições de operação como sendo “Cargas físicas e condições ambientais sofridas pelo bem durante um determinado período” [3]. O guia SAE JA1012 refere-se ao contexto operacional como “As circunstâncias nas quais se espera que um ativo físico ou um sistema operem” [29]. É assim necessário definir em que condições o ativo está a ser utilizado, incluindo ambiente, cargas e padrões de utilização [2].

### 2. **Quais são as funções e níveis de desempenho pretendidos para o ativo no seu contexto operacional?:**

Nesta fase é necessário definir o que se espera que o ativo faça no seu contexto operacional, incluindo funções primárias (“motivo pelo qual o ativo foi adquirido”, como velocidade, capacidade de carga) e funções secundárias (“os ativos façam mais do que ... cumprir as funções primárias”, como segurança e conforto). Os utilizadores são quem possui melhor consciência sobre as contribuições do ativo para a organização, e devem por isso ser incluídos no processo da RCM [2].

### 3. **De que formas o ativo falha em cumprir as suas funções (estados de falha)?:**

Um ativo pode deixar de operar como esperado devido a falhas totais ou parciais. O processo do RCM3 inclui a identificação dos estados de falha (falhas funcionais), ou seja, as circunstâncias nas quais o ativo não cumpre as suas funções como previsto. A análise é feita a dois níveis, primeiro as circunstâncias que equivalem a um estado de falha, e de seguida os eventos que levam a esses estados de falha [2].

### 4. **O que causa cada estado de falha (modo de falha)?:**

Os eventos que causam os estados de falha são denominados modos de falha. Estes podem incluir desgaste, deterioração, falhas humanas, e até erros de projeto. É importante focar nas causas reais para evitar desperdício de recursos tratando apenas os sintomas das falhas. Para tal são considerados eventos que já se verificaram no ativo ou num ativo semelhante com o mesmo contexto operacional, também falhas já previstas em outros programas de manutenção preventiva [2].

### 5. **O que acontece quando ocorre cada falha (efeitos da falha e gravidade das consequências)?:**

Nesta questão, são identificadas as consequências de cada modo de falha, incluindo: quando a falha pode ocorrer, a probabilidade da sua ocorrência, os sinais de que a falha já aconteceu, e o impacto na segurança, no meio ambiente, na operação e nos custos de reparo. É necessário incluir informação sobre quando é mais provável que a falha ocorra, e qual a probabilidade de acontecer se não for realizada nenhuma ação preventiva [2].

**6. Quais os riscos associados a cada falha (quantificação do risco inerente)?:**

O RCM3 destaca a importância de atuar sobre o risco associado às falhas, mais do que apenas sobre as falhas em si, sendo um dos pontos fortes do RCM3. Os riscos são divididos em cinco categorias: riscos físicos ocultos, riscos económicos ocultos, riscos físicos evidentes, riscos económicos evidentes e riscos toleráveis evidentes [1, 2]. O risco é quantificado em função da severidade das consequências e da probabilidade de ocorrência. A estratégia de gestão do risco resume-se em riscos intoleráveis e em riscos toleráveis para a organização.

**7. O que deve ser feito para reduzir riscos intoleráveis a um nível tolerável (utilização de estratégias de gestão de risco proativas)?:**

Para algumas falhas não existem programas de manutenção proativos, no entanto, para falhas com elevadas consequências associadas o RCM3 propõe estratégias proativas de gestão de risco. As tarefas proativas são divididas em seis categorias: tarefas sob condição, revisões programadas, alienação programada, combinação de tarefas, deteção de falhas e verificações funcionais, além de alterações pontuais [2].

**8. O que pode ser feito para reduzir ou gerir os riscos toleráveis de forma economicamente viável?:**

O RCM3 prevê 3 ações para os riscos toleráveis, sendo Manutenção não-programada (*run-to-failure*), Otimização de sobressalentes (manutenção corretiva, minimizando o tempo de indisponibilidade do equipamento) e Outros (apenas se a mitigação dos riscos poder ser aplicada de uma forma rentável) [2].

## **2.6 Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) e Análise de Modos de Falha, Efeitos e Análise de Criticidade (FMECA)**

A análise Failure Modes Effects and Criticality Analysis (FMECA) aparece documentada pela primeira vez em 1949, na norma militar americana Mil-P-1629 *Procedure for performing a failure mode effect and criticality analysis*. Este tipo de análises foi adotado pela NASA no que ficou conhecida como a corrida espacial, posteriormente a marca americana de automóveis Ford introduziu esta análise na indústria automóvel [30]. De acordo com a norma Mil-P-1629, o objetivo é classificar as falhas de acordo com o impacto que cada uma terá no sucesso da missão e na segurança do equipamento e do pessoal [31].

A análise dos modos de falha e efeitos é um estudo sistemático e estruturado das falhas potenciais que permitem avaliar as causas, efeitos, meios de deteção e prevenção de um determinado modo de falha [32]. A análise FMEA desenrola-se na seguinte sequência [30]: identificação e compreensão dos potenciais modos de falha, causas e efeitos da potencial falha; avaliar o risco associado ao modo de falha e priorizar para ações corretivas; identificar e efetuar as ações corretivas.

Na figura 2.6 está representado um fluxograma resumindo as etapas da análise FMEA/FMECA.

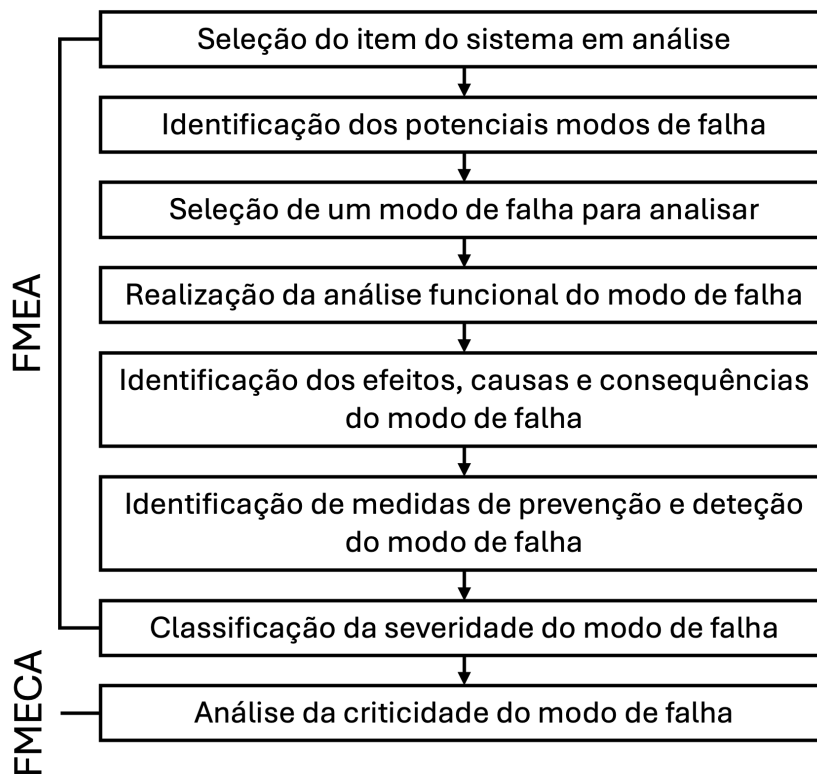


Figura 2.6: Processo FMEA/FMECA, adaptado de [33].

A análise é constituída pelas seguintes fases [34]:

- **Definição do sistema:** Definir o sistema em estudo e as suas fronteiras, assim como as funções e o contexto operacional. Implica a recolha de documentação e informação relevante para a análise.
- **Análise da estrutura do sistema:** Divisão em subsistemas, é definido o nível de detalhe da análise. O sistema deve ser representado hierarquicamente, por exemplo, por intermédio de árvores de falha ou diagramas de blocos funcionais. A definição do nível é de extrema relevância uma vez que análises a níveis muito baixos podem revelar-se demasiado complexas e desnecessárias, por outro lado, análises a níveis demasiado altos podem ser superficiais e insuficientes.
- **Análise de modos de falha e efeitos:** Inclui a análise funcional onde são listadas todas as funções a desempenhar pelos bens [35], a identificação dos modos potenciais de falha e das consequências para o sistema assim como as causas para os mesmos. Se existirem componentes com modos de falha considerados inaceitáveis devem ser analisados com maior detalhe.
- **Avaliação de risco FMECA:** O risco associado a cada modo de falha deve ser calculado, para tal existem diferentes abordagens, como, por exemplo, o método Risk Priority Number (RPN), no entanto, nesta dissertação optou-se por seguir a abordagem do manual RCM3 que define risco como sendo o produto entre a severidade das consequências (S) e a probabilidade de ocorrência do modo de falha (O), ver equação 2.1. De forma a quantificar a severidade deve-se ter em consideração os possíveis efeitos sobre diversos fatores, como a segurança e saúde, o ambiente, a operacionalidade e vertente económica do modo de falha. Para a probabilidade de ocorrência

usualmente recorre-se ao histórico das intervenções corretivas de forma a obter um valor de Mean Time Between Failure (MTBF). Em situações onde diferentes modos de falha possuem valores iguais de risco é possível utilizar o parâmetro de detetabilidade (D), que representa a facilidade com que se deteta o modo de falha, no entanto, este parâmetro não foi considerado nesta dissertação.

$$Risco = S \times O(\times D) \quad (2.1)$$

## 2.7 Fiabilidade

Segundo a norma NP EN 13306 fiabilidade define-se como a “capacidade de um bem para cumprir uma função requerida sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo” [3].

O conceito de fiabilidade é assim associado a um bem operar com sucesso e à ausência de falhas. Podemos assim considerar fiabilidade como a probabilidade de sucesso de um bem. Quando se refere à condição de um bem existem dois acontecimentos mutuamente exclusivos, sendo a probabilidade de sucesso e a probabilidade de falha o seu complementar [36]. A norma NP EN 13306 define avaria como o “Estado de um bem inapto para cumprir uma função requerida...” [3].

Os dados de fiabilidade resultam de duas fontes [36]:

- **Fabricante:** ensaios de fiabilidade em amostragem predefinida, resultados independentes da aplicação real. Fiabilidade inerente, intrínseca, previsional ou à saída da fábrica.
- **Utilizador:** experiência real em serviço, resulta da aplicação prática do bem. Fiabilidade demonstrada, extrínseca, operacional ou em serviço.

O estudo da fiabilidade, por meio de modelos estatísticos, permite estimar o tempo no qual um bem estará disponível, o que se torna de elevada relevância no processo de tomada de decisão relativo à gestão da manutenção [36].

Ainda inserido no estudo da fiabilidade, é necessário recorrer a modelos probabilísticos, onde a variável tempo,  $t$ , é tratada com uma variável aleatória, uma vez que itens semelhantes sujeitos a condições e esforços idênticos vão ter tempos diferentes de falha, o que não permite a utilização de modelos determinísticos [37].

### 2.7.1 Função Fiabilidade

Passando à determinação da função fiabilidade sabe-se que representa a probabilidade de sucesso de um item, logo considerando  $T$  o tempo de falha de um item, ou seja, o tempo de vida desde que é colocado em serviço até que se verifica a primeira falha, a função fiabilidade em função de  $t$  será, Eq.2.2:

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.2)$$

A função fiabilidade pode ainda ser descrita pela fração entre o número de componentes que não falharam no momento  $t$  ( $N_s$ ), sobre o número de componentes iguais testados ( $N_i$ ), Eq.2.3.

$$R(t) = \frac{N_s}{N_i} \quad (2.3)$$

Tal como foi descrito anteriormente a probabilidade de falha é o complementar da probabilidade de sucesso, logo podemos descrever a função probabilidade de falha como, Eq.2.4:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - P(T > t) = P(T < t) \quad (2.4)$$

De notar que a variável  $T$  pode ser definida além de tempo de calendário, poderá ser definida através de outros medidores indiretos, como, por exemplo, HM, ciclos realizados, número de quilómetros percorridos, etc.

Derivando a função de probabilidade de falha obtém-se a função densidade de probabilidade, que representa a percentagem de bens que se encontram em falha por unidade de tempo, ver Eq.2.5.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.5)$$

Reintegrando a Eq. 2.5 obtém-se a probabilidade acumulada de falha nos limites de integração, como  $t$  se refere a uma variável temporal o limite inferior é  $t = 0$ . Aplicando a complementaridade entre  $R(t)$  e  $F(t)$  chega-se à seguinte função de fiabilidade  $R(t)$ , ver Eq.2.6.

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2.6)$$

Outro indicador importante no estudo da fiabilidade é a taxa de falha,  $\lambda(t)$ , que representa uma probabilidade instantânea condicional de falha, ou seja, a taxa a que os bens falham por unidade de tempo no instante  $t$ , ver Eq.2.7.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.7)$$

A taxa de falha pode ainda ser calculada pela Eq.2.8.

$$\lambda(t) = \frac{\text{Número de falhas registadas}}{\text{Tempo total de operação}} = \frac{N_f}{T} \quad (2.8)$$

Existe assim uma medida importante de fiabilidade, que sempre que houver informação disponível deve ser calculada. A métrica **MTBF** utiliza-se para componentes reparáveis e é dada pela Eq.2.9.

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (2.9)$$

Também se pode utilizar a denominação de Mean Time To Failure (MTTF) esta denominação aplica-se para componentes não reparáveis ou consumíveis, no entanto, existe um uso generalizado da sigla MTBF.

## 2.7.2 Distribuições Estatísticas

De forma a calcular a fiabilidade são utilizados modelos estatísticos, para tal recorre-se a distribuições estatísticas. De seguida são apresentadas as distribuições mais utilizadas: distribuição de Weibull, distribuição Normal e distribuição Exponencial [36].

### Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull surge em 1937 como base de uma investigação de fadiga dos materiais [38]. Esta distribuição é um dos métodos preferidos no estudo da fiabilidade, devido à sua versatilidade na descrição do tempo de vida até à falha de bens sujeitos a fenómenos de degradação [39]. Esta versatilidade advém do facto de a fórmula geral ser composta por três parâmetros, que se adequam ao período de vida do bem [36]. A função densidade de probabilidade da distribuição de Weibull é, Eq.2.10:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} . e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (2.10)$$

A função de probabilidade de falha surge da integração da Eq.2.10. Como a função fiabilidade é o complementar da função probabilidade de falha, obtém-se a Eq.2.11.

$$R(t) = e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (2.11)$$

Relacionando as Eqs.2.10 e 2.11, define-se a taxa de falha como, Eq.2.12:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.12)$$

Identificam-se assim os parâmetros  $\gamma$ ,  $\beta$  e  $\eta$  que significam:

- $\gamma$ : Parâmetro de localização;
- $\beta$ : Parâmetro de forma;
- $\eta$ : Parâmetro de escala.

**$\gamma$ : Parâmetro de localização**

Este parâmetro situa a distribuição na variável  $t$ , ver figura 2.7, e assume as unidades desta, isto é, em horas, quilómetros, HM, etc.

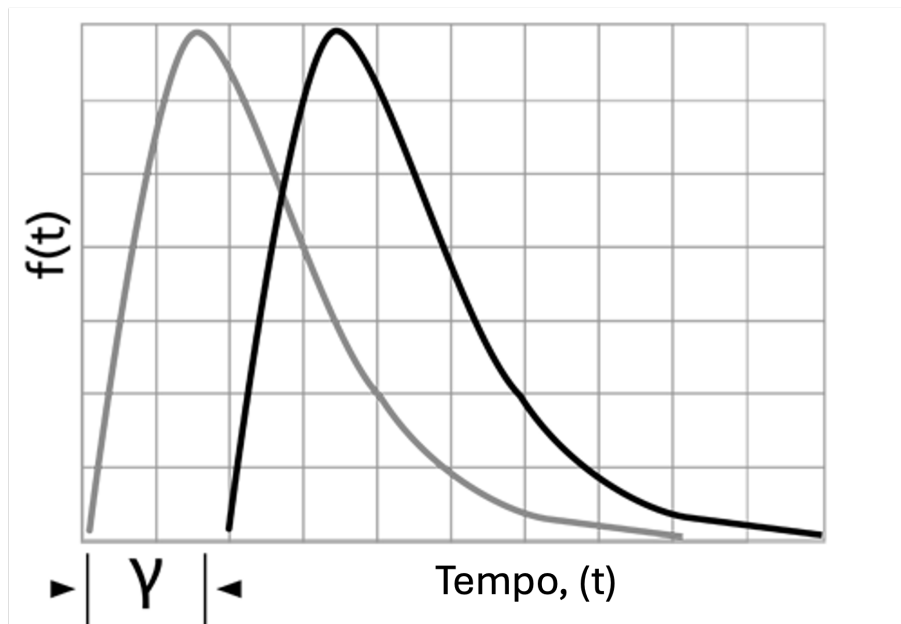


Figura 2.7: Efeito do parâmetro de localização na distribuição de Weibull, adaptado de [40].

Um valor de  $\gamma < 0$  pode indicar que ocorreram avarias antes do início do teste, por exemplo, na produção ou transporte, se assumir um valor positivo significa que a primeira falha só se verificará após essa medida de tempo ser alcançada.

Quando  $\gamma = 0$  significa que a distribuição inicia em  $t = 0$  e ficamos perante uma distribuição de Weibull simples de dois parâmetros com a seguinte expressão, Eq.2.13.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} . e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.13)$$

De notar que a distribuição exponencial é um caso particular da distribuição simples para  $\beta = 1$ .

**$\beta$ : Parâmetro de forma**

O parâmetro de forma influencia no comportamento da distribuição, é um valor adimensional, e traduz o mecanismo de degradação do ativo relacionando a distribuição com as diferentes fases de vida do bem [41]. Na figura 2.8 é possível verificar a variação da função 2.13 com o valor de  $\beta$ .

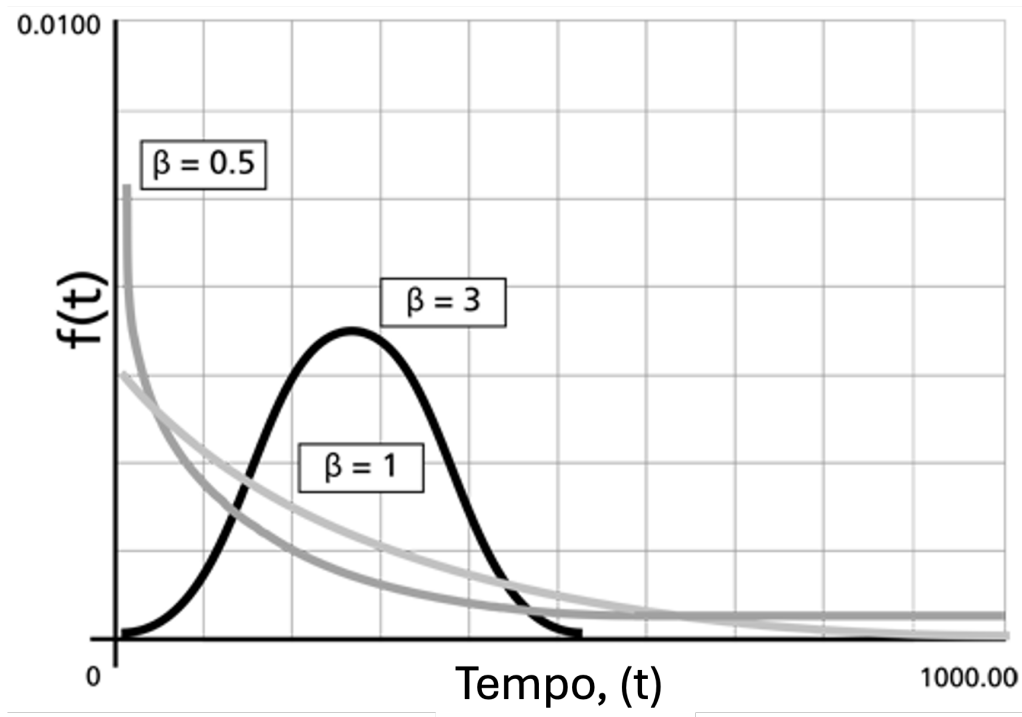


Figura 2.8: Efeito do parâmetro de forma na distribuição de Weibull, adaptado de [40].

Por sua vez o parâmetro de forma também influencia o valor da função fiabilidade, figura 2.9, e da taxa de falha, figura 2.10.

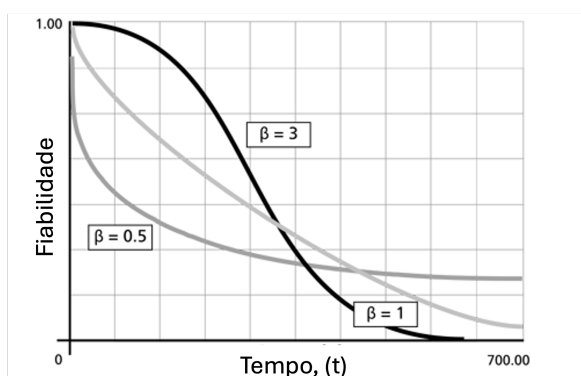


Figura 2.9: Efeito do parâmetro de forma na função fiabilidade, adaptado de [40].

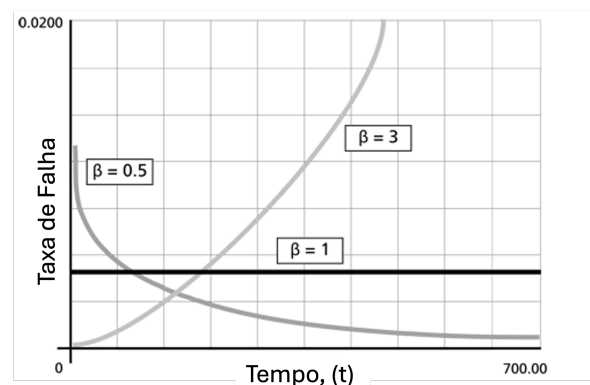


Figura 2.10: Efeito do parâmetro de forma na taxa de falha, adaptado de [40].

#### $\eta$ : Parâmetro de escala

O parâmetro de escala corresponde ao intervalo de tempo no qual ocorrem 63,2% das falhas [36]. Uma vez que para o mesmo de valor de  $\beta$  a área abaixo da curva da função densidade de probabilidade

é constante, o valor de  $\eta$  irá influenciar o comportamento da função em função do valor das abcissas, isto é, para um valor mais elevado de  $\eta$  a função é mais achatada com um pico mais baixo, ver figura 2.11. À semelhança do parâmetro de localização, este apresenta as mesmas dimensões que a variável  $t$ .

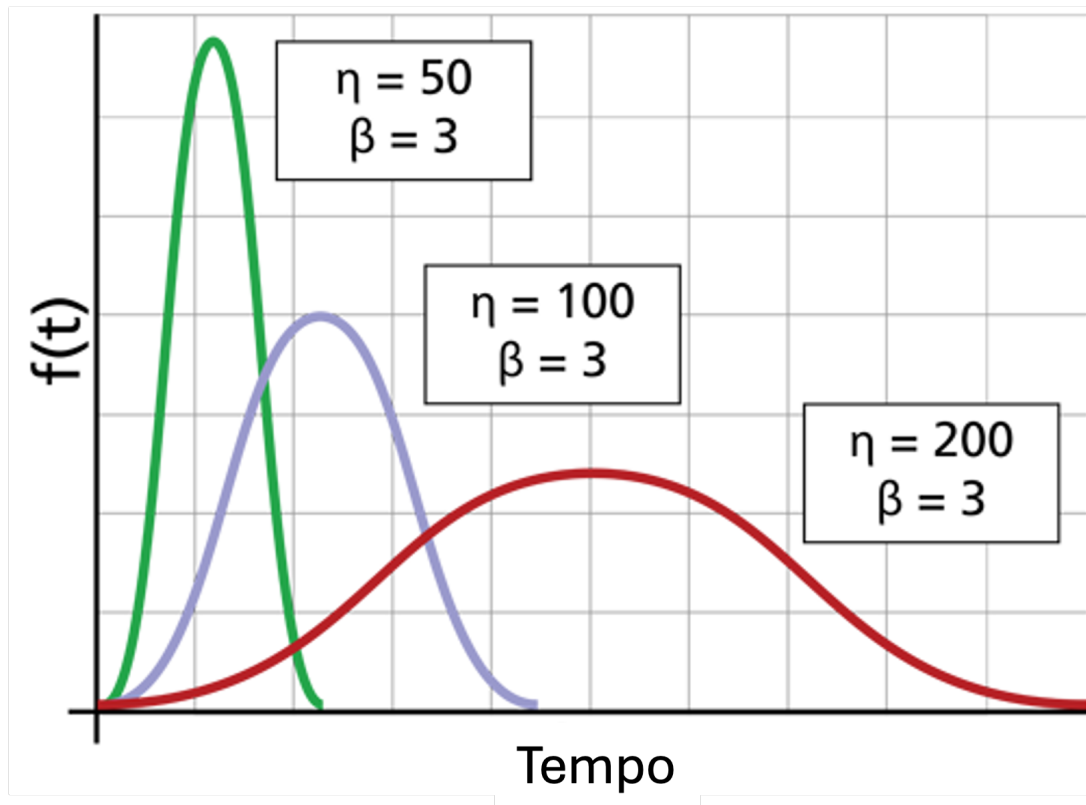


Figura 2.11: Efeito do parâmetro de escala na distribuição de Weibull, adaptado de [40].

### Distribuição Exponencial

A Distribuição exponencial, como referido anteriormente, é um caso específico da distribuição de Weibull para  $\beta = 1$ . É utilizada para bens com uma taxa de falha constante, ou que não são afetadas pelo desgaste, sendo indicada para replicar situações em que as falhas ocorrem de forma aleatória [36, 42].

Nesta distribuição é identificado apenas um parâmetro, sendo a taxa média de avarias,  $\lambda$ , ou o seu inverso, MTBF, ver figura 2.12.

A função densidade de probabilidade da distribuição Exponencial é, Eq.2.14:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad \text{para } t > 0 \quad (2.14)$$

Integrando a Eq.2.14 obtém-se a função de probabilidade de falha para a distribuição Exponen-

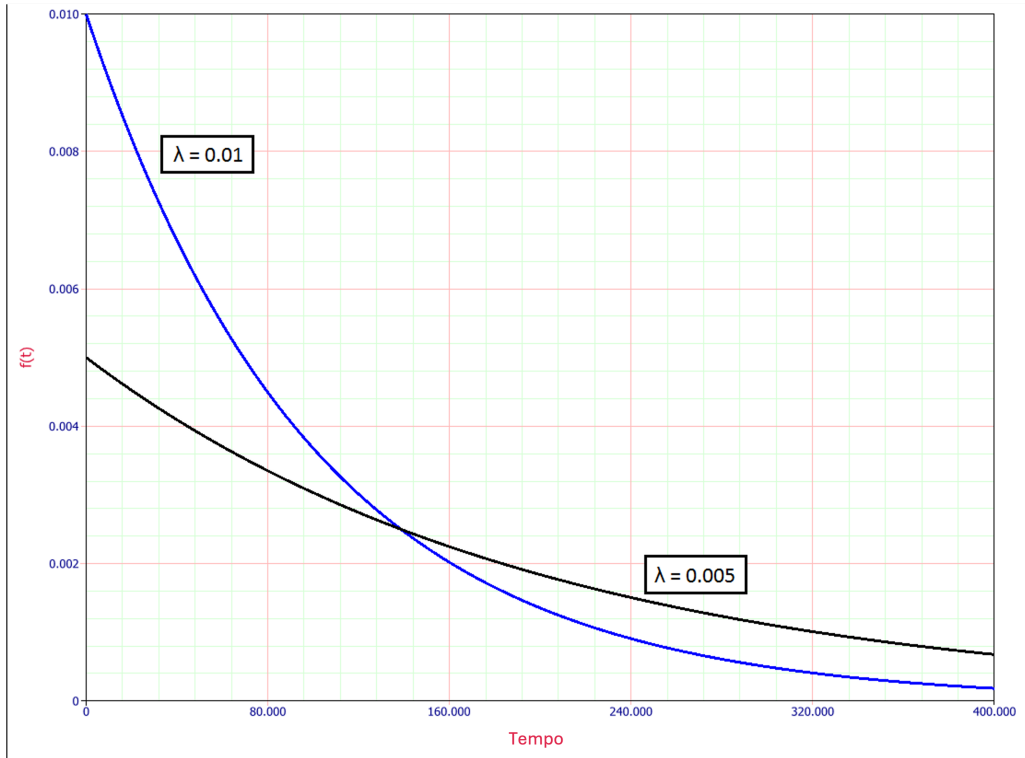


Figura 2.12: Efeito de  $\lambda$  na função densidade de probabilidade da distribuição Exponencial, adaptado de [42].

cial. Aplicando a complementaridade obtém-se a seguinte expressão para a função fiabilidade da distribuição Exponencial, ver Eq.2.15.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.15)$$

De seguida é mostrado que a taxa de falha para a distribuição Exponencial é constante, ver Eq.2.16.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = \text{constante} \quad (2.16)$$

### Distribuição Normal

A distribuição normal é indicada para descrever o comportamento de itens quando estes atingem o período de desgaste, sendo aplicada quando as falhas ocorrem em torno de um valor médio [36]. Esta distribuição apresenta algumas falhas na modelação de tempos de vida uma vez que o seu limite esquerdo pode tender para menos infinito [43].

A distribuição Normal é caracterizada por dois parâmetros:  $\mu$  é a média da distribuição e representa a sua localização na variável  $t$ ;  $\sigma^2$  é a variância ou desvio padrão e representa o parâmetro de escala, ver figura 2.13.

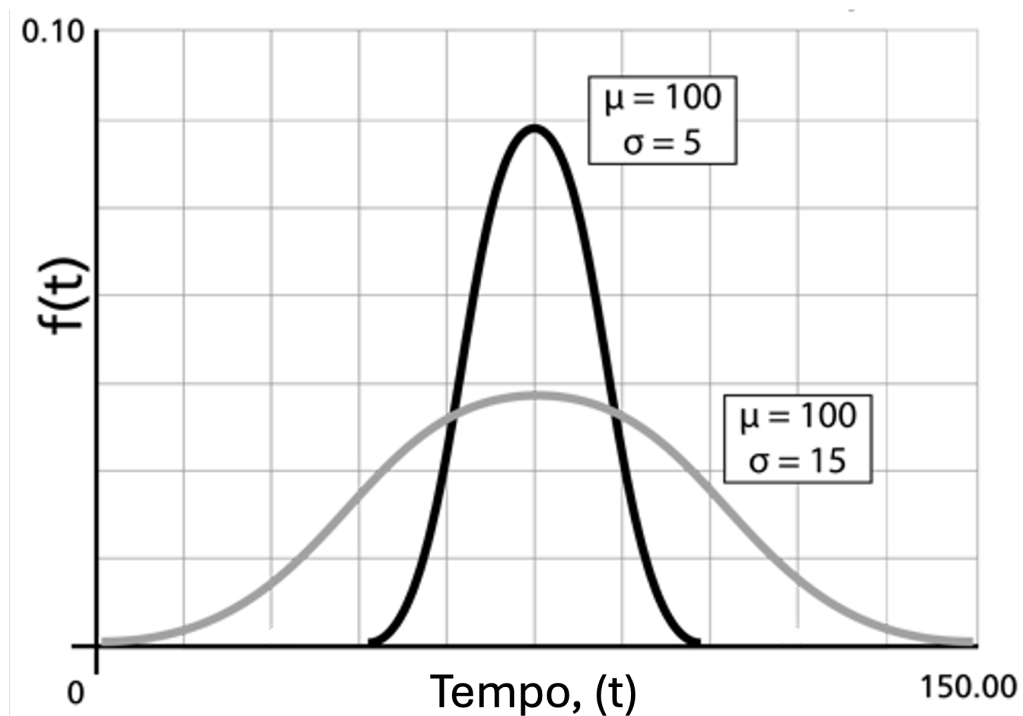


Figura 2.13: Efeito de  $\sigma$  na função densidade de probabilidade da distribuição Normal, adaptado de [43].

A função densidade de probabilidade da distribuição Normal é dada pela seguinte expressão, Eq.2.17.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad \text{para } -\infty < t < \infty \quad (2.17)$$

## 2.8 Disponibilidade

Seguindo a definição da norma NP EN 13306, disponibilidade é a “capacidade de um bem para cumprir uma função, como e quando requerido, sob determinadas condições, assumindo que é assegurado o fornecimento dos necessários recursos externos”, pela norma disponibilidade pode ainda ser dividida em instantânea, para um dado instante, ou intrínseca, para um determinado período de tempo [3]. Disponibilidade representa assim a probabilidade de um sistema estar a funcionar corretamente num determinado período de tempo, esta métrica é de extrema importância na gestão de sistemas de manutenção e na construção de planos de manutenção para um determinado ativo.

É importante diferenciar os conceitos de fiabilidade e de disponibilidade, que embora estejam relacionados não são sinónimos. Um sistema pode apresentar uma alta fiabilidade, isto é ter uma taxa de falha baixa, mas ter uma disponibilidade reduzida se o seu valor de MTTR for elevado. Analogamente,

um sistema pode ser pouco fiável, com uma taxa de falha elevada, e, no entanto, apresentar um MTTR reduzido e por isso ter uma disponibilidade alta [44].

A disponibilidade e a fiabilidade ganham cada vez mais relevo dentro das organizações, especialmente desde a Indústria 4.0, onde questões como a sustentabilidade têm emergido. De um ponto de vista da manutenção de forma a alcançar essa sustentabilidade é necessário aumentar a disponibilidade dos sistemas, diminuindo os tempos de paragem. Para tal é necessário implementar monitorização e controlo em tempo real, assim como o processamento de grandes quantidades de dados com recurso a sistemas inteligentes integrados com inteligência artificial [45].

Em suma, a análise da disponibilidade complementa a análise da fiabilidade, ao incluir a capacidade de manutenção e reparação que existe para um determinado sistema. No caso de sistemas complexos como é o caso da viatura Pandur II, esta métrica é de elevada relevância, uma vez que a disponibilidade está diretamente relacionada com a prontidão das viaturas no emprego operacional das mesmas nas missões atribuídas.

A disponibilidade pode ser calculada através da Eq.2.18 [46].

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.18)$$

## 2.9 Metodologia Delphi

De forma a auxiliar na tomada de decisão existem diversos métodos amplamente utilizados na literatura.

Um dos métodos mais utilizados é o *Brainstorming*, que consiste na reunião de um grupo onde em conjunto propõe ideias e soluções de forma livre e criativa, no entanto, este processo é mais utilizado para a criação e não tanto para a tomada de decisão, tem ainda diversas limitações, como, por exemplo, o facto de algumas sessões poderem não ser completamente livres de julgamentos por parte dos pares que é um dos pilares fundamentais à correta implementação do método [47].

A análise *SWOT* é outra metodologia amplamente utilizada na literatura. Esta metodologia consiste em duas abordagens, uma a nível interno em que a organização avalia as suas *strengths* (*S*) e as suas *weaknesses* (*W*) e uma abordagem externa onde são avaliadas as *opportunities* (*O*) e as *threats* (*T*), desta forma a organização consegue escolher a melhor estratégia, utilizando a matriz SWOT como auxílio na tomada de decisão [48]. A principal crítica a esta análise passa por fazer uma definição baseada na situação atual da organização e não ser um modelo credível para a processo de tomada de decisão, constituindo-se como uma boa ferramenta para descrever o atual estado da mesma [49].

Existem ainda outras metodologias de ajuda ao processo de tomada de decisão, no entanto, nesta dissertação aplicou-se a metodologia Delphi pelas razões em seguida enumeradas.

A metodologia Delphi é uma técnica subjetiva e intuitiva de previsão que se baseia em pesquisas estruturadas sustentadas pela opinião de peritos [50]. Linstone e Turoff definem na sua obra a metodologia de Delphi como podendo “ser caracterizado como um método para estruturar um processo de comunicação em grupo, de modo que o processo seja eficaz para permitir (...) lidar com um problema

complexo” [51].

A metodologia tem a sua origem nos Estados Unidos na década de 1950, com o objetivo de prever possíveis ataques com bombas atômicas [52]. A partir de 1960 a técnica começou a ser aplicada na previsão de acontecimentos noutras áreas, tendo atualmente uma ampla utilização [51].

A implementação da metodologia Delphi baseou-se na aplicação de duas ou três rondas de questionários com o objetivo de alcançar consenso entre os especialistas, conforme recomendado na literatura [53]. Após cada ronda, foi realizada uma análise estatística, na qual se determinou a média dos prognósticos fornecidos pelos especialistas [54]. Para caracterizar o consenso, seguiu-se a recomendação de Green, que define a obtenção de consenso quando, no mínimo, 70% das respostas coincidem [55]. No caso do painel composto por quatro especialistas, considerou-se que o consenso era alcançado quando pelo menos três respostas eram idênticas. Além disso, estabeleceu-se a medida adicional de que, em situações de 3/4 respostas coincidentes, a quarta resposta só poderia variar um ponto em relação às demais, para cima ou para baixo, como forma de assegurar a validação do consenso.

De notar que na correta aplicação do método de forma a atingir o consenso não se torna suficiente a contagem de votos. É expectável que ao longo das rondas os especialistas vão apresentado as suas opiniões perante o grupo, argumentando e defendendo as suas posições, mantendo a abertura à reconsideração de forma a alcançar-se uma tendência geral do grupo como um todo [56]. Os autores Gupta e Clarke afirmam que “o objetivo da Delphi não é chegar a uma única resposta ou consenso, mas obter o maior número de respostas possível e de opiniões de grande qualidade de especialistas de forma a sustentar uma tomada de decisão” [54].

A metodologia de Delphi está ligado assim à opinião de peritos e é aplicado em várias rondas sucessivas, com o objetivo de prever um determinado acontecimento [25].



