



Programas de recondicionamento de equipamentos de mineração de grande dimensão

GONÇALO CORREIA MAGALHÃES

julho de 2025

**Programas de recondiçionamento de
equipamentos de mineração de grande dimensão**

Gonçalo Correia Magalhães

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Gestão Industrial**

Orientador: André Borges Guimarães Serra e Santos

Júri:

Presidente:

Eduardo Jorge Casal Cardoso Martins, professor adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogais:

Vera Lúcia Miguéis Oliveira e Silva, professora associada da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

André Borges Guimarães Serra e Santos, professor adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Porto, junho 2025

Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio e contributo de várias pessoas, às quais quero expressar o meu sincero agradecimento.

Em primeiro lugar, agradeço ao Departamento de Equipamento da Mota-Engil, na pessoa do Eng. Duarte Araújo pela forma como me acolheu e pelo apoio prestado ao longo do estágio. Deixo também o meu agradecimento a todos os colegas do departamento, pela colaboração e disponibilidade em dar o apoio sempre que necessário. A todos, o meu muito obrigado.

Ao Eng. Leandro Monteiro, por me ter dado a oportunidade de estagiar nesta conceituada empresa, permitindo-me crescer a nível pessoal e profissional.

Ao Eng. Nuno Bandeiras, agradeço por ter aceite o desafio de orientar todo este trabalho, pela orientação, paciência, incentivo ao longo de todo o processo e pelos conselhos valiosos que muito contribuíram para a realização do trabalho.

Ao Eng. André Serra e Santos, agradeço a disponibilidade para acompanhar todo este trabalho académico, orientação rigorosa e pelo constante incentivo ao longo do percurso académico.

Aos meus colegas de turma, pelo companheirismo, partilha de conhecimentos e momentos vividos ao longo de todo este percurso.

Por fim, à minha família, pelo apoio incondicional, compreensão e motivação ao longo de toda esta jornada. Sem o vosso suporte, este objetivo não teria sido alcançado.

A todos, o meu sincero obrigado.

Resumo

A dissertação aborda a implementação e o impacto dos programas de recondicionamento de equipamentos no setor da mineração. As condições operacionais extremamente exigentes e os elevados custos de substituição leva a que as empresas adotem outras estratégias para garantir a continuidade das operações com eficiência. As empresas de mineração têm vindo a investir cada vez mais em estratégias de recondicionamento de modo a prolongar o ciclo de vida dos seus ativos, melhorar o seu desempenho e reduzir custos operacionais. A análise baseia-se no estudo de dois casos práticos desenvolvidos em contexto de estágio, analisando indicadores de desempenho como o MTBF, MTTR e disponibilidade antes e após as intervenções de recondicionamento. A investigação assenta numa abordagem qualitativa e quantitativa em que se estudam os processos e estratégias operacionais aplicadas e utilizam-se dados das operações para realizar uma análise objetiva do impacto dos recondicionamentos nos indicadores de desempenho. Os resultados demonstram que programas de recondicionamento bem estruturados podem ser benéficos, permitindo um aumento da disponibilidade e redução do número de paragens não programadas a longo prazo. O aumento da vida útil dos ativos críticos contribui para mitigar os elevados custos utilizados para a substituição do equipamento. No entanto, os recondicionamentos envolvem muitos desafios ao nível do planeamento e da execução, onde a logística de transporte de peças e a disponibilidade de mão de obra especializada constituem obstáculos. Estes desafios evidenciam a complexidade dos projetos e a necessidade de se fazer um planeamento da estratégia em larga escala, especialmente nas minas que se encontram em grande parte, em locais de difícil acesso e distantes das comunidades e onde a exigência operacional é elevada. São propostas melhorias aos programas de recondicionamento atuais e propõe-se soluções de modo a otimizar a gestão das operações de manutenção e o ciclo de vida dos ativos e a obterem-se melhores resultados operacionais com a implementação dos recondicionamentos aos equipamentos de mineração. São ainda recomendadas estratégias para melhorar a eficiência das intervenções de recondicionamento de forma a alcançar melhores resultados operacionais. A estratégia de recondicionamento recomendada permite uma abordagem mais sustentável e rentável possibilitando o aumento da competitividade no setor.

Palavras-chave: Desempenho, Equipamento, Manutenção, Mineração, Planeamento, Recondicionamento

Abstract

The dissertation addresses the implementation and impact of equipment reconditioning programmes in the mining sector. Extremely demanding operating conditions and high replacement costs lead companies to adopt other strategies to ensure the continuity of operations efficiently. Mining companies have been investing increasingly in reconditioning strategies in order to extend the life cycle of their assets, improve their performance and reduce operating costs. The analysis is based on the study of two practical cases developed in the context of an internship, analysing performance indicators such as MTBF, MTTR and availability before and after reconditioning interventions. The research is based on a qualitative and quantitative approach in which the operational processes and strategies applied are studied and data from operations are used to perform an objective analysis of the impact of reconditioning on performance indicators. The results show that well-structured reconditioning programmes can be beneficial, allowing for increased availability and a reduction in the number of unscheduled downtimes in the long term. Extending the useful life of critical assets helps to mitigate the high costs of replacing equipment. However, reconditionings involve many challenges in terms of planning and execution, where the logistics of transporting parts and the availability of skilled labour are obstacles. These challenges highlight the complexity of the projects and the need for large-scale strategic planning, especially in mines that are largely located in remote areas, far from communities, and where operational demands are high. Improvements to current reconditioning programmes are proposed, along with solutions to optimise the management of maintenance operations and the life cycle of assets and to achieve better operational results with the implementation of reconditioning of mining equipment. Strategies to improve the efficiency of reconditioning interventions are also recommended in order to achieve better operational results. The recommended reconditioning strategy allows for a more sustainable and profitable approach, enabling increased competitiveness in the sector.

KEYWORDS: Equipment, Maintenance, Mining, Performance, Planning, Reconditioning

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xix
Acrónimos	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento da dissertação	1
1.2. Objetivos da dissertação	1
1.3. Metodologia de investigação	2
1.4. Estrutura do relatório.....	3
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Conceito de manutenção	5
2.2. Evolução da abordagem da manutenção.....	6
2.3. Tipos de manutenção.....	6
2.3.1. Manutenção Preventiva.....	7
2.3.1.1. Manutenção Condicionada	8
2.3.1.2. Manutenção Sistemática.....	9
2.3.2. Manutenção Corretiva	9
2.3.2.1. Manutenção Diferida	10
2.3.2.2. Manutenção Imediata.....	10
2.3.3. Manutenção de Melhoria	11
2.4. Manutenção Produtiva Total	11
2.5. Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM)	13
2.6. Impacto da Manutenção nos custos operacionais.....	14
2.7. Medição do desempenho da Manutenção	17
2.8. Importância da gestão de stocks na manutenção	18
2.8.1. Análise ABC	19
2.8.2. Sistemas de controlo de stocks.....	19
2.9. Gestão de ativos.....	20
2.9.1. Conceito de ativo	20
2.9.2. A importância da gestão de ativos.....	21
2.9.3. Custo do Ciclo de Vida (LCC) de um ativo	21

2.10.	Recondicionamento de equipamentos.....	23
2.11.	Análise de caso de estudo.....	26
2.12.	O futuro da manutenção.....	27
2.13.	Análise Bibliométrica.....	28
2.13.1.	Análise de co-ocorrência.....	29
2.13.2.	Análise de citação.....	29
2.13.3.	Análise de co-citação.....	30
2.13.4.	Evolução temporal do número de publicações.....	30
2.14.	Conclusão final da revisão bibliográfica.....	31
3.	Caracterização da empresa.....	33
3.1.	Apresentação da empresa	33
3.1.1.	História da empresa	33
3.1.2.	Unidades de negócio.....	34
3.1.3.	Organização da empresa.....	34
3.2.	Ferramentas de apoio à gestão de equipamento	35
3.2.1.	Sistema SAP.....	36
3.2.2.	Gestão de equipamento e das ações de manutenção.....	36
3.2.3.	Gestão de stocks de peças de reposição e consumíveis.....	36
3.3.	Codificação interna	37
4.	Caracterização e análise do problema	39
4.1.	Descrição de uma exploração de mineração	39
4.1.1.	Metodologia de <i>ranking</i> de equipamentos	40
4.1.2.	Indicadores de desempenho.....	41
4.2.	Mina de Siguiri.....	44
4.2.1.	Parque de máquinas	44
4.2.2.	Infraestruturas de manutenção	47
4.2.3.	Análise dos indicadores de desempenho	48
4.2.4.	Análise do registo de intervenções.....	51
4.2.5.	Análise das intervenções de recondicionamento	54
4.2.6.	Comparação entre equipamentos recondicionados e equipamentos reparados à condição	73
4.2.7.	Problemas identificados.....	75
4.3.	Mina de Moatize	76
4.3.1.	Parque de máquinas	76
4.3.2.	Análise dos indicadores de desempenho	79
4.3.3.	Análise das intervenções de manutenção	82
4.3.4.	Análise das intervenções de recondicionamento	85
4.3.5.	Comparação entre equipamentos recondicionados e reparados à condição	99
4.3.6.	Problemas identificados.....	101