# Capítulo 3

## Caso Prático

Neste capítulo, é apresentada a Pandur II 8x8, assim como os sistemas que a compõe. É descrita a implementação da metodologia RCM e da metodologia Delphi. Ao longo do capítulo, é detalhado o processo de construção da árvore FMEA para a viatura em estudo, e é feita ainda uma descrição dos diversos sistemas e sub-sistemas. Sendo o objetivo da dissertação estudar a adequabilidade do atual plano de manutenção, são descritas as fases de aplicação do processo de decisão utilizado para propor melhorias ao plano existente. Por fim, são apresentadas as etapas seguidas para calcular a disponibilidade do SA.

### 3.1 Sistema de Armas Pandur II 8x8

Segundo a Lei Orgânica n.º 2/2021, de 9 de agosto, as Forças Armadas Portuguesas são incumbidas de "Desempenhar todas as missões militares necessárias para garantir a soberania, a independência nacional e a integridade territorial do Estado" [57]. Dentro deste contexto, o Exército Português desempenha um papel essencial ao assegurar a capacidade de intervenção terrestre em cenários de combate e missões de paz.

De forma a cumprir a sua missão, o Exército tem ao seu dispor uma gama diversificada de equipamentos e viaturas, nas quais se inclui a Pandur II 8x8. Esta viatura, fabricada pela *General Dynamics European Land Systems*, inserindo-se na tipologia de Viatura Blindada de Transporte de Pessoal (VBTP), foi adquirida pelo Exército Português como parte de um esforço para a modernização da sua frota de veículos blindados, conferindo às forças médias uma capacidade de mobilidade tática aliada à proteção blindada eficaz em ambientes de alto risco. Esta VBTP tem elevada preponderância em operações terrestres, combinando proteção e versatilidade à força, permitindo o transporte de 10 militares, sendo 1 chefe de viatura, 1 condutor e 8 atiradores. A velocidade máxima de 105 km/h em estrada pavimentada permite deslocamentos rápidos em missões de resposta rápida, enquanto a capacidade todo-o-terreno de 75 km/h é crucial em ambientes de combate irregulares.

Atualmente, existe, ao dispor do Exército Português, uma frota de 188 viaturas Pandur II 8x8, repartidas em 9 tipologias diferentes, nesta dissertação o alvo de estudo será a versão base da Pandur

com a tipologia de Infantry Carrier Vehicle (ICV), ver figura 3.1, esta tipologia tem a missão de apoiar diretamente o deslocamento dos militares durante o combate. As demais tipologias oferecem diferentes valências à força, como a tipologia Remote Weapon Station (RWS) equipada com uma metralhadora de calibre .50 operada do interior da viatura conferindo poder de fogo e proteção blindada, assim como a tipologia Infantry Fighting Vehicle (IFV) equipada com um canhão automático de 30mm elevando a proteção anti-carro e aumentando o poder de fogo. Existem ainda versões de apoio ao combate, como a Command Post Vehicle (CPV) que é desenhada para operar um posto de comando no seu interior.

A viatura Pandur II pesa preparada para combate sem guarnição, aproximadamente, 18 toneladas, tem 7,62 metros de comprimento, 2,87 metros de largura e 2,84 metros de altura. É equipada com um motor diesel de 6 cilindros, tem 4 eixos sendo 2 direcionais, possui 6 rodas motrizes ou 8 no modo 8x8, possuindo uma autonomia em estrada pavimentada a 60 km/h de 600km, uma capacidade crítica para operar em teatros de operações onde o apoio logístico e o reabastecimento são limitados, como nas missões no TO da RCA.



Figura 3.1: Viatura Blindada de Rodas Pandur II 8x8, na versão ICV ao serviço do Exército Português.

A Pandur II tem sido utilizada em diversos cenários operacionais desde 2009, data desde que equipa a Brigada de Intervenção do exército, incluindo o TO da RCA desde 2019, onde o terreno acidentado e as condições climáticas extremas representam um desafio significativo para a mobilidade e manutenção das viaturas. Mais recentemente, em 2022, as forças destacadas no TO da ROU têm utilizado estas viaturas no reforço das capacidades da OTAN no flanco leste da Europa, em resposta ao agravamento do conflito na Ucrânia.

## 3.2 Sistemas e subsistemas em estudo

A Pandur II 8x8, sendo um SA complexo, é composta por diversos sistemas e subsistemas. No entanto, nesta dissertação apenas serão abordados os sistemas que foram classificados como críticos pela Direção de Manutenção e Sistemas de Armas (DMSA), entidade máxima da estrutura do Exército Português responsável pela manutenção dos SA.

Os sistemas classificados como críticos são o Sistema de Potência, o Sistema de Transferência de Potência, o Sistema Hidráulico e o Sistema de Aquecimento e Arrefecimento, ver figura 3.2. De referir que em todas as configurações da Pandur II os sistemas abordados são semelhantes.

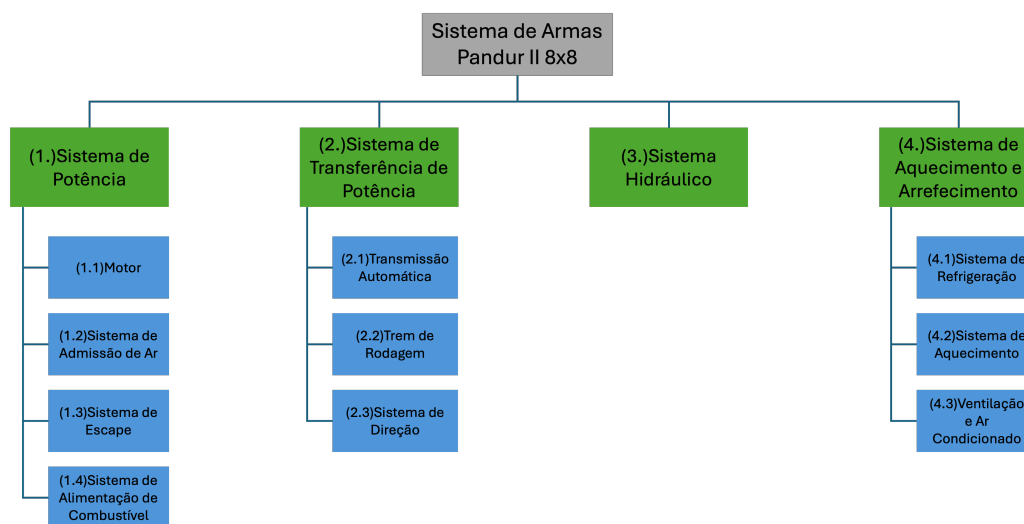


Figura 3.2: Árvore FMEA do SA Pandur II 8x8.

### 3.2.1 Sistema de Potência

O Sistema de Potência caracteriza-se por ser responsável, como o nome indica, por gerar a potência do SA, neste inclui-se o Motor, o Sistema de Admissão de Ar, o Sistema de Escape e o Sistema de Alimentação de Combustível, ver figura 3.3.

A Pandur II 8x8 é equipada com um motor *Cummins* ISLe T450 com  $8900 \text{ cm}^3$ , de 6 cilindros em linha a diesel capaz de gerar 455 cv e possui um binário máximo de 1627 Nm [58].

Integrados no Motor foram identificados os seguintes componentes na análise: Motor de arranque, Sensor de falha de nível de óleo do motor e Bomba de óleo.

O sistema de admissão de ar é composto por um soprador de poeiras com pré-filtro do tipo ciclone, cartucho do filtro com indicador elétrico de contaminação e pré-aquecimento de ar se a temperatura for abaixo dos  $4^{\circ}\text{C}$ . Tem ainda integrado um turbocompressor.

O sistema de escape é responsável pela extração dos produtos da combustão para o exterior da viatura, mantendo a integridade do ar no interior da mesma. É responsável ainda pela redução do ruído do motor, de forma a aumentar a capacidade tática da viatura.

A alimentação do combustível é feita através de um sistema *Common rail* com injetores de injeção multiponto e bomba de combustível, possui pré-filtro e filtro de combustível. Tem uma capacidade de

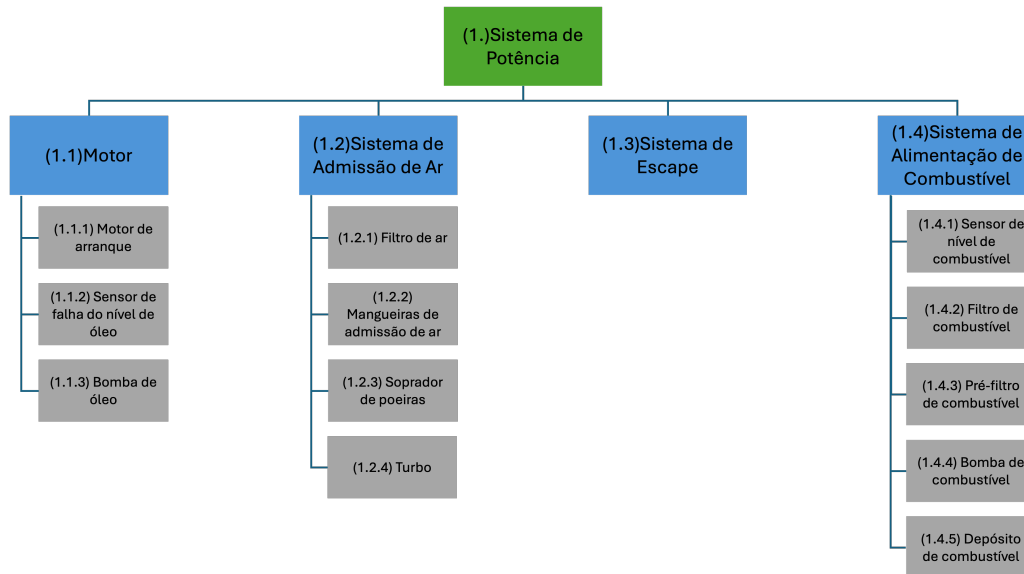


Figura 3.3: Árvore FMEA do Sistema de Potência da Pandur II 8x8.

armazenamento de 377 litros e o depósito é feito de alumínio [58]. Além dos componentes mencionados foi ainda considerado na análise o sensor de nível de combustível.

O combustível armazenado é extraído pela bomba de combustível através do pré-filtro, passando pelo filtro de combustível até o mesmo ser armazenado no Common Rail, sendo que cada injetor possui uma válvula solenóide individual, o que permite a sua atuação independente. O ar de admissão é limpo no pré-filtro de ar e cartuchos de filtro e o turbocompressor transporta o ar de admissão. Cada um dos 6 cilindros do motor possui 2 válvulas de admissão e 2 de escape, acionadas por uma árvore de cames [58].

### 3.2.2 Sistema de Transferência de Potência

O Sistema de Transferência de Potência é responsável pelo movimento da viatura fazendo a transferência da potência do motor até às rodas. Este sistema é dividido em, ver figura 3.4: Transmissão Automática, Trem de Rodagem e Sistema de Direção.

A Transmissão Automática da Pandur II é o modelo *ZF 6HP602 S Plus* de comando eletrônico e hidráulico. É uma caixa automática com planetário de 6 velocidades equipada com conversor de binário, embraiagem de bloqueio e retardador [58]. A Transmissão Automática divide-se no ECU responsável pelo controlo eletrónico da transmissão, a caixa de velocidades e a sua lubrificação.

O Trem de Rodagem possui duas modalidades, modo estrada e modo todo-o-terreno. A viatura possui 4 eixos motrizes, sendo que a caixa de transferência está integrada no 2º eixo motriz, a transferência para os demais eixos dá-se por intermédio de veios de cardan. Todas as rodas da viatura possuem suspensão independente [58]. Dentro do Trem de Rodagem os veios de cardan são responsáveis pela transferência da rotação entre diferentes elementos, os diferenciais são responsáveis pela distribuição da potência a cada roda, a suspensão e o cubo da roda, que estão ligados às rodas da viatura e são responsáveis pela absorção de vibrações e pela correta rotação das mesmas.

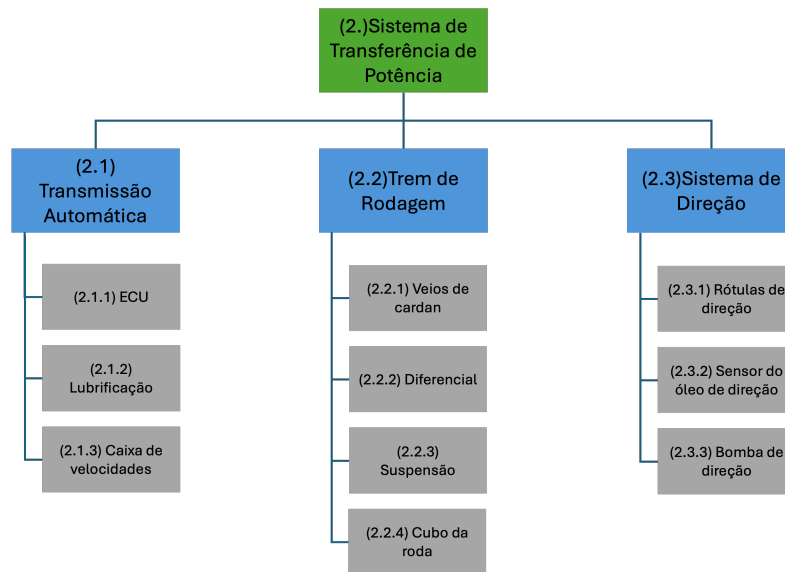


Figura 3.4: Árvore FMEA do Sistema de Transferência de Potência da Pandur II 8x8.

A viatura é equipada com direção assistida hidráulica de duplo circuito, sendo o 1º e 2º eixos direcionais. A bomba de direção garante a pressão no circuito [58]. O Sistema de Direção é composto pelas rótulas de direção que permitem as mudanças de direção da viatura, o sensor do óleo de direção e a bomba de direção que permite o correto funcionamento da direção assistida, devido à tipologia de viatura e ao seu peso caso esta perca a sua ação torna-se difícil de manobrar.

### 3.2.3 Sistema Hidráulico

O Sistema Hidráulico da Pandur II desempenha um papel crucial em várias funções críticas, fornecendo pressão hidráulica para componentes essenciais ao funcionamento operacional da viatura. Este sistema alimenta não apenas o guincho e os cilindros da rampa, mas também regula a ventoinha do motor, permitindo que o sistema de arrefecimento funcione de maneira eficiente em ambientes de alta temperatura e uso intensivo. A sua operação eficaz é fundamental para garantir que a viatura possa ser usada em diversas missões em condições adversas.

O Sistema Hidráulico recebe energia diretamente do motor, estando integrado com o Sistema de Potência, para alimentar os diversos componentes acionados hidráulicamente. A falha neste sistema pode afetar diretamente a operação de outros sistemas críticos, como o arrefecimento do motor, resultando num possível aumento de temperatura. Além disso, a integridade das tubagens hidráulicas e das válvulas é fundamental para garantir a segurança operacional em cenários de combate ou resgate.

A bomba hidráulica fornece a pressão de até 420 bar, necessária ao funcionamento do sistema. Sendo que o bloco de válvulas de comando constitui-se como o elemento mais crítico, regulando o fluxo de fluido e permitindo o acionamento hidráulico de diversos componentes, como o guincho e os cilindros hidráulicos da rampa. O depósito tem a capacidade para armazenar 17 litros de óleo hidráulico e as tubagens e manguueiras do sistema mantêm a sua integridade e estanquidade [58]. A composição do Sistema Hidráulica é exibida na figura 3.5

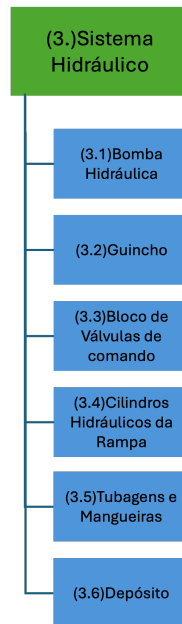


Figura 3.5: Árvore FMEA do Sistema Hidráulico da Pandur II 8x8.

### 3.2.4 Sistema de Aquecimento e Arrefecimento

O Sistema de Aquecimento e Arrefecimento divide-se em Sistema de Refrigeração, Sistema de Aquecimento e Ventilação e Ar-Condicionado (AC), ver figura 3.6.

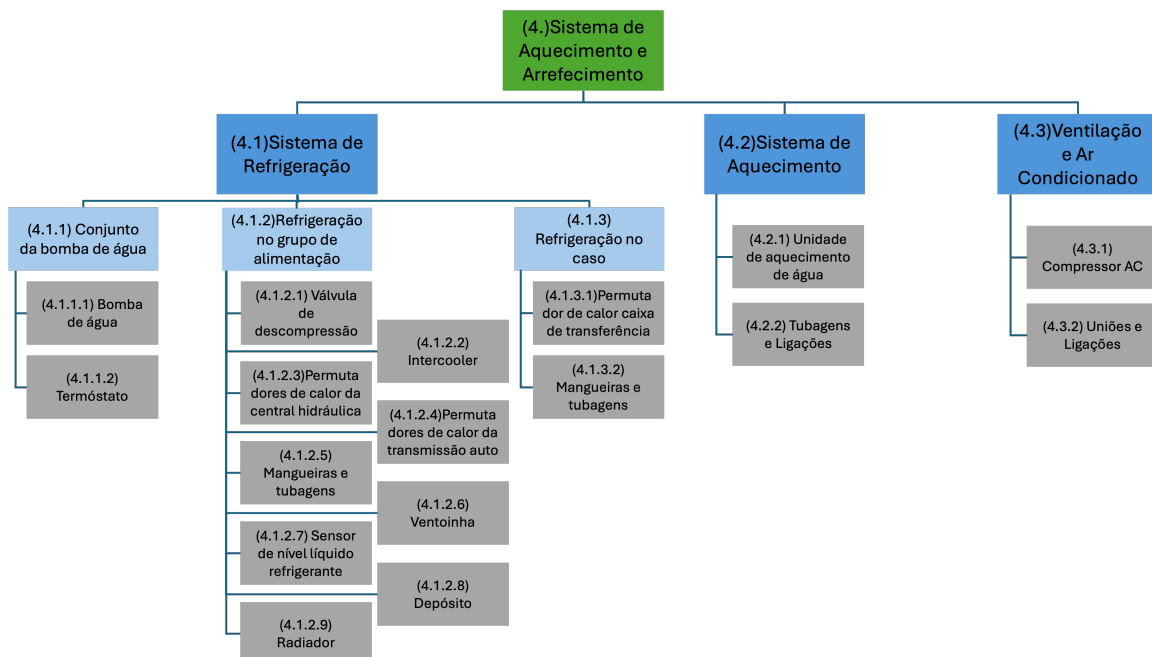


Figura 3.6: Árvore FMEA do Sistema de Aquecimento e Arrefecimento da Pandur II 8x8.

O Sistema de Refrigeração é responsável por arrefecer o motor, os óleos da transmissão automática, dos eixos motrizes e o Sistema Hidráulico. Trata-se de um sistema de refrigeração em circuito fechado por circulação de líquido de refrigeração. A bomba de água comanda o sistema que se encontra dividido em dois circuitos, o circuito pequeno que é responsável por arrefecer os componentes supramencionados.

dos. Quando o líquido atinge 75°C é direcionado para o circuito grande onde circula pelo radiador e intercooler, a ventoinha é responsável por forçar a circulação de ar por estes componentes [58].

O Sistema de Aquecimento é responsável por aquecer o interior da viatura, e em climas extremos pode ser utilizado para pré-aquecer o motor e o combustível. A unidade de aquecimento de água funciona a combustível e é alimentada por uma bomba de combustível integrada, sendo abastecida diretamente do depósito de combustível. O sistema possui três permutadores de calor, sendo um no compartimento do condutor e dois na guarnição, sendo independentes [58].

A Ventilação e AC é responsável pela ventilação forçada do interior da viatura, e pelo arrefecimento do interior da mesma. Em modo ventilação o ar é limpo de partículas e humidade, quando o AC é ligado entra em funcionamento o compressor do AC arrefecendo o ar da ventilação forçada [58].

### 3.3 Manutenção no Exército Português

Segundo o despacho 225 de 16 de novembro de 2011 do Chefe do Estado-Maior do Exército a manutenção no Exército Português divide-se em 3 níveis:

1. **Manutenção de Unidade:** é efetuada pela guarnição da viatura ou pelo pessoal da unidade dedicado à manutenção, está tipicamente associada a paragens curtas com pequenas reparações ou substituições modulares, tem como objetivo a conservação do equipamento.
2. **Manutenção Intermédia:** retornar à operacionalidade um equipamento em que um ou mais sistemas/subsistemas tenham falhado. Divide-se em Apoio Direto, com equipas de manutenção para apoio de sistemas específicos; e Apoio Geral, para apoiar o sistema de reabastecimento através da reparação de equipamentos e componentes;
3. **Manutenção de Depósito:** reparação de equipamentos e o retorno ao sistema de reabastecimento, apoia forças em combate como a gestão de reabastecimento.

Para o SA da Pandur II, a manutenção de unidade é realizada pelos módulos dedicados colocados nas unidades equipadas com esta viatura. A Companhia de Manutenção do Núcleo Permanente de Apoio de Serviço Médio (CMan/NPApSvcMed) da Brigada de Intervenção sediada no Regimento de Manutenção no Entroncamento é o órgão responsável por realizar a Manutenção Intermédia de Apoio Direto. A Manutenção de Apoio Geral e a Manutenção Depósito estão ao encargo do Centro de Manutenção instalado na Unidade de Apoio Geral de Material do Exército.

#### 3.3.1 Plano de manutenção da Pandur II no Exército Português

Atualmente a manutenção das Pandur II ao serviço do Exército Português seguem, quase na sua totalidade, o plano de manutenção proposto pelo fabricante. O programa adotado divide-se em manutenções preventivas de 6 meses, 1 ano, 2 anos, 4 anos e 6 anos sendo estas manutenções realizadas por técnicos de manutenção. Nestas manutenções são efetuadas diversas tarefas de manutenção

que abrangem todos os sistemas e sub-sistemas do SA, pretende-se assim avaliar o ajuste destas manutenções com o objetivo de propor possíveis melhorias aos atuais protocolos de manutenção.

### 3.4 Metodologia RCM

Neste subcapítulo, são detalhados os passos adotados na implementação da metodologia RCM3 ao SA. Enumera-se a sequência de tarefas realizadas, as simplificações aplicadas e os principais pontos a serem considerados ao responder a cada uma das questões da RCM [2]. Para a realização desta tarefa utilizou-se os seguintes softwares da *Reliasoft*: *Weibull++*, *RCM++* e *BlockSim*.

#### 3.4.1 Contexto Operacional

Segundo o manual de Marius Basson o primeiro passo para implementar a metodologia RCM é definir o contexto operacional em que o sistema opera [2]. Nesta dissertação serão abordados três contextos operacionais diferentes, nomeadamente, o TN, a RCA e a ROU.

##### Território Nacional

Em TN as Pandur II equipam unidades distribuídas na zona norte de Portugal, nas cidades de Vila Real, Viseu, Porto, Espinho e Braga. Nesta região do país o clima classifica-se como temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente, à exceção de Vila Real onde o clima é classificado como temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente [59].

Recorrendo aos dados divulgados pela PORDATA [60], compreendidos entre os anos de 2009 e 2023, a temperatura média anual registada nas estações meteorológicas de Viana do Castelo, Bragança e Porto foi de 14,6°C, ver tabela 3.1.

Tabela 3.1: Temperatura média anual registada nos anos de 2009 a 2023, adaptado de [60].

Anos	Viana do Castelo	Bragança	Porto
2009	14,5	13,8	15,2
2010	14,5	12,5	15,4
2011	15,1	13,3	15,9
2012	14,1	12,6	14,9
2013	14,6	12,7	15,8
2014	15,0	13,2	x
2015	14,9	13,3	15,6
2016	14,7	13,1	15,5
2017	14,8	14,0	16,5
2018	14,5	13,1	15,6
2019	14,9	13,2	15,3
2020	x	13,9	15,9
2021	14,5	13,3	15,3
2022	15,3	14,6	16,0
2023	15,5	13,9	16,3
<b>Temperatura média</b>			<b>14,6°C</b>

Em TN as Pandur são utilizadas em missões de treino das unidades e nos respetivos empenhamentos das mesmas na estrutura do Exército, tanto ao nível da Brigada de Intervenção, como em exercícios a nível nacional onde são empenhados os meios do Exército e de outros ramos das Forças Armadas. Por serem viaturas de rodas, a Pandur está habilitada a circular nas estradas pavimentadas realizando grande parte dos deslocamentos necessários. Quando em contexto de treino, devido à tipologia de missão em que está inserida, pressupõem-se uma utilização em todo-o-terreno, mas maioritariamente apoiada em itinerários.

Foi estimada uma média do número de HM para cada Pandur no decorrer de um ano, obtendo-se um valor de, aproximadamente 80 HM. Este valor foi estimado através do total de HM que cada viatura tem à data de junho de 2024, e calculou-se a média distribuída pelo período compreendido desde abril de 2008. A média de 80 HM anuais reflete o uso relativamente moderado das viaturas Pandur II em TN. No entanto, foi possível observar que estes valores variam entre 2384 HM e 29 HM, para as viaturas mais e menos utilizadas, respetivamente. Este fator torna crucial a implementação da metodologia RCM para adaptar os planos de manutenção à variabilidade de utilização, prevenindo falhas inesperadas e aumentar a fiabilidade.

### **República-Centro Africana**

No TO da RCA o clima caracteriza-se por ser húmido equatorial no Sul e Sahel-Sudanês na região do Norte do país. O verão é ameno a quente e chuvoso dura cerca de 2 meses com uma temperatura média entre 22 e 33° C. O inverno é quente e seco, dura aproximadamente 4 meses com a temperatura a variar entre 18 e 32° C [61, 62].

A missão da força portuguesa presente na RCA é na sua maior parte do tempo dissuasora, no entanto, por atuar como uma força de reação rápida desenvolve ações em todo o território do país, tendo que regularmente entrar em contacto efetivo com dissidentes. A viatura Pandur confere elevada proteção blindada e maior poder de fogo sendo empenhada em todas as projeções e patrulhas feitas pelo contingente. A rede rodoviária limitada na RCA, com apenas 5% das estradas pavimentadas, obriga as viaturas Pandur II a operar quase exclusivamente em condições de todo-o-terreno. Durante a estação chuvosa, muitas das estradas de terra tornam-se intransitáveis [63, 64], expondo as viaturas a um desgaste severo dos sistemas de suspensão e tração.

Estimou-se que as viaturas projetadas realizam uma média de 270 HM durante um ano por viatura, o que reflete o uso intensivo das viaturas em todo o território nos diferentes espectros de operações. Calculou-se a média através do número de HM totais de todas as viaturas desde a data de projeção até à data de junho de 2024. Neste TO observou-se que existe um equilíbrio do número de HM por todas as Pandur.

No contexto operacional da RCA, a aplicação da metodologia RCM torna-se indispensável para garantir a fiabilidade das viaturas Pandur II. As condições severas de todo-o-terreno, combinadas com o clima, tornam o desgaste dos componentes inevitável. A implementação da RCM permite identificar proativamente os modos de falha mais críticos e adaptar os planos de manutenção para prevenir falhas, assegurando que as viaturas mantêm a sua disponibilidade.

Paralelamente aos desafios climáticos e de terreno, o TO da RCA apresenta também dificuldades logísticas significativas, como no fornecimento de peças sobressalentes. Isso reforça a importância da manutenção preventiva e da gestão eficaz dos sobressalentes.

## **Roménia**

No TO da ROU a força portuguesa destacada está sediada no sudoeste romeno na cidade de Craiova a 230km da capital Bucareste. O verão é ameno dura cerca de 3 meses e meio e a temperatura média varia entre os 17 e os 30° C. O inverno é frio e com neve, e dura cerca de 3 meses e meio e as temperaturas médias variam entre os -3 e os 3° C [65].

As condições climáticas na ROU são significativamente diferentes das encontradas em território nacional. Os invernos rigorosos e a presença de neve impõem exigências adicionais aos sistemas da viatura, especialmente no que toca ao aquecimento do motor, ao sistema hidráulico e ao desgaste dos pneus. Durante o verão o sistema de arrefecimento da Pandur II é colocado à prova durante operações intensivas, enquanto os invernos frios e com neve aumentam o risco de falhas no sistema de tração e nos componentes hidráulicos, devido à maior viscosidade do fluido hidráulico a baixas temperaturas.

Embora as missões realizadas na ROU sejam semelhantes às de treino em TN, o clima rigoroso e a natureza do terreno romeno, muitas vezes mais acidentado, aumentam o desgaste das viaturas. O uso em estradas pavimentadas continua a ser predominante para as deslocações, mas as operações em todo-o-terreno, muitas vezes realizadas em condições de neve ou terreno congelado, exigem um esforço adicional dos sistemas de tração e suspensão.

Estimou-se que as viaturas projetadas realizam uma média de 260 HM durante um ano por viatura. Calculou-se a média através do número de HM totais de todas as viaturas desde a data de projeção até à data de junho de 2024. Esse aumento de utilização, comparado ao TN, reflete a maior intensidade das operações de treino e patrulha realizadas na ROU, bem como o ambiente operacional mais exigente. Apesar do equilíbrio observado entre as viaturas no que diz respeito ao número de HM, esse uso acarreta maiores desafios para a manutenção, exigindo uma aplicação rigorosa da metodologia RCM para antecipar falhas e evitar indisponibilidades.

### **3.4.2 Função e Falha Funcional**

Após a identificação dos componentes a abordar é necessário definir a sua função, ou funções. A definição clara das funções é essencial para a aplicação da metodologia RCM. No livro RCM3 é recomendando definir a função com um verbo, um objeto e um nível de performance, de forma a que um técnico possa facilmente avaliar se o componente está a operar de acordo com o esperado [2]. O exemplo dado no manual RCM3 é o de uma bomba de água que refere a sua função como a “De bombear água do tanque X para o tanque Y a não menos que 300 galões por minuto” [2]. Ou seja, numa primeira parte é apresentada a função pretendida, e na segunda parte o nível de performance desejado.

De forma a definir a falha funcional é necessário perceber qual é a função e qual o nível de desem-

penho pretendido para um componente. O manual RCM3 define falha como “a incapacidade de um qualquer ativo de fazer o que o utilizador quer que ele faça” [2], na NP EN 13306 falha é a “perda da capacidade de um bem para cumprir uma função requerida” [3]. Estas definições mostram que um bem pode estar a cumprir uma função e estar em falha por não estar a cumprir outra função que lhe esteja atribuída, uma vez que para o mesmo componente pode estar definida mais que uma função.

As funções são numeradas enquanto que as falhas funcionais são listadas por ordem alfabética. Na figura 3.7 encontra-se um exemplo de como foram registadas as funções de cada componente assim como as falhas funcionais associadas a cada função do componente.

Função		Falha Funcional	
1.2.4 Turbo			
1	Aumentar o caudal de ar injetado no motor com uma pressão de 1,9 bar	A	Perda de potência da compressão de ar
		B	Não aumentar o caudal de ar injetado no motor

Figura 3.7: Registo da função e das falhas funcionais do turbo.

No caso do turbo, a função principal é aumentar o caudal de ar injetado no motor, com um nível de desempenho desejado de 1,9 bar de pressão. A identificação de duas falhas funcionais — (A) injetar ar a uma pressão inferior à desejada e (B) não aumentar de todo o caudal de ar — é crucial para a manutenção. A falha A pode resultar numa perda de potência do motor, o que afetaria diretamente a capacidade da viatura Pandur II de responder a situações de emergência no terreno. A falha B, mais severa, resultaria numa completa incapacidade de operar o motor a níveis ótimos, afetando a mobilidade da viatura em operações críticas. A implementação de estratégias de monitorização contínua, baseadas na RCM, pode ajudar a identificar essas falhas antes que comprometam a missão.

A metodologia RCM permite não apenas identificar as falhas funcionais, mas também avaliar as consequências dessas falhas no desempenho global do sistema. Esta metodologia assegura que as viaturas estão preparadas para cumprir as suas funções nas condições mais exigentes.

### 3.4.3 Modos de Falha

Na figura 3.8 é possível verificar a continuação do registo nas fichas de informação do componente Turbo. Pode-se ainda verificar que os modos de falha são numerados de acordo com a causa, sendo que a cada causa pode estar associado mais que um mecanismo de falha.

Função	Falha Funcional	Modo de Falha	
		Causa de Falha	Mecanismo de Falha
1.2.4 Turbo			
1 Aumentar o caudal de ar injetado no motor com uma pressão de 1,9 bar	A Perda de potência da compressão de ar	1 Desgaste das pás	Entrada de resíduos  Contexto operacional com condições extremas
		2 Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos  Contexto operacional com condições extremas
	B Não aumentar o caudal de ar injetado no motor	1 Desgaste das pás	Entrada de resíduos  Contexto operacional com condições extremas
		2 Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos  Contexto operacional com condições extremas

Figura 3.8: Continuação do registo para o componente Turbo: parâmetro Modo de Falha (Causa e Mecanismo).

Os modos de falha são a combinação entre causa e mecanismo de falha. A causa é o que levou a que o componente falhasse, o mecanismo é o evento ou eventos que levaram à causa da falha [2]. Segundo o manual de Marius Basson [2] os “modos de falha (causa e mecanismo) devem ser definidos com detalhe suficiente para ser possível selecionar uma política de gestão de falha adequada”. Um dos maiores desafios ao realizar a análise dos modos de falha é encontrar o equilíbrio entre um nível de detalhe suficiente para identificar falhas e um nível que não sobrecarregue o processo. Um nível de detalhe excessivo pode levar a uma complexidade desnecessária, dificultando a implementação de medidas práticas de manutenção. Por outro lado, uma análise superficial pode deixar de fora falhas críticas. No caso da viatura Pandur II, foi encontrado um equilíbrio ao focar nas falhas mais recorrentes, com base nos dados históricos das OT corretivas e no conhecimento técnico dos especialistas envolvidos.

De forma a identificar os modos de falha associados a cada um dos componentes realizou-se uma análise de engenharia aos mesmos tendo em consideração o contexto operacional a que a viatura é submetida. De forma a complementar, durante a análise das 7164 OT corretivas da Pandur II, compre-

endidas no período de 1 de março de 2009 a 30 de junho de 2024, foram identificados mais modos de falha que se verificaram ao longo dos anos neste SA.

A identificação detalhada dos modos de falha permite determinar com precisão quais os componentes que necessitam de ser alvo de tarefas de manutenção, permite ainda orientar todos os envolvidos dando o conhecimento necessário sobre o porquê dos componentes apresentarem falhas.

### 3.4.4 Efeitos de Falha

Na figura 3.9 está representado a continuação do registo das fichas de informação do componente Turbo com a descrição dos Efeitos de Falha.

Função	Falha Funcional	Modo de Falha		Efeito de Falha				
		Causa de Falha	Mecanismo de Falha	Efeito de Falha Local	Efeito no Nível Superior	Efeito Final	Efeito Potencial de Pior Cenário	
1.2.4 Turbo								
1 Aumentar o caudal de ar injetado no motor com uma pressão de 1,9 bar	A Perda de potência da compressão de ar	1	Desgaste das pás	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	O desgaste das pás leva a diminuição da capacidade de compressão do ar pelo turbo.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.
		2	Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	A acumulação de resíduos no turbo diminui a capacidade de compressão do ar do mesmo, levando a que o caudal de ar injetado no motor não seja suficiente.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.
	B Não aumentar o caudal de ar injetado no motor	1	Desgaste das pás	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	O desgaste das pás leva a diminuição da capacidade de compressão do ar pelo turbo.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.
		2	Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	A acumulação de resíduos no turbo diminui a capacidade de compressão do ar do mesmo, levando a que o caudal de ar injetado no motor não seja suficiente.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.

Figura 3.9: Continuação do registo para o componente Turbo: parâmetros dos Efeitos de Falha.

Os efeitos de falha são fundamentais na análise FMECA, pois permitem identificar as consequências diretas e indiretas de um modo de falha. Com base nestes efeitos, é possível avaliar a severidade do impacto e calcular o risco associado. Isso orienta a implementação de ações de manutenção preventiva ou corretiva, garantindo que os componentes críticos recebam a atenção necessária para evitar falhas catastróficas que possam comprometer a operação das viaturas Pandur II.

O RCM3 propõe assim 4 categorias para os efeitos de falha [2]:

- **Efeito de falha local:** o que acontece diretamente com o componente em que acontece o modo de falha.
- **Efeito de nível superior:** o que acontece com o sistema em que o componente se insere, descrevendo a sequência de eventos à falha. Considera-se que nada é feito para prevenir a falha.
- **Efeito final:** descreve o efeito final do modo de falha, ao nível da segurança, ambiente e capacidade operacional.

- **Efeito potencial de pior cenário:** o que poderá acontecer se nenhuma ação preventiva for tomada para antecipar, prevenir ou detetar o modo de falha. Este efeito deve ser descrito como "o pior caso possível plausível de acontecer".

A compreensão dos efeitos de falha permite à equipa de manutenção priorizar os componentes que necessitam de intervenções mais frequentes, garantindo assim que possíveis falhas sejam previamente detetadas, reduzindo o risco de falhas críticas e assegurando a disponibilidade da viatura.

A análise detalhada dos efeitos de falha, combinada com o cálculo do risco, permite otimizar o plano de manutenção da viatura Pandur II, garantindo que os recursos sejam canalizados para os componentes mais críticos. A metodologia RCM, ao integrar esses efeitos, assegura uma abordagem estruturada e eficiente, que reduz o tempo de inatividade das viaturas e aumenta a sua fiabilidade.

### 3.4.5 Determinação de Valores de MTBF

O MTBF é uma métrica que representa o tempo médio entre falhas de um componente ou sistema. No contexto da viatura Pandur II, o cálculo do MTBF é essencial para avaliar a fiabilidade dos componentes críticos e propor tarefas de manutenção. Um valor mais elevado de MTBF indica que um componente é mais fiável e falha com menos frequência, enquanto um valor mais baixo sugere que o componente necessita de uma manutenção mais frequente.

De forma a ser possível calcular os MTBF, analisou-se as 7164 OT corretivas relativas à Pandur II, no entanto, destas OT, apenas se consideraram 1146. Esta redução deveu-se, em grande parte, a preenchimentos incorretos, a falhas em componentes que não estavam em estudo ou a OT que não forneciam informações suficientes para a análise de fiabilidade. Optou-se por focar nas OT mais relevantes e bem documentadas, garantindo a precisão e a robustez dos valores de MTBF calculados. Idealmente, deve-se estimar os valores de MTBF para cada modo de falha, no entanto, considerou-se o número mínimo de 3 OT válidas para se poder determinar o valor do MTBF, como tal de forma a conseguir estimar para o maior número de componentes agrupou-se as OT por componente e não por modo de falha, estimando-se os valores dos MTBF por componente.

Após o agrupamento das OT foi realizado um tratamento dos dados. Para uma determinada viatura quando se verificasse uma falha num componente, assumiu-se que as HM dessa viatura voltavam a zero para esse componente. Por exemplo, se a viatura 1 tivesse uma falha no turbo às 400 e 750 HM totais, no tratamento de dados, os valores passavam a ser de 400 e 350 HM, respetivamente. Esta abordagem foi adotada para refletir o ciclo de vida de um componente após a sua reparação ou substituição. Considerou-se assim que o ciclo do componente recomeça do zero após a falha, permitindo uma medição mais precisa do tempo entre as falhas subsequentes.

Inicialmente, e uma vez que todas as 188 viaturas se encontravam em TN, todas as falhas registadas foram contabilizadas para a determinação dos MTBF em TN. Quando as viaturas foram projetadas para os respetivos TO, as falhas registadas passaram a ser contabilizadas nesse TO. Para facilitar a análise comparativa entre os diferentes TO, as HM de cada viatura foram reiniciadas a zero aquando da sua projeção para os mesmos. Com esta simplificação possibilitou-se avaliar a fiabilidade dos com-

ponentes em cada contexto operacional de forma isolada, sem interferências de dados anteriores que poderiam enviesar os resultados. Ao aplicar esta metodologia, foi possível comparar a performance dos componentes no TN com a performance na RCA e na ROU. Esta simplificação foi possível uma vez que antes da projeção todas as viaturas foram alvo de revisões e intervenções profundas de forma a estarem na máxima capacidade operacional para operar nos TO.

Tal como supramencionado o universo de análise são as 188 viaturas que compõe a frota de Pandur II que equipam o exército, como tal foi necessário fazer uma análise em que através da última OT aberta para cada uma das viaturas, à data de 30 de junho de 2024, retirou-se o valor de HM atual. Posto isto foi necessário identificar quais as viaturas que não apresentaram falhas nos componentes em estudo e consequentemente agrupar entre as que não apresentaram falhas por não terem utilização suficiente e não alcançaram as HM do valor de referência, sendo assim excluídas do estudo através da censura de dados à direita, e as que alcançaram o valor de referência e são contabilizadas para a determinação dos MTBF. O valor de referência considerou-se como o valor de HM mais elevado em que foi registada uma falha de um componente, isto é, para o turbo a falha registada com maior valor de HM foi de 1384, logo uma viatura que não tenha registado falhas no turbo e tiver menos de 1384 HM é excluída, se tiver mais é incluída no cálculo. Para fazer a censura de dados para cada TO apenas se considerou as viaturas que se encontram nesse TO.

Para a determinação dos valores dos MTBF, utilizou-se o software “Weibull++”. Este software permite identificar qual a distribuição que melhor se adequa aos dados para cada componente mediante as falhas registadas e assim determinar o seu valor de MTBF. Na figura 3.10 é possível verificar todas as falhas registadas no componente turbo, onde são introduzidas as HM a que se verificaram (F), é possível também verificar em qual das viaturas se verificou a falha de forma a facilitar a censura de dados à direita. Na última linha estão todas as viaturas que ultrapassaram o valor de referência de HM e não foram registadas falhas (S). No caso do Turbo, a distribuição “2P-Exponential” foi selecionada pelo software como a mais adequada. Esta distribuição é caracterizada por apresentar uma taxa de falha constante ao longo do tempo, sendo útil para prever as falhas futuras e ajustar os planos de manutenção.

Quantidade	Estado F ou S	Tempo da Avaliação (h)	IDs Subconjunto 1
10	1	967	MX-76-06
11	1	590	MX-76-19
12	1	212	MX-76-21
13	1	441	MX-76-21
14	1	371	MX-76-23
15	1	198	MX-76-23
16	1	234	MX-76-31
17	1	246	MX-76-36
18	1	122	MX-76-43
19	1	767	MX-76-49
20	1	598	MX-76-56
21	1	713	MX-76-58
22	1	170	MX-76-62
23	1	276	MX-76-62
24	1	89	MX-76-63
25	1	588	MX-76-67
26	1	889	MX-76-74
27	1	798	MX-76-84
28	1	820	MX-76-94
29	1	305	MX-77-04
30	1	1384	MX-77-29
31	1	641	MX-77-40
32	1	323	MX-77-43
33	1	52	MX-77-44
34	1	1112	MX-78-47
35	1	504	MX-79-53
36	1	631	MX-83-91
37	6	1422	
38			

**Dados de Vida**

Distribuição: 2P-Exponential

Configurações da Análise: RRX, SRM, FM, MED

Resumo da Análise

Parâmetros: Tempo Médio (h) 637,192539, Gama (h) 52,000000

Outras: Rho -0,951560, Valor da LK -270,529421

Falhas/Suspensões: F/S 36/6

Comentários

Figura 3.10: Introdução dos dados no Weibull++ para o componente Turbo.

De forma automática o software exporta o valor do MTBF, ver figura 3.11.

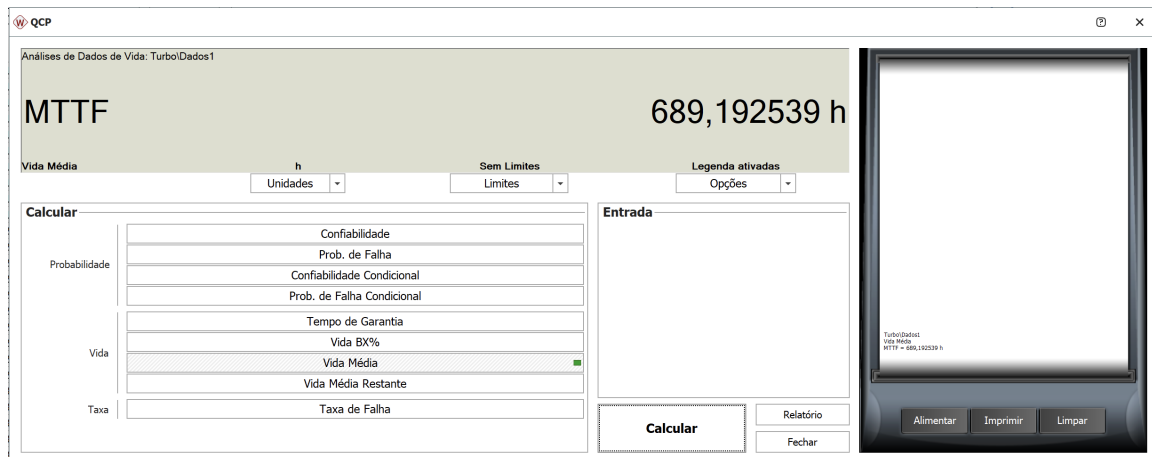


Figura 3.11: Determinação do valor de MTBF para o componente Turbo no software Weibull++.

Na tabela 3.2 estão representadas as distribuições e os valores de MTBF calculados para os componentes. De notar que alguns componentes em estudo não apresentaram OT válidas suficientes ou de todo, pelo que se considerou que os atuais planos de manutenção para esses componentes estão bem ajustados e para o cálculo da probabilidade de ocorrência considerou-se que estão no nível mais baixo. De forma a fazer uma correlação entre os valores de MTBF, calculados em HM, e uma métrica temporal contínua considerou-se que em média uma Pandur realiza 250 HM/Ano.

Tabela 3.2: Tabela com as distribuições e MTBFs dos componentes em estudo em TN, na RCA e na ROU.

Componente			TN		RCA		ROU		
			Distribuição	MTBF	Distribuição	MTBF	Distribuição	MTBF	
Sistema de Potência	Motor	Motor de arranque	Weibull 2P	895,49					
		Sensor de falha do nível de óleo	Exponencial 1P	9404,64					
		Bomba de óleo	sem dados						
	Sistema de Admissão de Ar	Filtro de ar	sem dados						
		Mangueiras de admissão de ar	Lognormal	1399,94	Exponencial 2P	1724,46			
		Soprador de poeiras	Weibull 2P	455,31	Exponencial 1P	1299,79	Exponencial 1P	1886,12	
		Turbo	Exponencial 2P	689,2			Exponencial 1P	1431,41	
	Sistema de Escape		Lognormal	779,67			Exponencial 1P	1418,18	
	Sistema de Alimentação de Combustível	Sensor de nível de combustível	Exponencial 1P	5340,65	Exponencial 1P	1571,79			
		Filtro de combustível	Exponencial 1P	3090,18	Exponencial 1P	1262,61			
		Pré-filtro de combustível	Exponencial 2P	701,9			Lognormal	344,11	
		Bomba de combustível	Exponencial 2P	3199,41					
		Depósito de combustível	Exponencial 2P	702,45					
	Sistema de Transferência de Potência	Transmissão Automática	ECU	Lognormal	1008,03				
Lubrificação			Lognormal	761,99					
Caixa de velocidades			Exponencial 2P	1543,35	Exponencial 2P	2179,94	Exponencial 1P	1361,86	
Trem de Rodagem		Velos de cardan	sem dados						
		Diferencial	Exponencial 2P	989,55					
		Suspensão	Exponencial 2P	1102,57	Exponencial 2P	2038,96			
		Cubo da roda	Weibull 2P	756,06	Exponencial 1P	1506,38	Exponencial 1P	815,58	
Sistema de Direção		Rótulas de direção	Weibull 2P	809,26			Exponencial 2P	1250,54	
		Sensor do óleo de direção	Loglogística	1789,37					
		Bomba de direção	Exponencial 1P	12552,4					
Sistema Hidráulico	Bomba Hidráulica		Loglogística	808,42					
	Guincho		Loglogística	539,28					
	Bloco de Válvulas de Comando		Loglogística	655,99	Exponencial 1P	726,72	Exponencial 2P	866,54	
	Cilindros Hidráulicos da Rampa		Exponencial 1P	2046,7					
	Tubagens e Mangueiras		Exponencial 2P	607,48	Exponencial 2P	1604,94	Lognormal	2273,74	
	Depósito		sem dados						
Sistema de Aquecimento e Arrefecimento	Conjunto da bomba de água	Bomba de água	Exponencial 2P	5698,79	Exponencial 2P	1172,88	Exponencial 2P	1587,98	
		Termostato	Exponencial 1P	33015,27					
	Sistema de Refrigeração no grupo de alimentação	Válvula de descompressão	Loglogística	619,61					
		Intercooler	sem dados						
		Permutadores de calor da central hidráulica	Exponencial 1P	10684,49					
		Permutadores de calor da transmissão automática	Exponencial 1P	13146,35					
		Mangueiras e tubagens	Exponencial 2P	590,43	Exponencial 1P	1658,14	Lognormal	3276,14	
		Ventoinha	Exponencial 1P	7798,43					
		Sensor de nível de líquido refrigerante	Exponencial 2P	1306,59					
		Depósito	sem dados						
		Radiador	Weibull 3P	2103,08			Normal	545,82	
	Refrigeração no casco	Permutadores de calor da caixa de transferência	sem dados						
		Mangueiras e tubagens	Exponencial 2P	590,43	Exponencial 1P	1658,14	Lognormal	3276,14	
	Sistema de Aquecimento	Unidade de aquecimento de água		Exponencial 1P	1847,46			Exponencial 1P	1275,93
		Tubagens e ligações		Exponencial 1P	3468,57				
	Ventilação e AC	Compressor AC		Lognormal	655,81	Normal	1028,89	Exponencial 1P	2073,43
Unões e ligações		Exponencial 1P	1314,11	Exponencial 1P	861,52				

	Praticamente certo
	Provável
	Eventual
	Improvável
	Raro

### 3.4.6 Ocorrência, Severidade e Risco

De forma a calcular o risco que cada modo de falha apresenta adotou-se a combinação entre a severidade e a probabilidade da ocorrência da falha. Para tal definiu-se uma matriz de risco, adaptada da sugerida no manual [2], ver tabela 3.3.

A Matriz de Risco consiste numa tabela de duas entradas, onde se introduz o valor de probabilidade de ocorrência e de severidade da consequência obtendo-se um valor de risco para cada modo de falha.

Os níveis de probabilidade de ocorrência são adaptados da matriz proposta no manual RCM3 [2], no entanto, com o apoio da DMSA foi realizada uma adaptação a estes valores face à realidade e à atual utilização das viaturas no contexto do Exército Português. Os níveis variam de “Praticamente certo” a “Raro”, onde, dependente do nível em que o modo de falha se insere, é atribuído um valor de 1 a 5.

Para calcular a severidade do modo de falha a matriz apresenta 4 tipologias de consequências: Segurança e Saúde, Ambiental, Operacional e Económica. Existem diversas abordagens de forma a calcular o nível de severidade, nesta dissertação apenas se considerou a componente operacional da consequência. Por se tratar de uma viatura militar com elevado valor tático, e de forma a alinhar esta dissertação com aqueles que são os objetivos do Exército Português de aumentar o nível de operacionalidade da viatura. Aliado ao facto de esta consequência ser possível de calcular utilizando uma métrica qualitativa através da metodologia Delphi realizando entrevistas a técnicos especialistas no SA Pandur II.

Dentro da tipologia “Operacional” existem 5 níveis que variam de “Insignificante” a “Grave”, onde é atribuído um valor de 1 a 5 a cada modo de falha. À semelhança do trabalho realizado para a probabilidade de ocorrência, também foi necessário adaptar a descrição dos níveis à realidade das viaturas Pandur II do Exército Português.

Contrariamente à probabilidade de ocorrência onde existe um valor quantitativo para atribuir um nível, e correspondente valor, o mesmo não se verifica para a severidade sendo necessário atribuir valores qualitativos. Assim recorreu-se à metodologia Delphi onde foram realizadas entrevistas a 4 especialistas individualmente nas quais atribuíram um valor de severidade a cada modo de falha, tendo sido obtido consenso na segunda ronda. Antes de se iniciar a segunda ronda de questionários, durante tratamento dos dados após a primeira ronda, atribuiu-se ao modo de falha o valor mais elevado indicado pelos especialistas. Isto é, se os valores atribuídos pelos especialistas fossem 3, 3, 3 e 4, o valor selecionado para a segunda ronda foi o 4. Esta opção prende-se com a abordagem conservativa ao estudo da viatura, reduzindo imprecisões na avaliação por parte dos especialistas no impacto das falhas. Após a segunda ronda de questões foi obtido consenso.

Após introduzidos os dois valores na matriz, estes são multiplicados obtendo-se um valor entre 1 e 25, podendo-se obter três possíveis níveis de risco para cada modo de falha: Ligeiro, Médio e Grave. Estes níveis são definidos consoante a legenda na tabela 3.3, sendo o nível Ligeiro para os valores de 1 a 4, o nível Médio de 5 a 12 e o nível Grave de 13 a 25, considerou-se que os níveis de ligeiro e médio são níveis toleráveis, enquanto o nível grave é considerado como intolerável.

Tabela 3.3: Matriz de Risco, adaptado de [2].

Efeito da falha/ Severidade da consequência						
Consequência		1 Insignificante	2 Baixa	3 Moderada	4 Elevada	5 Grave
Segurança e Saúde		Primeiros socorros/ Risco para a saúde ligeiro.	Tratamento médico/ Risco para a saúde considerável.	Lesão grave/ Impacto reversível para a saúde.	Óbito único ou perda de qualidade de vida/ Impacto irreversível na saúde.	Vários óbitos/ Impacto na saúde que pode levar à morte.
Ambiental		Dano ambiental mínimo.	Impacto ligeiro – recuperação a curto prazo.	Dano significativo – com impacto irreversível durante a vida do ativo	Dano grave com impacto irreversível após vida do ativo	Dano extremo com impacto irreversível.
Operacional		Sem perda de capacidade operacional da viatura/Sistema de Armas.	Breve perda de capacidade operacional /troca de pneu, mudança de óleos, lubrificação).	Inoperacionalidade parcial. Falha não põe em causa o completo funcionamento do subsistema a que o componente pertence.	Inoperacionalidade parcial. Falha implica a inoperacionalidade do subsistema a que o componente pertence.	Inoperacionalidade total da viatura/ Sistema de Armas.
Económica		Custos de reparação de 1500€.	Custos de reparação de 1500€ até 10000€.	Custos de reparação de 10000€ até 50000€.	Custos de reparação de 50000€ até 500000€.	Custos de reparação superiores a 500000€.
Probabilidade de ocorrência		Classificação do risco				
5 Praticamente certo	Falha ocorre uma ou mais vezes a cada 150 Horas de motor.	5	10	15	20	25
4 Provável	Falha ocorre menos de uma vez a cada 150 Horas de motor e é provável que ocorra num prazo de 750 Horas de motor.	4	8	12	16	20
3 Eventual	Falha ocorre eventualmente e pode dar-se num prazo de 1500 Horas de motor.	3	6	9	12	15
2 Improvável	Falha ocorre eventualmente e pode dar-se num prazo de 3000 Horas de motor.	2	4	6	8	10
1 Raro	Falha nunca aconteceu até ao momento e não é expectável que aconteça num prazo de 3000 Horas de motor.	1	2	3	4	5

1-4	Ligeiro
5-12	Médio
13-25	Grave

A análise do risco é inserida nas fichas de informação nas últimas 3 colunas, correspondendo respectivamente a Probabilidade de Ocorrência (P), Consequência (C) e Risco (R). Na figura 3.12 é possível consultar a ficha de informação do componente Turbo totalmente preenchida, onde se inclui a Análise do Risco. De notar que diferentes modos de falha possuem níveis de severidade diferentes e por isso riscos diferentes.

Função	Falha Funcional	Modo de Falha		Efeito de Falha				Análise do Risco			
		Causa de Falha	Mecanismo de Falha	Efeito de Falha Local	Efeito no Nível Superior	Efeito Final	Efeito Potencial de Pior Cenário	P	C	R	
1.2.4 Turbo											
1 Aumentar o caudal de ar injetado no motor com uma pressão de 1,9 bar	A Perda de potência da compressão de ar	1	Desgaste das pás	Entrada de resíduos	O desgaste das pás leva a diminuição da capacidade de compressão do ar pelo turbo.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	4	3	12
		2	Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos	A acumulação de resíduos no turbo diminui a capacidade de compressão do ar do mesmo, levando a que o caudal de ar injetado no motor não seja suficiente.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	4	3	12
	B Não aumentar o caudal de ar injetado no motor	1	Desgaste das pás	Entrada de resíduos	O desgaste das pás leva a diminuição da capacidade de compressão do ar pelo turbo.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	4	4	16
		2	Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos	A acumulação de resíduos no turbo diminui a capacidade de compressão do ar do mesmo, levando a que o caudal de ar injetado no motor não seja suficiente.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	4	4	16

Figura 3.12: Ficha de informação completa para o componente Turbo.

### 3.4.7 Ações de Mitigação do Risco

O manual RCM3 [2] disponibiliza um diagrama de decisão que permite auxiliar no processo de tomada de decisão no que concerne à identificação de tarefas de mitigação do risco. De forma a registar as respostas ao diagrama de decisão e a descrição das ações de mitigação adotou-se um modelo semelhante ao proposto no manual de Basson [2], com a estrutura da figura 3.13.

Referência		Avaliação da categoria						Avaliação da estratégia de gestão do risco							Descrição da estratégia de gestão do risco	Descrição de tarefas																			
F	FS	FM	1	ES	HS	EE	HE	EO	HP1	HP2	HP3	HO1	HO2	HO3	EP1	EP2	EP3	EO1	EO2	EO3	ET1	ET2	ET3	HP4	HP5	HO4	EP4	EP5	EO4	INT. INICIAL DE TAREFAS	UM	ID. PESS.	QTD	Duração	Tipo de Mod.
Turbo																																			
1	A	1	S	N	N	N	N	S																					Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	500/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S																					Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	500/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	B	1	S	N	N	S	N	S																					Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	500/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	B	2	S	N	N	S	N	S																					Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	500/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P

Figura 3.13: Estrutura utilizada para registar as respostas ao Diagrama de Decisão, adaptado de [2].

No modelo adotado as 3 primeiras colunas são referentes à função, à falha funcional e ao modo de falha por esta ordem. As demais colunas são as respostas ao diagrama de decisão, onde S corresponde a “Sim” e o N corresponde a “Não”, até à coluna com a “Descrição da estratégia de gestão do risco” onde tal como o nome indica é feita uma breve descrição da modalidade adotada de forma a mitigar o risco existente.

As 6 colunas subsequentes estão relacionadas com a estratégia selecionada na resposta ao diagrama de decisão. A primeira e segunda colunas, “Intervalo inicial de tarefas” e “Unidade de Medida”,

descrevem a periodicidade da execução da tarefa de manutenção proposta e a unidade de medida em que se encontra expressa a periodicidade, na terceira, quarta e quinta colunas, “Identificação de pessoal”, “Quantidade” e “Duração”, correspondem a identificar quem deve proceder à realização da tarefa de manutenção (ex. mecânico, operador, etc.), a quantidade de elementos necessários à realização da tarefa e a duração prevista expressa em horas. Na sexta coluna, “Tipo de modificação”, é registado o tipo de modificação que a tarefa proposta implementará (ex. mudança de procedimento, ação de formação, reprojeto, modificação, etc.).

Nas últimas 3 colunas é feita uma revisão do risco para cada modo de falha, esta revisão tem por base o impacto expectável que as tarefas de manutenção propostas terão na mitigação do risco. É expectável que as tarefas propostas surtem impacto no risco associado a cada modo de falha contribuindo para a sua redução, no entanto, não é necessário que todos os modos de falha saiam do nível de risco grave.

Nesta dissertação considerou-se que o nível de risco médio era tolerável, no entanto, aplicou-se o diagrama de decisão e a conseqüente ação de mitigação do risco a todos os modos de falha que apresentavam risco médio ou grave.

Após a resposta ao diagrama de decisão e chegada às propostas de tarefas de manutenção foi novamente aplicado a metodologia Delphi aos especialistas selecionados anteriormente, onde foi discutido individualmente se seria expectável que as propostas apresentadas iriam impactar no risco atual, e se eram adequadas e exequíveis. Conseguiu-se alcançar consenso na terceira ronda de questões.

### **3.4.8 Risco Revisto**

Após a seleção das tarefas de manutenção com o objetivo de mitigar o risco, torna-se fundamental reavaliar e prever o risco associado a cada modo de falha.

Considerando que o risco é resultado da conjugação entre a probabilidade de ocorrência e a severidade da falha, a sua redução exige atuar sobre um ou ambos os fatores. Dado que as ações de mitigação propostas são de natureza diversa, procedeu-se a uma reavaliação do risco com base no impacto previsto dessas medidas, caso sejam implementadas.

Como a previsão do impacto sobre o risco não possui uma métrica objetiva, recorreu-se novamente à metodologia Delphi. O mesmo painel de especialistas foi consultado e, após duas rondas alcançou-se consenso quanto ao impacto previsto das ações propostas. No Anexo A, encontram-se as fichas informativas completas com a revisão do risco.

É importante salientar que, com a implementação das medidas de mitigação, espera-se uma diminuição do risco global, embora não seja garantido que tal se reflita na redução do nível de risco. Para os riscos classificados como *Graves*, deve-se aumentar os esforços no sentido de implementar ações que resultem numa diminuição de nível, embora isso não seja uma condição obrigatória.

## 3.5 Disponibilidade

Neste subcapítulo, são detalhados os passos adotados para o cálculo da disponibilidade dos sistemas em estudo. Enumeram-se os componentes considerados críticos para a disponibilidade dos sistemas, as simplificações assumidas, e como foi feita a análise de sensibilidade para os valores de MTTR assumidos de forma a obter um valor de disponibilidade pretendido.

### 3.5.1 Seleção dos componentes críticos

De forma a ser possível calcular a disponibilidade de cada sistema foi necessário definir quais os componentes que em falha levam à indisponibilidade do sistema. Para tal recorreu-se à análise FMECA, realizada anteriormente, e considerou-se que todos os componentes com um valor de severidade igual ou superior a 3 consideravam-se críticos. No entanto, consideraram-se algumas exceções, assim como componentes que não foi possível calcular os valores de MTBF, e os sensores de nível que para além de terem um valor de severidade elevado a sua falha não causa uma indisponibilidade imediata no sistema. Realizaram-se ainda outras simplificações como assumir que componentes semelhantes possuem os mesmos valores de MTBF, como, por exemplo, o Intercooler que se assumiu o valor de MTBF do Radiador assim como a sua distribuição de vida. Na tabela 3.4 são apresentados todos os componentes considerados críticos para o cálculo da disponibilidade.

Tabela 3.4: Componentes considerados críticos de cada sistema para análise da disponibilidade.

<b>Componentes Críticos</b>			
<b>Sistema Potência</b>	<b>Sistema Transferência de Potência</b>	<b>Sistema Hidráulico</b>	<b>Sistema de Aquecimento/Arrefecimento</b>
Motor de arranque	ECU	Bomba hidráulica	Bomba de água
Mangueiras de admissão de ar	Lubrificação	Bloco de válvulas de comando	Termostato
Turbo	Caixa de velocidades	Tubagens e mangueiras	Intercooler
Sistema de escape	Diferencial		Permutadores da central hidráulica
Filtro de combustível	Cubo da roda		Permutadores da transmissão automática
Pré-filtro de combustível	Rótulas de direção		Mangueiras e tubagens
Bomba de combustível	Bomba direção		Ventoinha
Depósito de combustível			Radiador
			Permutadores da caixa de transferência
			Unidade de aquecimento de água
			Tubagens e ligações

### 3.5.2 Construção dos *Reliability Block Diagrams*

Para o cálculo da disponibilidade fez-se uso do *BlockSim*, sendo um software integrado no *Reliasoft*. De entre as ferramentas disponibilizadas pelo software utilizou-se os Reliability Block Diagrams (RBDs) que permitem modelar sistemas complexos de forma a calcular a sua fiabilidade, disponibilidade, entre outras. Para realizar os cálculos a ferramenta utiliza cálculos diretos ou através de simulações e pode ser utilizado em sistemas reparáveis e não reparáveis [66, 67].

Para modelar os sistemas é necessário introduzir os componentes, neste interface cada bloco corresponde a um componente, de seguida para cada bloco definiu-se a sua distribuição de vida e inseriu-se os dados calculados no *Weibull++*. Na figura 3.14 é possível identificar os blocos correspondentes aos componentes críticos do Sistema de Potência. Na janela à esquerda são introduzidas as definições do bloco correspondente ao Motor de arranque. Na janela da direita, subsequente, é definida a distribuição de vida e os parâmetros obtidos anteriormente. Para a realização dos cálculos utilizou-se os valores obtidos para TN.

Introduziu-se no *BlockSim* que os componentes estavam em “série”, uma vez que são considerados críticos, o que, na prática, corresponde a dizer que se um dos componentes entrar em falha o sistema fica indisponível.

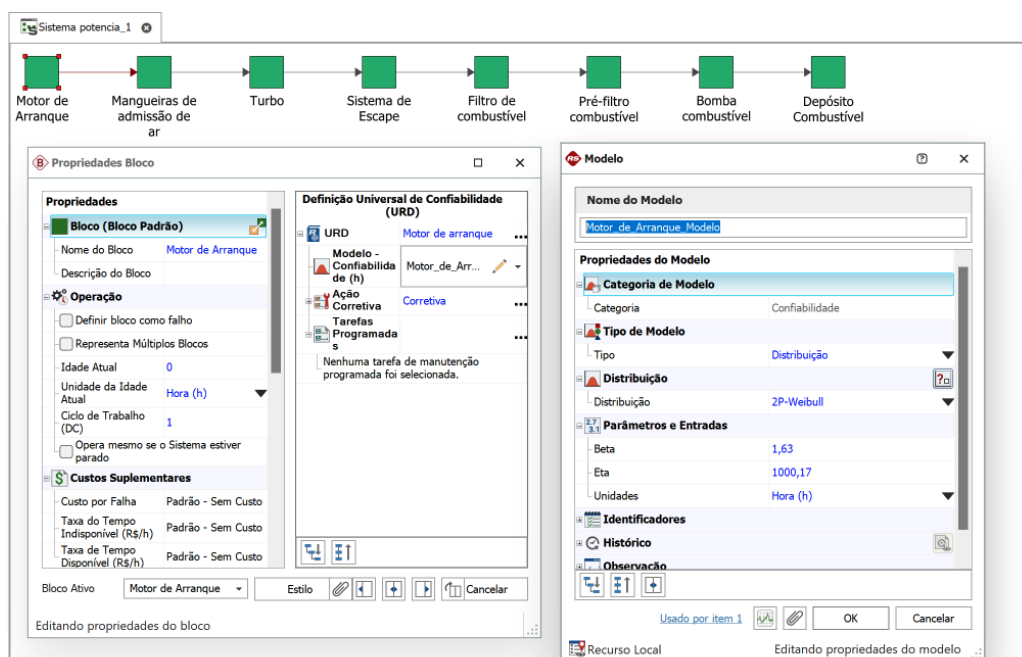


Figura 3.14: Interface do software *BlockSim*.

De seguida inseriu-se os valores do tempo médio de reparação, na nomenclatura inglesa Mean Time To Repair (MTTR), no entanto, estes valores não foram possíveis de calcular, optou-se assim por realizar uma análise de sensibilidade. Na análise de sensibilidade inseriu-se valores iguais de MTTR para todos os componentes e fez-se variar estes valores entre 48h, 24h, 12h, 8h, 4h, 2h e 1h, e analisou-se o impacto na disponibilidade para cada sistema.

Para o cálculo da disponibilidade recorreu-se às simulações disponibilizadas pelo software, no entanto, é necessário definir alguns parâmetros. Tendo em conta que a Pandur se encontra ao serviço do Exército Português desde 2008 significa que se passaram 16 anos. Convertendo para HM, mantendo a média de 250 HM/ano, realizou-se a simulação para uma duração de 4000 horas, com resultados pontuais a cada 10 horas. Ou seja, de 10 em 10 horas a simulação simula se ocorreu ou não uma falha no sistema. Os demais parâmetros são referentes à convergência e à limitação da simulação, de forma a não levar ao sobreprocessamento da mesma, ver figura 3.15. Foram utilizados os mesmos parâmetros para todas as simulações efetuadas.

**Simulação da Manutenibilidade/Disponibilidade**

**IDLE**

Opções Comparativas Opções Avançadas Opções de Visualização

Tempo Final da Simulação 4000 Hora (h)

Resultados Pontuais a cada 10 Hora (h)

**Número de Simulações**

Número Máximo de Simulações 10000

Critério de Convergência 0,001

[Configurações da Análise](#) Simular Detalhes Fechar

Figura 3.15: Interface de escolha dos parâmetros da simulação.

De forma a calcular a disponibilidade do conjunto dos 4 sistemas em estudo optou-se por 2 métodos distintos, considerando que os sistemas estão em série, analogamente ao realizado anteriormente se um dos sistemas estiver indisponível significa que o conjunto dos sistemas vai estar indisponível. Como tal a primeira forma de cálculo foi direta, multiplicando a disponibilidade de cada sistema obtendo-se assim o valor de disponibilidade do conjunto, o outro método foi através do *BlockSim* colocando os sistemas em série e simulando com os mesmo parâmetros utilizados anteriormente.

Após contacto com a DMSA foi possível estabelecer um valor de disponibilidade pretendido para o SA Pandur II 8x8 de pelo menos 90%. No entanto, nesta dissertação não estão contemplados todos

os componentes críticos da Pandur II. Considerou-se assim que existia um quinto sistema “dummy” com uma disponibilidade correspondente à média dos 4 sistemas em estudo. Obtendo-se assim um valor total da disponibilidade da viatura, multiplicando os valores da disponibilidade individual de cada sistema considerado.

O software *BlockSim* disponibiliza uma ferramenta que permite analisar quais os componentes que mais contribuíram para a indisponibilidade do sistema durante as simulações. O ReliaSoft Downtime Criticality Index (RS DTCl), consiste num gráfico onde são apresentados todos os blocos (componentes) e a sua contribuição para a indisponibilidade total do sistema [68]. Esta métrica permitiu identificar a relação entre os valores de MTBF e a contribuição para a indisponibilidade. No entanto foram identificadas algumas exceções, levantando a relevância da distribuição de vida na ocorrência de falhas.



## Capítulo 4

# Análise de Resultados

Neste capítulo, são analisados e discutidos os resultados obtidos ao longo da dissertação, com o objetivo de melhorar a fiabilidade e a disponibilidade da viatura Pandur II nos diversos contextos operacionais.

Numa primeira fase justificam-se as opções tomadas relativamente às propostas de ações de mitigação e tarefas de manutenção, com vista a atualizar o plano de manutenção da Pandur II.

De seguida, comentou-se as diferenças nos valores de MTBF para os componentes nos diferentes cenários e correspondentes contextos operacionais estudados, sendo TN, RCA e ROU. Esta análise é crucial para compreender como os diferentes ambientes influenciam o desempenho e a fiabilidade dos sistemas, permitindo ajustar os planos de manutenção de forma mais precisa para cada cenário.

Por último, é estimado e comentado o valor de MTTR necessário para os componentes críticos de forma a garantir que a viatura Pandur II alcance o nível de disponibilidade necessário para cumprir as exigências operacionais. Este último sub-capítulo reflete a importância de reduzir o tempo de reparação de forma a maximizar a disponibilidade da Pandur II, um fator essencial para o sucesso em teatros de operações complexos.

### 4.1 Alterações ao plano de manutenção

O plano de manutenção proposto apresenta algumas modificações consideradas adequadas, nomeadamente a modificação da periodicidade e o ajuste da tipologia de algumas tarefas para manutenção sob-condição. Foram alteradas seis tarefas de manutenção já existentes no plano atual, além de serem propostas onze novas tarefas, com a expectativa de que estas reduzam significativamente o número de manutenções corretivas nos componentes críticos.

As alterações propostas foram baseadas numa análise detalhada das falhas identificadas, valores de MTBF calculados e consultas com especialistas. O objetivo principal é otimizar a manutenção preventiva, minimizar o impacto das falhas no desempenho das viaturas e aumentar a sua disponibilidade nos diversos TO.

No protocolo de manutenção anual é previsto que se verifique a junta do turbocompressor, no en-

tanto, sugere-se que se inclua a verificação visual do estado dos pernes e o seu aperto, uma vez que estes são um dos principais motivos das manutenções corretivas ao Turbo. Para o caso do Turbo chegou-se a um valor ótimo de realização da tarefa preventiva de 500 HM o que corresponde a dois anos de utilização. No entanto, como a manutenção é realizada anualmente, optou-se por manter esta periodicidade para simplificar o plano de manutenção.

O pré-filtro é um dos componentes com menor valor de MTBF calculado, e está prevista a sua limpeza nas manutenções preventivas anuais. No entanto, após consulta com especialistas, foi reportado que esta tarefa é realizada de forma mais frequente que o previsto. Assim, considerou-se que a limpeza deve ser feita antes de cada utilização da viatura, de forma a prevenir possíveis entupimentos. O elevado número de entupimentos indica que o pré-filtro está a cumprir a sua função, mas levanta outras questões como a qualidade do combustível utilizado, o que poderá necessitar de uma investigação adicional.

O depósito de combustível é o único componente em que a alteração à frequência com que se realiza a tarefa de drenagem do mesmo é feita para um intervalo de tempo superior ao previsto nos protocolos de manutenção. É previsto que anualmente se drene o depósito de combustível e que na manutenção de 6 anos se drene os sedimentos do mesmo, após análise do valor de MTBF (700 HM) calculado para o depósito e discussão com os especialistas chegou-se à conclusão de manter a manutenção de 6 anos e alterar a tarefa de drenagem do depósito de 1 ano para 2 anos. Esta decisão foi tomada após consulta com os especialistas, que sugeriram que esta tarefa, apesar de importante, não é crítica. Uma vez que os depósitos das viaturas militares são, usualmente, abastecidos pelo limite máximo recomendado após a sua utilização. O que pressupõe que não exista uma deposição acentuada de detritos. No entanto, recomenda-se uma vigilância ativa para monitorizar o impacto desta alteração no número de manutenções corretivas associadas ao componente a curto-médio prazo.

Na manutenção de 2 anos prevê-se a troca do óleo da transmissão automática e do óleo do cubo da roda, no entanto, após resposta ao diagrama de decisão e consulta com os especialistas, e ao facto de já existirem estudos internos da instituição para alterar esta tarefa de manutenção de substituição planeada para sob-condição, considerou-se propor a alteração à tarefa para verificação do nível e da qualidade dos óleos ao invés da sua substituição. Esta mudança reflete a tendência observada de desperdício de óleos ainda em condições satisfatórias de utilização, e os valores de MTBF, calculados para a transmissão automática e para os cubos da roda, superiores a 750 HM vêm sustentar estas análises.