4.4. Planeamento de recondicionamentos na mina de Seguela.....	102
5. Apresentação de soluções desenvolvidas e propostas de melhoria	109
5.1. Soluções desenvolvidas.....	109
5.2. Propostas de melhoria	110
6. Conclusões e propostas de trabalhos futuros	113
6.1. Conclusões finais.....	113
6.2. Proposta de trabalhos futuros	115
Referências.....	117
Declaração de Integridade	121
Apêndice A	123
Apêndice B	127
Apêndice C	131
Apêndice D.....	132
Apêndice E.....	133

Lista de Figuras

Figura 1 - Tipos de Manutenção (Adaptado de NP EN 13306:2021)	7
Figura 2 - Lei de degradação procurada (adaptado de Monchy, 1989).....	8
Figura 3 - Lei de degradação desconhecida (adaptado de Monchy, 1989)	10
Figura 4 - Os oito pilares da TPM (adaptado de Kanta et al., 2005)	12
Figura 5 - Custo ou eficácia do sistema (adaptado de Birolini A., 1999)	15
Figura 6 - Custo direto de manutenção em função do tempo.....	15
Figura 7 - Relação de custos, disponibilidade e manutenção (Kardec & Nascif, 2001b)	16
Figura 8 - Curva de análise ABC (adaptado de Flowbiz, 2022).....	19
Figura 9 - Processo de gestão de ativos (adaptado de Zampolli, 2018)	22
Figura 10 - Descrição do processo de recondicionamento de equipamentos (adaptado de Nasr et al., 2018)	24
Figura 11 - Comparação entre a atividade de reparação e de recondicionamento (adaptado de Nasr et al., 2018).....	25
Figura 12 - MTBF e MTRR médio de equipamentos novos e reconicionados (adaptado de Gomes et al., 2022).....	26
Figura 13 - Disponibilidade física média entre novos e reconicionados (adaptado de Gomes et al., 2022)	27
Figura 14 - Evolução temporal do número de citações	30
Figura 15 - Ciclo de vida dos dados.....	35
Figura 16 – Explicação da codificação interna	37
Figura 17 - Codificação aplicada nos equipamentos.....	37
Figura 18 - Etapas de extração de minério (adaptado de Huq, 2016)	40
Figura 19 - Quantidade e custo de aquisição de equipamentos por grupo.....	44
Figura 20 - Disponibilidade mensal no ano de 2018 do camião MEAFR 051.....	48
Figura 21 - Dados base para cálculo dos KPI's	49
Figura 22 - Indicadores de desempenho por equipamento.....	50
Figura 23 - Análise do registo de intervenções.....	51
Figura 24 - Registo de horas de um equipamento	52
Figura 25 - Registo de ordens de intervenção	52
Figura 26 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de Off-Highway Trucks.....	53
Figura 27 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de Hydraulic Mining Shovels.....	53
Figura 28 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de Motor Graders	53
Figura 29 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de Wheel Loaders	54
Figura 30 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de Track Dozer ..	54
Figura 31 - KPI's do equipamento MEAFR 065.....	56

Figura 32 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	56
Figura 33 - Resumo KPI's	56
Figura 34 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	57
Figura 35 - Descrição das intervenções mais críticas.....	57
Figura 36 - KPI's do equipamento MEAFR 063.....	58
Figura 37 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	58
Figura 38 - Resumo KPI's	58
Figura 39 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	59
Figura 40 - Descrição das intervenções mais críticas.....	59
Figura 41 - KPI's do equipamento MEAFR 040.....	60
Figura 42 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	60
Figura 43 - Resumo KPI's	60
Figura 44 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	61
Figura 45 - Descrição das intervenções mais críticas.....	61
Figura 46 - KPI's do equipamento MEAFR 041.....	62
Figura 47 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	62
Figura 48 - Resumo KPI's	62
Figura 49 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	62
Figura 50 - Descrição das intervenções mais críticas.....	63
Figura 51 - KPI's do equipamento MEAFR 035.....	63
Figura 52 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	64
Figura 53 - Resumo KPI's	64
Figura 54 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	64
Figura 55 - Descrição das intervenções mais críticas.....	65
Figura 56 - KPI's do equipamento MEAFR 036.....	65
Figura 57 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	65
Figura 58 - Resumo KPI's	65
Figura 59 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	66
Figura 60 - Descrição das intervenções mais críticas.....	66
Figura 61 - KPI's do equipamento MEAFR 081.....	67
Figura 62 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	67
Figura 63 - Resumo KPI's	67
Figura 64 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	68
Figura 65 - Descrição das intervenções mais críticas.....	68
Figura 66 - KPI's do equipamento MEAFR 082.....	68

Figura 67 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	68
Figura 68 - Resumo KPI's	68
Figura 69 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	69
Figura 70 - Descrição das intervenções mais críticas.....	69
Figura 71 - KPI's do equipamento MEAFR 087.....	70
Figura 72 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	70
Figura 73 - Resumo KPI's	70
Figura 74 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	71
Figura 75 - Descrição das intervenções mais críticas.....	71
Figura 76 - KPI's do equipamento MEAFR 086.....	71
Figura 77 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR.....	71
Figura 78 - Resumo KPI's	71
Figura 79 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	72
Figura 80 - Descrição das intervenções mais críticas.....	72
Figura 81 - KPI's do equipamento MEAFR 052.....	74
Figura 82 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	74
Figura 83 - Descrição das intervenções mais críticas.....	74
Figura 84 - KPI's do equipamento MEAFR 060.....	75
Figura 85 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida	75
Figura 86 - Descrição das intervenções mais críticas.....	75
Figura 87 - Parque de máquinas da mina de Moatize	76
Figura 88 - Disponibilidade funcional de um Off-Highway Truck.....	78
Figura 89 - Dados base para cálculo dos KPI's	80
Figura 90 - Análise do registo de intervenções.....	81
Figura 91 - Indicadores de desempenho por equipamento.....	81
Figura 92 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Off-Highway Trucks	84
Figura 93 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Hydraulic Mining Shovels	84
Figura 94 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Motor Graders	84
Figura 95 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Wheel Loaders	85
Figura 96 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Track Dozers	85
Figura 97 - Disponibilidade funcional do equipamento MEAFR 2060	86
Figura 98 - Disponibilidade funcional do equipamento MEAFR 2002	86
Figura 99 - KPI's do equipamento MEAFR 9401.....	87
Figura 100 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 9401	88
Figura 101 - Resumo KPI'S.....	88
Figura 102 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	88
Figura 103 - KPI's do equipamento MEAFR 9403.....	89
Figura 104 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 9403	89

Figura 105 - Resumo KPI'S.....	89
Figura 106 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	89
Figura 107 - KPI's do equipamento MEAFR 2002.....	90
Figura 108 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 2002	90
Figura 109 - Resumo KPI's	90
Figura 110 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	91
Figura 111 - KPI's do equipamento MEAFR 2003.....	91
Figura 112 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 2003	91
Figura 113 - Resumo KPI's	91
Figura 114 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	92
Figura 115 - KPI's do equipamento MEAFR 3101.....	92
Figura 116 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 3101	92
Figura 117 - Resumo KPI's	92
Figura 118 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	93
Figura 119 - KPI's do equipamento MEAFR 3102.....	93
Figura 120 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 3102	93
Figura 121 - Resumo KPI's	93
Figura 122 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	94
Figura 123 - KPI's do equipamento MEAFR 4063.....	94
Figura 124 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 4063	94
Figura 125 - Resumo KPI's	94
Figura 126 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	95
Figura 127 - KPI's do equipamento MEAFR 4082.....	95
Figura 128 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 4082	96
Figura 129 - Resumo KPI's	96
Figura 130 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	96
Figura 131 - KPI's do equipamento MEAFR 3231.....	97
Figura 132 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 3231	97
Figura 133 - Resumo KPI's	97
Figura 134 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	98
Figura 135 - KPI's do equipamento MEAFR 3233.....	98
Figura 136 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 3233	98
Figura 137 - Resumo KPI's	98
Figura 138 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade.....	99
Figura 139 - KPI's do equipamento MEAFR 2061.....	99
Figura 140 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 2061	100
Figura 141 - KPI's do equipamento MEAFR 9409.....	100
Figura 142 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 9409	100
Figura 143 - Prós e contras da estratégia de acondicionamento e de reparação à condição	103
Figura 144 - Custos acumulados de manutenção	103
Figura 145 - Parque de máquinas da mina de Seguela	105
Figura 146 - Ecrã inicial	110
Figura 147 – Menu de seleção de registo	110