Quanto ao Sistema de Arrefecimento, atualmente, está previsto nos protocolos de manutenção aspirar o radiador anualmente e limpar o radiador e o intercooler na manutenção de 2 anos. Após discussão com os especialistas propõe-se agrupar estas duas tarefas numa única tarefa na manutenção de 6 meses, sendo obrigatório lavar à pressão e não apenas aspirar. Esta mudança deve-se ao facto de a utilização das Pandur em treinos e missões se realizar em condições todo-o-terreno o que pressupõe a utilização em condições com elevadas poeiras, como o Campo Militar de Santa Margarida. Apesar de não ter sido obtido um valor de MTBF para o intercooler, a proximidade física e a função complementar à do radiador justificam a alteração proposta.

Relativamente às tarefas propostas são na sua maioria tarefas de manutenção sob-condição e aquisição de sobressalentes, com o objetivo de mitigar o tempo de espera para reparação, diminuindo a criticidade da falha e o risco associado a cada modo de falha.

O modo de falha mais recorrente no motor de arranque é a falha do relé que faz a passagem de corrente. Tendo por base o valor de MTBF calculado para o componente de 895 HM, mas tendo em conta a abordagem conservativa considerou-se o valor de 500 HM ou 2 anos de utilização. A tarefa de mitigação proposta é a aquisição de um relé sobressalente ao fim deste período, de forma a diminuir o tempo de paragem da viatura.

De forma análoga definiu-se a mesma tarefa de mitigação para a caixa de velocidades, uma vez que não existe uma forma eficaz de fazer uma verificação da condição da mesma. Fazendo uso do valor de MTBF de 1500 HM ou 6 anos de utilização, considerou-se a aquisição de sobressalentes críticos para a caixa de velocidades ao fim deste período de utilização. Assegurando assim uma resposta rápida em caso de falha.

No caso do ECU e do Bloco de válvulas de comando são ambos componentes reparáveis, mas não no nível 2 de manutenção. Considerou-se na análise que não seriam reparáveis. Definiu-se como tarefa de mitigação ao fim de 4 anos ou 1000 HM para o ECU, e 2 anos ou 500 HM para o Bloco de válvulas, existir um componente pronto para ser realizada uma troca direta. Sendo que o componente em falha seria evacuado para o nível 3 a fim de ser reparado. Sendo a tarefa simultaneamente manutenção sob-condição e troca programada.

Os protocolos de manutenção não preveem nenhuma tarefa de manutenção para as Manguelras de admissão de ar, para o Sistema de escape, nem para a Válvula de descompressão. No entanto, devido ao risco apresentado pelos seus modos de falha e à facilidade na verificação destes componentes selecionou-se como tarefas de manutenção a sua verificação visual e de funcionamento. De 1000 HM ou 4 anos de utilização para as Manguelras de admissão de ar, de 500 HM ou 2 anos de utilização para o Sistema de escape e para a Válvula de descompressão.

Para o diferencial considerou-se que seria benéfico verificar o aperto das ligações a cada 4 anos ou 1000 HM, reduzindo a possibilidade de ocorrerem falhas relacionadas às ligações e reduzir ações de manutenção corretivas. De forma análoga, propôs-se realizar uma verificação às ponteiras da direção das rótulas a cada 2 anos ou 500 HM, reduzindo desgastes excessivos das mesmas.

Quanto à bomba de alta pressão do sistema hidráulico, sugere-se a inclusão de uma tarefa de manutenção sob-condição, verificando a pressão de funcionamento à saída durante as manutenções de dois anos ou 500 HM, utilizando equipamento já disponível no Exército Português para a verificação.

Por último devido ao custo reduzido da substituição do sensor do óleo de direção quando comparado ao impacto que uma falha neste pode provocar, selecionou-se uma tarefa de troca programada do sensor a cada 6 anos ou 1500 HM.

Com essas alterações, espera-se que o plano de manutenção da Pandur II passe a ser mais eficiente e adaptado às condições reais de operação, aumentando a fiabilidade dos componentes críticos e reduzindo o tempo de indisponibilidade causado por manutenções corretivas.

Na tabela 4.1 são resumidas as propostas de alteração ao atual plano de manutenção após aplicada

a metodologia Delphi.

Tabela 4.1: Proposta de alteração ao plano de manutenção.

<b>Mudança</b>		
<b>Componente</b>	<b>Tarefa antiga</b>	<b>Tarefa nova</b>
Turbo	Verificar junta do turbocompressor (1 Ano)	Verificar junta e pernes do turbocompressor (1 Ano)
Pré-filtro combustível	Limpar (1 ano)	Limpar antes de utilização
Depósito combustível	Drenar (1 Ano)	Drenar (2 Anos)
Óleo Transmissão Automática	Mudar óleo (2 Anos)	Verificar óleo (2 Anos)
Cubo da roda	Mudar óleo (2 Anos)	Verificar óleo (2 Anos)
Radiador/ Intercooler	Aspirar (1 Ano) Limpar (2 Anos)	Lavar (6 meses)
<b>Adicionar</b>		
<b>Componente</b>	<b>Tarefa antiga</b>	<b>Tarefa nova</b>
Motor de arranque	--	Aquisição de relé para substituição (2 Anos)
Mangueiras de admissão de ar	--	Verificar visualmente (4 Anos)
Sistema de escape	--	Verificar funcionamento (2 Anos)
Caixa de velocidades	--	Aquisição de sobressalentes (6 Anos)
ECU	--	Aquisição de sobressalentes (4 Anos)
Diferencial	--	Verificar aperto das ligações (4 Anos)
Rótulas de direção	--	Verificar ponteiras da direção (2 Anos)
Sensor óleo de direção	--	Substituir (6 Anos)
Bomba hidráulica	--	Verificar pressão à saída (2 Anos)
Bloco válvulas de comando	--	Aquisição de sobressalentes (2 Anos)
Válvula descompressão	--	Verificar funcionamento (2 Anos)

## 4.2 Comparação dos MTBF em TN, na RCA e na ROU

A comparação entre os diferentes cenários em que a Pandur II está presente foi feita com base nos resultados dos MTBF calculados. O objetivo é identificar onde podem ser feitas melhorias nos intervalos de manutenção e entender o comportamento de falhas dos componentes em ambientes distintos.

Uma vez que as Pandur se encontram há menos tempo projetadas além-fronteiras do que em TN verificou-se, tal como expectável, menos OT relativamente às mesmas, no entanto, foi possível verificar que existem componentes que apresentam um número de falhas relativamente constante indepen-

dentemente do contexto operacional em que estão inseridos, como é o caso do Bloco de válvulas de comando, dos Cubos da roda e da Caixa de velocidades. Isso sugere que esses componentes são críticos e requerem especial atenção em termos de manutenção, independentemente do ambiente.

De entre os componentes que não apresentaram OT corretivas salta à vista o Pré-filtro de combustível e o Radiador no TO da RCA, uma vez que o controlo de qualidade do combustível neste país não é tão exigente como em TN, e no caso do radiador por ser um contexto operacional maioritariamente de estradas de terra batida com elevada presença de poeiras seria expectável mais avarias nestes dois componentes. Após discussão com os especialistas, concluiu-se que muitas dessas falhas foram prevenidas com recurso a manutenções preventivas realizadas regularmente antes das projeções e missões, porém, essas manutenções não são devidamente registadas, o que distorce os dados. Deste modo, reforça-se a necessidade de reduzir os intervalos de manutenção recomendados pelo fabricante, ajustando-os às condições reais de operação das Pandur II no Exército Português, e reforçar a importância de um correto registo das atividades de manutenção realizadas.

As Mangueiras e tubagens do Sistema Hidráulico e do Sistema de Aquecimento e Arrefecimento apresentam um valor de MTBF substancialmente mais baixo para TN do que para os demais teatros, uma possível explicação para este resultado poderá ser o facto de existirem viaturas em TN que se encontram com pouca utilização contribuindo para a ocorrência de falhas nestes componentes como, por exemplo, a ocorrência de fissuras e fugas de líquido. Conclui-se assim que uma utilização mais regular das viaturas leva a que existam menos falhas em determinados componentes que são projetados para o transporte de fluídos como as mangueiras e tubagens.

As Mangueiras de admissão de ar apresentaram OT válidas suficientes para calcular o seu MTBF apenas na RCA, o que seria expectável devido ao ambiente com elevada poeira, o mesmo verificou-se com a Suspensão que pode ser explicado pela baixa qualidade das estradas, no entanto, seria de esperar que os Cubos da roda apresentassem um valor de MTBF mais baixo para a RCA do que para o ROU o que não se verificou, este resultado poderá assentar na falta de recolhimento de dados ou no facto das condições climáticas mais baixas terem maior influência na viscosidade do óleo destes componentes. No sentido inverso temos o Turbo e o Sistema de escape onde ambos apresentaram apenas OT válidas suficientes na ROU o que pode ser explicado pelo maior número de deslocamentos em estradas pavimentadas o que pressupõe uma maior velocidade e subsequente maior ativação destes componentes.

A Bomba de água apresentou um valor de MTBF mais baixo na RCA o que pode ser explicado pelo facto de as temperaturas neste TO serem mais elevadas, que colocam maior pressão no sistema. No entanto, a diferença de valor para a ROU não foi substancial, o que pode ser explicado pelo facto do Sistema de aquecimento ser ativado com frequência devido aos climas mais frios, e a Bomba de água ser responsável por forçar a circulação do fluído do Sistema de aquecimento. Em TN o valor de MTBF é substancialmente superior, possivelmente devido à falta de registo adequado de falhas.

A Unidade de aquecimento de água apresentou falhas na ROU o que seria expectável pelas temperaturas mais baixas o que requer o pré-aquecimento do motor e do combustível, assim como o aquecimento do compartimento interior. Por outro lado, temos os componentes do Sistema de Ventilação e

AC que apresentaram maior número de falhas na RCA onde as temperaturas são mais elevadas o que requer uma maior utilização para proporcionar maior conforto à guarnição da viatura.

Em resumo, a análise detalhada dos componentes das Pandur em diferentes contextos operacionais revela a importância dos ajustes nos intervalos de manutenção recomendados pelo fabricante para certos componentes. Em particular, recomenda-se uma atenção especial nos componentes que operam em condições ambientais extremas, como poeiras, calor intenso ou frio severo. Além disso, reforça-se a necessidade de uma recolha de dados mais completa e precisa, especialmente em situações onde as manutenções preventivas não são devidamente registadas, para evitar a distorção dos resultados de fiabilidade.

### 4.3 Disponibilidade dos sistemas

Neste sub-capítulo abordou-se a disponibilidade calculada para os diferentes sistemas da Pandur II, assim como para o conjunto integrado de sistemas. Avaliou-se quais os sistemas que mais contribuem para a indisponibilidade da viatura. Além disso, é discutido o impacto das diferentes abordagens no cálculo da disponibilidade do conjunto integrado de sistemas.

#### 4.3.1 Disponibilidade do Sistema de Potência

O Sistema de potência foi o sistema que apresentou os menores valores de disponibilidade, variando entre 72,6% (MTTR = 48h) e 99,2% (MTTR = 1h), conforme ilustrado na tabela 4.2. Este resultado pode ser justificado pelo facto de componentes considerados críticos na análise apresentarem valores de MTBF baixos com o Turbo, o Pré-filtro de combustível e o Depósito de combustível com maior destaque, apresentando os 3 componentes valores de MTBF na ordem das 700 HM.

Tabela 4.2: Valores de disponibilidade obtidos para o Sistema de Potência para os diferentes valores de MTTR considerados.

Sistema Potência	
MTTR	Disponibilidade
48	72,6%
24	84,1%
12	91,3%
8	94,0%
4	96,9%
2	98,4%
1	99,2%

O gráfico da figura 4.1 corresponde à métrica *RS DTCl* para o Sistema de Potência. Analisando o gráfico da figura verificou-se que o Depósito de combustível é o componente que mais contribui para a indisponibilidade do sistema, com cerca de 18,425% do *downtime*. De notar que o Turbo apresentou um

valor de MTBF mais baixo que o Sistema de Escape, no entanto, este último tem uma maior contribuição para a indisponibilidade. O que se pode justificar pela distribuição de vida de cada componente, com o Turbo a ser uma exponencial de 2 parâmetros, o que nos indica que após a passagem de tempo do primeiro parâmetro as falhas são constantes no tempo. E o Sistema de escape a ser uma Lognormal que não apresenta uma taxa de falha constante no tempo, assim tendo-se realizado um estudo com recurso a simulações é possível que noutras simulações a contribuição do Sistema de escape possa sofrer variações.

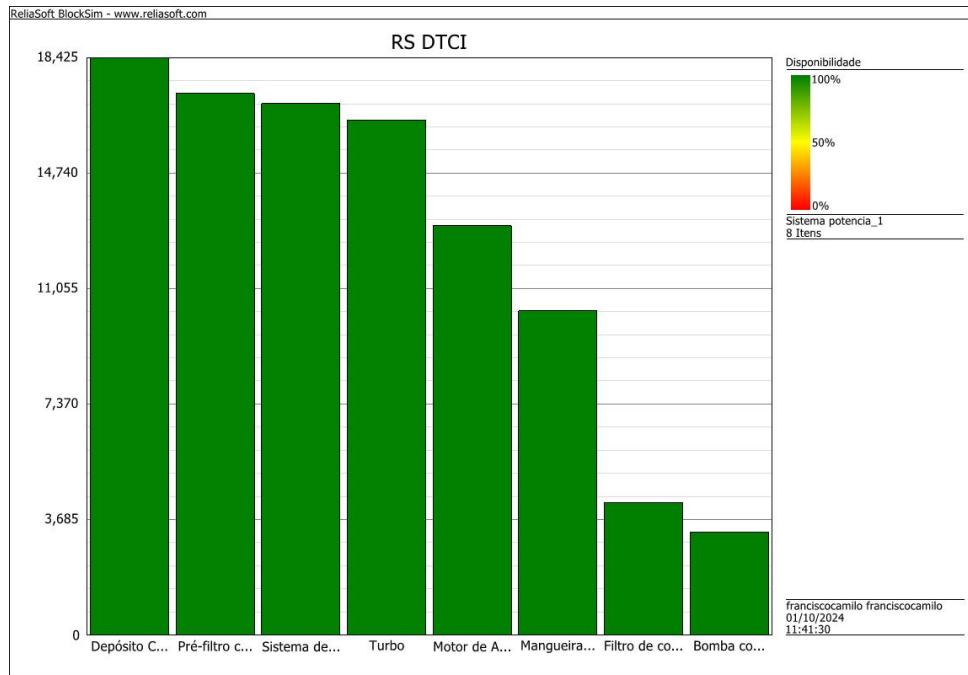


Figura 4.1: Gráfico da métrica *RS DTCI* para o Sistema de Potência.

### 4.3.2 Disponibilidade do Sistema de Transferência de Potência

O Sistema de Transferência de Potência apresentou os segundos menores valores de disponibilidade, a variarem entre os valores de 75,4% (MTTR = 48h) e 99,3% (MTTR = 1h), ver tabela 4.3.

Tabela 4.3: Valores de disponibilidade obtidos para o Sistema de Transferência de Potência para os diferentes valores de MTTR considerados.

Sistema Transferência Potência	
MTTR	Disponibilidade
48	75,4%
24	85,9%
12	92,5%
8	94,8%
4	97,3%
2	98,6%
1	99,3%

Este resultado pode ser explicado pelo facto de mesmo não tendo componentes com valores de MTBF tão baixos como o Sistema de Potência, os valores de MTBF dos componentes críticos do Sistema de Transferência de Potência possuem um desvio mais baixo apresentando na sua generalidade valores mais baixos, tendo apenas um componente com uma probabilidade de ocorrência de nível 1, sendo os demais de nível 2 e principalmente 3.

O gráfico da métrica *RS DTCI*, ver figura 4.2, apresenta as contribuições dos componentes para a indisponibilidade alinhadas, em grande parte, com os valores de MTBF calculados.

Como era de se esperar, a Bomba de direção, que possui o valor mais elevado de MTBF, é o componente com a menor contribuição para a indisponibilidade. No extremo oposto, a Lubrificação da transmissão automática apresenta a maior contribuição, embora o seu valor de MTBF não seja o mais baixo, mas sim o segundo menor. É importante notar que o componente com o menor valor de MTBF, o Cubo da roda, aparece como a terceira maior contribuição para a indisponibilidade. Esse resultado pode ser explicado pela diferença nas distribuições de vida dos componentes: as duas maiores contribuições seguem distribuições do tipo Lognormal, caracterizadas por falhas não constantes ao longo do tempo, enquanto o Cubo da roda segue uma distribuição Weibull de dois parâmetros, que reflete falhas por desgaste, ou seja, com uma probabilidade crescente de falha ao longo do tempo. Dessa forma, se a simulação fosse estendida por mais tempo, a probabilidade de falhas no Cubo da roda aumentaria, o que se traduziria numa maior contribuição deste componente crítico para a indisponibilidade.

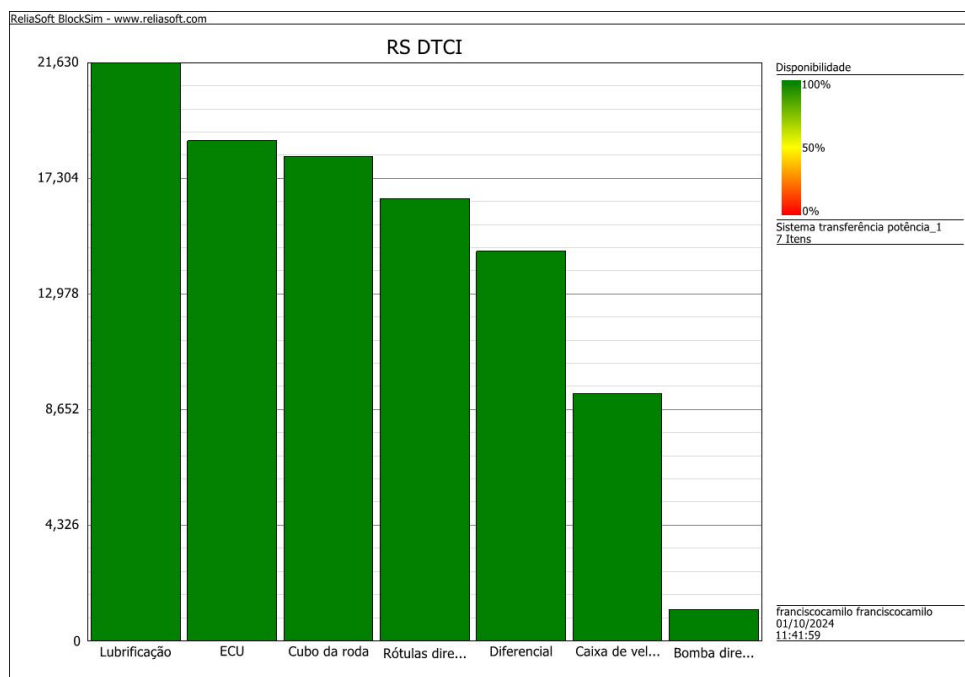


Figura 4.2: Gráfico da métrica *RS DTCI* para o Sistema de Transferência de Potência.

### 4.3.3 Disponibilidade do Sistema Hidráulico

O Sistema hidráulico apresentou o segundo maior índice de disponibilidade, com valores variando entre 82,7% (MTTR = 48h) e 99,6% (MTTR = 1h), ver tabela 4.4

Tabela 4.4: Valores de disponibilidade obtidos para o Sistema Hidráulico para os diferentes valores de MTTR considerados.

Sistema Hidráulico	
MTTR	Disponibilidade
48	82,7%
24	90,5%
12	95,0%
8	96,5%
4	98,2%
2	99,1%
1	99,6%

Esse resultado é, à primeira vista, inesperado, dado que os três componentes críticos do sistema possuem valores de MTBF relativamente baixos, o que sugeriria uma disponibilidade inferior. No entanto, tal desempenho pode ser explicado pelo fato de dois dos componentes críticos seguirem uma distribuição de vida Loglogística, caracterizada por uma taxa de falha variável. O parâmetro da distribuição ser menor que um indica que a taxa de falha diminui ao longo do tempo e dado que a simulação foi realizada para um período prolongado (4000 horas), o impacto de um MTBF inicialmente baixo acaba por ser minimizado, resultando numa disponibilidade mais elevada do que o esperado. De notar o fato do sistema possuir apenas três componentes críticos, logo durante a simulação implica que o número de componentes suscetíveis a falhas é menor, o que invariavelmente resulta num número menor de falhas no sistema.

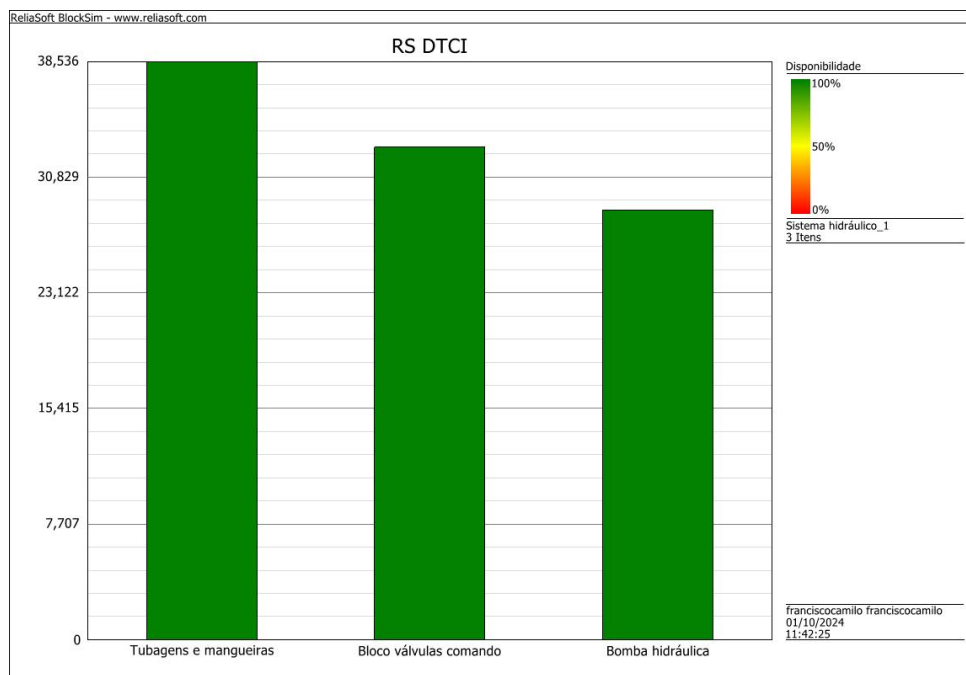


Figura 4.3: Gráfico da métrica *RS DTCI* para o Sistema Hidráulico.

Analisando a figura 4.3, onde está inserido o gráfico da métrica *RS DTCI* para o Sistema Hidráulico, é possível observar que a contribuição para a indisponibilidade de cada um dos componentes críticos está em concordância com os valores de MTBF calculados. As Tubagens e mangueiras, que possuem o valor de MTBF mais baixo, apresentam a maior contribuição para a indisponibilidade, enquanto, no sentido oposto, a Bomba hidráulica, com o valor de MTBF mais elevado, tem a menor contribuição. Além disso, a relativa proximidade entre os valores de MTBF reflete-se na similaridade das contribuições dos componentes para a indisponibilidade.

Dessa forma, pode-se afirmar que este sistema apresenta um comportamento alinhado com as expectativas estabelecidas antes da realização das simulações.

#### 4.3.4 Disponibilidade do Sistema de Aquecimento e Arrefecimento

O Sistema de Aquecimento e Arrefecimento foi o sistema que apresentou o maior índice de disponibilidade, com os valores a variar entre os 83,7% (MTTR = 48h) e os 99,6% (MTTR = 1h), ver tabela 4.5.

Este resultado não seria *à priori* expectável uma vez que o número de componentes críticos deste sistema é substancialmente superior aos demais, no entanto, apresentam valores de MTBF consideravelmente elevados, apenas com as Mangueiras e tubagens a destacar-se como o componente com o maior nível de probabilidade de ocorrência.

Tabela 4.5: Valores de disponibilidade obtidos para o Sistema de Aquecimento/Arrefecimento para os diferentes valores de MTTR considerados.

<b>Sistema Aquecimento/Arrefecimento</b>	
<b>MTTR</b>	<b>Disponibilidade</b>
48	83,7%
24	91,1%
12	95,3%
8	96,8%
4	98,4%
2	99,2%
1	99,6%

Analisando o gráfico da figura 4.4, observou-se que o componente com maior contribuição para a indisponibilidade do sistema são as Mangueiras e tubagens, como era de se esperar, uma vez que são os componentes com o menor valor de MTBF calculado. No extremo oposto, o Termostato apresenta a menor contribuição para a indisponibilidade, sendo o componente com o maior valor de MTBF. Os demais componentes, de maneira geral, seguem a correlação em que valores mais altos de MTBF resultam em menor contribuição para a indisponibilidade.

É importante notar que o radiador e o intercooler possuem a mesma distribuição de vida e valor de MTBF, no entanto, o radiador apresenta uma ligeira maior contribuição para a indisponibilidade. Por se

tratar de uma simulação, os valores podem sofrer pequenas flutuações.

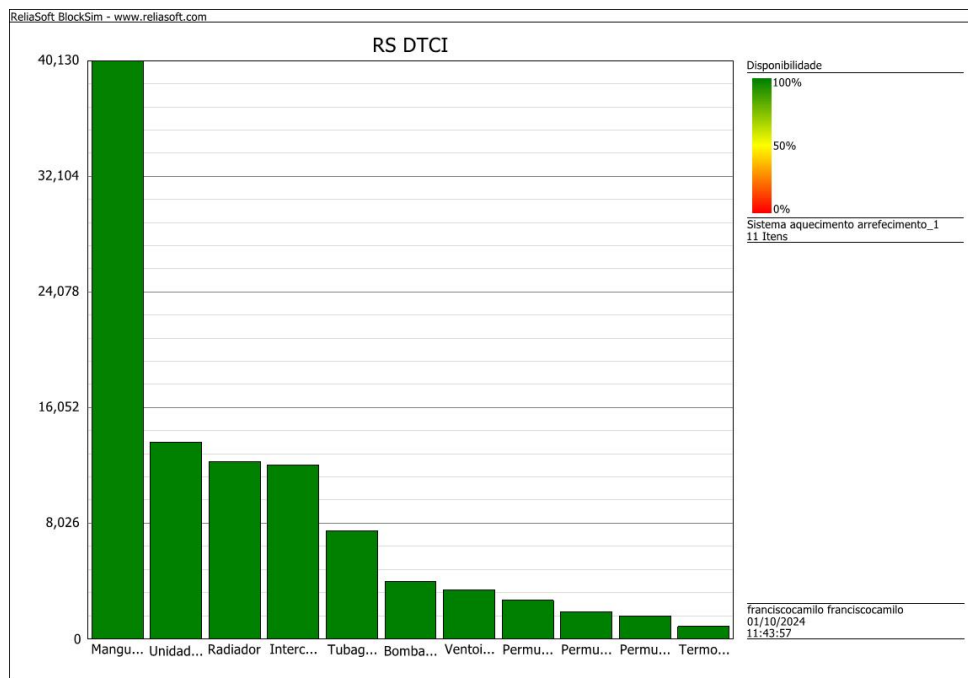


Figura 4.4: Gráfico da métrica *RS DTCI* para o Sistema de Aquecimento e Arrefecimento.

### 4.3.5 Disponibilidade do Conjunto de Sistemas

Para o cálculo da disponibilidade do conjunto de sistemas utilizou-se dois processos para fins de comparação. O primeiro método baseia-se no cálculo da disponibilidade para sistemas em série, que consiste no produto das disponibilidades dos sistemas que compõe o conjunto, conforme abordado por Breneman [69]. No segundo método utilizou-se o software *BlockSim* que permite estimar a disponibilidade do conjunto de sistemas considerando a configuração em série e utilizando simulações para refletir melhor as condições operacionais.

Na tabela 4.6 compara-se os valores de disponibilidade. Considerou-se que os valores obtidos pelo *BlockSim* representam a disponibilidade mais próxima da realidade operacional.

Tabela 4.6: Valores de Disponibilidade e Erro para o Conjunto de Sistemas.

Conjunto Sistemas			
MTTR	Disponibilidade	Disponibilidade BlockSim	Erro (%)
48	37,89%	47,61%	20,41%
24	59,56%	64,34%	7,43%
12	76,46%	78,20%	2,23%
8	83,24%	84,39%	1,36%
4	91,11%	91,52%	0,45%
2	95,38%	95,60%	0,23%
1	97,72%	97,72%	0,00%

Para o cálculo do erro utilizou-se a fórmula da Eq. 4.1.

$$erro(\%) = \frac{|ValorReal - ValorMedido|}{ValorReal} \times 100 \quad (4.1)$$

Para valores mais altos de MTTR, como 48 e 24 horas, o erro percentual é mais significativo, apresentando 20,41% e 7,43%, respectivamente. Isso indica que a diferença entre os valores é considerável para maiores valores de MTTR. À medida que o MTTR diminui, observamos uma tendência de redução no erro percentual. Para MTTR igual a 12 horas, o erro cai para 2,23%, indicando uma maior proximidade entre os valores, este comportamento sugere que para menores tempos de MTTR, a medição de disponibilidade é mais precisa. Para um MTTR de 8 horas ou menos, o erro percentual torna-se ainda mais reduzido, chegando a 0,00% para um MTTR igual a 1 hora. Isso mostra que, quanto menores os tempos de reparo, mais os dois métodos convergem nos seus resultados de disponibilidade.

Esses resultados podem ser explicados pela natureza da simulação realizada pelo *BlockSim*, que considera fatores mais realistas. O *BlockSim* simula as falhas dos componentes e a interação entre eles, de forma que, quando um componente falha, os demais aguardam a reparação sem que a sua fiabilidade sofra degradação de forma significativa. Por outro lado, no método de multiplicação simples, assume-se uma degradação contínua e simultânea de todos os componentes, independentemente do tempo de reparação, o que não reflete com precisão o comportamento real dos sistemas. Esse efeito é mais evidente em cenários onde o MTTR é mais elevado, e onde a variação no tempo de reparação impacta de forma mais expressiva a disponibilidade total.

Para MTTR mais baixos, o comportamento de reparação rápida faz com que os sistemas se aproximem de uma condição quase "instantânea" de recuperação. Nesse cenário, as falhas dos componentes têm menor impacto cumulativo, e o tempo de inatividade de cada sistema individual torna-se comparativamente menos relevante. Por essa razão, os valores calculados pela multiplicação das disponibilidades individuais aproxima-se mais dos valores obtidos pelo *BlockSim*.

Assim, os resultados demonstram que, para tempos de MTTR mais elevados, a simulação por meio de ferramentas especializadas como o *BlockSim* oferece uma maior precisão na disponibilidade, refletindo de forma mais realista o comportamento operacional do conjunto de sistemas. Isso deve-se à capacidade do software de considerar as taxas de falha individuais e as interações entre os componentes. Assim, para sistemas complexos como a Pandur II, o uso de simulações detalhadas é essencial para a obtenção de estimativas de disponibilidade mais fidedignas, especialmente em cenários onde o tempo de reparação é um fator crítico para o desempenho global.

### 4.3.6 Disponibilidade Pandur II

De forma a ser possível calcular a disponibilidade total da Pandur foi necessário considerar um quinto sistema que agrupa todos os componentes críticos da Pandur que não foram abordados nesta dissertação. A estimativa da disponibilidade desse quinto sistema foi feita considerando a média dos quatro sistemas principais abordados. De seguida multiplicou-se a disponibilidade estimada no *Block-*

*Sim* para o conjunto de sistemas com o valor estimado para o quinto sistema.

Relembrando que a meta de disponibilidade pretendida para a Pandur era de 90%, valor definido pela DMSA. No entanto, os resultados mostram que essa meta só é alcançada quando o MTTR é inferior a 4 horas.

Quando o MTTR é inferior a 4 horas, a disponibilidade alcança o objetivo de 90%. Para um MTTR de 4 horas, a disponibilidade da Pandur é de 89,42%, um valor muito próximo do pretendido. Com um MTTR de 2 horas, a disponibilidade atinge 94,48%, superando a meta confortavelmente. Finalmente, para um MTTR de 1 hora, a disponibilidade chega a 97,16%, o que seria uma condição bastante favorável de operação.

Em suma, para alcançar a meta de 90% de disponibilidade no Pandur II 8x8, é crucial que o MTTR seja reduzido para 4 horas ou menos. Caso não seja possível reduzir o MTTR, uma alternativa seria aumentar os valores de MTBF, o que pode ser alcançado pela implementação de tarefas de manutenção preventivas e corretivas adequadas, visando aumentar a confiabilidade dos componentes críticos.

A tabela 4.7 apresenta os valores de disponibilidade estimados para os diferentes MTTR. Nota-se que, para valores de MTTR superiores a 4 horas, a disponibilidade da Pandur permanece consideravelmente abaixo da meta, o que reforça a importância de uma estratégia de manutenção eficiente para minimizar o tempo de reparação e maximizar a disponibilidade da viatura.

Tabela 4.7: Pandur II 8x8 - Comparação de Disponibilidade para Diferentes MTTRs.

<b>MTTR</b>	<b>Disponibilidade BlockSim</b>	<b>Disponibilidade Sistema 5</b>	<b>Disponibilidade Pandur</b>
48	47,61%	78,60%	37,42%
24	64,34%	87,90%	56,55%
12	78,20%	93,53%	73,14%
8	84,39%	95,53%	80,61%
4	91,52%	97,70%	89,42%
2	95,60%	98,83%	94,48%
1	97,72%	99,43%	97,16%

Na análise da disponibilidade dos sistemas foi possível verificar que, o valor de MTBF e a contribuição do componente para a disponibilidade estão relacionados. No entanto, esta relação não é proporcional, ou seja, existem componentes com maior valor de MTBF que apresentaram uma maior contribuição para a indisponibilidade que outros com menor valor de MTBF. Retira-se assim que o tipo de distribuição de vida de cada componente tem uma influência direta nas falhas que este apresenta, e conseqüentemente na indisponibilidade do sistema a que pertence, uma vez que apenas se tratou componentes críticos.

De reforçar que no cálculo da disponibilidade de sistemas complexos, como a Pandur II, ferramentas como o *BlockSim* aproximam-se mais da realidade operacional a que as viaturas são sujeitas. Estas análises permitem criar uma base sólida para futuras adaptações nos planos de manutenção, facilitando o ajuste mais preciso das tarefas preventivas e corretivas de forma a aumentar a fiabilidade e a disponi-

bilidade dos sistemas. A combinação de simulações realistas e a análise detalhada dos dados de falha possibilitam uma abordagem mais precisa, aumentando a eficácia das estratégias de manutenção e melhorando a prontidão operacional das viaturas em ambientes exigentes.

## Capítulo 5

# Conclusões, Limitações e Trabalhos Futuros

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões principais resultantes da aplicação da metodologia RCM ao SA Pandur II 8x8, com o objetivo de atualizar o plano de manutenção e avaliar a sua disponibilidade em diferentes cenários operacionais. Em seguida, discutem-se as limitações encontradas durante o desenvolvimento do trabalho, apontando fatores que podem ter influenciado os resultados. Por fim, são propostos trabalhos futuros no âmbito da metodologia RCM e da Pandur II, que acrescentem valor à investigação aqui desenvolvida e à instituição.

### 5.1 Conclusões

O presente trabalho teve como principal objetivo aplicar a RCM à viatura Pandur II 8x8, realizando um estudo comparativo entre os diferentes contextos operacionais em que a mesma está presente (TN, RCA e ROU). A análise envolveu a identificação de falhas críticas e a proposta de alterações ao plano de manutenção, visando aumentar a disponibilidade das viaturas.

Com base nos valores de MTBF calculados e na avaliação da contribuição de cada componente para o *downtime* do sistema, foi possível identificar os componentes críticos. De realçar que o sistema de potência foi o que mais contribuiu para a indisponibilidade da Pandur, especialmente devido ao turbo e ao pré-filtro de combustível que apresentaram valores de MTBF baixos.

Da análise das OT concluiu-se que seria benéfico a realização de ações de consciencialização para o registo de falhas e alertar para o cumprimento das normas já existentes, que exigem a identificação dos modos de falha e o registo das HM, quilómetros e horas do trem de potência. No entanto, é importante referir que ao longo da análise foi possível verificar que a qualidade das OT tem sofrido um crescimento, associado à implementação das conclusões dos trabalhos semelhantes realizados dentro da instituição, o que demonstra a relevância destas investigações e o valor que acrescentam.

É possível concluir que a Pandur II é um sistema robusto e bem dimensionado na sua generalidade, no entanto, salta à vista o Bloco de comando de válvulas que apresenta uma elevada taxa de

falha para todos os cenários estudados, e sendo um componente de elevada relevância para o correto funcionamento da viatura seria útil realizar um estudo específico ao mesmo. Relativamente ao plano de manutenção proposto pelo fabricante encontra-se bem estruturado, no entanto, também devido a estar em vigor há mais de 10 anos, necessita de sofrer atualizações, especialmente numa era em que a tecnologia tem sofrido rápidas e contínuas evoluções.

As simulações realizadas com o *BlockSim* permitiram estimar a disponibilidade global da viatura em diferentes cenários e com tempos de reparação variáveis. Verificou-se que a meta de 90% de disponibilidade, estabelecida pela DMSA, é alcançável, mas é necessário um valor de MTTR inferior a 4 horas, destacando a importância de um tempo de resposta rápido às falhas e implementação de medidas que minimizem as mesmas nos componentes críticos.

Além disso, a comparação entre os diferentes cenários operacionais revelou que as condições ambientais têm impacto no desempenho dos sistemas. O ambiente da RCA, com poeira e estradas não pavimentadas, mostrou-se especialmente desafiador para componentes como a suspensão e o sistema de admissão de ar. Enquanto na ROU com as temperaturas mais baixas, verificaram-se mais falhas em componentes do Sistema de aquecimento. Esses resultados reforçam a necessidade de adaptar os planos de manutenção às realidades específicas de cada TO.

Por fim, com as alterações propostas ao plano de manutenção, como a implementação de tarefas de manutenção sob-condição e a maior frequência de verificações para componentes críticos, prevê-se uma redução da ocorrência e/ou da severidade das falhas identificadas, permitindo diminuir o risco associado às falhas o que leva a um aumento da fiabilidade e disponibilidade da viatura. No entanto, é importante supervisionar o impacto das medidas propostas.

## 5.2 Limitações

Apesar dos resultados, o trabalho desenvolvido apresenta algumas limitações que podem ter influenciado as conclusões. Uma das principais limitações foi a falta de dados completos sobre algumas falhas e o preenchimento incompleto das OT corretivas. Ainda as ações de manutenção preventiva não programadas que são realizadas, e não foram devidamente inseridas nas OT, levam ao enviesamento do número de falhas e da análise de fiabilidade.

O mau preenchimento das OT corretivas levou a que não fosse possível retirar valores de MTTR precisos para os componentes, tendo que o estudo da disponibilidade ser realizado através de uma análise de sensibilidade.

A escolha de componentes para análise também pode ter limitado o estudo da disponibilidade da Pandur II. Nem todos os sistemas da viatura foram abordados, o que pode levar a uma análise parcial da disponibilidade total. O quinto sistema adicionado para compensar essa lacuna baseou-se em suposições, o que introduz uma margem de erro nos cálculos da disponibilidade.

## 5.3 Trabalhos Futuros

Com base nas conclusões e nas limitações identificadas, surgem várias oportunidades para trabalhos futuros.

- Introdução da 5ª geração da manutenção no Exército Português, com a aplicação de manutenção preditiva com recurso a sensores inteligentes e dados em tempo real, integrando a Inteligência Artificial de forma a analisar a grande quantidade de dados em tempo real.
- Expansão da aplicação da metodologia a todos os componentes críticos da Pandur II, permitindo uma análise mais correta da disponibilidade da viatura. E aplicação da metodologia RCM a outros equipamentos e viaturas presentes no Exército Português.
- Exploração dos efeitos das novas tecnologias como a *Internet of Things* e a rede 5G na interação entre viaturas e o ManWinWin.
- Realização de um estudo específico ao Bloco de válvulas de comando.
- Realização de ações de formação e consciencialização de todos os envolvidos na manutenção dos equipamentos para a importância do registo preciso e objetivo dos dados.
- Monitorização do impacto das alterações propostas ao plano de manutenção no médio-longo prazo.



# Bibliografia

- [1] F. E. C. da Silva. Aplicação de metodologia “Reliability Centered Maintenance 3” (RCM3) ao sistema de refrigeração do sistema de armas Pandur II 8x8. Master’s thesis, Academia Militar, Jan. 2021.
- [2] M. Basson. *RCM3: Risk-Based Reliability Centered Maintenance*. Industrial Press, 1 edition, 2018. ISBN 9780831136321.
- [3] IPQ. NP Norma Portuguesa - EN 13306: Terminologia da Manutenção. Technical report, Instituto Português da Qualidade, 2021.
- [4] J. Moubray. *RCM II - Reliability Centered Maintenance*. Butterworth Heinemann, Oxford, 2 edition, 1997.
- [5] C. M. Tan and N. Raghavan. Root cause analysis based maintenance policy. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 24:203–228, 2007. ISSN 0265671X. doi: 10.1108/02656710710722293.
- [6] M. Garetti and M. Taisch. Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production planning & control*, 23(2-3):83–104, 2012.
- [7] S. Takata, F. Kirnura, F. J. van Houten, E. Westkamper, M. Shpitalni, D. Ceglarek, and J. Lee. Maintenance: changing role in life cycle management. *CIRP annals*, 53(2):643–655, 2004.
- [8] A. Ouadah, L. Zemmouchi-Ghomari, and N. Salhi. Selecting an appropriate supervised machine learning algorithm for predictive maintenance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119, 04 2022. doi: 10.1007/s00170-021-08551-9.
- [9] J. Lee, M. Holgado, H.-A. Kao, and M. Macchi. New thinking paradigm for maintenance innovation design. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3):7104–7109, 2014. ISSN 1474-6670. doi: <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.02519>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147466701642731X>. 19th IFAC World Congress.
- [10] Infraspak Team. Manutenção 5.0: O futuro da gestão de ativos e da manutenção, 2024. URL [https://2767973.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2767973/Files%20to%20Download/BR/Manutencao\\_5\\_0\\_Infraspak\\_ptbr.pdf](https://2767973.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/2767973/Files%20to%20Download/BR/Manutencao_5_0_Infraspak_ptbr.pdf). Acessado em: 2024-10-09.

- [11] M. Farsi, R. Mishra, and J. Erkoyuncu. Industry 5.0 for sustainable reliability centered maintenance. *SSRN Electronic Journal*, 01 2021. doi: 10.2139/ssrn.3944533.
- [12] PRUFTECHNIK Team. Industry 5.0: The Future of Maintenance, 2024. URL <https://blog.pruftechnik.com/industry-5-0-future-of-maintenance/>. Acessado em: 2024-10-09.
- [13] A. J. J. Braaksma, W. Klingenberg, and J. Veldman. Failure mode and effect analysis in asset maintenance: a multiple case study in the process industry. *International journal of production research*, 51(4):1055–1071, 2013.
- [14] F. Pohan, I. Saputra, and R. Tua. Scheduling preventive maintenance to determine maintenance actions on screw press machine. *Jurnal Riset Ilmu Teknik*, 1(1):1–14, May 2023. doi: 10.59976/jurit.v1i1.4. URL <https://jurnaljepip.com/index.php/jurit/article/view/4>.
- [15] M. M. Hamasha, A. H. Bani-Irshid, S. Al Mashaqbeh, G. Shwaheen, L. Al Qadri, M. Shbool, D. Mu-athen, M. Ababneh, S. Harfoush, Q. Albedoor, et al. Strategical selection of maintenance type under different conditions. *Scientific Reports*, 13(1):15560, 2023.
- [16] J. Huang, Q. Chang, and J. Arinez. Deep reinforcement learning based preventive maintenance policy for serial production lines. *Expert Systems with Applications*, 160:113701, 2020. ISSN 0957-4174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113701>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741742030525X>.
- [17] D. Prabhakar and V. J. Raj. Cbm, tpm, rcm and a-rcm-a qualitative comparison of maintenance management strategies. *International Journal of Management & Business Studies*, 4(3):49–56, 2014.
- [18] H. N. Teixeira, I. Lopes, and A. C. Braga. Condition-based maintenance implementation: a literature review. *Procedia Manufacturing*, 51:228–235, 2020. ISSN 2351-9789. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.033>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920318886>. 30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021).
- [19] K. Bhatia, F. Khan, H. Patel, and R. Abbassi. Dynamic risk-based inspection methodology. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 62:103974, 2019. ISSN 0950-4230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103974>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095042301830648X>.
- [20] R. K. Mobley. *Root cause failure analysis*. Butterworth-Heinemann, 1999.
- [21] J. Carretero, J. M. Pérez, F. García-Carballeira, A. Calderón, J. Fernández, J. D. García, A. Lozano, L. Cardona, N. Cotaina, and P. Prete. Applying rcm in large scale systems: a case study with railway networks. *Reliability Engineering & System Safety*, 82(3):257–273, 2003.
- [22] J. D. A. Marques. *Implementação de um Programa de Fiabilidade de Aeronaves*. PhD thesis, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.

- [23] F. S. Nowlan and H. F. Heap. Reliability-centered maintenance. *U.S. Department of Commerce*, 1978.
- [24] C. Ming Tan and N. Raghavan. Root cause analysis based maintenance policy. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 24(2):203–228, 2007.
- [25] P. A. V. Gonçalves. *Fiabilidade de Sistemas e Componentes de UAV's*. PhD thesis, FEUP, 2016.
- [26] I. E. Commission. *Dependability management – Part 3-11: Application guide – Reliability centred maintenance*. IEC, 2009. ISBN 9782889100989.
- [27] A. M. Smith and G. R. Hinchcliffe. *RCM–Gateway to world class maintenance*. Elsevier, 2003.
- [28] Society of Automotive Engineers (SAE). SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (rcm) processes. SAE International, 1999. URL [https://www.sae.org/standards/content/ja1011\\_199901/](https://www.sae.org/standards/content/ja1011_199901/). Document Number: JA1011\_199901.
- [29] Society of Automotive Engineers (SAE). *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard SAE JA1012*. SAE International, Warrendale, PA, USA, 2002. URL [https://www.sae.org/standards/content/ja1012\\_200201/](https://www.sae.org/standards/content/ja1012_200201/).
- [30] C. S. Carlson. Understanding and applying the fundamentals of fmeas. In *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, volume 10, pages 1–35, 2014.
- [31] MIL-P-1629B: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis, 1949. Cancelled and superseded by MIL-STD-1629A in 1974.
- [32] D. H. Stamatis. *Failure mode and effect analysis*. Quality Press, 2003.
- [33] L. V. Freitas. Otimização da Disponibilidade do UAS Raven assente na avaliação da fiabilidade dos sistemas. Master's thesis, Academia Militar, Oct. 2023.
- [34] M. Rausand and A. Hoyland. *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. Wiley Series in Probability and Statistics - Applied Probability and Statistics Section. Wiley, 2003. ISBN 9780471471332. URL <https://books.google.pt/books?id=gkUWz9AA-QEC>.
- [35] S. Raposo, M. Fonseca, and J. Brito. Metodologia FMEA e Sua Aplicação à Construção de Edifícios. In *Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção (QIC 2006)*, Nov. 2006.
- [36] A. M. S. Duarte. *Acompanhamento e análise da degradação em componentes mecânicos*. PhD thesis, Instituto Politécnico de Lisboa, 2010.
- [37] R. Gondim and M. Duarte. Aplicação da estatística na manutenção preditiva. *FAMAT em Revista*, 5:211–23, 2005.
- [38] T. R. Moss. *The reliability data handbook*. Professional Engineering Publishing, 2004.

- [39] Q. Liao, X. Wang, D. Ling, Z. Xiao, and H.-Z. Huang. Equipment reliability analysis based on the mean-rank method of two-parameter weibull distribution. In *2011 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, pages 361–364, 2011. doi: 10.1109/ICQR2MSE.2011.5976631.
- [40] ReliaWiki. The weibull distribution. [https://www.reliawiki.com/index.php/The\\_Weibull\\_Distribution](https://www.reliawiki.com/index.php/The_Weibull_Distribution), 2023. Accessed: 2024-04-03.
- [41] D. P. Murthy, M. Xie, and R. Jiang. *Weibull models*. John Wiley & Sons, 2004.
- [42] ReliaWiki. The exponential distribution. [https://www.reliawiki.com/index.php/The\\_Exponential\\_Distribution](https://www.reliawiki.com/index.php/The_Exponential_Distribution), 2023. Accessed: 2024-04-03.
- [43] ReliaWiki. The normal distribution. [https://www.reliawiki.com/index.php/The\\_Normal\\_Distribution](https://www.reliawiki.com/index.php/The_Normal_Distribution), 2023. Accessed: 2024-04-03.
- [44] G. Van Bussel and M. Zaaijer. Reliability, availability and maintenance aspects of large-scale offshore wind farms, a concepts study. In *Proceedings of MAREC*, volume 2001, 2001.
- [45] K. Antosz, J. Machado, D. Mazurkiewicz, D. Antonelli, and F. Soares. Systems engineering: Availability and reliability. *Applied Sciences*, 12(5), 2022. ISSN 2076-3417. doi: 10.3390/app12052504. URL <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/5/2504>.
- [46] UpKeep. What is availability as a maintenance metric? <https://upkeep.com/learning/availability/>, 2024. Accessed: 2024-04-16.
- [47] S. Isaksen and J. Gaulin. A reexamination of brainstorming research: Implications for research and practice. *Gifted Child Quarterly - GIFTED CHILD QUART*, 49:315–329, 10 2005. doi: 10.1177/001698620504900405.
- [48] E. Gürel. Swot analysis: A theoretical review. *Journal of International Social Research*, 10:994–1006, 08 2017. doi: 10.17719/jisr.2017.1832.
- [49] T. Hill and R. Westbrook. Swot analysis: It's time for a product recall. *Long Range Planning*, 30(1):46–52, 1997. ISSN 0024-6301. doi: [https://doi.org/10.1016/S0024-6301\(96\)00095-7](https://doi.org/10.1016/S0024-6301(96)00095-7). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024630196000957>.
- [50] K. Cuhls and T. Kuwahara. *Outlook for Japanese and German future technology: comparing technology forecast surveys*, volume 1. Springer Science & Business Media, 2012.
- [51] H. Linstone and M. Turoff. *The Delphi Method: Techniques and Applications*, volume 18. Addison-Wesley, 01 1975. doi: 10.2307/3150755.
- [52] J. B. V. Marques and D. d. Freitas. Método delphi: caracterização e potencialidades na pesquisa em educação. *Pro-Posições*, 29:389–415, 2018.
- [53] H. Mckenna. The delphi technique: A worthwhile research approach for nursing? *Journal of advanced nursing*, 19:1221–5, 07 1994. doi: 10.1111/j.1365-2648.1994.tb01207.x.

- [54] U. G. Gupta and R. E. Clarke. Theory and applications of the delphi technique: A bibliography (1975–1994). *Technological Forecasting and Social Change*, 53(2):185–211, 1996. ISSN 0040-1625. doi: [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(96\)00094-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(96)00094-7). URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162596000947>.
- [55] P. Green. *The Content of a College-level Outdoor Leadership Course for Land-based Outdoor Pursuits in the Pacific Northwest: A Delphi Consensus*. University of Oregon, 1981. URL <https://books.google.pt/books?id=RbVTnQEACAAJ>.
- [56] P. Facione. Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction. *Research Findings and Recommendations*, 315, 11 1989.
- [57] Lei orgânica nº 2/2021. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/lei-organica/2-2021-169256653>, 2021. Acessado em: 27 de maio de 2024.
- [58] M. Steyr Daimler Puch Spezialfahrzeug GmbH. *Manual do Operador VBR Pandur 8x8 12,7 mm*. Ministério da Defesa Nacional - Portugal, 2011.
- [59] IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Tempo e clima, 2024. URL <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>. [Acessado em: 31-julho-2024].
- [60] Pordata. Documentos e indicadores - portugal, 2024. URL [https://www.pordata.pt/pt/documentos-indicadores?f%5B0%5D=document\\_geography%3A34](https://www.pordata.pt/pt/documentos-indicadores?f%5B0%5D=document_geography%3A34). [Acessado em: 31-julho-2024].
- [61] W. B. Group. Climate change knowledge portal: Central african republic climate data - historical, 2024. URL <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/central-african-republic/climate-data-historical>. [Acessado em: 12-setembro-2024].
- [62] WeatherSpark. Average weather in central african republic year round, 2024. URL <https://weatherspark.com/y/150213/Average-Weather-in-Central-African-Republic-Year-Round#Figures-Temperature>. [Acessado em: 12-setembro-2024].
- [63] C. Dominguez Torres and V. Foster. The central african republic's infrastructure: A continental perspective. Technical Report WPS 5697, World Bank Group, Washington, D.C., 2011. URL <http://documents.worldbank.org/curated/en/445671468228231660/The-Central-African-Republics-infrastructure-a-continental-perspective>.
- [64] P. Peacekeeping and S. O. Institute. Central african republic country profile: Infrastructure, 2024. URL <https://pksoi.armywarcollege.edu/index.php/central-african-republic-country-profile-infrastructure/>. [Acessado em: 12-setembro-2024].
- [65] WeatherSpark. Average weather in craiova, romania year round, 2024. URL <https://weatherspark.com/y/89681/Average-Weather-in-Craiova-Romania-Year-Round>. [Acessado em: 12-setembro-2024].

- [66] HBK World. Blocksim - system reliability, availability & maintainability (ram) analysis software, 2024. URL <https://www.hbkworld.com/pt/products/software/analysis-simulation/reliability/blocksim-system-reliability-availability-maintainability-ram-analysis-software>. Acessado em: 2024-09-30.
- [67] ReliaSoft. Blocksim - system reliability, availability & maintainability (ram) analysis software, 2024. URL [https://help.reliasoft.com/blocks22/content/current\\_application\\_intro.htm](https://help.reliasoft.com/blocks22/content/current_application_intro.htm). Acessado em: 2024-09-30.
- [68] ReliaSoft. Blocksim & reno - block summary, 2024. URL [https://help.synthesisplatform.net/blocksim\\_reno9/block\\_summary.htm](https://help.synthesisplatform.net/blocksim_reno9/block_summary.htm). Acessado em: 2024-09-30.
- [69] J. E. Breneman, C. Sahay, and E. E. Lewis. *Introduction to reliability engineering*. John Wiley & Sons, 2022.

## **Apêndice A**

### **Fichas de Decisão RCM**

Função	Falha Funcional	Modo de Falha		Efeito de Falha				Análise do Risco					
		Causa de Falha	Mecanismo de Falha	Efeito de Falha Local	Efeito no Nível Superior	Efeito Final	Efeito Potencial de Pior Cenário	P	C	R	Pr	Cr	Rr
Pandur II 8x8													
1. Sistema de Potência													
1.1 Motor													
1.1.1 Motor de arranque													
1 Fornecer a energia necessária ao motor de combustão de forma a este começar a funcionar	A Não fornece energia ao motor de combustão	1 Não chega corrente ao motor de arranque	Relé não faz passagem de corrente Bateria não tem carga Instalação incorreta	Com o tempo de utilização o relé que alimenta o motor de arranque perde a sua capacidade.	A corrente não chega ao motor de arranque que consequentemente não inicia o motor de combustão.	Substituição do relé que faz a passagem de corrente para o motor de arranque.	O motor de combustão não inicia incapacitando o SA.	3	3	9	3	2	6
		2 Degradação dos componentes do motor de arranque	Número de horas de serviço	Com o número de utilizações do motor de arranque ocorre a degradação dos componentes devido à tipologia de ação do motor de arranque sobre o motor de combustão.	Com a degradação do motor de arranque e dos seus componentes o motor de combustão não inicia.	Substituição do motor de arranque.	O motor de combustão não inicia incapacitando o SA.	3	3	9	3	2	6
1.1.2 Sensor de falha do nível de óleo													
1 Medir o nível de óleo do motor, aproximadamente 18 litros	A Medir incorretamente o nível de óleo do motor	1 Acumulação de resíduos	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A acumulação de resíduos pode provocar erros de medição por parte do sensor de nível.	O motor fica sem óleo sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	Não há lubrificação do motor podendo danificar o mesmo deixando o SA INOP.	1	4	4			
		2 Corrosão	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A corrosão do sensor leva à degradação precoce do mesmo comprometendo as leituras.	O motor fica sem óleo sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	Não há lubrificação do motor podendo danificar o mesmo deixando o SA INOP.	1	4	4			
		3 Desgaste	Número de horas de serviço	Com o número de horas de utilização o sensor sofre desgaste comprometendo as leituras.	O motor fica sem óleo sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	Não há lubrificação do motor podendo danificar o mesmo deixando o SA INOP.	1	4	4			
1.1.3 Bomba de óleo													
1 Lubrificar todas as partes móveis do motor, entre 1,4 e 2 bar	A Não executa a lubrificação	1 Nível de óleo do motor em baixo	Fuga Número de horas de utilização	Com o tempo de utilização o nível do óleo é passível de baixar devido às condições de utilização do SA em condições todo-o-terreno.	A quantidade de óleo disponível não é suficiente para lubrificar todas as componentes o que poderá levar a um desgaste prematuro e acentuado dos componentes não lubrificados.	Reposição do óleo do motor.	Desgaste dos componentes móveis do motor, possível gripar do motor e consequente inoperacionalidade do SA.	1	4	4			
		2 Deposição de resíduos	Óleo de lubrificação contaminado Óleo de lubrificação inadequado	A utilização de óleos de lubrificação contaminados ou incompatíveis com o material da bomba pode levar à deposição de detritos e resíduos na superfície da mesma.	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento da bomba de óleo e impedir o seu normal funcionamento.	Substituição da bomba de óleo.	Desgaste dos componentes móveis do motor, possível gripar do motor e consequente inoperacionalidade do SA.	1	4	4			
		3 Corrosão	Óleo de lubrificação contaminado Óleo de lubrificação inadequado	A utilização de líquidos refrigerantes contaminados ou incompatíveis com o material da bomba pode corroer a superfície da bomba.	A corrosão da bomba de óleo impede a circulação do lubrificante, não executando a lubrificação dos componentes do motor	Substituição da bomba de óleo.	Desgaste dos componentes móveis do motor, possível gripar do motor e consequente inoperacionalidade do SA.	1	4	4			
1.2 Sistema de Admissão de Ar													
1.2.1 Filtro de ar													
1 Filtrar o ar na admissão de ar para o motor	A Não filtrar corretamente o ar de admissão	1 Sujidade no filtro	Circulação em terreno com pó Número de horas de serviço	A acumulação de sujidade e resíduos no filtro do ar vai diminuir a sua capacidade de filtração.	O filtro do ar perde a sua capacidade de filtrar o ar levando a que sejam admitidos resíduos na câmara de combustão reduzindo o rendimento do motor.	Substituição do filtro de ar.	A admissão de resíduos na câmara de combustão poderá levar ao desgaste prematuro dos componentes do motor e possível inoperacionalidade do mesmo e consequentemente do SA.	1	2	2			
1.2.2 Mangueiras de admissão de ar													
1 Fornecer à câmara de combustão a quantidade de ar ideal para a combustão do combustível	A Não chega ar suficiente à câmara de combustão	1 Existência de fugas na admissão de ar	Degradação dos componentes Tubagem solta Erros de montagem	O caudal de ar na câmara de combustão é baixo.	Chegando menos ar à câmara de combustão o rendimento do motor será reduzido.	Substituição das mangueiras de admissão de ar.	Uma combustão ineficiente na câmara de combustão poderá levar à degradação prematura dos componentes do motor.	3	3	9	3	2	6
		2 Entupimento da admissão de ar	Deposição de resíduos	O caudal de ar na câmara de combustão é baixo.	Chegando menos ar à câmara de combustão o rendimento do motor será reduzido.	Substituição das mangueiras de admissão de ar.	Uma combustão ineficiente na câmara de combustão poderá levar à degradação prematura dos componentes do motor.	3	3	9	3	2	6
1.2.3 Soprador de poeiras													

1	Soprar as poeiras e detrito acumulados no sistema de admissão de ar, de forma a prolongar a sua funcionalidade	A	Não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar	1	Não chega corrente ao soprador de poeiras	Relé não faz passagem de corrente Bateria não tem carga Instalação incorreta	Com o tempo de utilização o relé que alimenta o soprador de poeiras perde a sua capacidade.	O soprador de poeiras não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar.	Substituição do relé que faz a passagem de corrente para o soprador de poeiras.	O sistema de admissão de ar não admite ar essencial para a combustão incapacitando o SA.	4	1	4			
				2	Degradação dos componentes do soprador de poeiras	Número de horas de serviço	Com o número de utilizações do soprador de poeiras ocorre a degradação dos componentes.	O soprador de poeiras não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar.	Substituição do soprador de poeiras	O sistema de admissão de ar não admite ar essencial para a combustão incapacitando o SA.	4	1	4			
1.2.4 Turbo																
1	Aumentar o caudal de ar injetado no motor com uma pressão de 1,9 bar	A	Perda de potência do compressão de ar	1	Desgaste das pás	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	O desgaste das pás leva a diminuição da capacidade de compressão do ar pelo turbo.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	4	3	12	3	3	9
				2	Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	A acumulação de resíduos no turbo diminui a capacidade de compressão do ar do mesmo, levando a que o caudal de ar injetado no motor não seja suficiente.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	4	3	12	3	3	9
		B	Não aumentar o caudal de ar injetado no motor	1	Desgaste das pás	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	O desgaste das pás leva a diminuição da capacidade de compressão do ar pelo turbo.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	4	4	16	3	4	12
				2	Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	A acumulação de resíduos no turbo diminui a capacidade de compressão do ar do mesmo, levando a que o caudal de ar injetado no motor não seja suficiente.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	4	4	16	3	4	12
1.3 Sistema de Escape																
1	Evacuar os gases da câmara de combustão para o exterior	A	Escape de gases é feito dentro da viatura	1	Coletor com fuga	Desgaste dos parafusos Intempérie	O desgaste dos parafusos leva a fugas no coletor de gases	A fuga no coletor leva à acumulação de gases no interior da viatura.	Substituição ou reparação do coletor de gases	A segurança dos tripulantes fica em risco devido à presença de gases nocivos no interior da viatura	3	3	9	3	2	6
1.4 Sistema de Alimentação de Combustível																
1.4.1 Sensor de nível de combustível																
1	Medir o nível de combustível	A	Medir incorretamente o nível de combustível	1	Acumulação de resíduos	Qualidade do combustível	A acumulação de resíduos pode provocar erros de medição por parte do sensor de nível.	A viatura fica sem combustível sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	A viatura fica sem combustível comprometendo o cumprimento da missão.	1	2	2			
				2	Corrosão	Qualidade do combustível	Se a qualidade do combustível for baixa pode levar à corrosão do sensor, comprometendo as leituras do mesmo.	A viatura fica sem combustível sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	A viatura fica sem combustível comprometendo o cumprimento da missão.	1	2	2			
				3	Desgaste	Número de horas de serviço	Com o número de horas de utilização o sensor sofre desgaste comprometendo as leituras.	A viatura fica sem combustível sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	A viatura fica sem combustível comprometendo o cumprimento da missão.	1	2	2			
1.4.2 Filtro de combustível																
1	Filtrar o combustível antes de chegar à bomba de alta-pressão de combustível	A	O combustível não é devidamente filtrado	1	Deposição de resíduos	Combustível contaminado Baixa qualidade do combustível	A acumulação de resíduos no filtro faz com que este perca a sua capacidade de filtração.	O combustível chega à bomba de alta-pressão com resíduos devido à filtração deficiente.	Substituição ou limpeza do filtro.	A chegada de combustível não devidamente filtrado à bomba de alta-pressão pode originar uma perda de rendimento da mesma e possivelmente danificar a bomba, logo o combustível não vai ser injetado no motor inoperacionalizando o SA.	1	4	4			
1.4.3. Pré-filtro de combustível																
1	Filtrar o combustível entre o depósito de alimentação de combustível e a bomba de alimentação	A	O combustível não é devidamente filtrado	1	Deposição de resíduos	Combustível contaminado Baixa qualidade do combustível	A acumulação de resíduos no pré-filtro faz com que este perca a sua capacidade de filtração.	O combustível chega à câmara de combustão com resíduos devido à filtração deficiente.	Substituição ou limpeza do pré-filtro.	A chegada de combustível não devidamente filtrado à câmara de combustível pode originar uma perda de rendimento do motor, e possivelmente danificar o mesmo inoperacionalizando o SA.	4	3	12	2	3	6
1.4.4 Bomba de combustível																

1	Fazer o combustível chegar ao motor em condições ideais para a combustão, pressão mínima de 34 kPa	A	Combustível não chega ao motor	1	Deposição de resíduos	Combustível contaminado	Combustíveis contaminados podem levar à deposição de resíduos na superfície da bomba.	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento da bomba.	Substituição ou reparação da bomba.	A bomba de alta pressão não faz chegar combustível ao motor levando à inoperacionalidade do SA.	1	4	4			
				2	Corrosão	Combustível contaminado	Combustíveis contaminados podem acelerar a corrosão dos materiais da bomba.	A corrosão da bomba leva a que a mesma não opere em perfeitas condições não fazendo o combustível chegar nas condições ideais	Substituição ou reparação da bomba.	A bomba de alta pressão não faz chegar combustível ao motor levando à inoperacionalidade do SA.	1	4	4			
				3	Degradação dos componentes da bomba	Número de horas de serviço	Combustível contaminado	Combustíveis contaminados podem acelerar a degradação dos materiais da bomba.	A degradação da bomba leva a que a mesma não opere em perfeitas condições não fazendo o combustível chegar nas condições ideais	Substituição ou reparação da bomba.	A bomba de alta pressão não faz chegar combustível ao motor levando à inoperacionalidade do SA.	1	4	4		
	B	Perda de estanquidade	1	Degradação do vedante	Combustível contaminado	Combustível contaminado, vedante inapropriado ou um elevado número de horas de serviço sem substituição pode levar à degradação dos vedantes e consequentemente a fugas.	A perda de estanquidade leva a que a bomba não opere em perfeitas condições não fazendo o combustível chegar nas condições ideais	Substituição dos vedantes	A bomba de alta pressão não faz chegar combustível ao motor levando à inoperacionalidade do SA.	1	4	4				
1.4.5 Depósito de combustível																
1	Armazenar 350 litros de combustível	A	Armazenar menos de 350 litros de combustível	1	Acumulação de resíduos no interior	Combustível contaminado	A acumulação de resíduos no interior do depósito vai ocupar espaço diminuindo o volume de armazenamento de combustível.	A capacidade de armazenamento de combustível vai ser reduzida o que pode diminuir a autonomia da viatura.	Limpeza do depósito de combustível.	A redução da autonomia da viatura pode comprometer o cumprimento da missão.	4	3	12	2	3	6
				B	Existência de fugas no depósito	1	Corrosão	Combustível contaminado	Os resíduos presentes no combustível podem acelerar a corrosão do depósito dando origem a fugas.	As fugas podem levar à perda de combustível diminuindo a autonomia da viatura.	Substituição do depósito de combustível.	A perda da totalidade do combustível pode levar à inoperacionalidade do SA.	4	3	12	2
		2	Depósito com fissuras	Degradação do material do depósito	A degradação do material do depósito pode originar fugas.	As fugas podem levar à perda de combustível diminuindo a autonomia da viatura.	Substituição do depósito de combustível.	A perda da totalidade do combustível pode levar à inoperacionalidade do SA.	4	3	12	2	3	6		
2. Sistema de Transferência de Potência																
2.1 Transmissão Automática																
2.1.1 ECU																
1	Controlar a combustão (mistura de combustível, ponto de ignição, tempos de combustão)	A	Não controlar a combustão devidamente	1	Danos mecânicos e/ou eletrónicos	Choque com corpo estranho	O choque com um corpo estranho pode provocar danos no ECM levando ao seu incorreto funcionamento	A combustão não será otimizada perdendo rendimento do motor	Substituição do ECU	A deficiente combustão do motor levará a um aumento do consumo de combustível que se materializará em perdas financeiras e uma combustão ineficiente poderá levar a uma degradação prematura dos componentes do motor	3	4	12	3	2	6
				2	Danos mecânicos e/ou eletrónicos	Choque com corpo estranho	O ECU defeituoso não permite o seu correto funcionamento	Não se dá a troca de velocidades, mantendo ou a mudança que engrenada ou permanecendo em neutro	Substituição do ECU	A viatura fica imobilizada ou parcialmente incapaz.	3	4	12	3	2	6
2.1.2 Lubrificação																
1	Garantir a lubrificação do sistema da transmissão automática, aproximadamente 20L de óleo.	A	Lubrificação do sistema deficiente	1	Nível de óleo baixo	Fuga	A fuga na lubrificação vai levar a que o nível de óleo seja baixo.	Não se vai dar a lubrificação do sistema da transmissão automática o que leva a um maior desgaste dos componentes.	Reparação da lubrificação do sistema da transmissão automática.	Devido à lubrificação deficiente a transmissão automática vai deixar de funcionar o que não permite a engrenagem das mudanças podendo imobilizar a viatura e deixar o SA INOP.	3	4	12	2	4	8
2.1.3 Caixa de velocidades																
1	Distribuir a potência do motor para o Trem de Rodagem	A	A distribuição não é feita de forma eficiente	1	Degradação dos componentes mecânicos	Número de horas de serviço	A degradação dos componentes não permite o correto funcionamento da caixa de velocidades	A distribuição da potência do motor não é corretamente feita para o Trem de Potência	Substituição ou reparação da caixa de velocidades	A viatura fica totalmente ou parcialmente imobilizada perdendo, ficando o SA INOP.	3	4	12	3	3	9
2.2 Trem de Rodagem																
2.2.1 Veios de cardan																
1	Transmitir a potência da caixa automática para a caixa de transferência	A	Não transmitir a potência da caixa automática para a caixa de transferência	1	Desalinhamento entre o motor e o diferencial	Terreno acidentado	O impacto ou esforço excessivo pode levar ao desalinhamento dos componentes.	O veio de cardan deixa de conseguir transferir a potência do motor para diferencial.	Substituição do veio de cardan.	A viatura fica imobilizada levando a que o SA fique INOP.	1	4	4			

			2	Desacoplamento do veio	Corrosão Desgaste dos componentes Terreno acidentado	O desgaste excessivo pode levar ao desacoplamento do veio de cardan.	O veio de cardan deixa de conseguir transferir a potência do motor para diferencial.	Substituição do veio de cardan.	A viatura fica imobilizada levando a que o SA fique INOP.	1	4	4				
2.2.2 Diferencial																
1	Transferir a potência do eixo motriz às rodas	A	Não transferir a potência do eixo motriz às rodas	1	Desacoplamento	Corrosão Desgaste excessivo dos componentes	O desgaste dos componentes pode levar ao desacoplamento dos diferenciais	Não é possível transferir a potência para as rodas	Substituição do diferencial.	A viatura fica imobilizada deixando o SA INOP.	3	3	9	2	3	6
				2	Fuga de óleo	Desgaste dos componentes Desacoplamento parcial	Se o diferencial perder o óleo não se vai dar lubrificação.	Sem lubrificação pode se dar o superaquecimento dos componentes levando a um desgaste excessivo dos mesmo, e possivelmente a causar um incêndio.	Substituição do diferencial	A viatura fica imobilizada deixando o SA INOP.	3	3	9	2	3	6
2.2.3 Suspensão																
1	Diminuir as vibrações entre as rodas e os eixos motrizes	A	As vibrações não são diminuídas	1	União da suspensão danificada	Número de horas de serviço	As vibrações não são dissipadas.	A viatura não possui estabilidade, levando a uma maior desgaste dos componentes associados.	Substituição das partes danificadas.	A viatura não tem estabilidade na direção o que leva a que o SA fique INOP.	3	2	6	2	2	4
2.2.4 Cubo da roda																
1	Fazer a conexão entre o diferencial, suspensão e as rodas	A	Não fazer a conexão	1	Desgaste dos componentes	Uso em terreno acidentado	Devido ao desgaste a conexão não é feita de forma eficiente	Sem uma conexão eficiente existe uma perda de rendimento e pode levar ao travamento total ou parcial da roda associada ao cubo	Substituição do cubo da roda.	Perda de rendimento da viatura, podendo levar ao desgaste de outros componentes associados ao cubo da roda. Em caso extremo se o problema se verificar em todos os 8 cubos da roda o SA fica INOP.	3	3	9	2	3	6
				2	Fuga de óleo	Uso em terreno acidentado Número de horas de serviço	Devido ao desgaste de componentes o cubo da roda perde óleo de lubrificação	Pode ocorrer superaquecimento do cubo da roda, podendo em caso extremo levar à deflagração de um incêndio	Substituição do cubo da roda.	Desgaste de outros componentes associados ao cubo da roda. Em caso extremo se o problema se verificar em todos os 8 cubos da roda o SA fica INOP.	3	3	9	2	3	6
2.3 Sistema de Direção																
2.3.1 Rótulas de direção																
1	Alterar a direção da viatura	A	Não é possível alterar a direção da viatura	1	Acumulação de resíduos	Circulação em terreno com pó	A acumulação de pó não permite o funcionamento das rótulas.	O condutor não consegue manobrar a viatura, ficando a ligação entre o volante e as rodas interrompida.	Substituição das rótulas de direção.	Não é possível manobrar a viatura comprometendo o sucesso da missão e deixando o SA INOP.	3	3	9	2	3	6
				2	Degradação dos componentes	Vibrações não dissipadas	O excesso de vibrações leva à degradação precoce dos componentes.	O condutor não consegue manobrar a viatura, ficando a ligação entre o volante e as rodas interrompida.	Substituição das rótulas de direção.	Não é possível manobrar a viatura comprometendo o sucesso da missão e deixando o SA INOP.	3	3	9	2	3	6
2.3.2 Sensor do óleo de direção																
1	Medir o nível de óleo de direção, 1,5 L por depósito	A	Medir incorretamente o nível de óleo	1	Acumulação de resíduos	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A acumulação de resíduos pode provocar erros de medição por parte do sensor de nível.	A direção fica sem óleo sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	Perda de pressão na direção, não é possível manobrar a viatura tornando o SA INOP.	2	4	8	1	4	4
				2	Corrosão	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A corrosão do sensor leva à degradação precoce do mesmo comprometendo as leituras.	A direção fica sem óleo sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	Perda de pressão na direção, não é possível manobrar a viatura tornando o SA INOP.	2	4	8	1	4	4
				3	Desgaste	Número de horas de serviço	Com o número de horas de utilização o sensor sofre desgaste comprometendo as leituras.	A direção fica sem óleo sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	Perda de pressão na direção, não é possível manobrar a viatura tornando o SA INOP.	2	4	8	1	4	4
2.3.3 Bomba de direção																
1	Bombear o óleo de direção a uma pressão máxima de 180 bar	A	Óleo da direção não circula	1	Deposição de resíduos	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo Óleo inadequado	A utilização de óleos não adequados ou contaminados pode levar à deposição de resíduos na superfície da bomba.	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento da bomba impedindo o seu funcionamento.	Substituição da bomba da direção.	Perda de pressão na direção, não é possível manobrar a viatura, o SA fica INOP.	1	3	3			
				2	Corrosão	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo Óleo inadequado	A utilização de óleos não adequados ou contaminados pode levar à corrosão da bomba.	A corrosão dos componentes da bomba impede o seu funcionamento.	Substituição da bomba da direção.	Perda de pressão na direção, não é possível manobrar a viatura, o SA fica INOP.	1	3	3			
3. Sistema Hidráulico																
3.1 Bomba Hidráulica																