Figura 148 - Resumo da evolução dos KPI's após o condicionamento por classe de equipamento em Siguiri.....	114
Figura 149 - Resumo da evolução dos KPI's após o condicionamento por classe de equipamento em Moatize	114

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Descrição dos oito pilares da TPM (adaptado de Oju et al., 2018)	13
Tabela 2 - Descrição dos principais KPI's.....	18
Tabela 3 - Query construída no Web of Science	28
Tabela 4 - Exemplificação da codificação de diferentes equipamentos	37
Tabela 5 - Descrição dos parâmetros utilizados para classificar a importância dos equipamentos	41
Tabela 6 - Descrição da função de cada equipamento	45
Tabela 7 - Lista de equipamentos do parque de máquinas	46
Tabela 8 - Classificação do equipamento.....	47
Tabela 9 - Codificação interna utilizada na mina de Siguri	47
Tabela 10 - KPI's definidos pelo fornecedor para o grau excelente.....	50
Tabela 11 - Lista de equipamentos do parque de máquinas por ano de aquisição	77
Tabela 12 - Codificação interna utilizada na mina de Moatize	79
Tabela 13 - Planos de manutenções preventivas.....	83
Tabela 14 - Fases de elaboração do plano de condicionamento	104
Tabela 15 - Tempos de paragem para condicionamento por mina.....	106
Tabela 16 - Estimativa de custos de condicionamento para a mina de Seguela.....	107
Tabela 17 - Estado dos objetivos inicialmente propostos	114
Tabela 18 - Sugestões de trabalhos futuros.....	116

Acrónimos

Lista de Acrónimos

FDU	Fim de Vida Útil
FDV	Fim de Vida
FMEA	<i>Failure Mode Effect Analysis</i> (Análise do Modo de Falhas)
FY	<i>First Year</i> (Primeiro ano)
GET	<i>Ground Engaging Tools</i> (Ferramentas de penetração do solo)
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> (Indicador Chave de Desempenho)
LCC	<i>Life Cycle Costs</i> (Custos do Ciclo de Vida)
LY	<i>Last Year</i> (Último ano)
MC	Manutenção Corretiva
MM	Manutenção de Melhoria
MP	Manutenção Preventiva
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> (Tempo Médio entre Falhas)
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i> (Tempo Médio de Reparação)
MWTR	<i>Mean Waiting Time to Repair</i> (Tempo Médio de Espera para Reparação)
NY	<i>Next year</i> (Próximo ano)
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficiência Global do Equipamento)
PCR	<i>Programmed Component Replacement</i> (Substituição planeada de componentes – Recondicionamento)
RCM	<i>Reliability-Centered Maintenance</i> (Manutenção Centrada na Fiabilidade)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)
TTR	<i>Time to Repair</i> (Tempo de Reparação)

1. Introdução

Neste capítulo, apresenta-se um enquadramento da dissertação, os objetivos que se pretendem atingir, a metodologia adotada para a realização do trabalho e, por último, a estrutura deste relatório.

1.1. Enquadramento da dissertação

Os minerais influenciam diversos fatores do nosso dia-a-dia, estão no centro da nossa sociedade e são parte relevante do desenvolvimento tecnológico. O atual estilo de vida da população seria impossível se não fossem explorados os recursos minerais. Estes são base para diversos setores industriais e outras atividades.

As operações de mineração para além de mobilizaram uma grande quantidade de mão de obra, requerem um grande investimento financeiro e tecnológico (B. S. da Fonseca & Galhano, 2013).

Com o desenvolvimento da tecnologia e de equipamento cada vez mais robusto, as operações tornam-se menos físicas e requerem cada vez menor intervenção humana devido à substituição do equipamento manual por sistemas mecanizados. Para atender-se à procura do mercado é esperado que as operações de mineração operem 24 horas, no entanto ocorrem problemas e imprevistos que afetam o desempenho da operação e podem mesmo levar a interrupções de todo o processo. Muitas vezes, estas paragens devem-se a capacidades de manutenção mal dimensionadas, combinadas com estratégias inadequadas que levam a falhas que geram grandes perdas económicas. Logo a confiabilidade e a manutenção dos sistemas de mineração desempenham um papel crucial nas operações de mineração modernas (U. Kumar, 2009).

1.2. Objetivos da dissertação

A dissertação tem como objetivo estudar e propor melhorias aos programas de recondição de equipamentos utilizados na mineração a céu aberto, com foco na maximização da disponibilidade dos equipamentos, redução de custos operacionais e expansão da vida útil dos equipamentos. A análise surge com a necessidade de compreender se esta estratégia tem impacto no desempenho do equipamento e se vai de encontro aos objetivos da operação. Além disso, há a necessidade de se otimizar os recursos técnicos e financeiros uma vez que estas intervenções representam um elevado investimento. Com este trabalho pretende-se elaborar uma base sólida de conhecimento para a compreensão do tema, de forma

Introdução

a contribuir para a criação futura de programas de recondicionamento mais robustos e alinhados com os objetivos e necessidades da organização.

Espera-se também com a realização deste trabalho:

- Analisar as implicações da manutenção e recondicionamento no ciclo de vida de um ativo;
- Avaliar as consequências económicas e operacionais das operações de manutenção e recondicionamento;
- Comparar o desempenho do equipamento no primeiro ano de operação e no primeiro ano após a execução do recondicionamento;
- Identificar os principais fatores que influenciam a decisão entre recondicar ou não um equipamento;
- Analisar o impacto da manutenção e do recondicionamento na disponibilidade dos equipamentos;
- Verificar a adequação dos planos de manutenção preventiva e os planos de recondicionamento;
- Comparação dos indicadores de desempenho entre equipamentos que sofreram recondicionamento e equipamentos em que foi aplicado CBM;
- Desenvolver soluções que contribuam para a melhoria do acompanhamento, registo e eficiência das intervenções de recondicionamento e das manutenções.

1.3. Metodologia de investigação

A metodologia aplicada neste trabalho enquadra-se numa abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. Através da análise qualitativa, consegue-se compreender os processos, desafios e decisões envolvidas no recondicionamento dos equipamentos. A análise quantitativa possibilitou a avaliação de modo objetivo do desempenho dos equipamentos com base em indicadores operacionais antes e após a intervenção.

Numa primeira fase foi realizado um estudo de caso à mina de Siquiri que já encerrou operação, em que se analisam os recondicionamentos realizados. Através da análise documental, incluindo relatórios técnicos, históricos de manutenção, entre outros, foi possível avaliar o impacto destas intervenções nos equipamentos.

Na segunda fase realizou-se um estudo de caso à mina de Moatize que se encontra atualmente em operação, de modo a compreender quais as diferenças nas estratégias utilizadas no recondicionamento. Novamente com os dados recolhidos foi possível acompanhar o recondicionamento dos equipamentos e perceber qual o efeito destes na operação.

Os dois estudos de casos permitiram a identificação de alguns problemas que possibilitaram o reajuste dos planos de recondicionamento. Numa terceira fase, realiza-se então o planeamento

dos recondicionamentos para a mina de Seguela utilizando todo o conhecimento adquirido ao longo dos dois casos de estudo.

A última fase centra-se na proposta e desenvolvimento de soluções de melhoria.

Com esta metodologia pretende-se que o trabalho demonstre uma visão completa e fundamentada acerca de programas de recondicionamento de equipamentos de mineração de equipamentos de grande dimensão.