1	Bombear o óleo hidráulico a 100 bar	A	Óleo hidráulico não circula pelos atuadores hidráulicos	1	Deposição de resíduos Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo Óleo inadequado	A utilização de óleos não adequados ou contaminados pode levar à deposição de resíduos na superfície da bomba.	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento da bomba impedindo o seu funcionamento.	Substituição da bomba hidráulica.	Perda de força nos atuadores hidráulicos comprometendo a operacionalidade do SA.	3	4	12	2	4	8	
				2	Corrosão Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo Óleo inadequado	A utilização de óleos não adequados ou contaminados pode levar à corrosão da bomba.	A corrosão dos componentes da bomba impede o seu funcionamento.	Substituição da bomba hidráulica.	Perda de força nos atuadores hidráulicos comprometendo a operacionalidade do SA.	3	4	12	2	4	8	
3.2 Guincho																
1	Tracionar o SA	A	Não tracionar de forma eficaz o SA	1	Cabo soltar-se Cabo sem marcas vermelhas de fim de curso	O cabo não possui indicação de fim de curso e solta-se.	O cabo solta-se comprometendo o bem-estar e integridade dos operadores da viatura.	Instalar novamente o guincho.	Não é possível tracionar o SA comprometendo o sucesso da missão.	3	1	3				
				2	Cabo partir-se Cabo não é capaz de suportar a carga submetida Integridade do cabo previamente comprometida	O cabo parte-se, deixando o guincho INOP	O cabo parte-se comprometendo o bem-estar e integridade dos operadores da viatura.	Substituir o guincho.	Não é possível tracionar o SA comprometendo o sucesso da missão.	3	1	3				
				3	Motor hidráulico Falta de óleo Desgaste dos componentes do motor	O motor hidráulico não consegue produzir binário.	O guincho fica INOP.	Substituição do motor hidráulico.	Não é possível tracionar o SA comprometendo o sucesso da missão.	3	1	3				
				4	Circuito Hidráulico Fuga de óleo	A fuga de óleo no circuito leva à perda de pressão.	O guincho fica INOP.	Substituição do circuito hidráulico.	Não é possível tracionar o SA comprometendo o sucesso da missão.	3	1	3				
3.3 Bloco de válvulas de comando																
1	Controlar o fluxo de óleo do sistema hidráulico	A	O bloco de válvulas não consegue controlar o fluxo de óleo	1	Corrosão Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A corrosão no bloco de válvulas leva à degradação precoce dos componentes.	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	4	4	16	4	2	8	
				2	Acumulação de resíduos Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento do bloco de válvulas.	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	4	4	16	4	2	8	
				3	Fuga de óleo Número de horas de serviço Degradação dos vedantes	A degradação dos vedantes ou o número de horas de serviço pode originar perdas de óleo e consequentemente a perda de pressão no bloco de válvulas	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas ou dos vedantes.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	4	4	16	4	2	8	
3.4 Cilindros Hidráulicos da Rampa																
1	Abrir/Fechar a rampa da retaguarda	A	Não abrir/fechar a rampa da retaguarda	1	Fuga de óleo no cilindro Degradação dos vedantes Acumulação de resíduos	A fuga de óleo vai levar à perda de pressão nos cilindros hidráulicos.	Os cilindros não conseguem atuar sobre a rampa.	Substituição ou reparação dos cilindros hidráulicos.	Não é possível abrir ou fechar a rampa colocando em risco os operadores da viatura e comprometendo o SA.	2	2	4				
				2	Válvula de comando elétrica INOP Falta de energia elétrica Acumulação de resíduos	A válvula de comando não direciona o óleo para os cilindros levando à perda de pressão.	Os cilindros não conseguem atuar sobre a rampa.	Substituição ou reparação da válvula	Não é possível abrir ou fechar a rampa colocando em risco os operadores da viatura e comprometendo o SA.	2	2	4				
		B	Abrir/Fechar parcialmente a rampa da retaguarda	1	Fuga de óleo no cilindro Degradação dos vedantes Acumulação de resíduos	A fuga de óleo vai levar à perda de pressão nos cilindros hidráulicos.	Os cilindros não conseguem atuar completamente sobre a rampa.	Substituição ou reparação dos cilindros hidráulicos.	Não é possível abrir ou fechar totalmente a rampa colocando em risco os operadores da viatura e comprometendo o SA.	2	2	4				
				2	Válvula de comando elétrica INOP Falta de energia elétrica Acumulação de resíduos	A válvula de comando não direciona o óleo para os cilindros levando à perda de pressão.	Os cilindros não conseguem atuar completamente sobre a rampa.	Substituição ou reparação da válvula	Não é possível abrir ou fechar a rampa colocando em risco os operadores da viatura e comprometendo o SA.	2	2	4				
3.5 Tubagens e Mangueiras																
1	Transportar sem fugas o óleo pelo sistema hidráulico	A	Existência de fugas no circuito do sistema hidráulico	1	Fuga nas tubagens Degradação do material Óleo contaminado	O óleo contaminado pode acelerar a degradação do material das tubagens originando fissuras nas mesmas.	Perda de pressão no circuito hidráulico.	Substituição das tubagens e mangueiras.	Circuito hidráulico INOP, reduzindo a capacidade do SA.	3	4	12	3	3	9	
				2	Fuga nas conexões Juntas defeituosas Conexões soltas Desgaste dos parafusos de fixação	Perda de óleo pelas conexões.	Perda de pressão no circuito hidráulico.	Substituição das tubagens e mangueiras.	Circuito hidráulico INOP, reduzindo a capacidade do SA.	3	4	12	3	3	9	

3.6 Depósito															
1	A	Existência de fugas no depósito	1	Oxidação	Óleo contaminado Intempérie	A oxidação da superfície do depósito leva ao se desgaste prematuro e pode originar fissuras.	O desgaste do depósito pode originar fugas de óleo, que podem afetar a capacidade do circuito hidráulico.	Substituição do depósito.	A perda da totalidade de óleo leva a que o circuito hidráulico fique INOP comprometendo o SA.	1	3	3			
			2	Depósito com fissuras	Degradação do material do depósito	A existência de fissuras na superfície do depósito faz com que este perca óleo através delas.	O desgaste do depósito pode originar fugas de óleo, que podem afetar a capacidade do circuito hidráulico.	Substituição do depósito.	A perda da totalidade de óleo leva a que o circuito hidráulico fique INOP comprometendo o SA.	1	3	3			
	B	Armazenar menos de 20 litros de óleo	1	Acumulação de resíduos no interior do depósito	Óleo contaminado	A acumulação de resíduos no interior do depósito vai ocupar espaço diminuindo o volume de armazenamento de óleo.	O circuito hidráulico vai conter uma menor quantidade de óleo do que a recomendada, o que pode comprometer o circuito.	A limpeza do depósito.	A capacidade de armazenamento pode ser reduzida de tal maneira que o óleo não seja suficiente para o funcionamento dos atuadores.	1	3	3			
4. Sistema de Aquecimento e Arrefecimento															
4.1 Sistema de Refrigeração															
4.1.1 Conjunto da bomba de água															
4.1.1.1 Bomba de água															
1	A	Líquido refrigerante não circula pelos circuitos do sistema de refrigeração.	1	Rotura da correia trapezoidal	Degradação da borracha em condições de serviço (condições de funcionamento difíceis ou existência de óleo da correia)  Instalação incorreta  Desalinhamento da polia  Tensão incorreta	Com o tempo de utilização em serviço, com a exposição a temperaturas elevadas e a intempérie, a borracha da correia trapezoidal vai sendo degradada, acabando eventualmente por partir.	A bomba de água não entra em funcionamento e o líquido refrigerante não circula pelos circuitos de refrigeração. Dá-se o sobreaquecimento do bloco do motor, do óleo da transmissão automática, do óleo hidráulico e do óleo de lubrificação dos eixos motrizes e da caixa de transferência. Acendem as luzes de emergência de fluido e de emergência de transmissão no painel de luzes de controlo e emergência, bem como é registada a subida da temperatura do bloco do motor no indicador próprio.	A substituição da correia tem um custo associado de 14,62 euros e um tempo médio de reparação de 40 minutos.	O sobreaquecimento do motor vai provocar danos na junta do cabeçote do motor e nos cilindros. O sobreaquecimento do óleo hidráulico vai provocar a inoperacionalidade do sistema hidráulico e em suma vai por em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão. No caso de os sistemas de aviso de temperatura falharem pode dar-se um incêndio no motor.	1	4	4			
			2	Deposição de resíduos	Líquido refrigerante contaminado  Líquido refrigerante inadequado  Utilização de líquidos refrigerantes com composições químicas diferentes	A utilização de líquidos refrigerantes contaminados ou incompatíveis com o material da bomba pode levar à deposição de detritos e resíduos na superfície da bomba.	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento da bomba de água e impedir o normal funcionamento dos seus constituintes.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros e um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	Pode provocar a incapacidade da bomba de fazer circular o líquido refrigerante com as consequências acima referidas.	1	4	4			
			3	Corrosão	Líquido refrigerante inadequado  Líquido refrigerante contaminado	A utilização de líquidos refrigerantes contaminados ou incompatíveis com o material da bomba pode corroer a superfície da bomba.	A corrosão das aletas da bomba de água impede a movimentação (circulação) do líquido refrigerante.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	Pode provocar a incapacidade da bomba de fazer circular o líquido refrigerante, o que vai originar sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências acima referidas.	1	4	4			
			4	Cavitação	Líquido refrigerante inadequado (falta de aditivo anti cavitação ou aditivo inadequado)	A utilização de líquidos refrigerantes com aditivo anti cavitação inadequado pode originar o desgaste da superfície da bomba.	As zonas degradadas podem posteriormente corroer e afetar a capacidade da bomba de funcionar corretamente.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros.	A corrosão sofrida após a cavitação pode afetar a bomba de tal forma que esta fica impedida de movimentar o líquido refrigerante, o que vai levar ao sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências já referidas.	1	4	4			
			5	Desgaste do rolamento, veio e polia	Correia trapezoidal com tensão não adequada  Nº elevado de horas de serviço	Uma correia mal montada ou com tensão desadequada vai provocar sobrecargas ou excesso de vibrações no veios e nos rolamentos da bomba de água.	O veios e os rolamentos vão sofrer um desgaste acelerado em virtude dessas sobrecargas.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros.	Incapacidade da bomba de água em fazer circular o líquido refrigerante, que pode levar ao sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências acima mencionadas.	1	4	4			
	B	Perda de estanquicidade	1	Degradação do vedante	Funcionamento em seco (sem líquido refrigerante)  Montagem incorreta do vedante  Uso do vedante inapropriado  Líquido refrigerante contaminado	O funcionamento na ausência de líquido refrigerante, a montagem incorreta ou o uso de um vedante inapropriado podem levar ao desgaste prematuro do material dos vedantes (borracha) e a ocorrência de fugas.	As fugas de líquido refrigerante podem entrar em contacto com os rolamentos da bomba de água levando à sua degradação.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	A degradação dos rolamentos pode levar à imobilização da bomba e consequente incapacidade em fazer circular o líquido refrigerante.	1	4	4			
4.1.1.2 Termostato															

1	A	Líquido refrigerante não passa do circuito de refrigeração pequeno para o circuito de refrigeração grande (termostato preso na posição de fechado).	1	Depósito de resíduos	Líquido refrigerante contaminado Líquido refrigerante inadequado	A acumulação de detritos pode impedir a passagem de líquido refrigerante, provocar atrasos na abertura e fecho da válvula e provocar erros na medição da temperatura.	A restrição da abertura da válvula impede o fluido de mudar de circuito de refrigeração, causando sobreaquecimento ou sobrearrefecimento. Não há nenhuma indicação da ocorrência desta falha.	A substituição do termostato tem um custo associado na ordem de 10 a 30 euros e um tempo médio de reparação de 1H30.	Sobreaquecimento (consequências já referidas) ou sobrearrefecimento da viatura (que em caso de clima frio impede o motor e o óleo hidráulico de atingirem as temperaturas de funcionamento), pondo em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão.	1	4	4			
			2	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Líquido refrigerante inadequado	A existência de corrosão no interior do termostato dificulta a abertura e fecho da válvula, podendo levar à imobilização da mesma.	A incapacidade de abertura da válvula impede o fluido de mudar de circuito de refrigeração, causando sobreaquecimento ou sobrearrefecimento. Não há nenhuma indicação da ocorrência desta falha.	A substituição do termostato tem um custo associado na ordem de 10 a 30 euros e um tempo médio de reparação de 1H30.	Sobreaquecimento (consequências já referidas) ou sobrearrefecimento da viatura (que em caso de clima frio impede o motor e o óleo hidráulico de atingirem as temperaturas de funcionamento), pondo em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão	1	4	4			
			3	Desgaste	Número elevado de horas de serviço sujeito a altas temperaturas	Com o passar do tempo e a exposição a temperaturas elevadas, os componentes do termostato tendem a desgastar-se.	O desgaste dos componentes pode levar a atrasos na abertura da válvula. Não há nenhuma indicação da ocorrência desta falha.	A substituição do termostato tem um custo associado na ordem de 10 a 30 euros e um tempo médio de reparação de 1H30.	Sobreaquecimento (consequências já referidas) ou sobrearrefecimento da viatura (que em caso de clima frio impede o motor e o óleo hidráulico de atingirem as temperaturas de funcionamento), pondo em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão	1	4	4			
	B	Líquido refrigerante circula sempre pelo circuito pequeno e grande independentemente da temperatura (termostato preso na posição de aberto).	1	Depósito de resíduos	Líquido refrigerante contaminado Líquido refrigerante inadequado	A acumulação de detritos pode impedir a passagem de líquido refrigerante, provocar atrasos na abertura e fecho da válvula e provocar erros na medição da temperatura.	A restrição da abertura da válvula impede o fluido de mudar de circuito de refrigeração, causando sobreaquecimento ou sobrearrefecimento. Não há nenhuma indicação da ocorrência desta falha.	A substituição do termostato tem um custo associado na ordem de 10 a 30 euros e um tempo médio de reparação de 1H30.	Sobreaquecimento (consequências já referidas) ou sobrearrefecimento da viatura (que em caso de clima frio impede o motor e o óleo hidráulico de atingirem as temperaturas de funcionamento), pondo em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão.	1	3	3			
			2	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Líquido refrigerante inadequado	A existência de corrosão no interior do termostato dificulta a abertura e fecho da válvula, podendo levar à imobilização da mesma.	A incapacidade de abertura da válvula impede o fluido de mudar de circuito de refrigeração, causando sobreaquecimento ou sobrearrefecimento. Não há nenhuma indicação da ocorrência desta falha.	A substituição do termostato tem um custo associado na ordem de 10 a 30 euros e um tempo médio de reparação de 1H30.	Sobreaquecimento (consequências já referidas) ou sobrearrefecimento da viatura (que em caso de clima frio impede o motor e o óleo hidráulico de atingirem as temperaturas de funcionamento), pondo em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão	1	3	3			
			3	Desgaste	Número elevado de horas de serviço sujeito a altas temperaturas	Com o passar do tempo e a exposição a temperaturas elevadas, os componentes do termostato tendem a desgastar-se.	O desgaste dos componentes pode levar a atrasos na abertura da válvula. Não há nenhuma indicação da ocorrência desta falha.	A substituição do termostato tem um custo associado na ordem de 10 a 30 euros e um tempo médio de reparação de 1H30.	Sobreaquecimento (consequências já referidas) ou sobrearrefecimento da viatura (que em caso de clima frio impede o motor e o óleo hidráulico de atingirem as temperaturas de funcionamento), pondo em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão	1	3	3			
	C	Efetuar a variação da circulação do líquido refrigerante do circuito de refrigeração pequeno para o circuito de refrigeração grande	1	Montagem incorreta	Erro humano	A instalação do termostato com o sensor de temperatura voltado para o radiador origina um erro de medição.	Origina uma abertura e fecho da válvula para temperaturas diferentes do valores de referência de funcionamento. Não há nenhuma indicação da ocorrência desta falha.	A montagem do termostato demora cerca de 1H30.	Pode originar uma exposição mais prolongada dos componentes do sistema de refrigeração a temperaturas mais elevadas que o recomendado, potenciando o seu desgaste.	1	3	3			

		para uma temperatura diferente de 75 °C	2	Perda de capacidade de medição de temperatura	Degradação do fluido do sensor	Com o passar do tempo o fluido responsável por medir a temperatura do líquido refrigerante perde capacidade.	Origina uma abertura e fecho da válvula para temperaturas diferentes dos valores de referência de funcionamento. Não há nenhuma indicação da ocorrência desta falha.	A substituição do termóstato tem um custo associado na ordem de 10 a 30 euros e um tempo médio de reparação de 1H30.	Pode originar uma exposição mais prolongada dos componentes do sistema de refrigeração a temperaturas mais elevadas que o recomendado, potenciando o seu desgaste.	1	3	3				
4.1.2 Sistema de refrigeração por circulação de líquido no grupo de alimentação																
4.1.2.1 Válvula de descompressão																
1	Permitir a entrada e saída de ar no depósito de expansão, de forma a controlar a pressão dentro do mesmo.	A	A pressão no interior do sistema de refrigeração não é adequada ao seu funcionamento	1	Degradação da mola	Número elevado de horas em serviço	A degradação da mola vai provocar uma incapacidade da válvula de descompressão em abrir e fechar quando o sistema atinge as pressões de referência.	A válvula não vai funcionar corretamente e não vai ser capaz de efetuar a libertação de ar quando o sistema se encontra pressurizado, nem compensar a saída do ar quando o sistema arrefece e origina vácuo no seu interior. Não há nenhum sinal de aviso da ocorrência desta falha.	A substituição da válvula de descompressão do depósito de expansão tem um custo associado de 653,05 euros e um tempo estimado de reparação de 30 minutos.	A não libertação de pressão pode levar ao rebentamento do depósito de expansão, com consequências muito graves para os utilizadores da viatura. Se por sua vez o vácuo do sistema não for compensado com a entrada de ar, pode dar-se a degradação dos tubos e mangueliras e consequente fuga de líquido refrigerante	4	3	12	3	3	9
				2	Degradação dos vedantes	Número elevado de horas em serviço sujeito a elevadas temperaturas	A degradação dos vedantes da válvula de descompressão pode levar a fugas de líquido refrigerante e à perda de pressão no sistema de arrefecimento.	A existência de fugas pode levar a despressurização do sistema, que por sua vez pode levar o líquido refrigerante a evaporar, criando bolhas de ar no interior do circuito de refrigeração, o que diminui a circulação de líquido refrigerante e o consequente sobreaquecimento do motor e dos óleos refrigerados pelo sistema	A substituição da válvula de descompressão do depósito de expansão tem um custo associado de 653,05 euros e um tempo estimado de reparação de 30 minutos.	Esta falha apenas é detetada quando se dá o sobreaquecimento da viatura ou quando o nível de líquido refrigerante perdido pela fuga é de tal importância que o nível no depósito atinge o seu valor mínimo. Ambos os casos acarretam consequências já descritas.	4	3	12	3	3	9
4.1.2.2 Intercooler																
1	Arrefecer o ar de admissão proveniente do turbo	A	O ar de admissão do turbo não é arrefecido	1	Sujidade no intercooler	Circulação em terreno com pó	A acumulação de sujidade e resíduos no intercooler vai diminuir a sua capacidade de trocar calor e de arrefecer o ar de sobrealimentação.	O intercooler perde capacidade de arrefecer o ar de sobrealimentação proveniente do turbo. O ar comprimido pelo turbo se não for arrefecido vai tornar-se menos denso (e como tal menos rico em oxigénio), o que diminui a sua capacidade de combustão. O sinal da ocorrência desta falha relaciona-se com a perda de potência por parte da viatura.	A limpeza do intercooler tem um baixo custo, associado apenas a mão-de-obra	Se esta falha não for corrigida a perda de potência da viatura pode ser de tal ordem que permite apenas a sua utilização a baixa velocidade e põe em causa a sua utilização operacional e o cumprimento da sua missão.	2	3	6	1	3	3
				2	Parafusos danificados	Erro de montagem	Os parafusos danificados levam a que o intercooler se solte ou adquira um posicionamento incorreto.	O posicionamento/montagem incorreto vai prejudicar o seu funcionamento e levar ao não arrefecimento do ar de sobrealimentação. Não há sinais da ocorrência desta falha.	O custo de substituição dos parafusos é muito baixo e tem um tempo médio de duração de cerca de 1h30.	O intercooler poder-se-á soltar inoperacionalizando a admissão de ar para o motor e possivelmente outros componentes do sistema de refrigeração.	2	3	6	1	3	3
				3	Corrosão	Existência de fugas no sistema de refrigeração	A formação de corrosão na superfície do intercooler pode originar fendas e afetar a capacidade do radiador de arrefecer o ar de sobrealimentação.	As fendas podem originar fugas de ar e a diminuição da capacidade de trocar calor do intercooler, impossibilitando o correto arrefecimento do ar proveniente do turbo. O ar comprimido pelo turbo se não for arrefecido vai tornar-se menos denso (e como tal menos rico em oxigénio), o que diminui a sua capacidade de combustão. O sinal da ocorrência desta falha relaciona-se com a perda de potência por parte da viatura.	O custo de substituição do intercooler é da ordem dos 100 euros e o tempo de execução médio de cerca de 1H30.	A perda de potência da viatura pode ser de tal ordem que permite apenas a sua utilização a baixa velocidade e põe em causa a sua utilização operacional e o cumprimento da sua missão.	2	3	6	1	3	3
				4	Alhetas danificadas	Circulação em terreno acidentado	Com a circulação em terreno acidentado fruto da utilização operacional da viatura podem existir choques com pedras e objetos que podem danificar a superfície das alhetas do intercooler, diminuindo a superfície útil capaz de trocar calor.	O intercooler perde capacidade de arrefecer o ar de sobrealimentação proveniente do turbo. O ar comprimido pelo turbo se não for arrefecido vai tornar-se menos denso (e como tal menos rico em oxigénio), o que diminui a sua capacidade de combustão. O sinal da ocorrência desta falha relaciona-se com a perda de potência por parte da viatura.	O custo de substituição do intercooler é da ordem dos 100 euros e o tempo de execução médio de cerca de 1H30.	Se os danos atingirem uma grande extensão da superfície do intercooler, de tal forma que impeçam o adequado arrefecimento do ar de sobrealimentação, a perda de potência da viatura pode ser de tal ordem que permite apenas a sua utilização a baixa velocidade e põe em causa a sua utilização operacional e o cumprimento da sua missão.	2	3	6	1	3	3
4.1.2.3 Permutadores de calor da central hidráulica																

1	Arrefecer o óleo do sistema hidráulico	A	O óleo do sistema não é arrefecido	1	Sujidade no permutador	Circulação em terreno com pó	O permutador de calor fica coberto de pó (ou outra sujidade) o que diminui a sua capacidade de trocar calor.	O óleo do sistema hidráulico vai então sobreaquecer e atingir uma temperatura superior à temperatura de funcionamento recomendada. Acende a luz de emergência de fluido.	A limpeza do permutador de calor tem um baixo custo associado apenas a mão-de-obra e uma duração de cerca de 4H40.	Um óleo com temperatura acima do valor de funcionamento recomendado provoca a inoperacionalidade do sistema hidráulico.	1	4	4				
				2	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Óleo contaminado	A contaminação dos fluidos que circulam no permutador pode levar à corrosão do metal que constitui o permutador.	A existência de corrosão afeta a capacidade do permutador de trocar calor, o que vai sobreaquecer o óleo do sistema hidráulico. Acende a luz de emergência de fluido.	A substituição do permutador de calor tem uma duração de cerca de 1H30.	Um óleo com temperatura acima do valor de funcionamento recomendado provoca a inoperacionalidade do sistema hidráulico.	1	4	4				
				3	Fuga	Vedantes degradados Vedantes inadequados	A existência de fluidos contaminados, de uma pressão excessiva no sistema ou a utilização de vedantes inadequados podem originar a degradação acelerada dos mesmos e consequente fuga de fluidos.	A fuga dos fluidos pode originar desgaste de outros componentes ou corrosão do próprio permutador de calor. Não há indicadores desta falha.	Esta falha tem um tempo médio de reparação de 1H30.	As fugas podem levar à inoperacionalidade do permutador de calor e sobreaquecimento do óleo, podendo comprometer a operacionalidade do SA.	1	4	4				
4.1.2.4 Permutadores de calor da transmissão automática																	
1	Arrefecer o óleo da transmissão automática garantindo que não é superior a 105°C	A	O óleo da transmissão automática atinge uma temperatura superior a 105°C	1	Sujidade no permutador	Circulação em terreno com pó	O permutador de calor fica coberto de sujidade (exemplo: pó) o que diminui a sua capacidade de trocar calor.	O óleo da transmissão automática vai então sobreaquecer e atingir uma temperatura superior a 105°C. Acende a luz de emergência de transmissão.	A limpeza do permutador de calor tem um baixo custo associado apenas a mão-de-obra e uma duração de cerca de 4 horas.	Um óleo com temperatura acima de 105 °C pode originar problemas relacionados com o desgaste de componentes da transmissão automática e levar à sua inoperacionalidade.	1	4	4				
				2	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Óleo contaminado	A contaminação dos fluidos que circulam no permutador pode levar à corrosão do metal que constitui o permutador.	A existência de corrosão afeta a capacidade do permutador de trocar calor, o que vai sobreaquecer o óleo do sistema hidráulico. Acende a luz de emergência da transmissão.	A substituição do permutador de calor tem uma duração de cerca de 8H40.	Um óleo com temperatura acima de 105 °C pode originar problemas relacionados com o desgaste de componentes da transmissão automática e levar à sua inoperacionalidade.	1	4	4				
				3	Fuga	Vedantes degradados Vedantes inadequados	A existência de fluidos contaminados, de uma pressão excessiva no sistema ou a utilização de vedantes inadequados podem originar a degradação acelerada dos mesmos e consequente fuga de fluidos.	A fuga dos fluidos pode originar desgaste de outros componentes ou corrosão do próprio permutador de calor. Não há indicadores desta falha.	A substituição dos vedantes do permutador de calor tem uma duração de cerca de 8H40.	As fugas podem levar à inoperacionalidade do permutador de calor e sobreaquecimento do óleo, podendo comprometer a operacionalidade do SA.	1	4	4				
4.1.2.5 Mangueiras e tubagens																	
1	Transportar sem fugas o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração no grupo de alimentação.	A	Existência de fugas no circuito de refrigeração no grupo de alimentação.	1	Abraçadeira em falta Desgaste do parafuso de fixação	Erro humano	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reposição de uma abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo médio de reparação é de 2H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	4	3	12	3	2	6	
				2	Abraçadeira desapertada Desgaste do parafuso de fixação	Erro humano	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	4	3	12	3	2	6	
				3	Degradação dos vedantes da ligação MK e das válvulas de interrupção	Líquido refrigerante contaminado Montagem incorreta dos vedantes	A degradação da borracha dos vedantes das ligações MK e das válvulas de interrupção do circuito vai provocar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de um vedante das torneiras pode variar entre 1,35 e 9,9 euros, consoante o tipo de vedante e o tempo médio de reparação é de 1h45.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	4	3	12	4	2	8	

			4	Ligação MK desapertada	Desgaste do trancador  Erro humano	A montagem incorreta ou a incapacidade do trancador das ligações rápidas em fechar completamente vai originar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma ligação MK varia dos 28,17 euros (no caso da torneira apenas) até aos 94,44 euros (no caso da substituição do Quick coupling set completo) e o tempo médio de reparação é de uma 1H45.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	4	3	12	4	2	8	
			5	Tubo solto	Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada  Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e mangueiras pode levar a que estes se soltem e que o líquido refrigerante saia do circuito de refrigeração.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	4	3	12	4	2	8	
			6	Tubo com fissura	Abrasão por contacto com outros componentes  Líquido refrigerante contaminado  Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e mangueiras pode levar à sua degradação e ao consequente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma mangueira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	4	3	12	4	2	8	
	B	Incapaz de transportar o líquido refrigerante pelo circuito de refrigerante no grupo de alimentação.	1	Tubos e mangueiras entupidos	Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de resíduos no interior das mangueiras e tubos do circuito de refrigeração pode levar à obstrução da passagem do líquido refrigerante.	O líquido refrigerante não circula e consequentemente não cumpre a sua função de arrefecimento. Nenhum sinal é emitido que permita detetar o entupimento.	A reparação desta falha tem um custo baixo e um tempo médio de reparação de 3H40.	No caso de o entupimento não ser detetado e o líquido refrigerante não circular vai ocorrer o sobreaquecimento do bloco do motor, dos óleos da caixa de transferência, da transmissão automática e sistema hidráulico, com as respetivas consequências para a viatura. Neste caso é dado o aviso através da luz de emergência de fluido e da luz de emergência de transmissão bem como é registado o aumento da temperatura do motor.	4	3	12	4	2	8	
2	A	Interromper a passagem de líquido refrigerante no circuito de refrigeração no grupo de alimentação	1	Válvula de interrupção presa	Desgaste  Erro de montagem  Corrosão	A incapacidade da válvula em abrir ou fechar resulta na incapacidade em interromper e reabrir a passagem de líquido de refrigeração no circuito.	Torna-se impossível efetuar a purga de líquido refrigerante. Não há qualquer sinal da ocorrência da falha.	O custo de substituição de uma válvula de interrupção é da ordem dos 20 euros e um tempo médio de reparação de 1H40.	No caso de ser impossível efetuar a purga torna-se impossível efetuar uma análise ao líquido de refrigeração.	4	3	12	4	2	8	
4.1.2.6 Ventoinha																
1	A	Forçar a circulação do ar ao radiador e ao intercooler	A	Não existe circulação de ar no radiador e no intercooler	1	Ventoinha não liga	Falha no motor hidráulico  Falha no bloco de válvulas do sistema hidráulico	Falhas ao nível do motor ou do comando do sistema hidráulico fazem com que a ventoinha não ligue e não arranque com a sua rotação.	Se a ventoinha não funcionar, não é fornecido ar ao radiador nem ao intercooler, e por sua vez não é arrefecido o ar de sobrealimentação nem o líquido refrigerante. Os sinais da ocorrência desta falha estão relacionados com o sobreaquecimento e perda de potência da viatura.	O custo de reparação do bloco de válvulas do sistema hidráulico é de cerca de 2000 euros e o custo de substituição do motor hidráulico é da ordem dos 4700 euros.	No caso desta falha não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração com as consequências para a viatura já mencionadas e também levar a sua incapacidade para o cumprimento da missão provocada pela perda de potência associada ao não arrefecimento do ar de sobrealimentação	1	4	4		
					2	Ventoinha partida	Circulação em terreno acidentado	No caso de a ventoinha apresentar componentes partidos (como pás) não vai ser capaz de garantir um fornecimento adequado de ar ao radiador e ao intercooler.	Se não for fornecida uma quantidade de ar adequada ao radiador e ao intercooler não são arrefecidos de forma adequada o ar de sobrealimentação e o líquido refrigerante. Os sinais da ocorrência desta falha estão relacionados com o sobreaquecimento e perda de potência da viatura.	O tempo médio de substituição da ventoinha é de cerca de 9 horas.	No caso de um período de funcionamento alargado nestas condições, pode dar-se a o sobreaquecimento do líquido refrigerante, com as consequências para a viatura já mencionadas e também levar a sua incapacidade para o cumprimento da missão provocada pela perda de potência associada ao não arrefecimento do ar de sobrealimentação.	1	4	4		

			3	Ventoinha com rotação insuficiente	Pressão baixa no sistema hidráulico Acumulação de sujidade na ventoinha	O funcionamento da ventoinha com uma velocidade de rotação mais baixa do que o recomendado leva a que seja fornecida uma quantidade de ar insuficiente ao radiador e ao intercooler.	Se não for fornecida uma quantidade de ar adequada ao radiador e ao intercooler não são arrefecidos de forma adequada o ar de sobrealimentação e o líquido refrigerante. Os sinais da ocorrência desta falha estão relacionados com o sobreaquecimento e perda de potência da viatura.	A limpeza da ventoinha tem um baixo custo, associado apenas a mão-de-obra e um tempo de execução de cerca de 1H30.	No caso de um período de funcionamento alargado nestas condições, pode dar-se a o sobreaquecimento do líquido refrigerante, com as consequências para a viatura já mencionadas e também levar a sua incapacidade para o cumprimento da missão provocada pela perda de potência associada ao não arrefecimento do ar de sobrealimentação	1	4	4			
4.1.2.7 Sensor de nível de líquido refrigerante															
1	A	Incapaz de medir a quantidade de líquido refrigerante existente no depósito de expansão	1	Ficha de ligação danificada	Utilização incorreta Desgaste	O funcionamento incorreto da ficha de ligação impede a correta ligação do sensor à placa de controlo do sistema elétrico e ao painel de instrumentos do condutor.	Se o sensor não for alimentado de corrente elétrica não vai funcionar, e se não transmitir o sinal à placa de controlo não é transmitida a informação resultante da sua medição do nível de líquido refrigerante. Não há sinal da ocorrência desta avaria	A substituição do sensor de nível tem um custo associado de 175,66 euros e um tempo estimado de reparação de 1H20.	No caso de o sensor não funcionar e ocorrer diminuição do nível de líquido refrigerante este só vai ser detetado quando atingir um nível inferior ao recomendado e resultar no consequente sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração	1	3	3			
			2	Fios elétricos danificados	Desgaste do material dos fios Contacto com outros componentes Contacto com líquido refrigerante contaminado	Fios elétricos danificados impedem a passagem de corrente para o sensor, resultando no seu não funcionamento.	Se o sensor não funcionar, não vai ser efetuada a medição do nível de líquido refrigerante. Não há sinal da ocorrência desta avaria.	A substituição do sensor de nível tem um custo associado de 175,66 euros e um tempo estimado de reparação de 1H20.	No caso de o sensor não funcionar e ocorrer diminuição do nível de líquido refrigerante este só vai ser detetado quando atingir um nível inferior ao recomendado e resultar no consequente sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração	1	3	3			
	B	Medir de forma incorreta a quantidade de líquido refrigerante existente no depósito de expansão	1	Desgaste dos componentes do sensor	Número elevado de horas em serviço	O desgaste da boia de medição do sensor pode levar a que esta fique presa e consequentemente que seja emitido um sinal elétrico com informação incorreta sobre a medição do nível de líquido.	Vai ser emitida uma informação para o condutor da viatura de que o nível de líquido refrigerante se encontra abaixo do recomendado (acende a luz de emergência de fluido) de forma constante, mesmo que o nível esteja dentro dos valores recomendados.	A substituição do sensor de nível tem um custo associado de 175,66 euros e um tempo estimado de reparação de 1H20.	No caso de se verificar que os níveis de líquido refrigerante estão corretos e a falha não for reparada, há o risco que haver um abaixamento do nível de líquido que não vai ser detetado.	1	3	3			
4.1.2.8 Depósito															
1	A	Armazenar menos de 64 litros de líquido refrigerante	1	Acumulação de resíduos no interior do depósito	Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de resíduos no interior do depósito vai ocupar espaço diminuindo o volume de armazenamento de líquido refrigerante.	O circuito de refrigeração vai conter uma menor quantidade de líquido de refrigeração do que a recomendada, o que pode afetar a sua capacidade de compensar as perdas e expansão de líquido durante o seu funcionamento. Não há sinais de aviso da ocorrência desta avaria.	A limpeza do depósito de expansão tem um baixo custo e um tempo estimado de reparação de cerca de 45 minutos.	Se a falha não for detetada e a acumulação for de tal ordem que o depósito fique bastante contaminado, a sua capacidade de armazenamento pode ser reduzida de tal maneira que o líquido de refrigeração existente não seja suficiente para efetuar a refrigeração do sistema.	1	3	3			
			B	Existência de fugas no depósito	1	Fixador da tampa partido	Degradação do material da tampa Choque com corpo estranho	A fratura do fixador da tampa leva a que esta se solte, originando uma possível fuga de líquido refrigerante. A ausência da tampa no depósito impossibilita a pressurização do sistema de refrigeração e o seu consequente funcionamento	O circuito de refrigeração vai perder líquido, o que pode afetar a sua capacidade de compensar as perdas e expansão de líquido durante o seu funcionamento, bem como danificar e degradar componentes com os quais entre em contacto. Não há sinais de aviso da ocorrência desta falha	A substituição da tampa do depósito de expansão tem um custo de 18,22 euros e um tempo estimado de reparação de cerca de 10 minutos.	A perda da totalidade de líquido refrigerante faz com que o sistema opere sem líquido refrigerante não sendo capaz de cumprir a sua função. Neste caso é dado um aviso através da luz indicadora de emergência de fluido.	1	3	3	
	2	Oxidação	Líquido refrigerante contaminado Intempérie		A oxidação da superfície do depósito leva ao se desgaste prematuro e pode originar fissuras.	O desgaste do depósito pode originar fugas de líquido refrigerante, que podem afetar a sua capacidade de compensar as perdas e expansão de líquido durante o seu funcionamento, bem como degradar componentes com os quais entre em contacto. Não há sinais de aviso da ocorrência desta falha	A substituição do depósito de expansão tem um custo de cerca de 50 euros e um tempo estimado de reparação de cerca de 1H30.	A perda da totalidade de líquido refrigerante faz com que o sistema opere sem líquido refrigerante não sendo capaz de cumprir a sua função. Neste caso é dado um aviso através da luz indicadora de emergência de fluido.	1	3	3				
			3	Depósito com fissuras	Degradação do material do depósito	A existência de fissuras na superfície do depósito faz com que este perca líquido refrigerante através delas.	O circuito de refrigeração vai perder líquido, o que pode afetar a sua capacidade de compensar as perdas e expansão de líquido durante o seu funcionamento, bem como danificar e degradar componentes com os quais entre em contacto. Não há sinais de aviso da ocorrência desta falha	A substituição do depósito de expansão tem um custo de cerca de 50 euros e um tempo estimado de reparação de cerca de 1H30.	A perda da totalidade de líquido refrigerante faz com que o sistema opere sem líquido refrigerante não sendo capaz de cumprir a sua função. Neste caso é dado um aviso através da luz indicadora de emergência de fluido.	1	3	3			
4.1.2.9 Radiador															

1	Arrefecer o líquido refrigerante garantindo que a sua temperatura é inferior a 105 °C	A	O líquido refrigerante atinge uma temperatura superior a 105 °C	1	Sujidade no Radiador	Circulação em terreno com pó Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de sujidade e resíduos no radiador vai diminuir a sua capacidade de trocar calor e de arrefecer o líquido refrigerante.	O radiador perde capacidade de arrefecer o líquido refrigerante, levando ao sobreaquecimento do motor e dos óleos por ele refrigerados. Acendem as luzes de emergência de fluido e de emergência de transmissão no painel de luzes de controlo e emergência, bem como é registada a subida da temperatura do bloco do motor no indicador próprio.	A limpeza do radiador tem um baixo custo, associado apenas a mão-de-obra e um tempo de execução de cerca de 30 minutos.	Sobreaquecimento do motor e do óleos, possíveis danos na junta do cabeçote do motor e nos cilindros. Inoperacionalidade do sistema hidráulico colocando e causa o desempenho operacional da viatura.	2	3	6	1	3	3
				2	Parafusos danificados	Erro de montagem Circulação em terreno acidentado Corrosão	Os parafusos danificados levam a que o radiador se solte ou adquira um posicionamento incorreto.	Pode levar a fugas originadas pelo posicionamento/montagem incorreta do radiador o que poderá prejudicar o seu funcionamento e levar ao sobreaquecimento do líquido refrigerante	O custo de substituição dos parafusos é muito baixo e um tempo de reparação de cerca de uma hora.	O radiador poder-se-á soltar inoperacionalizando todo o sistema de refrigeração e possivelmente outros componentes.	2	3	6	1	3	3
				3	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Intempérie	A formação de corrosão na superfície do radiador pode originar fendas e afetar a capacidade do radiador de arrefecer o líquido refrigerante.	As fendas podem originar fugas de líquido refrigerante e a diminuição da capacidade de trocar calor do radiador pode resultar num sobreaquecimento do líquido refrigerante. Não existe nenhum sinal da ocorrência da falha.	O custo de substituição do radiador é da ordem dos 100 euros e tem um tempo médio de execução de cerca de 1H20.	O sobreaquecimento do líquido refrigerante pode levar ao consequente sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração.	2	3	6	2	2	4
				4	Alhetas danificadas	Circulação em terreno acidentado	Com a circulação em terreno acidentado fruto da utilização operacional da viatura podem existir choques com pedras e objetos que podem danificar a superfície das alhetas do radiador, diminuindo a superfície útil capaz de trocar calor.	O radiador vai perder capacidade de arrefecer o líquido refrigerante, podendo levar ao seu sobreaquecimento. Não há indicação da ocorrência desta falha.	O custo de substituição do radiador é da ordem dos 100 euros e tem um tempo médio de execução de cerca de 1H20.	Os danos são de tal extensão que não permitem ao radiador arrefecer de forma conveniente o líquido refrigerante originando o sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração.	2	3	6	2	2	4
				5	Fixador partido	Circulação em terreno acidentado Corrosão	O fixador partido pode levar a que o radiador se solte ou adquira um posicionamento incorreto.	Pode levar a fugas originadas pelo posicionamento/montagem incorreta do radiador e poderá prejudicar também o seu funcionamento e levar ao sobreaquecimento do líquido refrigerante.	O custo de substituição do fixador é da ordem dos 20 euros e demora cerca de 1H30 a executar.	O radiador poder-se-á soltar inoperacionalizando todo o sistema de refrigeração e possivelmente outros componentes.	2	3	6	1	3	3

4.1.3 Sistema de refrigeração por circulação de líquido no casco

4.1.3.1 Permutador de calor da caixa de transferência

1	Arrefecer o óleo de lubrificação dos eixos motrizes e da caixa de transferência	A	O óleo de lubrificação atinge uma temperatura superior ao recomendado.	1	Sujidade no permutador	Circulação em terreno com pó	O permutador de calor fica coberto de pó (ou outra sujidade) o que diminui a sua capacidade de trocar calor.	O óleo dos eixos motrizes e da caixa de transferência vai então sobreaquecer e atingir uma temperatura superior à temperatura de funcionamento recomendada. Não há indicadores deste sobreaquecimento.	A limpeza do permutador de calor tem um baixo custo associado apenas a mão-de-obra e um tempo médio de reparação de 4h40.	O sobreaquecimento do óleo dos eixos motrizes e da caixa de transferência pode originar uma incorreta lubrificação dos mesmos e afetar o funcionamento da viatura, pondo mesmo em causa a sua utilização. Pode levar também ao aumento significativo do desgaste destes componentes.	1	3	3			
				2	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Óleo contaminado	A contaminação dos fluidos que circulam no permutador pode levar à corrosão do metal que constitui o permutador.	A existência de corrosão afeta a capacidade do permutador de trocar calor, o que vai sobreaquecer o óleo dos eixos motrizes e da caixa de transferência. Não há indicadores deste sobreaquecimento.	A substituição/reparação do permutador de calor tem um tempo médio de reparação de 4H40.	O sobreaquecimento do óleo dos eixos motrizes e da caixa de transferência pode originar uma incorreta lubrificação dos mesmos e afetar o funcionamento da viatura, pondo mesmo em causa a sua utilização. Pode levar também ao aumento significativo do desgaste destes componentes.	1	3	3			

3	Fuga	Vedantes degradados Vedantes inadequados	A existência de fluidos contaminados, de uma pressão excessiva no sistema ou a utilização de vedantes inadequados podem originar a degradação acelerada dos mesmos e consequente fuga de fluidos.	A fuga dos fluidos pode originar desgaste de outros componentes ou corrosão do próprio permutador de calor. Não há indicadores deste sobreaquecimento.	A substituição dos vedantes do permutador de calor tem um tempo médio de reparação de 4H40.	As fugas podem levar à inoperacionalidade do permutador de calor e sobreaquecimento do óleo. O sobreaquecimento do óleo dos eixos motrizes e da caixa de transferência pode originar uma incorreta lubrificação dos mesmos e afetar o funcionamento da viatura, pondo mesmo em causa a sua utilização. Pode levar também ao aumento significativo do desgaste destes componentes.	1	3	3				
---	------	---	---	--	---	--	---	---	---	--	--	--	--

4.1.3.2 Mangueiras e tubagens

1	Transportar sem fugas o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração pequeno no casco	A	Existência de fugas no circuito de refrigeração pequeno no casco	1	Abraçadeira em falta Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reposição de uma abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo médio de reparação é de 2H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	4	3	12	3	2	6
				2	Abraçadeira desapertada Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	4	3	12	3	2	6
				3	Degradação dos vedantes da ligação MK e das válvulas de interrupção Líquido refrigerante contaminado Montagem incorreta dos vedantes	A degradação da borracha dos vedantes das ligações MK e das válvulas de interrupção do circuito vai provocar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de um vedante das torneiras pode variar entre 1,35 e 9,9 euros, consoante o tipo de vedante e o tempo médio de reparação é de 1h45.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	4	3	12	4	2	8
				4	Ligação MK desapertada Desgaste do trancador Erro humano	A montagem incorreta ou o a incapacidade do trancador das ligações rápidas em fechar completamente vai originar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma ligação MK varia dos 28,17 euros (no caso da torneira apenas) até aos 94,44 euros (no caso da substituição do Quick coupling set completo) e o tempo médio de reparação é de uma 1H45.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	4	3	12	4	2	8
				5	Tubo solto Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e mangueiras pode levar a que estes se soltem e que o líquido refrigerante saia do circuito de refrigeração.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	4	3	12	4	2	8
				6	Tubo com fissura Abrasão por contacto com outros componentes Líquido refrigerante contaminado Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e mangueiras pode levar à sua degradação e ao consequente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma mangueira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	4	3	12	4	2	8

	B	Incapaz de transportar o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração pequeno no casco	1	Tubos e manguerias entupidos	Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de resíduos no interior das manguerias e tubos do circuito de refrigeração pode levar à obstrução da passagem do líquido refrigerante.	O líquido refrigerante não circula e consequentemente não cumpre a sua função de arrefecimento. Nenhum sinal é emitido que permita detetar o entupimento.	A reparação desta falha tem um custo baixo e um tempo médio de reparação de 3H40.	No caso de o entupimento não ser detetado e o líquido refrigerante não circular vai ocorrer o sobreaquecimento do bloco do motor, dos óleos da caixa de transferência, da transmissão automática e sistema hidráulico, com as respetivas consequências para a viatura. Neste caso é dado o aviso através da luz de emergência de fluido e da luz de emergência de transmissão bem como é registado o aumento da temperatura do motor.	4	3	12	4	2	8	
2	Interromper a passagem de líquido refrigerante no circuito	A	Incapaz de interromper ou restabelecer a passagem de líquido refrigerante no circuito	1	Válvula de interrupção presa	Desgaste Erro de montagem Corrosão	A incapacidade da válvula em abrir ou fechar resulta na incapacidade em interromper e reabrir a passagem de líquido de refrigeração no circuito.	Torna-se impossível efetuar a purga de líquido refrigerante. Não há qualquer sinal da ocorrência da falha.	O custo de substituição de uma válvula de interrupção é da ordem dos 20 euros e um tempo médio de reparação de 1H40	No caso de ser impossível efetuar a purga torna-se impossível efetuar uma análise ao líquido de refrigeração.	4	3	12	4	2	8
4.2 Sistema de Aquecimento																
4.2.1 Unidade de aquecimento de água																
1	Aquecer a água do sistema de aquecimento	A	Falha em aquecer a água	1	Acumulação de resíduos	Baixa qualidade do combustível Combustível contaminado	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento o que não permite que o combustível chegue ao queimador.	A unidade de aquecimento de água não consegue aquecer a água.	Substituição ou reparação da unidade de aquecimento de água.	O interior da viatura não é aquecido colocando em risco o bem-estar e em condições extremas a vida dos operadores.	2	2	4			
		B	Sobreaquecimento da água	1	Aquecedor não desliga	Termostato defeituoso Falha nos sensores de temperatura	O aquecedor não desliga o que leva ao sobreaquecimento da água.	A elevadas temperaturas da água podem causar danos ao sistema de aquecimento e coloca em perigo os operadores.	Substituição ou reparação da unidade de aquecimento de água.	O sistema de aquecimento fica INOP, colocando em risco o bem-estar e em condições extremas a vida dos operadores.	2	2	4			
2	Pré-aquecer o motor em clima frio	A	Falha em pré-aquecer o motor	1	Acumulação de resíduos	Baixa qualidade do combustível Combustível contaminado	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento o que não permite que o combustível chegue ao queimador.	A unidade de aquecimento de água não consegue aquecer a água e consequentemente pré-aquecer o motor	Substituição ou reparação da unidade de aquecimento de água.	O motor não é pré-aquecido o que se traduz em dificuldade em ligar o motor resultando em maior desgaste do mesmo.	2	4	8	2	3	6
		B	Sobreaquecimento do motor	1	Aquecedor não desliga	Termostato defeituoso Falha nos sensores de temperatura	O aquecedor não desliga o que leva ao sobreaquecimento da motor.	O motor atinge temperaturas excessivas antes de iniciar.	Substituição ou reparação da unidade de aquecimento de água.	O pré-aquecimento excessivo pode causar danos aos componentes do motor, e ao sistema de refrigeração.	2	4	8	2	3	6
4.2.2 Tubagens e Ligações																
1	Transportar sem fugas o líquido de aquecimento pelo circuito de aquecimento.	A	Existência de fugas no circuito de aquecimento.	1	Abraçadeira em falta	Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido de aquecimento.	A fuga de líquido de aquecimento pode provocar danos em outros tubos, manguerias e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	Reposição da abraçadeira.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de aquecimento por falta de líquido de aquecimento. Em climas frios pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	1	3	3			
				2	Abraçadeira desapertada	Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido de aquecimento.	A fuga de líquido de aquecimento pode provocar danos em outros tubos, manguerias e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de aquecimento por falta de líquido de aquecimento. Em climas frios pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	1	3	3			
				3	Tubo solto	Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e manguerias pode levar a que estes se soltem e que o líquido de aquecimento saia do circuito de aquecimento.	A fuga de líquido de aquecimento pode provocar danos em outros tubos, manguerias e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de aquecimento por falta de líquido de aquecimento. Em climas frios pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	1	3	3			

			4	Tubo com fissura	Abrasão por contacto com outros componentes  Líquido refrigerante contaminado  Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e manguieiras pode levar à sua degradação e ao consequente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga de líquido de aquecimento.	A fuga de líquido de aquecimento pode provocar danos em outros tubos, manguieiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma manguieira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de aquecimento por falta de líquido de aquecimento. Em climas frios pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	1	3	3				
	B	Incapaz de transportar o líquido refrigerante pelo circuito de refrigerante no grupo de alimentação.	1	Tubos e manguieiras entupidos	Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de resíduos no interior das manguieiras e tubos do circuito de aquecimento pode levar à obstrução da passagem do líquido de aquecimento.	O líquido de aquecimento não circula e consequentemente não cumpre a sua função de permitir detetar o entupimento.	A reparação desta falha tem um custo baixo e um tempo médio de reparação de 3H40.	No caso de o entupimento não ser detetado e o líquido de aquecimento não circular vai ocorrer o aquecimento do interior da viatura podendo comprometer a saúde da guarnição. Ainda em climas frios não se vai dar o aquecimento do combustível e pode levar a que não se consiga colocar a viatura em funcionamento.	1	3	3				
4.3 Ventilação e Ar-Condicionado																
4.3.1 Compressor AC																
1		Transferir calor do refrigerante para o ar externo	A	Não existem trocas de calor	1	Aletas obstruídas	Líquido refrigerante contaminado  Ambiente operacional com pó	As aletas ficam obstruídas impedindo o correto funcionamento do compressor.	Não existem trocas de calor entre o líquido e o ar externo.	Substituição das aletas.	Não é possível arrefecer a viatura o que em climas quentes pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	4	1	4		
					2	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado  Ambiente operacional corrosivo	A corrosão do compressor impede o seu correto funcionamento.	Não existem trocas de calor entre o líquido e o ar externo.	Substituição do compressor.	Não é possível arrefecer a viatura o que em climas quentes pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	4	1	4		
4.3.2 União e Ligações																
1		Transportar sem fugas o ar da ventilação e AC	A	Existência de fugas no circuito.	1	Abraçadeira em falta	Erro humano  Desgaste do parafuso de fixação	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga no circuito.	A fuga no circuito pode provocar uma perda de rendimento da ventilação e AC.	Reposição da abraçadeira.	A ventilação do interior do SA não ocorre ou não se dá o arrefecimento do mesmo, comprometendo a saúde e bem-estar da guarnição.	3	1	3		
					2	Abraçadeira desapertada	Erro humano  Desgaste do parafuso de fixação	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga no circuito.	A fuga no circuito pode provocar uma perda de rendimento da ventilação e AC.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	A ventilação do interior do SA não ocorre ou não se dá o arrefecimento do mesmo, comprometendo a saúde e bem-estar da guarnição.	3	1	3		
					3	Tubo solto	Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada  Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e manguieiras pode levar a que estes se soltem e que exista fugas no circuito.	A fuga no circuito pode provocar uma perda de rendimento da ventilação e AC.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	A ventilação do interior do SA não ocorre ou não se dá o arrefecimento do mesmo, comprometendo a saúde e bem-estar da guarnição.	3	1	3		
					4	Tubo com fissura	Abrasão por contacto com outros componentes  Líquido refrigerante contaminado  Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e manguieiras pode levar à sua degradação e ao consequente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga no circuito.	A fuga no circuito pode provocar uma perda de rendimento da ventilação e AC.	O custo de substituição de uma manguieira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	A ventilação do interior do SA não ocorre ou não se dá o arrefecimento do mesmo, comprometendo a saúde e bem-estar da guarnição.	3	1	3		

Referência		Avaliação da						Avaliação da estratégia de gestão do risco								Descrição da estratégia de gestão do risco	Descrição de tarefas					
F	FS	FM	1	ES HS	EE HE	EO	HP1 HO1 EP1 ET1	HP2 HO2 EP2 ET2	HP3 HO3 EP3 ET3	HP4	HP5	HO4	EP4	EP5	EO4	INT. INICIAL DE TAREFAS	UM	ID. PESS.	QTD	Duração	Tipo de Mod.	
<b>Motor de arranque</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	S									Aquisição de relé sobressalente após 2 anos de utilização ou 500 HM. Troca após falha.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S								Reparar quando falhar	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
<b>Sensor de falha do nível de óleo</b>																						
1	A	1																				
1	A	2																				
1	A	3																				
<b>Bomba de óleo</b>																						
1	A	1																				
1	A	2																				
1	A	3																				
<b>Filtro de ar</b>																						
1	A	1																				
<b>Mangueiras de admissão de ar</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	N	S							Substituir quando necessário. Efetuar verificações periódicas do estado das mangueiras de admissão de ar.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
1	A	2	S	N	N	N	N	N	S							Substituir quando necessário. Efetuar verificações periódicas do estado das mangueiras de admissão de ar.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
<b>Soprador de poeiras</b>																						
1	A	1																				
1	A	2																				
<b>Turbo</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	S								Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	500/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S								Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	500/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	B	1	S	N	N	S	N	S								Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	500/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	B	2	S	N	N	S	N	S								Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	500/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
<b>Sistema de escape</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	S								Substituir quando necessário. Efetuar verificações periódicas.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,33	P
<b>Sensor de nível de combustível</b>																						
1	A	1																				
1	A	2																				
1	A	3																				
<b>Filtro de combustível</b>																						
1	A	1																				
<b>Pré-filtro de combustível</b>																						
1	A	1	S	N	N	S	N	S								Fazer a limpeza do pré-filtro. Substituir quando necessário.	A cada utilização		Mec.	1	0,25	P
<b>Bomba de combustível</b>																						
1	A	1																				
1	A	2																				
1	A	3																				
1	B	1																				
<b>Depósito de combustível</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	S								Fazer limpeza do depósito.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
1	B	1	S	N	N	N	N	S								Realizar verificações periódicas do estado do depósito de combustível. Substituir quando necessário.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
1	B	2	S	N	N	N	N	S								Realizar verificações periódicas do estado do depósito de combustível. Substituir quando necessário.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
<b>ECU</b>																						
1	A	1	S	N	N	S	S									Aquisição de sobressalentes após 4 anos de funcionamento ou 1000 HM. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
2	A	1	S	N	N	S	S									Aquisição de sobressalentes após 4 anos de funcionamento ou 1000 HM. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
<b>Lubrificação</b>																						
1	A	1	S	N	N	S	S									Verificar a qualidade e o nível de óleo da transmissão automática.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
<b>Caixa de velocidades</b>																						
1	A	1	S	N	N	S	N	S								Aquisição de sobressalentes após 6 anos de funcionamento ou 1500 HM. Manutenção sob-condição.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	2	P
<b>Veios de cardan</b>																						
1	A	1																				
1	A	2																				
<b>Diferencial</b>																						
1	A	1	S	N	N	S	N	S								Verificar o aperto das ligações de acoplamento do diferencial	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S								Verificar a qualidade e o nível de óleo.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
<b>Suspensão</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	S								Verificar folga	0,5	Ano	Mec.	1	0,75	P
<b>Cubo da roda</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	S								Verificar folgas cubos da roda	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S								Verificar a qualidade e o nível de óleo dos cubos da roda.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
<b>Rótulas de direção</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	S								Verificar folga das ponteiros de direção	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S								Verificar folga das ponteiros de direção	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
<b>Sensor de óleo de direção</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	S								Substituir o sensor de nível de óleo de direção	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S								Substituir o sensor de nível de óleo de direção	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
1	A	3	S	N	N	N	N	S								Substituir o sensor de nível de óleo de direção	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
<b>Bomba de direção</b>																						
1	A	1																				
1	A	2																				
<b>Bomba hidráulica</b>																						
1	A	1	S	N	N	N	N	S								Verificar pressão à saída da bomba hidráulica.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	1,5	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S								Verificar pressão à saída da bomba hidráulica.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	1,5	P
<b>Guincho</b>																						
1	A	1																				
1	A	2																				
1	A	3																				
1	A	4																				
<b>Bloco de válvulas de comando</b>																						
1	A	1	S	N	N	S	S									Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
1	A	2	S	N	N	S	S									Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
1	A	3	S	N	N	S	S									Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P



Função	Falha Funcional	Modo de Falha		Efeito de Falha				Análise do Risco						
		Causa de Falha	Mecanismo de Falha	Efeito de Falha Local	Efeito no Nível Superior	Efeito Final	Efeito Potencial de Pior Cenário	P	C	R	Pr	Cr	Rr	
Pandur II 8x8														
1. Sistema de Potência														
1.2 Sistema de Admissão de Ar														
1.2.2 Mangueiras de admissão de ar														
1 Fornecer à câmara de combustão a quantidade de ar ideal para a combustão do combustível	A Não chega ar suficiente à câmara de combustão	1	Existência de fugas na admissão de ar	Degradação dos componentes Tubagem solta Erros de montagem	O caudal de ar na câmara de combustão é baixo.	Chegando menos ar à câmara de combustão o rendimento do motor será reduzido.	Substituição das mangueiras de admissão de ar.	Uma combustão ineficiente na câmara de combustão poderá levar à degradação prematura dos componentes do motor.	2	3	6	2	2	4
		2	Entupimento da admissão de ar	Deposição de resíduos	O caudal de ar na câmara de combustão é baixo.	Chegando menos ar à câmara de combustão o rendimento do motor será reduzido.	Substituição das mangueiras de admissão de ar.	Uma combustão ineficiente na câmara de combustão poderá levar à degradação prematura dos componentes do motor.	2	3	6	2	2	4
1.2.3 Soprador de poeiras														
1 Soprar as poeiras e detrito acumulados no sistema de admissão de ar, de forma a prolongar a sua funcionalidade	A Não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar	1	Não chega corrente ao soprador de poeiras	Relé não faz passagem de corrente Bateria não tem carga Instalação incorreta	Com o tempo de utilização o relé que alimenta o soprador de poeiras perde a sua capacidade.	O soprador de poeiras não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar.	Substituição do relé que faz a passagem de corrente para o soprador de poeiras.	O sistema de admissão de ar não admite ar essencial para a combustão incapacitando o SA.	3	1	3			
		2	Degradação dos componentes do soprador de poeiras	Número de horas de serviço	Com o número de utilizações do soprador de poeiras ocorre a degradação dos componentes.	O soprador de poeiras não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar.	Substituição do soprador de poeiras	O sistema de admissão de ar não admite ar essencial para a combustão incapacitando o SA.	3	1	3			
1.4 Sistema de Alimentação de Combustível														
1.4.1 Sensor de nível de combustível														
1 Medir o nível de combustível	A Medir incorretamente o nível de combustível	1	Acumulação de resíduos	Qualidade do combustível	A acumulação de resíduos pode provocar erros de medição por parte do sensor de nível.	A viatura fica sem combustível sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	A viatura fica sem combustível comprometendo o cumprimento da missão.	2	2	4			
		2	Corrosão	Qualidade do combustível	Se a qualidade do combustível for baixa pode levar à corrosão do sensor, comprometendo as leituras do mesmo.	A viatura fica sem combustível sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	A viatura fica sem combustível comprometendo o cumprimento da missão.	2	2	4			
		3	Desgaste	Número de horas de serviço	Com o número de horas de utilização o sensor sofre desgaste comprometendo as leituras.	A viatura fica sem combustível sem aviso prévio.	Substituição do sensor de nível.	A viatura fica sem combustível comprometendo o cumprimento da missão.	2	2	4			
1.4.2 Filtro de combustível														
1 Filtrar o combustível antes de chegar à bomba de alta-pressão de combustível	A O combustível não é devidamente filtrado	1	Deposição de resíduos	Combustível contaminado Baixa qualidade do combustível	A acumulação de resíduos no filtro faz com que este perca a sua capacidade de filtração.	O combustível chega à bomba de alta-pressão com resíduos devido à filtração deficiente.	Substituição ou limpeza do filtro.	A chegada de combustível não devidamente filtrado à bomba de alta-pressão pode originar uma perda de rendimento da mesma e possivelmente danificar a bomba, logo o combustível não vai ser injetado no motor inoperacionalizando o SA.	3	4	12	2	4	8
2. Sistema de Transferência de Potência														
2.1 Transmissão Automática														
2.1.3 Caixa de velocidades														
1 Distribuir a potência do motor para o Trem de Rodagem	A A distribuição não é feita de forma eficiente	1	Degradação dos componentes mecânicos	Número de horas de serviço	A degradação dos componentes não permite o correto funcionamento da caixa de velocidades	A distribuição da potência do motor não é corretamente feita para o Trem de Potência	Substituição ou reparação da caixa de velocidades	A viatura fica totalmente ou parcialmente imobilizada perdendo, ficando o SA INOP.	2	4	8	2	3	6
2.2 Trem de Rodagem														
2.2.3 Suspensão														
1 Diminuir as vibrações entre as rodas e os eixos motrizes	A As vibrações não são diminuídas	1	União da suspensão danificada	Número de horas de serviço	As vibrações não são dissipadas.	A viatura não possui estabilidade, levando a uma maior desgaste dos componentes associados.	Substituição das partes danificadas.	A viatura não tem estabilidade na direção o que leva a que o SA fique INOP.	2	2	4			
2.2.4 Cubo da roda														
1 Fazer a conexão entre o diferencial, suspensão e as rodas	A Não fazer a conexão	1	Desgaste dos componentes	Uso em terreno acidentado	Devido ao desgaste a conexão não é feita de forma eficiente	Sem uma conexão eficiente existe uma perda de rendimento e pode levar ao travamento total ou parcial da roda associada ao cubo	Substituição do cubo da roda.	Perda de rendimento da viatura, podendo levar ao desgaste de outros componentes associados ao cubo da roda. Em caso extremo se o problema se verificar em todos os 8 cubos da roda o SA fica INOP.	2	3	6	1	3	3
		2	Fuga de óleo	Uso em terreno acidentado Número de horas de serviço	Devido ao desgaste de componentes o cubo da roda perde óleo de lubrificação	Pode ocorrer sobreaquecimento do cubo da roda, podendo em caso extremo levar à deflagração de um incêndio	Substituição do cubo da roda.	Desgaste de outros componentes associados ao cubo da roda. Em caso extremo se o problema se verificar em todos os 8 cubos da roda o SA fica INOP.	2	3	6	1	3	3
3. Sistema Hidraulico														

3.3 Bloco de válvulas de comando																
1	Controlar o fluxo de óleo do sistema hidráulico	A	O bloco de válvulas não consegue controlar o fluxo de óleo	1	Corrosão	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A corrosão no bloco de válvulas leva a degradação precoce dos componentes.	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	4	4	16	4	2	8
				2	Acumulação de resíduos	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento do bloco de válvulas.	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	4	4	16	4	2	8
				3	Fuga de óleo	Número de horas de serviço Degradação dos vedantes	A degradação dos vedantes ou o número de horas de serviço pode originar perdas de óleo e consequentemente a perda de pressão no bloco de válvulas	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas ou dos vedantes.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	4	4	16	4	2	8
3.5 Tubagens e Mangueiras																
1	Transportar sem fugas o óleo pelo sistema hidráulico	A	Existência de fugas no circuito do sistema hidráulico	1	Fuga nas tubagens	Degradação do material Óleo contaminado	O óleo contaminado pode acelerar a degradação do material das tubagens originando fissuras nas mesmas.	Perda de pressão no circuito hidráulico.	Substituição das tubagens e mangueiras.	Circuito hidráulico INOP, reduzindo a capacidade do SA.	2	4	8	2	3	6
				2	Fuga nas conexões	Juntas defeituosas Conexões soltas Desgaste dos parafusos de fixação	Perda de óleo pelas conexões.	Perda de pressão no circuito hidráulico.	Substituição das tubagens e mangueiras.	Circuito hidráulico INOP, reduzindo a capacidade do SA.	2	4	8	2	3	6
4. Sistema de Aquecimento e Arrefecimento																
4.1 Sistema de Refrigeração																
4.1.1 Conjunto da bomba de água																
4.1.1.1 Bomba de água																
1	Fazer circular o líquido refrigerante pelos 2 circuitos do sistema de refrigeração	A	Líquido refrigerante não circula pelos circuitos do sistema de refrigeração.	1	Rotura da correia trapezoidal	Degradação da borracha em condições de serviço (condições de funcionamento difíceis ou existência de óleo da correia) Instalação incorreta Desalinhamento da polia Tensão incorreta	Com o tempo de utilização em serviço, com a exposição a temperaturas elevadas e a intempérie, a borracha da correia trapezoidal vai sendo degradada, acabando eventualmente por partir.	A bomba de água não entra em funcionamento e o líquido refrigerante não circula pelos circuitos de refrigeração. Dá-se o sobreaquecimento do bloco do motor, do óleo da transmissão automática, do óleo hidráulico e do óleo de lubrificação dos eixos motrizes e da caixa de transferência. Acendem as luzes de emergência de fluido e de emergência de transmissão no painel de luzes de controlo e emergência, bem como é registada a subida da temperatura do bloco do motor no indicador próprio.	A substituição da correia tem um custo associado de 14,62 euros e um tempo médio de reparação de 40 minutos.	O sobreaquecimento do motor vai provocar danos na junta do cabeçote do motor e nos cilindros. O sobreaquecimento do óleo hidráulico vai provocar a inoperacionalidade do sistema hidráulico e em suma vai por em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão. No caso de os sistemas de aviso de temperatura falharem pode dar-se um incêndio no motor.	3	4	12	3	3	9
				2	Deposição de resíduos	Líquido refrigerante contaminado Líquido refrigerante inadequado Utilização de líquidos refrigerantes com composições químicas diferentes	A utilização de líquidos refrigerantes contaminados ou incompatíveis com o material da bomba pode levar à deposição de detritos e resíduos na superfície da bomba.	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento da bomba de água e impedir o normal funcionamento dos seus constituintes.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros e um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	Pode provocar a incapacidade da bomba de fazer circular o líquido refrigerante com as consequências acima referidas.	3	4	12	3	3	9
				3	Corrosão	Líquido refrigerante inadequado Líquido refrigerante contaminado	A utilização de líquidos refrigerantes contaminados ou incompatíveis com o material da bomba pode corroer a superfície da bomba.	A corrosão das aletas da bomba de água impede a movimentação (circulação) do líquido refrigerante.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	Pode provocar a incapacidade da bomba de fazer circular o líquido refrigerante, o que vai originar sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências acima referidas.	3	4	12	3	3	9
				4	Cavitação	Líquido refrigerante inadequado (falta de aditivo anti cavitação ou aditivo inadequado)	A utilização de líquidos refrigerantes com aditivo anti cavitação inadequado pode originar o desgaste da superfície da bomba.	As zonas degradadas podem posteriormente corroer e afetar a capacidade da bomba de funcionar corretamente.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros.	A corrosão sofrida após a cavitação pode afetar a bomba de tal forma que esta fica impedida de movimentar o líquido refrigerante, o que vai levar ao sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências já referidas	3	4	12	3	3	9
				5	Desgaste do rolamento, veio e polia	Correia trapezoidal com tensão não adequada Nº elevado de horas de serviço	Uma correia mal montada ou com tensão desadequada vai provocar sobrecargas ou excesso de vibrações no veio e nos rolamentos da bomba de água.	O veio e os rolamentos vão sofrer um desgaste acelerado em virtude dessas sobrecargas.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros.	Incapacidade da bomba de água em fazer circular o líquido refrigerante, que pode levar ao sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências acima mencionadas.	3	4	12	3	3	9

	B	Perda de estanquidade	1	Degradação do vedante	Funcionamento em seco (sem líquido refrigerante)  Montagem incorreta do vedante  Uso do vedante inapropriado  Líquido refrigerante contaminado	O funcionamento na ausência de líquido refrigerante, a montagem incorreta ou o uso de um vedante inapropriado podem levar ao desgaste prematuro do material dos vedantes (borracha) e a ocorrência de fugas.	As fugas de líquido refrigerante podem entrar em contacto com os rolamentos da bomba de água levando à sua degradação.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	A degradação dos rolamentos pode levar à imobilização da bomba e consequente incapacidade em fazer circular o líquido refrigerante.	3	4	12	3	3	9	
4.1.2 Sistema de refrigeração por circulação de líquido no grupo de alimentação																
4.1.2.5 Mangueiras e tubagens																
1	Transportar sem fugas o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração no grupo de alimentação.	A	Existência de fugas no circuito de refrigeração no grupo de alimentação.	1	Abraçadeira em falta	Erro humano  Desgaste do parafuso de fixação	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reposição de uma abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo médio de reparação é de 2H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	2	3	6	1	2	2
				2	Abraçadeira desapertada	Erro humano  Desgaste do parafuso de fixação	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	2	3	6	1	2	2
				3	Degradação dos vedantes da ligação MK e das válvulas de interrupção	Líquido refrigerante contaminado  Montagem incorreta dos vedantes	A degradação da borracha dos vedantes das ligações MK e das válvulas de interrupção do circuito vai provocar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de um vedante das torneiras pode variar entre 1,35 e 9,9 euros, consoante o tipo de vedante e o tempo médio de reparação é de 1h45.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	2	3	6	2	2	4
				4	Ligação MK desapertada	Desgaste do trancador  Erro humano	A montagem incorreta ou o a incapacidade do trancador das ligações rápidas em fechar completamente vai originar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma ligação MK varia dos 28,17 euros (no caso da torneira apenas) até aos 94,44 euros (no caso da substituição do Quick coupling set completo) e o tempo médio de reparação é de uma 1H45	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	2	3	6	2	2	4
				5	Tubo solto	Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada  Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e mangueiras pode levar a que estes se soltem e que o líquido refrigerante saia do circuito de refrigeração.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	2	3	6	2	2	4
				6	Tubo com fissura	Abrasão por contacto com outros componentes  Líquido refrigerante contaminado  Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e mangueiras pode levar à sua degradação e ao consequente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma mangueira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	2	3	6	2	2	4
		B	Incapaz de transportar o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração no grupo de alimentação.	1	Tubos e mangueiras entupidos	Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de resíduos no interior das mangueiras e tubos do circuito de refrigeração pode levar à obstrução da passagem do líquido refrigerante.	O líquido refrigerante não circula e consequentemente não cumpre a sua função de arrefecimento. Nenhum sinal é emitido que permita detetar o entupimento.	A reparação desta falha tem um custo baixo e um tempo médio de reparação de 3H40.	No caso de o entupimento não ser detetado e o líquido refrigerante não circular vai ocorrer o sobreaquecimento do bloco do motor, dos óleos da caixa de transferência, da transmissão automática e sistema hidráulico, com as respetivas consequências para a viatura. Neste caso é dado o aviso através da luz de emergência de fluido e da luz de emergência de transmissão bem como é registado o aumento da temperatura do motor.	2	3	6	2	2	4

2	Interromper a passagem de líquido refrigerante no circuito de refrigeração no grupo de alimentação	A	Incapaz de interromper ou restabelecer a passagem de líquido refrigerante no circuito	1	Válvula de interrupção presa	Desgaste Erro de montagem Corrosão	A incapacidade da válvula em abrir ou fechar resulta na incapacidade em interromper e reabrir a passagem de líquido de refrigeração no circuito.	Torna-se impossível efetuar a purga de líquido refrigerante. Não há qualquer sinal da ocorrência da falha.	O custo de substituição de uma válvula de interrupção é da ordem dos 20 euros e um tempo médio de reparação de 1H40.	No caso de ser impossível efetuar a purga torna-se impossível efetuar uma análise ao líquido de refrigeração.	2	3	6	2	2	4
4.1.3 Sistema de refrigeração por circulação de líquido no casco																
4.1.3.2 Mangueiras e tubagens																
1	Transportar sem fugas o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração pequeno no casco	A	Existência de fugas no circuito de refrigeração pequeno no casco	1	Abraçadeira em falta	Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reposição de uma abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo médio de reparação é de 2H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	2	3	6	1	2	2
				2	Abraçadeira desapertada	Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	2	3	6	1	2	2
				3	Degradação dos vedantes da ligação MK e das válvulas de interrupção	Líquido refrigerante contaminado Montagem incorreta dos vedantes	A degradação da borracha dos vedantes das ligações MK e das válvulas de interrupção do circuito vai provocar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de um vedante das torneiras pode variar entre 1,35 e 9,9 euros, consoante o tipo de vedante e o tempo médio de reparação é de 1h45.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	2	3	6	2	2	4
				4	Ligação MK desapertada	Desgaste do trancador Erro humano	A montagem incorreta ou a incapacidade do trancador das ligações rápidas em fechar completamente vai originar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma ligação MK varia dos 28,17 euros (no caso da torneira apenas) até aos 94,44 euros (no caso da substituição do Quick coupling set completo) e o tempo médio de reparação é de uma 1H45	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	2	3	6	2	2	4
				5	Tubo solto	Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e mangueiras pode levar a que estes se soltem e que o líquido refrigerante saia do circuito de refrigeração.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	2	3	6	2	2	4
				6	Tubo com fissura	Abrasão por contacto com outros componentes Líquido refrigerante contaminado Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e mangueiras pode levar à sua degradação e ao conseqüente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma mangueira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	2	3	6	2	2	4
		B	Incapaz de transportar o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração pequeno no casco	1	Tubos e mangueiras entupidos	Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de resíduos no interior das mangueiras e tubos do circuito de refrigeração pode levar à obstrução da passagem do líquido refrigerante.	O líquido refrigerante não circula e consequentemente não cumpre a sua função de arrefecimento. Nenhum sinal é emitido que permita detetar o entupimento.	A reparação desta falha tem um custo baixo e um tempo médio de reparação de 3H40.	No caso de o entupimento não ser detetado e o líquido refrigerante não circular vai ocorrer o sobreaquecimento do bloco do motor, dos óleos da caixa de transferência, da transmissão automática e sistema hidráulico, com as respetivas conseqüências para a viatura. Neste caso é dado o aviso através da luz de emergência de fluido e da luz de emergência de transmissão bem como é registado o aumento da temperatura do motor.	2	3	6	2	2	4