1.4. Estrutura do relatório

O presente capítulo tem o objetivo oferecer uma visão da estrutura deste relatório, onde se encontra delimitada a organização dos capítulos que o compõem.

O primeiro capítulo, denominado de “Introdução”, fornece uma pequena contextualização do tema, quais os objetivos, metodologia e estrutura adotada para a construção deste relatório.

No segundo capítulo, “Revisão Bibliográfica”, exploram-se os conceitos essenciais relacionados com o recondicionamento de equipamentos e com as atividades de manutenção dos mesmos. São apresentados os diversos tipos de manutenção aplicados na indústria, como a manutenção preventiva e a manutenção produtiva total e respetivas vantagens. São apresentados também indicadores que permitem realizar a avaliação das atividades de manutenção. É realizada ainda uma revisão sobre o impacto das atividades de manutenção nos custos operacionais e na extensão do tempo de vida dos equipamentos. De forma a complementar toda esta análise, é também apresentada uma análise de gestão de stocks, uma vez que as operações de mineração, por se situarem em locais remotos, são dependentes dos stocks de peças e materiais para poderem realizar as manutenções e recondicionamentos.

No terceiro capítulo descreve-se o contexto empresarial onde foi realizado o estágio e que possibilitou a elaboração do estudo. Apresentam-se, ainda as ferramentas utilizadas no apoio à gestão do equipamento e que foram aplicadas para a realização da análise dos dados fornecidos, bem como a codificação interna aplicada aos equipamentos.

No quarto capítulo, explica-se o funcionamento de uma operação de mineração e apresenta-se a realidade operacional das minas estudadas. São apresentados, os critérios de avaliação utilizados para o ranking de equipamentos e os indicadores operacionais aplicados para a avaliação das intervenções de recondicionamento. É realizada a comparação entre o período antecedente ao PCR e o período após a realização do mesmo. São ainda, comparados os desempenhos de equipamentos reparados à condição com equipamentos recondicionados. Expõe-se os problemas identificados de maneira a promover a melhoria de futuros recondicionamentos.

No quinto capítulo, sintetiza-se os resultados obtidos a partir dos estudos, apresentando-se soluções e propostas de melhoria para a gestão do ciclo de vida dos ativos.

Por fim, no sexto capítulo, apresentam-se as conclusões finais do estudo.

Introdução

2. Revisão Bibliográfica

A globalização e o aumento competitivo da indústria tornam-se um desafio crescente para as organizações. Conseguir atender às expectativas do cliente, entregando-lhe um produto que este deseja bem à primeira, com qualidade e no prazo acordado é cada vez mais um fator de sobrevivência em vez de um fator de diferenciação (NP 4483, 2008).

Todo o processo de transformação da matéria-prima até ao produto final assenta em máquinas, equipamentos e parâmetros do processo. O planeamento e realização do processo são a base para se assegurar que este vai cumprir os requisitos, resultando na satisfação do cliente (NP 4483, 2008).

Seja qual for a área industrial, equipamentos e instalações estão expostos à deterioração e ao desgaste naturais do seu uso diário. Para que mantenham o desempenho desejado é essencial manter o parque de máquinas e restantes zonas de operação em boas condições de maneira que a funcionalidade não seja afetada pelos fatores de desgaste. Nesse sentido, é necessário efetuar-se inspeções, limpezas e reparações, constituindo todo este conjunto de atividades a manutenção.

A manutenção, quer realizada internamente ou subcontratada, tem um papel crucial no sucesso da organização, capacitando os equipamentos para o desempenho ao nível do que lhes é exigido (NP 4483, 2008).

Atualmente, é promovida, nas empresas, a relação da manutenção com a poupança de custos, traduzindo-se num aumento de rentabilidade (Bloch & Geitner, 2005).

A manutenção e a sua gestão são cada vez mais um fator estratégico para a competitividade das indústrias. (Fraser et al., 2015)

Neste sentido, este capítulo tem como objetivo sistematizar todo o conceito referido.

2.1. Conceito de manutenção

O conceito manutenção surge descrito na norma NP EN 13306:2021 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”* (Terminologia da manutenção, 2007). Por outras palavras, a manutenção tem como objetivo assegurar que algum bem mantenha o seu bom funcionamento, de modo a evitar falhas e, ao mesmo tempo, mantenha os padrões de produtividade (Ivina & Olsson, 2020).

2.2. Evolução da abordagem da manutenção

Com o passar dos anos tem havido uma maior preocupação para com as atividades de manutenção. Não só porque a falha de um equipamento pode ser um fator que afete a segurança do equipamento e dos colaboradores, mas também pela necessidade de maior disponibilidade dos equipamentos.

O termo manutenção surgiu há umas décadas na gíria militar, no período da segunda guerra mundial e caracterizava o ato de “manter, as unidades de combate, os efetivos e o material num nível constante” (François Monchy, 1989). Pouca importância era dada à manutenção (manutenção 1.0), não existindo trabalhadores dedicados a essa função. As indústrias trabalhavam continuamente até que a máquina avariasse (de Jonge & Scarf, 2020). A produtividade não era o foco das empresas sendo apenas efetuados alguns serviços de limpeza e lubrificação. As reparações ou substituição de material eram executadas após a avaria, ou seja, somente era implementada a manutenção corretiva. Esta abordagem é caracterizada como sendo uma estratégia reativa, sendo ainda por vezes aplicada devido ao seu baixo custo. No entanto, impossibilita a melhoria de desempenho do processo (Nowakowski et al., 2019).

Finda a segunda guerra mundial a procura pelos diversos tipos de produtos aumentou consideravelmente, no entanto a mão de obra era reduzida, consequência da guerra, o que levou a uma forte mecanização da indústria e à procura de formas de aumentar a disponibilidade e confiabilidade das máquinas. Começou-se então a introduzir o conceito de manutenção 2.0 que consiste na manutenção preventiva que se baseia em efetuar verificações e reparações em intervalos fixos (Nowakowski et al., 2019), prevenindo falhas inesperadas. Consequentemente, aumentaram-se os custos de manutenção acrescidos dos custos operacionais, situação que levou a que os operadores procurassem meios de tornar não só esta operação mais económica, mas também de aumentar a vida útil dos equipamentos.

Já mais próximo da atualidade tem-se vindo a implementar a manutenção 3.0 que se foca no acompanhamento do funcionamento dos equipamentos, permitindo detetar e prever falhas, ou seja, uma manutenção preditiva, reduzindo a incerteza durante as atividades de manutenção. Esta estratégia centra-se nos custos e na confiabilidade dos equipamentos.

Recentemente, algumas empresas já estão a aplicar a manutenção proativa, também denominada de manutenção 4.0 que é centrada na fiabilidade e recorre a técnicas como a IoT e *Machine Learning* para fazer análises de dados e melhorar as previsões das falhas (Nowakowski et al., 2019).

2.3. Tipos de manutenção

Embora não haja concordância entre autores, a maioria considera que existem três grandes tipos de manutenção, pois cada um considera diferentes aspetos quanto aos fatores que devem distinguir cada um dos tipos.

Para o estudo do estado da arte será considerada a classificação segundo a norma NP EN 13306:2021 representada na Figura 1 que define três tipos principais de manutenção: a manutenção preventiva (MP), a manutenção corretiva (MC) e a de manutenção de melhoria (MM).

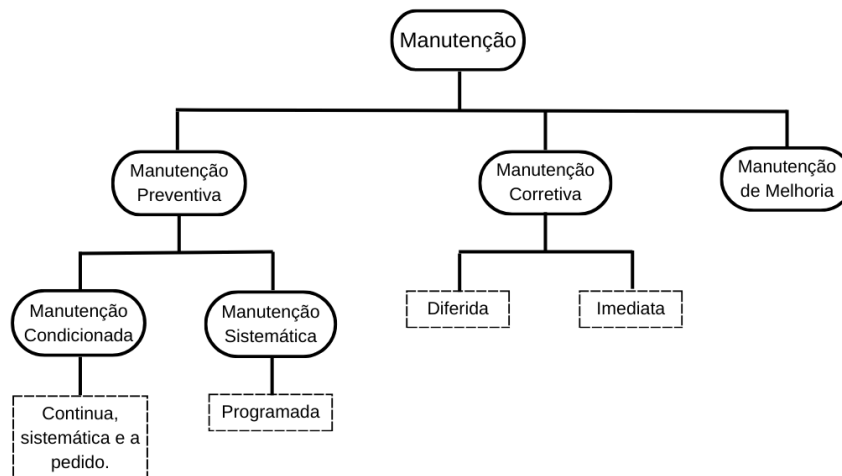


Figura 1 - Tipos de Manutenção (Adaptado de NP EN 13306:2021)

2.3.1. Manutenção Preventiva

Conforme a norma NP EN 13306:2021, MP é definida como a manutenção que é efetuada em intervalos fixos pré-determinados ou de acordo com critérios estabelecidos, com o propósito de reduzir a probabilidade de ocorrência de avarias ou de degradação do funcionamento de um equipamento. Como referido por Cabral, sob o ponto de vista de gestão a MP é o objetivo da política de manutenção. Esta é orientada de modo a evitar avarias, mantendo a segurança e eficiência do equipamento (Cabral, 2006).

O intervalo entre as visitas de manutenção Preventiva é determinado pelo estudo da lei de degradação dos componentes, ilustrada na Figura 2 pelo qual se regula o desempenho dos elementos. As principais atividades da MP podem-se organizar em ações de: lubrificação, inspeção visual, ensaios, ajustes, revisões parciais ou gerais (Sousa, 2011).

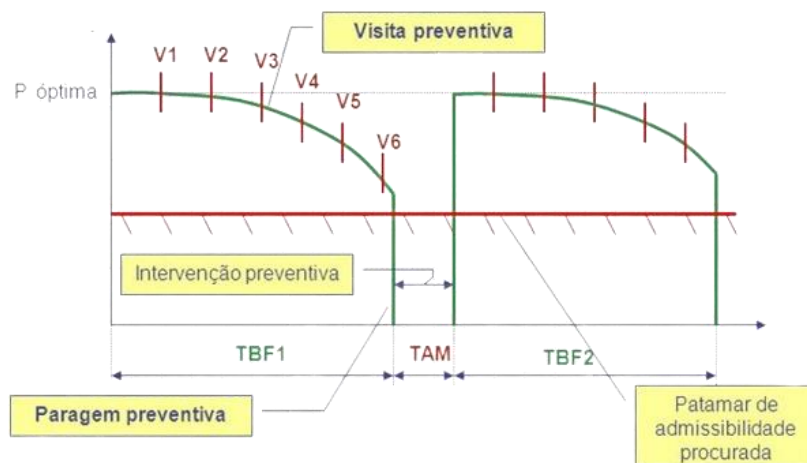


Figura 2 - Lei de degradação procurada (adaptado de Monchy, 1989)

Para cada equipamento onde é aplicada a manutenção preventiva é definido um patamar de admissibilidade procurada, representado pela linha a vermelho na Figura 2. Em condições normais o equipamento labora num estado próximo do nível ótimo. Com o decorrer do tempo, o desempenho vai diminuindo, sendo realizadas visitas preventivas de modo a acompanhar o desgaste da máquina e a necessidade de intervenção. Quando este atinge um nível próximo do admissível é parado o equipamento e efetuada a manutenção repondo o funcionamento do equipamento no nível ótimo (Martins, 2017).

Este tipo de manutenção é ainda subdividido em duas categorias, manutenção sistemática e manutenção condicionada.

Numa primeira fase, adequa-se a manutenção condicionada, pois as visitas periódicas permitem conhecer e acompanhar o estado da evolução da degradação dos componentes e os patamares de admissibilidade. Consegue-se assim antecipar as falhas e planejar as intervenções. Já numa fase mais avançada é possível evoluir para a manutenção sistemática pois o comportamento do equipamento já é conhecido e além disso este tipo é mais fácil de gerir (Monchy, 1989).

2.3.1.1. Manutenção Condicionada

A manutenção condicionada é uma forma evoluída da MP, colocando sob supervisão continua o material (Monchy, 1989).

Segundo a NP EN 13306:2007 a manutenção condicionada decorre da vigilância do funcionamento e/ou dos parâmetros do equipamento e são determinadas ações daí decorrentes. A vigilância pode ser executada periodicamente, a pedido ou continuamente (Terminologia da manutenção, 2007). Através do acompanhamento da degradação dos componentes é possível realizar uma previsão de quando o equipamento terá de ser intervencionado.

O controlo dos componentes pode ser efetuado através da análise de vibrações, de parâmetros de rendimento, de fluidos, medições ultrassónicas ou inspeção visual (Pedro & De Sousa, 2011).

2.3.1.2. Manutenção Sistemática

A manutenção sistemática baseia-se na monitorização das condições e dados dos equipamentos de maneira a prever as suas falhas. Através do historial de falhas é possível analisar as tendências e criar cronogramas predefinidos para realizar inspeções de rotina, intervenções ou substituição de peças (Hamasha et al., 2023).

A manutenção sistemática é definida pela NP EN 13306:2007 como sendo uma MP efetuada em intervalos de tempo pré-estabelecidos, ou segundo um número pré-definido de unidades de utilização, mas neste caso sem controlo prévio do estado do equipamento (Terminologia da manutenção, 2007).

Nesta categoria as intervenções são efetuadas a priori baseando-se no tempo ou nas unidades de uso. Além disso é bastante mais vantajosa que a MC, dado que o número de avarias diminui consideravelmente devido às intervenções efetuadas. No entanto, considera o mesmo período para dois equipamentos iguais sendo que na grande parte das vezes as condições de operação de cada um são diferentes o que afeta a manutenção. Uma grande dificuldade neste tipo de manutenção é a dificuldade em maximizar os tempos de operação e determinar os períodos mais adequados para efetuar-se a manutenção (Pedro & De Sousa, 2011).

2.3.2. Manutenção Corretiva

Tal como o nome indica, este tipo de manutenção é realizado de modo a corrigir uma falha ou avaria num equipamento. Rege-se por uma filosofia muito simples, se um equipamento tem uma avaria procede-se à sua reparação (Pedro & De Sousa, 2011).

A MC pode ser vista como uma atitude de defesa, ou seja, o operador submete-se à ocorrência de falhas, atitude característica da conservação tradicional (Monchy, 1989). A norma define a MC como o tipo de manutenção que é realizada após a deteção de uma falha, com o objetivo repor o bom funcionamento do equipamento (Terminologia da manutenção, 2007).

Normalmente, a MC requer trabalhadores com grande experiência para encontrarem a falha num curto espaço de tempo e ferramentas especializadas, o que pode tornar estas intervenções dispendiosas (Suleiman et al., 2017). Em equipamentos em que muitas falhas ocorram subitamente ou em que a frequência ou período entre a ocorrência de falhas seja irregular o uso da MC pode ser a opção mais vantajosa desde que não tenha impactos na segurança e no ambiente (Ashjaei & Bengtsson, 2017).

Até que ocorra o conserto do equipamento não existem custos decorrentes deste tipo de manutenção, no entanto por ser um método reativo, e é de todos os métodos o que pode sair mais dispendioso à empresa. Isto deve-se essencialmente a:

- Não existir um planeamento quanto à paragem das máquinas;
- Necessidade de stock de peças de reposição;
- Possibilidade de se recorrer a horas extras para reparar o equipamento;
- Diminuição da vida útil dos equipamentos;

- Longos tempos de paragem, pois não existe planeamento do trabalho de manutenção (Pedro & De Sousa, 2011).

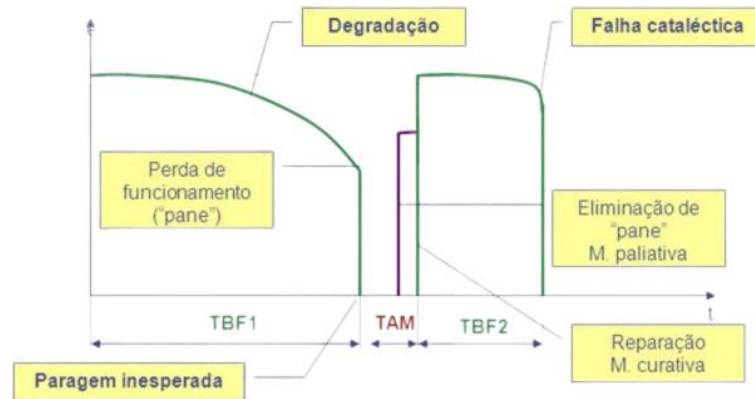


Figura 3 - Lei de degradação desconhecida (adaptado de Monchy, 1989)

Como se pode observar na Figura 3 equipamento mantém-se em funcionamento até ocorrer uma falha que obrigue à sua paragem. Após esse momento é realizada uma intervenção de modo a repor o funcionamento, mas de um modo limitado, representado pela linha a roxo, permitindo que se continue a produzir, mas a uma menor velocidade. Posteriormente, é realizado um arranjo mais profundo que permite que o equipamento volte a produzir a um nível ótimo. Esta estratégia de manutenção obriga a interrupções inesperadas na produção, trazendo consequências negativas para o bom funcionamento da empresa. Além disso, obriga a ter peças de reposição em stock ou de as conseguir obter num curto prazo (Freitas, 2015).