2	Interromper a passagem de líquido refrigerante no circuito	A	Incapaz de interromper ou restabelecer a passagem de líquido refrigerante no circuito	1	Válvula de interrupção presa	Desgaste Erro de montagem Corrosão	A incapacidade da válvula em abrir ou fechar resulta na incapacidade em interromper e reabrir a passagem de líquido de refrigeração no circuito.	Torna-se impossível efetuar a purga de líquido refrigerante. Não há qualquer sinal da ocorrência da falha.	O custo de substituição de uma válvula de interrupção é da ordem dos 20 euros e um tempo médio de reparação de 1H40.	No caso de ser impossível efetuar a purga torna-se impossível efetuar uma análise ao líquido de refrigeração.	2	3	6	2	2	4
4.3 Ventilação e Ar-Condicionado																
4.3.1 Compressor AC																
1	Transferir calor do refrigerante para o ar externo	A	Não existem trocas de calor	1	Aletas obstruídas	Líquido refrigerante contaminado Ambiente operacional com pó	As aletas ficam obstruídas impedindo o correto funcionamento do compressor.	Não existem trocas de calor entre o líquido e o ar externo.	Substituição das aletas.	Não é possível arrefecer a viatura o que em climas quentes pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	3	1	3			
				2	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Ambiente operacional corrosivo	A corrosão do compressor impede o seu correto funcionamento.	Não existem trocas de calor entre o líquido e o ar externo.	Substituição do compressor.	Não é possível arrefecer a viatura o que em climas quentes pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	3	1	3			
4.3.2 União e Ligações																
1	Transportar sem fugas o ar da ventilação e AC	A	Existência de fugas no circuito.	1	Abraçadeira em falta	Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga no circuito.	A fuga no circuito pode provocar uma perda de rendimento da ventilação e AC.	Reposição da abraçadeira.	A ventilação do interior do SA não ocorre ou não se dá o arrefecimento do mesmo, comprometendo a saúde e bem-estar da guarnição.	3	1	3			
				2	Abraçadeira desapertada	Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga no circuito.	A fuga no circuito pode provocar uma perda de rendimento da ventilação e AC.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	A ventilação do interior do SA não ocorre ou não se dá o arrefecimento do mesmo, comprometendo a saúde e bem-estar da guarnição.	3	1	3			
				3	Tubo solto	Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e manguieras pode levar a que estes se soltem e que exista fugas no circuito.	A fuga no circuito pode provocar uma perda de rendimento da ventilação e AC.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	A ventilação do interior do SA não ocorre ou não se dá o arrefecimento do mesmo, comprometendo a saúde e bem-estar da guarnição.	3	1	3			
				4	Tubo com fissura	Abrasão por contacto com outros componentes Líquido refrigerante contaminado Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e manguieras pode levar à sua degradação e ao consequente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga no circuito.	A fuga no circuito pode provocar uma perda de rendimento da ventilação e AC.	O custo de substituição de uma mangueira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	A ventilação do interior do SA não ocorre ou não se dá o arrefecimento do mesmo, comprometendo a saúde e bem-estar da guarnição.	3	1	3			

Referência		Avaliação da						Avaliação da estratégia de gestão do risco							Descrição da estratégia de gestão do risco	Descrição de tarefas					
F	FS	FM	1	ES HS	EE HE	EO	HP1 HO1 EP1 EO1 ET1	HP2 HO2 EP2 EO2 ET2	HP3 HO3 EP3 EO3 ET3	HP4	HP5	HO4	EP4	EP5	EO4	INT. INICIAL DE TAREFAS	UM	ID. PESS.	QTD	Duração	Tipo de Mod.
<b>Mangueiras de admissão de ar</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	N	S						Substituir quando necessário. Efetuar verificações periódicas do estado das mangueiras de admissão de ar.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
1	A	2	S	N	N	N	N	N	S						Substituir quando necessário. Efetuar verificações periódicas do estado das mangueiras de admissão de ar.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
<b>Filtro de combustível</b>																					
1	A	1	S	N	N	S	S								Fazer a limpeza do filtro. Substituir quando necessário.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
<b>Caixa de velocidades</b>																					
1	A	1	S	N	N	S	N	S							Aquisição de sobressalentes após 6 anos de funcionamento ou 1500 HM. Manutenção sob-condição.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	2	P
<b>Cubo da roda</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	S							Verificar folgas cubos da roda	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S							Verificar a qualidade e o nível de óleo dos cubos da roda.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	2	P
<b>Bloco de válvulas de comando</b>																					
1	A	1	S	N	N	S	S								Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
1	A	2	S	N	N	S	S								Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
1	A	3	S	N	N	S	S								Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
<b>Tubagens e mangueiras</b>																					
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S						Verificar o estado das tubagens e mangueiras. Substituir em caso de deterioração.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S						Verificar o estado das tubagens e mangueiras. Substituir em caso de deterioração.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
<b>Bomba de água</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	S							Aquisição de sobressalentes após 4 anos de funcionamento ou 1000 HM. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
1	A	2	S	N	N	S	N	N					S		Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
1	A	3	S	N	N	S	N	N					S		Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
1	A	4	S	N	N	S	N	N					S		Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
1	A	5	S	N	N	S	N	N					S		Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
1	B	1	S	N	N	N	N	N							Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
<b>Mangueiras e tubagens</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	S								Realizar verificações periódicas do estado das mangueiras e tubagens	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	A	2	S	N	N	N	S								Realizar verificações periódicas do estado das mangueiras e tubagens	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	A	3	S	N	N	N	N	N	S						Substituição programada	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	1,75	P
1	A	4	S	N	N	N	N	N	S						Substituição programada	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	1,75	P
1	A	5	S	N	N	N	N	N	N						Reparar quando falhar	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	3,75	P
1	A	6	S	N	N	N	S								Realizar verificações periódicas do estado das mangueiras e tubagens	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
1	B	1	S	N	N	N	N	N	N				S		Reparar quando falhar	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	4	P
2	A	1	S	N	N	N	N	N	N						Substituir quando falhar	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	2	P

Função	Falha Funcional	Modo de Falha		Efeito de Falha				Análise do Risco					
		Causa de Falha	Mecanismo de Falha	Efeito de Falha Local	Efeito no Nível Superior	Efeito Final	Efeito Potencial de Pior Cenário	P	C	R	Pr	Cr	Rr
Pandur II 8x8													
1. Sistema de Potência													
1.2 Sistema de Admissão de Ar													
1.2.3 Soprador de poeiras													
1 Soprar as poeiras e detrito acumulados no sistema de admissão de ar, de forma a prolongar a sua funcionalidade	A Não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar	1 Não chega corrente ao soprador de poeiras	Relé não faz passagem de corrente Bateria não tem carga Instalação incorreta	Com o tempo de utilização o relé que alimenta o soprador de poeiras perde a sua capacidade.	O soprador de poeiras não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar.	Substituição do relé que faz a passagem de corrente para o soprador de poeiras.	O sistema de admissão de ar não admite ar essencial para a combustão incapacitando o SA.	2	1	2			
		2 Degradação dos componentes do soprador de poeiras	Número de horas de serviço	Com o número de utilizações do soprador de poeiras ocorre a degradação dos componentes.	O soprador de poeiras não mantém a operacionalidade do sistema de admissão de ar.	Substituição do soprador de poeiras	O sistema de admissão de ar não admite ar essencial para a combustão incapacitando o SA.	2	1	2			
1.2.4 Turbo													
1 Aumentar o caudal de ar injetado no motor com uma pressão de 1,9 bar	A Perda de potência do compressão de ar	1 Desgaste das pás	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	O desgaste das pás leva a diminuição da capacidade de compressão do ar pelo turbo.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	3	3	9	2	3	6
		2 Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	A acumulação de resíduos no turbo diminui a capacidade de compressão do ar do mesmo, levando a que o caudal de ar injetado no motor não	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	3	3	9	2	3	6
	B Não aumentar o caudal de ar injetado no motor	1 Desgaste das pás	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	O desgaste das pás leva a diminuição da capacidade de compressão do ar pelo turbo.	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	3	4	12	2	4	8
		2 Acumulação de resíduos	Entrada de resíduos Contexto operacional com condições extremas	A acumulação de resíduos no turbo diminui a capacidade de compressão do ar do mesmo, levando a que o caudal de ar injetado no motor não	O rendimento do motor vai diminuir, comprometendo a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura.	Substituição do turbo	O mau funcionamento do turbo pode comprometer a potência do motor e a capacidade de aceleração da viatura podendo levar à inoperacionalidade do SA.	3	4	12	2	4	8
1.3 Sistema de Escape													
1 Evacuar os gases da câmara de combustão para o exterior	A Escape de gases é feito dentro da viatura	1 Coletor com fuga	Desgaste dos parafusos Intempérie	O desgaste dos parafusos leva a fugas no coletor de gases	A fuga no coletor leva à acumulação de gases no interior da viatura.	Substituição ou reparação do coletor de gases	A segurança dos tripulantes fica em risco devido à presença de gases nocivos no interior da viatura	3	3	9	3	2	6
1.4 Sistema de Alimentação de Combustível													
1.4.3. Pré-filtro de combustível													
1 Filtrar o combustível entre o depósito de alimentação de combustível e a bomba de alimentação	A O combustível não é devidamente filtrado	1 Deposição de resíduos	Combustível contaminado Baixa qualidade do combustível	A acumulação de resíduos no pré-filtro faz com que este perca a sua capacidade de filtração.	O combustível chega à câmara de combustão com resíduos devido à filtração deficiente.	Substituição ou limpeza do pré-filtro.	A chegada de combustível não devidamente filtrado à câmara de combustível pode originar uma perda de rendimento do motor, e possivelmente danificar o mesmo	4	3	12	2	3	6
2. Sistema de Transferência de Potência													
2.1 Transmissão Automática													
2.1.3 Caixa de velocidades													
1 Distribuir a potência do motor para o Trem de Rodagem	A A distribuição não é feita de forma eficiente	1 Degradação dos componentes mecânicos	Número de horas de serviço	A degradação dos componentes não permite o correto funcionamento da caixa de velocidades	A distribuição da potência do motor não é corretamente feita para o Trem de Potência	Substituição ou reparação da caixa de velocidades	A viatura fica totalmente ou parcialmente imobilizada perdendo, ficando o SA INOP.	3	4	12	3	3	9
2.2 Trem de Rodagem													
2.2.4 Cubo da roda													
1 Fazer a conexão entre o diferencial, suspensão e as rodas	A Não fazer a conexão	1 Desgaste dos componentes	Uso em terreno acidentado	Devido ao desgaste a conexão não é feita de forma eficiente	Sem uma conexão eficiente existe uma perda de rendimento e pode levar ao travamento total ou parcial da roda associada ao cubo	Substituição do cubo da roda.	Perda de rendimento da viatura, podendo levar ao desgaste de outros componentes associados ao cubo da roda. Em caso extremo se o problema se verificar em todos os 8 cubos da roda o SA fica INOP.	3	3	9	2	3	6
		2 Fuga de óleo	Uso em terreno acidentado Número de horas de serviço	Devido ao desgaste de componentes o cubo da roda perde óleo de lubrificação	Pode ocorrer sobreaquecimento do cubo da roda, podendo em caso extremo levar à deflagração de um incêndio	Substituição do cubo da roda.	Desgaste de outros componentes associados ao cubo da roda. Em caso extremo se o problema se verificar em todos os 8 cubos da roda o SA fica INOP.	3	3	9	2	3	6
2.3 Sistema de Direção													
2.3.1 Rótulas de direção													
1 Alterar a direção da viatura	A Não é possível alterar a direção da viatura	1 Acumulação de resíduos	Circulação em terreno com pó	A acumulação de pó não permite o funcionamento das rótulas.	O condutor não consegue manobrar a viatura, ficando a ligação entre o volante e as rodas interrompida.	Substituição das rótulas de direção.	Não é possível manobrar a viatura comprometendo o sucesso da missão e deixando o SA INOP.	3	3	9	2	3	6

			2	Degradação dos componentes	Vibrações não dissipadas	O excesso de vibrações leva à degradação precoce dos componentes.	O condutor não consegue manobrar a viatura, ficando a ligação entre o volante e as rodas interrompida.	Substituição das rótulas de direção.	Não é possível manobrar a viatura comprometendo o sucesso da missão e deixando o SA INOP.	3	3	9	2	3	6	
3. Sistema Hidraulico																
3.3 Bloco de válvulas de comando																
1	Controlar o fluxo de óleo do sistema hidráulico	A	O bloco de válvulas não consegue controlar o fluxo de óleo	1	Corrosão	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A corrosão no bloco de válvulas leva à degradação precoce dos componentes.	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	3	4	12	3	2	6
				2	Acumulação de resíduos	Óleo contaminado Baixa qualidade do óleo	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento do bloco de válvulas.	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	3	4	12	3	2	6
				3	Fuga de óleo	Número de horas de serviço Degradação dos vedantes	A degradação dos vedantes ou o número de horas de serviço pode originar perdas de óleo e consequentemente a perda de pressão	O bloco de válvulas deixa de conseguir controlar o fluxo de óleo incapacitando o sistema hidráulico.	Substituição do bloco de válvulas ou dos vedantes.	Sem o sistema hidráulico não é possível operar o SA em plenas condições comprometendo a missão.	3	4	12	3	2	6
3.5 Tubagens e Mangueiras																
1	Transportar sem fugas o óleo pelo sistema hidráulico	A	Existência de fugas no circuito do sistema hidráulico	1	Fuga nas tubagens	Degradação do material Óleo contaminado	O óleo contaminado pode acelerar a degradação do material das tubagens originando fissuras nas mesmas.	Perda de pressão no circuito hidráulico.	Substituição das tubagens e mangueiras.	Circuito hidráulico INOP, reduzindo a capacidade do SA.	2	4	8	2	3	6
				2	Fuga nas conexões	Juntas defeituosas Conexões soltas Desgaste dos parafusos de fixação	Perda de óleo pelas conexões.	Perda de pressão no circuito hidráulico.	Substituição das tubagens e mangueiras.	Circuito hidráulico INOP, reduzindo a capacidade do SA.	2	4	8	2	3	6
4. Sistema de Aquecimento e Arrefecimento																
4.1 Sistema de Refrigeração																
4.1.1 Conjunto da bomba de água																
4.1.1.1 Bomba de água																
1	Fazer circular o líquido refrigerante pelos 2 circuitos do sistema de refrigeração	A	Líquido refrigerante não circula pelos circuitos do sistema de refrigeração.	1	Rotura da correia trapezoidal	Degradação da borracha em condições de serviço (condições de funcionamento difíceis ou existência de óleo da correia) Instalação incorreta Desalinhamento da polia Tensão incorreta	Com o tempo de utilização em serviço, com a exposição a temperaturas elevadas e a intempérie, a borracha da correia trapezoidal vai sendo degradada, acabando eventualmente por partir.	A bomba de água não entra em funcionamento e o líquido refrigerante não circula pelos circuitos de refrigeração. Dá-se o sobreaquecimento do bloco do motor, do óleo da transmissão automática, do óleo hidráulico e do óleo de lubrificação dos eixos motrizes e da caixa de transferência. Acendem as luzes de emergência de fluido e de emergência de transmissão no painel de luzes de controlo e emergência, bem como é registada a subida da temperatura do bloco do motor no indicador	A substituição da correia tem um custo associado de 14,62 euros e um tempo médio de reparação de 40 minutos.	O sobreaquecimento do motor vai provocar danos na junta do cabeçote do motor e nos cilindros. O sobreaquecimento do óleo hidráulico vai provocar a inoperacionalidade do sistema hidráulico e em suma vai por em causa a utilização da Pandur em contexto operacional e o cumprimento da sua missão. No caso de os sistemas de aviso de temperatura falharem pode dar-se um incêndio no motor.	2	4	8	2	3	6
				2	Deposição de resíduos	Líquido refrigerante contaminado Líquido refrigerante inadequado Utilização de líquidos refrigerantes com composições químicas diferentes	A utilização de líquidos refrigerantes contaminados ou incompatíveis com o material da bomba pode levar à deposição de detritos e resíduos na superfície da bomba.	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento da bomba de água e impedir o normal funcionamento dos seus constituintes.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros e um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	Pode provocar a incapacidade da bomba de fazer circular o líquido refrigerante com as consequências acima referidas.	2	4	8	2	3	6
				3	Corrosão	Líquido refrigerante inadequado Líquido refrigerante contaminado	A utilização de líquidos refrigerantes contaminados ou incompatíveis com o material da bomba pode corroer a superfície da bomba.	A corrosão das aletas da bomba de água impede a movimentação (circulação) do líquido refrigerante.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	Pode provocar a incapacidade da bomba de fazer circular o líquido refrigerante, o que vai originar sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências acima referidas.	2	4	8	2	3	6
				4	Cavitação	Líquido refrigerante inadequado (falta de aditivo anti cavitação ou aditivo inadequado)	A utilização de líquidos refrigerantes com aditivo anti cavitação inadequado pode originar o desgaste da superfície da bomba.	As zonas degradadas podem posteriormente corroer e afetar a capacidade da bomba de funcionar corretamente.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros.	A corrosão sofrida após a cavitação pode afetar a bomba de tal forma que esta fica impedida de movimentar o líquido refrigerante, o que vai levar ao sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências já referidas	2	4	8	2	3	6
				5	Desgaste do rolamento, veio e polia	Correia trapezoidal com tensão não adequada Nº elevado de horas de serviço	Uma correia mal montada ou com tensão desadequada vai provocar sobrecargas ou excesso de vibrações no veio e nos rolamentos da bomba de água.	O veio e os rolamentos vão sofrer um desgaste acelerado em virtude dessas sobrecargas.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros.	Incapacidade da bomba de água em fazer circular o líquido refrigerante, que pode levar ao sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração com as consequências acima mencionadas.	2	4	8	2	3	6

	B	Perda de estanquicidade	1	Degradação do vedante	Funcionamento em seco (sem líquido refrigerante)  Montagem incorreta do vedante  Uso do vedante inadequado  Líquido refrigerante contaminado	O funcionamento na ausência de líquido refrigerante, a montagem incorreta ou o uso de um vedante inadequado podem levar ao desgaste prematuro do material dos vedantes (borracha) e a ocorrência de fugas.	As fugas de líquido refrigerante podem entrar em contacto com os rolamentos da bomba de água levando à sua degradação.	A substituição da bomba de água implica um custo entre 60 a 80 euros um tempo médio de reparação de cerca de 2 horas.	A degradação dos rolamentos pode levar à imobilização da bomba e consequente incapacidade em fazer circular o líquido refrigerante.	2	4	8	2	3	6
4.1.2 Sistema de refrigeração por circulação de líquido no grupo de alimentação															
4.1.2.5 Mangueiras e tubagens															
1	Transportar sem fugas o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração no grupo de alimentação.	A	Existência de fugas no circuito de refrigeração no grupo de alimentação.	1	Abraçadeira em falta	Erro humano  Desgaste do parafuso de fixação	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reposição de uma abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo médio de reparação é de 2H.	No caso de uma fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	1	3	3		
				2	Abraçadeira desapertada	Erro humano  Desgaste do parafuso de fixação	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	No caso de uma fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	1	3	3		
				3	Degradação dos vedantes da ligação MK e das válvulas de interrupção	Líquido refrigerante contaminado  Montagem incorreta dos vedantes	A degradação da borracha dos vedantes das ligações MK e das válvulas de interrupção do circuito vai provocar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de um vedante das torneiras pode variar entre 1,35 e 9,9 euros, consoante o tipo de vedante e o tempo médio de reparação é de 1h45.	No caso de uma fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	1	3	3		
				4	Ligação MK desapertada	Desgaste do trancador  Erro humano	A montagem incorreta ou a incapacidade do trancador das ligações rápidas em fechar completamente vai originar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma ligação MK varia dos 28,17 euros (no caso da torneira apenas) até aos 94,44 euros (no caso da substituição do Quick coupling set completo) e o tempo médio de reparação é de uma	No caso de uma fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	1	3	3		
				5	Tubo solto	Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada  Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e mangueiras pode levar a que estes se soltem e que o líquido refrigerante saia do circuito de refrigeração.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	No caso de uma fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	1	3	3		
				6	Tubo com fissura	Abração por contacto com outros componentes  Líquido refrigerante contaminado  Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e mangueiras pode levar à sua degradação e ao consequente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma mangueira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	No caso de uma fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	1	3	3		
		B	Incapaz de transportar o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração no grupo de alimentação.	1	Tubos e mangueiras entupidos	Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de resíduos no interior das mangueiras e tubos do circuito de refrigeração pode levar à obstrução da passagem do líquido refrigerante.	O líquido refrigerante não circula e consequentemente não cumpre a sua função de arrefecimento. Nenhum sinal é emitido que permita detetar o entupimento.	A reparação desta falha tem um custo baixo e um tempo médio de reparação de 3H40.	No caso de o entupimento não ser detetado e o líquido refrigerante não circular vai ocorrer o sobreaquecimento do bloco do motor, dos óleos da caixa de transferência, da transmissão automática e sistema hidráulico, com as respetivas consequências para a viatura. Neste caso é dado o aviso através da luz de emergência de fluido e da luz de emergência de transmissão bem como é registado o aumento da	1	3	3		
2	Interromper a passagem de líquido refrigerante no circuito de refrigeração no grupo de alimentação	A	Incapaz de interromper ou restabelecer a passagem de líquido refrigerante no circuito	1	Válvula de interrupção presa	Desgaste  Erro de montagem  Corrosão	A incapacidade da válvula em abrir ou fechar resulta na incapacidade em interromper e reabrir a passagem de líquido de refrigeração no circuito.	Torna-se impossível efetuar a purga de líquido refrigerante.  Não há qualquer sinal da ocorrência da falha.	O custo de substituição de uma válvula de interrupção é da ordem dos 20 euros e um tempo médio de reparação de	No caso de ser impossível efetuar a purga torna-se impossível efetuar uma análise ao líquido de refrigeração.	1	3	3		

4.1.2.9 Radiador																
1	Arrefecer o líquido refrigerante garantindo que a sua temperatura é inferior a 105 °C	A	O líquido refrigerante atinge uma temperatura superior a 105 °C	1	Sujidade no Radiador	Circulação em terreno com pó Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de sujidade e resíduos no radiador vai diminuir a sua capacidade de trocar calor e de arrefecer o líquido refrigerante.	O radiador perde capacidade de arrefecer o líquido refrigerante, levando ao sobreaquecimento do motor e dos óleos por ele refrigerados. Acendem as luzes de emergência de fluido e de emergência de transmissão no painel de luzes de controlo e emergência, bem como é registada a subida da temperatura do bloco do motor no indicador próprio.	A limpeza do radiador tem um baixo custo, associado apenas a mão-de-obra e um tempo de execução de cerca de 30 minutos.	Sobreaquecimento do motor e do óleos, possíveis danos na junta do cabeçote do motor e nos cilindros. Inoperacionalidade do sistema hidráulico colocando e causa o desempenho operacional da viatura.	4	3	12	3	3	9
				2	Parafusos danificados	Erro de montagem Circulação em terreno acidentado Corrosão	Os parafusos danificados levam a que o radiador se solte ou adquira um posicionamento incorreto.	Pode levar a fugas originadas pelo posicionamento/montagem incorreta do radiador o que poderá prejudicar o seu funcionamento e levar ao sobreaquecimento do líquido refrigerante	O custo de substituição dos parafusos é muito baixo e um tempo de reparação de cerca de uma hora.	O radiador poder-se-á soltar inoperacionalizando todo o sistema de refrigeração e possivelmente outros componentes.	4	3	12	3	3	9
				3	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Intempérie	A formação de corrosão na superfície do radiador pode originar fendas e afetar a capacidade do radiador de arrefecer o líquido refrigerante.	As fendas podem originar fugas de líquido refrigerante e a diminuição da capacidade de trocar calor do radiador pode resultar num sobreaquecimento do líquido refrigerante. Não existe nenhum sinal da ocorrência da falha.	O custo de substituição do radiador é da ordem dos 100 euros e tem um tempo médio de execução de cerca de	O sobreaquecimento do líquido refrigerante pode levar ao consequente sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração.	4	3	12	4	2	8
				4	Alhetas danificadas	Circulação em terreno acidentado	Com a circulação em terreno acidentado fruto da utilização operacional da viatura podem existir choques com pedras e objetos que podem danificar a superfície das alhetas do radiador, diminuindo a	O radiador vai perder capacidade de arrefecer o líquido refrigerante, podendo levar ao seu sobreaquecimento. Não há indicação da ocorrência desta falha.	O custo de substituição do radiador é da ordem dos 100 euros e tem um tempo médio de execução de cerca de 1H20.	Os danos são de tal extensão que não permitem ao radiador arrefecer de forma conveniente o líquido refrigerante originando o sobreaquecimento do motor e dos óleos arrefecidos pelo sistema de refrigeração.	4	3	12	4	2	8
				5	Fixador partido	Circulação em terreno acidentado Corrosão	O fixador partido pode levar a que o radiador se solte ou adquira um posicionamento incorreto.	Pode levar a fugas originadas pelo posicionamento/montagem incorreta do radiador e poderá prejudicar também o seu funcionamento e levar ao sobreaquecimento do líquido refrigerante.	O custo de substituição do fixador é da ordem dos 20 euros e demora cerca de 1H30 a executar.	O radiador poder-se-á soltar inoperacionalizando todo o sistema de refrigeração e possivelmente outros componentes.	4	3	12	3	3	9
4.1.3 Sistema de refrigeração por circulação de líquido no casco																
4.1.3.2 Mangueiras e tubagens																
1	Transportar sem fugas o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração pequeno no casco	A	Existência de fugas no circuito de refrigeração pequeno no casco	1	Abraçadeira em falta	Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	A ausência de abraçadeira provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reposição de uma abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo médio de reparação é de 2H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	1	3	3			
				2	Abraçadeira desapertada	Erro humano Desgaste do parafuso de fixação	Uma abraçadeira desapertada provoca folgas nas uniões dos tubos, que levam à fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de reaperto de uma abraçadeira é praticamente nulo. O custo associado a uma eventual substituição da abraçadeira é de cerca de 1 euro e o tempo de reparação é de 40 minutos.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido.	1	3	3			
				3	Degradação dos vedantes da ligação MK e das válvulas de interrupção	Líquido refrigerante contaminado Montagem incorreta dos vedantes	A degradação da borracha dos vedantes das ligações MK e das válvulas de interrupção do circuito vai provocar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de um vedante das torneiras pode variar entre 1,35 e 9,9 euros, consoante o tipo de vedante e o tempo médio de reparação é de 1h45.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	1	3	3			
				4	Ligação MK desapertada	Desgaste do trancador Erro humano	A montagem incorreta ou a incapacidade do trancador das ligações rápidas em fechar completamente vai originar fugas de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, mangueiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma ligação MK varia dos 28,17 euros (no caso da torneira apenas) até aos 94,44 euros (no caso da substituição do Quick coupling set completo) e o tempo médio de reparação é de uma	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	1	3	3			

			5	Tubo solto	Rosca de aperto dos adaptadores de fixação danificada Montagem incorreta	A incorreta fixação (ou a perda da capacidade de fixação) dos tubos e manguieiras pode levar a que estes se soltem e que o líquido refrigerante saia do circuito de refrigeração.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, manguieiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo da fixação de uma tubagem é baixo e o seu tempo médio de reparação é de 1H.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	1	3	3			
			6	Tubo com fissura	Abrasão por contacto com outros componentes Líquido refrigerante contaminado Elevado número de horas em serviço sujeito a altas temperaturas	O desgaste do material dos tubos e manguieiras pode levar à sua degradação e ao conseqüente aparecimento de fissuras pelas quais se vai dar a fuga de líquido refrigerante.	A fuga de líquido refrigerante pode provocar danos em outros tubos, manguieiras e componentes da viatura. Não há indicadores de aviso da fuga.	O custo de substituição de uma manguieira é de 27,14 euros e o seu tempo médio de reparação é de 3H40.	No caso de a fuga não ser detetada pode levar à inoperacionalidade do sistema de refrigeração por falta de líquido refrigerante. Neste caso é emitido um aviso, através da luz de emergência de fluido	1	3	3			
	B	Incapaz de transportar o líquido refrigerante pelo circuito de refrigeração pequeno no casco	1	Tubos e manguieiras entupidos	Líquido refrigerante contaminado	A acumulação de resíduos no interior das manguieiras e tubos do circuito de refrigeração pode levar à obstrução da passagem do líquido refrigerante.	O líquido refrigerante não circula e conseqüentemente não cumpre a sua função de arrefecimento. Nenhum sinal é emitido que permita detetar o entupimento.	A reparação desta falha tem um custo baixo e um tempo médio de reparação de 3H40.	No caso de o entupimento não ser detetado e o líquido refrigerante não circular vai ocorrer o sobreaquecimento do bloco do motor, dos óleos da caixa de transferência, da transmissão automática e sistema hidráulico, com as respetivas conseqüências para a viatura. Neste caso é dado o aviso através da luz de emergência de fluido e da luz de emergência de transmissão bem como é registado o aumento da	1	3	3			
2	A	Interromper a passagem de líquido refrigerante no circuito	1	Válvula de interrupção presa	Desgaste Erro de montagem Corrosão	A incapacidade da válvula em abrir ou fechar resulta na incapacidade em interromper e reabrir a passagem de líquido de refrigeração no circuito.	Torna-se impossível efetuar a purga de líquido refrigerante. Não há qualquer sinal da ocorrência da falha.	O custo de substituição de uma válvula de interrupção é da ordem dos 20 euros e um tempo médio de reparação de	No caso de ser impossível efetuar a purga torna-se impossível efetuar uma análise ao líquido de refrigeração.	1	3	3			
4.2 Sistema de Aquecimento															
4.2.1 Unidade de aquecimento de água															
1	A	Aquecer a água do sistema de aquecimento	1	Falha em aquecer a água	Acumulação de resíduos Baixa qualidade do combustível Combustível contaminado	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento o que não permite que o combustível chegue ao queimador.	A unidade de aquecimento de água não consegue aquecer a água.	Substituição ou reparação da unidade de aquecimento de água.	O interior da viatura não é aquecido colocando em risco o bem-estar e em condições extremas a vida dos operadores.	3	2	6	3	1	3
	B	Sobreaquecimento da água	1	Aquecedor não desliga	Termostato defeituoso Falha nos sensores de temperatura	O aquecedor não desliga o que leva ao sobreaquecimento da água.	A elevadas temperaturas da água podem causar danos ao sistema de aquecimento e coloca em perigo os operadores.	Substituição ou reparação da unidade de aquecimento de água.	O sistema de aquecimento fica INOP, colocando em risco o bem-estar e em condições extremas a vida dos operadores.	3	2	6	3	1	3
2	A	Pré-aquecer o motor em clima frio	1	Falha em pré-aquecer o motor	Acumulação de resíduos Baixa qualidade do combustível Combustível contaminado	A acumulação de resíduos pode levar ao entupimento o que não permite que o combustível chegue ao queimador.	A unidade de aquecimento de água não consegue aquecer a água e conseqüentemente pré-aquecer o motor	Substituição ou reparação da unidade de aquecimento de água.	O motor não é pré-aquecido o que se traduz em dificuldade em ligar o motor resultando em maior desgaste do mesmo.	3	4	12	3	3	9
	B	Sobreaquecimento do motor	1	Aquecedor não desliga	Termostato defeituoso Falha nos sensores de temperatura	O aquecedor não desliga o que leva ao sobreaquecimento da motor.	O motor atinge temperaturas excessivas antes de iniciar.	Substituição ou reparação da unidade de aquecimento de água.	O pré-aqueciemnto excessivo pode causar danos aos componentes do motor, e ao sistema de refrigeração.	3	4	12	3	3	9
4.3 Ventilação e Ar-Condicionado															
4.3.1 Compressor AC															
1	A	Transferir calor do refrigerante para o ar externo	1	Aletas obstruídas	Líquido refrigerante contaminado Ambiente operacional com pó	As aletas ficam obstruídas impedindo o correto funcionamento do compressor.	Não existem trocas de calor entre o líquido e o ar externo.	Substituição das aletas.	Não é possível arrefecer a viatura o que em climas quentes pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	2	1	2			
			2	Corrosão	Líquido refrigerante contaminado Ambiente operacional corrosivo	A corrosão do compressor impede o seu correto funcionamento.	Não existem trocas de calor entre o líquido e o ar externo.	Substituição do compressor.	Não é possível arrefecer a viatura o que em climas quentes pode comprometer o bem-estar e a saúde da guarnição.	2	1	2			

Referência		Avaliação da						Avaliação da estratégia de gestão do risco							Descrição da estratégia de gestão do risco		Descrição de tarefas				
F	FS	FM	1	ES HS	EE HE	EO	HP1 HO1 EP1 EO1 ET1	HP2 HO2 EP2 EO2 ET2	HP3 HO3 EP3 EO3 ET3	HP4	HP5	HO4	EP4	EP5	EO4	INT. INICIAL DE TAREFAS	UM	ID. PESS.	QTD	Duração	Tipo de Mod.
<b>Turbo</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	S							Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	1000/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S							Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	1000/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	B	1	S	N	N	S	N	S							Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	1000/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
1	B	2	S	N	N	S	N	S							Verificação da junta e dos pernos do turbocompressor	1000/1	HM/Ano	Mec.	1	0,2	P
<b>Sistema de escape</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	N	S						Substituir quando necessário. Efetuar verificações periódicas.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,33	P
<b>Pré-filtro de combustível</b>																					
1	A	1	S	N	N	S	S								Fazer a limpeza do filtro. Substituir quando necessário.	A cada utilização		Mec.	1	0,25	P
<b>Caixa de velocidades</b>																					
1	A	1	S	N	N	S	N	S							Aquisição de sobressalentes após 4 anos de funcionamento ou 1000 HM. Manutenção sob-condição.	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	2	P
<b>Cubo da roda</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	S							Verificar folgas cubos da roda	500/2	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S							Verificar a qualidade e o nível de óleo dos cubos da roda.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
<b>Rótulas de direção</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	S							Verificar folga das ponteiros de direção	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
1	A	2	S	N	N	N	N	S							Verificar folga das ponteiros de direção	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	0,25	P
<b>Bloco de válvulas de comando</b>																					
1	A	1	S	N	N	S	S								Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
1	A	2	S	N	N	S	S								Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
1	A	3	S	N	N	S	S								Aquisição de sobressalentes após 2 anos de funcionamento ou 500 HM. Manutenção sob-condição.	500/2	HM/Ano	Mec.	1	2	P
<b>Tubagens e mangueiras</b>																					
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S						Verificar o estado das tubagens e mangueiras. Substituir em caso de deterioração.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S						Verificar o estado das tubagens e mangueiras. Substituir em caso de deterioração.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,5	P
<b>Bomba de água</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	S							Aquisição de sobressalentes após 6 anos de funcionamento ou 1500 HM. Manutenção sob-condição.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	0,75	P
1	A	2	S	N	N	S	N	N					S		Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
1	A	3	S	N	N	S	N	N					S		Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
1	A	4	S	N	N	S	N	N					S		Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
1	A	5	S	N	N	S	N	N					S		Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
1	B	1	S	N	N	N	N	N							Substituir quando falhar. Manutenção sob-condição.	1500/6	HM/Ano	Mec.	1	1,25	P
<b>Radiador</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	S							Aspirar o radiador	0,5	Ano	Mec.	1	1	P
1	A	2	S	N	N	N	N	N	S						Substituir parafusos danificados	500/2	HM/Ano	Mec.	1	1	P
1	A	3	S	N	N	N	N	S							Verificar estado do radiador, reparar se necessário	500/2	HM/Ano	Mec.	1	1,33	P
1	A	4	S	N	N	N	N	S							Verificar estado do radiador, reparar se necessário	500/2	HM/Ano	Mec.	1	1,33	P
1	A	5	S	N	N	N	N	N	S						Substituir o fixador do radiador	500/2	HM/Ano	Mec.	1	1,5	P
<b>Unidade de aquecimento de água</b>																					
1	A	1	S	N	N	N	N	S							Substituir componentes da unidade de aquecimento de água	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,5	P
1	B	1	S	N	N	N	N	S							Substituir componentes da unidade de aquecimento de água	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,5	p
2	A	1	S	N	N	S	N	S							Substituir componentes da unidade de aquecimento de água	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,5	P
2	B	1	S	N	N	S	N	S							Substituir componentes da unidade de aquecimento de água	1000/4	HM/Ano	Mec.	1	1,5	p