Este tipo de manutenção pode ainda ser subdividido em duas subcategorias: a manutenção diferida e manutenção imediata.

2.3.2.1. Manutenção Diferida

Neste tipo de manutenção tal como mencionado acima só é efetuada a intervenção no equipamento após a ocorrência da falha, no entanto, o procedimento de reparação não é iniciado imediatamente a seguir à deteção do estado de falha, mas é retardada de acordo com as regras de manutenção (Terminologia da manutenção, 2007).

Esta estratégia é aplicável quando existem outras reparações mais importantes em curso, o tempo de inoperação do equipamento não afeta as operações de produção ou, por vezes devido a estratégias da empresa, é preferível manter a máquina em funcionamento até ao *run to failure* (Ben-Daya et al., 2016). Casos em que as avarias não são reparadas no momento devido a motivos financeiros também são considerados como diferidos.

2.3.2.2. Manutenção Imediata

A manutenção imediata, tal como o nome indica, é efetuada imediatamente após a deteção de um estado de falha num equipamento de modo a evitar consequências inaceitáveis

(Terminologia da manutenção, 2007). Este tipo de abordagem é comumente utilizado quando as falhas colocam em perigo os trabalhadores, provoquem graves consequências ambientais ou haja um custo elevado face à perda de produção (Ben-Daya et al., 2016).

2.3.3. Manutenção de Melhoria

A norma NP EN 13306:2017 refere que a manutenção de melhoria, tem como finalidade a otimização da segurança de funcionamento de um equipamento sem que haja modificação da função requerida. Tem vindo a ser um tipo de manutenção bastante aplicado não só para corrigir erros que aconteceram na fase de projeto ou construção do equipamento. Noutras situações também se efetuam alterações ao equipamento de modo a melhorar a fiabilidade e segurança. Já numa perspetiva de inovação, tem-se recorrido a este tipo de manutenção para se atualizar componentes antigos por outros mais modernos e tecnológicos, permitindo uma melhoria do desempenho operacional (Valadares, 2022).

2.4. Manutenção Produtiva Total

A Manutenção Produtiva Total (TPM) é baseada na metodologia 5S. A TPM é definida como uma manutenção produtiva que envolve a participação ativa de todos os colaboradores, enfatizando a manutenção proativa e preventiva. Deste modo, a TPM não deve ser encarada como uma política de manutenção, mas sim como uma filosofia ou uma nova forma de pensar para os funcionários da organização (Meca Vital & Camello Lima, 2020).

O objetivo da TPM é estabelecer boas práticas de manutenção eliminando avarias e defeitos, enquanto reduz os custos. Esta abordagem estabelece que não só a equipa de manutenção deve ser responsável por manter o bom funcionamento dos equipamentos, mas sim todos os trabalhadores devem estar envolvidos no sistema da manutenção realizando o cuidado diário dos equipamentos. Ao envolver os trabalhadores é possível melhorar a eficiência das atividades de manutenção, promover a melhoria contínua e a eliminação de perdas (Shulver, 2015).

A TPM possibilita a melhoria do desempenho dos equipamentos e permite que o tempo Takt seja atingido com a maior eficácia possível. Esta filosofia, também promove o aumento de tempo de vida útil dos equipamentos, elimina as pequenas paragens e foca-se nos zero defeitos e acidentes (Agustiady & Cudney, 2018). Para além disso, pretende-se que haja uma otimização do tempo de vida dos equipamentos, contribuído para a melhoria e disponibilidade, evitando o desgaste prematuro de componentes através de intervenções de prevenção (Meca Vital & Camello Lima, 2020).

Segundo Kanta et al. (2005) as letras que formam o acrónimo TPM podem ser interpretadas da seguinte forma:

- **Total:** envolvimento de todas as funções e todos os trabalhadores de qualquer nível hierárquico;
- **Productive:** salienta a eficiência e eficácia da utilização de todos os recursos;

Revisão bibliográfica

- *Maintenance*: significa manter o sistema homem-máquina-material em condições ótimas.

Para se aplicar o conceito de TPM são conhecidos oito pilares, apresentados na Figura 4, que são essenciais para que se atinjam com sucesso, os objetivos da TPM (Prabowo et al., 2018).

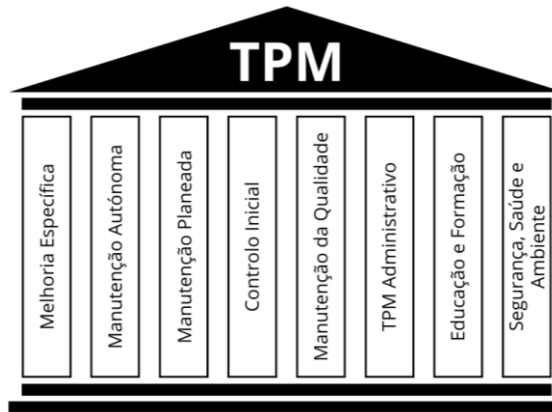


Figura 4 - Os oito pilares da TPM (adaptado de Kanta et al., 2005)

Na Tabela 1, encontra-se apresentada uma descrição bem como a vantagem da aplicação de cada um dos pilares da TPM.

Tabela 1 - Descrição dos oito pilares da TPM (adaptado de Oju et al., 2018)

Pilar	Descrição	Vantagem
Melhoria Específica	Uso de equipas multifuncionais para atividades de melhoria contínua.	Melhorar a capacidade de resolução dos problemas dos trabalhadores.
Manutenção Autónoma	Responsabiliza o operador pela realização da manutenção básica do equipamento.	Operador sente-se responsável pela sua máquina; os equipamentos tornam-se mais confiáveis.
Manutenção Planeada	Planear a manutenção com base no histórico de falhas.	A manutenção pode ser agendada para períodos em que a produção é mais baixa.
Controlo Inicial	Pretende garantir que logo na fase inicial de um projeto sejam detetadas futuras falhas.	Os novos equipamentos atingem o seu máximo potencial mais rapidamente.
Manutenção da Qualidade	A qualidade é um fator a ter em conta com o fim de reduzir os defeitos.	Redução do número de defeitos e consequente aumento de lucros.
TPM Administrativo	Difundir a filosofia da TPM para as funções administrativas.	A administração passa a entender os benefícios desta metodologia.
Educação e Formação	Eliminar diferença de conhecimentos entre trabalhadores através de formação.	Trabalhadores adquirem capacidade de resolução de problemas.
Segurança, Saúde e Ambiente	Disponibilizar um local de trabalho limpo e seguro para evitar acidentes e doenças.	Eliminar situações prejudiciais aos trabalhadores e promover um ambiente de trabalho saudável.

A implementação da filosofia da TPM tem permitido às empresas aumentar a sua competitividade (Aspinwall & Elgharib, 2013). Além disso, observou-se que a adoção do TPM levou a melhorias do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) e à redução de diversos parâmetros como o nível de deterioração de equipamentos e a taxa de avarias (Kumar Sahu et al., 2016).

2.5. Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM)

A manutenção centrada na fiabilidade (RCM) foi introduzida na década de 1960 na indústria da aviação. Caracteriza-se por ser um processo que auxilia as organizações a melhorarem as suas atividades de manutenção, focando-se na maximização da fiabilidade dos equipamentos. Além disso, também são aplicadas ferramentas como a Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) que ajuda a identificar os modos de falha e estabelecer previsões antes ocorram. Se os modos de falha forem bem estudados e o sistema for estático é possível reduzir a manutenção não programada ou desnecessária. No entanto, é praticamente impossível na área industrial estarmos perante um sistema estático, logo a RCM está sempre sujeita aos desvios do sistema dinâmico dos equipamentos (Lee et al., 2014).

Selvik & Aven, (2011) referem que a RCM surge como uma evolução da manutenção preventiva com o propósito de reduzir os custos de manutenção e simultaneamente aumentar a fiabilidade e segurança.

Esta abordagem da manutenção permite alcançar de forma prática e estruturada uma estratégia de manutenção aceitável. A estratégia define todas as ações necessárias para garantir o contínuo funcionamento dos equipamentos (D. J. Fonseca & Knapp, 2000).

De acordo com Jardine & Tsang, (2013), a RCM permite alcançar os seguintes benefícios:

- Melhorar a compreensão do equipamento: conhecer os modos de falhas e as suas consequências;
- Esclarecer os papéis de operadores e mecânicos de manutenção: tornar o equipamento mais confiável e menos dispendioso de operar;
- Tornar o equipamento mais seguro, produtivo e económico.

O mesmo autor, refere que em estudos em que a RCM foi aplicada foi possível alcançar um decréscimo de 50% na quantidade de atividades de manutenção, reduzir os custos de manutenção entre 30% a 40% e aumentar a disponibilidade em 60%.

2.6. Impacto da Manutenção nos custos operacionais

A manutenção tem influência direta no funcionamento e desempenho do equipamento industrial, em consequência os custos operacionais e receitas serão influenciados pelo bom ou mau desempenho desta atividade. Isto leva a que, atualmente, os indicadores de desempenho tenham uma grande importância para avaliar o desempenho da manutenção e com base na análise dos mesmos seja possível desenvolver ações de melhoria.

As atividades de manutenção têm um impacto bastante relevante nos custos de operação. Al-Turquia (2011) refere que cerca de 30% dos custos da operação são relativos a operações de manutenção. Estas informações permitem aos gestores ajustar os planos de manutenção e produção adequando-os à situação de cada equipamento.

Cabe à gestão da manutenção tomar decisões conscientes acerca dos objetivos e estratégias da manutenção para garantir que se opera nas condições exigidas. Más estratégias podem impedir a adição de valor, afetando o capital da empresa e destruindo a estratégia empresarial. Posto isto, é imperativo medir a eficácia dos custos das atividades de manutenção e se estas vão de encontro aos objetivos propostos (Muchiri et al., 2011). Essa avaliação pode ser efetuada através da análise de custos do sistema.

Como se pode verificar na Figura 5 a eficácia do sistema é baseada na eficácia operacional do equipamento e no custo do seu ciclo de vida. A eficácia operacional é estabelecida pela capacidade, disponibilidade e segurança. O custo de ciclo de vida representa a soma dos custos de aquisição, operação e manutenção (Birolini, 1999).

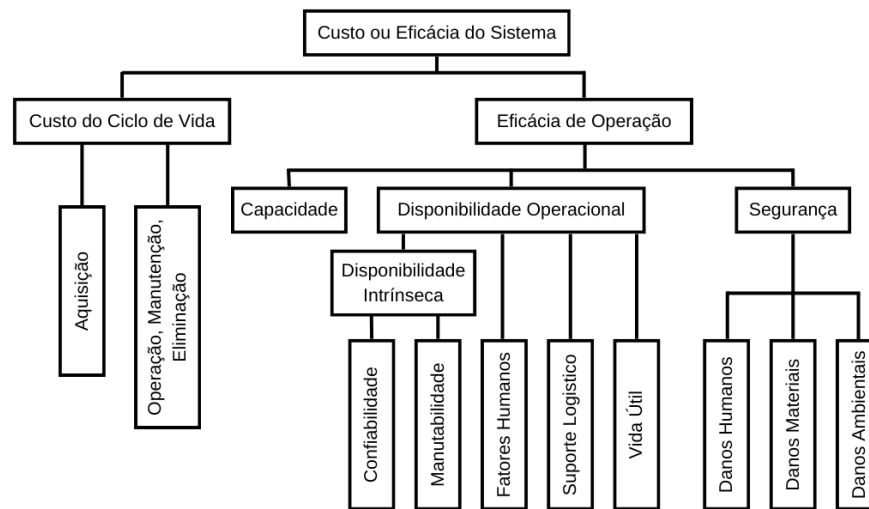


Figura 5 - Custo ou eficácia do sistema (adaptado de Birolini A., 1999)

Segundo Kardec & Nascif, (2001) os custos de manutenção correspondem ao total de custos das atividades diretas de manutenção e da preservação dos equipamentos. Estes podem ser divididos em duas categorias: custos diretos e custos indiretos.

Os custos diretos são os que correspondem diretamente a atividades necessárias para manter o total funcionamento dos equipamentos. Nesta categoria são englobados os custos de mão de obra, gastos gerais do serviço de manutenção, custos de posses de stock, ferramentas e máquinas, consumo de peças de reposição, custo de contratos de manutenção e custo de trabalhos subcontratados.

O custo direto é uma função do tempo de reparação (TTR) apresentada na Figura 6. O nível de preparação e qualificação do pessoal, o número de trabalhadores e os meios para a execução da manutenção condicionam a duração da reparação (Monchy, 1989).

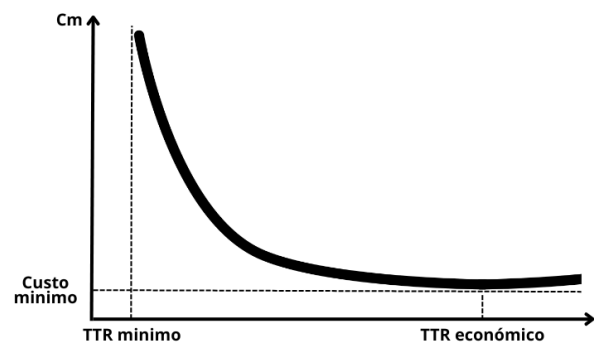


Figura 6 - Custo direto de manutenção em função do tempo

A procura pelas empresas para obter o custo mínimo leva por vezes à utilização dos meios mais banais possíveis e conseqüentemente a longos períodos de intervenção como se verifica na Figura 6 (Monchy, 1989).

Cabe à equipa de gestão da manutenção encontrar um equilíbrio entre os custos de manutenção e os meios disponíveis para que a produção não seja afetada de forma prejudicial para a empresa.

Revisão bibliográfica

Os custos indiretos, de acordo com Kardec & Nascif, (2001) correspondem aos gastos relacionados com as infraestruturas, custos com análises de melhoria, perdas de produção, gastos com mão de obra não ocupada, penalidades de atrasos, entre outros. Estes custos não estão, tal como indica o nome, diretamente ligados às operações de manutenção mas são consequência da paragem do equipamento quer por falha mecânica quer por manutenção inadequada.

A relação entre ambos os tipos de custos encontra-se representada na Figura 7.

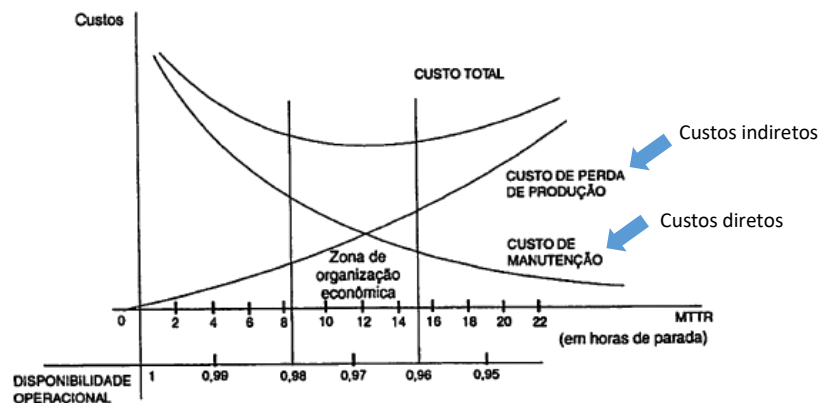


Figura 7 - Relação de custos, disponibilidade e manutenção (Kardec & Nascif, 2001b)

Verifica-se através da análise da Figura 7 a importância de se encontrar um equilíbrio entre os custos diretos e indiretos nas operações de manutenção. Observa-se no gráfico que à medida que o *Mean Time to Repair* (MTTR) aumenta, ou seja, as intervenções de manutenção ou reparação são mais demoradas, os custos indiretos relacionados com a perda de produção aumentam. Quanto mais tempo estiver o equipamento parado menor será a produção obtida. Os custos de perda de produção representam o valor do produto que não foi produzido durante o tempo de reparação. Contrariamente, os custos diretamente relacionados com a manutenção decrescem, isto acontece porque há um maior intervalo de tempo para efetuar a manutenção pelo que são requeridos menos trabalhadores e há mais tempo para encontrar peças de substituição e resolver o problema. Como o MTTR, no limite máximo apresenta um valor maior, o custo de manutenção acaba por se diluir por um maior período, ou seja, o custo de manutenção por hora é menor. Um valor de MTTR elevado pode também ser representativo de falta de manutenção ao equipamento pelo que quando ocorre uma falha leva a que o período de paragem seja muito superior ao esperado. Já na extremidade esquerda do gráfico verifica-se que para obtermos um MTTR menor teremos consequentemente um maior custo de manutenção dado que será necessária uma maior mão de obra e os componentes para substituição terão de ser obtidos num menor espaço de tempo. Um MTTR baixo e um custo elevado também pode ser sinónimo de excessivas atividades de manutenção, substituindo-se componentes desnecessariamente. O custo total apresentado na figura representa o somatório entre os custos de manutenção e os custos de perda de produção. Nota-se também na zona inferior do gráfico que a disponibilidade operacional está inversamente relacionada com o MTTR porque quanto menor o tempo gasto para realizar intervenções ao equipamento, mais tempo este estará disponível para produzir. Para uma otimização dos custos totais da operação é importante encontrar um equilíbrio entre os custos de manutenção e de perda de produção, representada no gráfico pela zona de organização económica.

2.7. Medição do desempenho da Manutenção

Para se manterem competitivas surge a necessidade das empresas conseguirem processos de manutenção robustos e conseqüentemente a necessidade de obtenção de dados mais fiáveis de modo a poderem avaliar o desempenho da manutenção. Este resulta de uma utilização eficiente dos recursos disponíveis para manter ou restabelecer a condição de um equipamento (NP EN 15341, 2009). Com dados à disposição cada vez mais fiáveis, cresce a importância dos *Key Performance Indicators* (KPI) na gestão da manutenção (Ferreira et al., 2019).

Os KPI são uma ferramenta de gestão que têm a finalidade de controlar, acompanhar e assegurar que é atingido o desempenho desejado. Dessa forma é possível avaliar se os objetivos estratégicos estão a ser cumpridos. Uma análise à progressão de desempenho dos KPI permite à organização direcionar esforços para atingir as suas metas. O êxito desta implementação é dependente de uma boa estratégia de manutenção (Setiawan & Purba, 2020). Uma análise à progressão de desempenho dos KPI permite à organização direcionar esforços para atingir as suas metas. Organizações que aplicam KPI's têm alcançado benefícios relativos à redução de custos, melhoria da qualidade do planeamento e maior disponibilidade do equipamento.

Segundo Valente, (2018) são três os indicadores que são fundamentais para avaliar o desempenho da manutenção: *Mean Wait Time to Repair* (MWTR), *Mean Time Between Failures* (MTBF) e *Mean Time To Repair* (MTTR). Diversos autores consideram também relevante o indicador OEE para avaliar o desempenho da manutenção.

Na Tabela 2 encontra-se a definição de cada um destes indicadores.

Tabela 2 - Descrição dos principais KPI's

Indicador	Descrição
MWTR	É um indicador que mede a rapidez com que a equipa de manutenção consegue atuar no caso de falha ou avaria, utilizando os recursos ao dispor (Valente, 2018).
MTBF	Este indicador representa o tempo médio esperado para a ocorrência de uma falha num equipamento. Este KPI pode ser visto como um indicador da fiabilidade do ativo, pois quanto maior o período de tempo sem existirem falhas mais fiável será este (Viana, 2022).
MTTR	Este indicador mede o tempo médio despendido em reparações. Através dele, é avaliada a manutabilidade, ou seja, a facilidade com que as funcionalidades do equipamento são repostas, após ser efetuada uma atividade de manutenção (Valadares, 2022).
OEE	É frequentemente utilizado para medir a eficácia de um sistema de produção. Possibilita avaliar a melhoria contínua dos processos e equipamentos, resultantes de atividades de manutenção, uma vez que fornece a indicação do desempenho do equipamento. Este indicador é geralmente bastante associado à metodologia TPM (Valadares, 2022).

Os KPI's devem ser acompanhados dos períodos definidos, para que os resultados sejam apresentados e analisados pela equipa de gestão, promovendo a melhoria contínua do processo.

É, portanto, fundamental que os responsáveis pela manutenção disponham de indicadores de desempenho que permitam a análise da evolução das atividades desempenhadas, facilitando a identificação de eventuais melhorias e quais os equipamentos que afetam em maior escala o funcionamento da organização. Isto permite, que sejam tomadas medidas corretivas por forma a melhorar todo o processo produtivo (Ramos, 2012).

2.8. Importância da gestão de stocks na manutenção

Para que as intervenções de manutenção sejam realizadas num curto espaço de tempo é essencial garantir uma boa gestão de peças de reposição (Teixeira et al., 2018). Por um lado, um grande número de peças de substituição em stock representa uma grande quantidade de capital imobilizado, por outro lado a falta de peças de substituição pode gerar grandes custos devido a interrupções de produção mais longas (Teixeira et al., 2018). Apesar da grande pressão para a redução dos custos de armazenamento e o risco de obsolescência leve para que haja um reduzido número de peças em stock, a indisponibilidade imediata de uma peça pode levar a grandes períodos de inatividade. Em casos de falhas não planeadas, em que são aplicadas abordagens de manutenção corretiva, para além do tempo de inatividade resultante da falha acresce o tempo necessário para que se consiga obter as peças de reposição. Já em situações

de intervenções preventivas aos equipamentos é possível realizar um planeamento para a encomenda das peças sobressalentes (Cavaliere et al., 2008). Este problema agrava-se quando os equipamentos operam nas operações de mineração, que é o foco deste trabalho. Normalmente estas operações decorrem em locais remotos em que a acessibilidade a peças de substituição é muito difícil, tendo a equipa de manutenção que estar bem prevenida e onde um bom planeamento é fundamental.

2.8.1. Análise ABC

A análise ABC é uma técnica baseada no princípio de Pareto e que se tem revelado uma ferramenta fundamental para a gestão de stocks ajudando a identificar quais os produtos do stock com maior importância (Gonçalves, 2012). Os produtos são avaliados tendo em conta a quantidade consumida anualmente e o seu custo unitário.

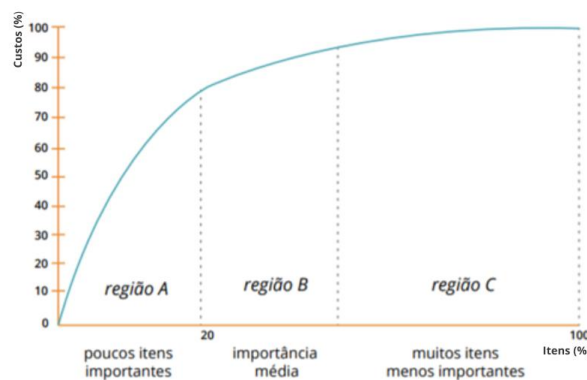


Figura 8 - Curva de análise ABC (adaptado de Flowbiz, 2022)

Como se verifica pela Figura 8, as peças podem ser divididas em três categorias (Liu & Wu, 2014):

- Produtos A – São de maior importância, representando uma grande percentagem dos custos, mas apenas são uma pequena fração da quantidade total de produtos. Requerem um controlo rigoroso;
- Produtos B – São de média importância, exigindo uma gestão moderada;
- Produtos C – Representam uma pequena percentagem dos custos, mas apresentam um número elevado de produtos, podendo ser geridos com um menor nível de controlo.

2.8.2. Sistemas de controlo de stocks

O controlo de stocks pode ser realizado por dois tipos de sistema de controlo: a revisão contínua e a revisão periódica. A revisão contínua é uma estratégia onde o nível de stock é acompanhado de forma contínua. Quando o seu nível atinge o ponto de encomenda é encomendada uma quantidade fixa de material. Este sistema proporciona um controlo mais rigoroso, dado que as encomendas são efetuadas na altura adequado de maneira a evitar ruturas de stock. A revisão

continua é por isso adequada aos produtos do tipo A (Rizkya et al., 2018). A revisão periódica é uma estratégia em que os stocks são avaliados em intervalos de tempo pré-determinados. A cada intervalo é encomendada uma quantidade de produto para repor o stock num nível pré-definido. Nesta estratégia a quantidade de stock tende a ser superior e muitas vezes é aplicado um stock de segurança para evitar ruturas de stock. A revisão periódica é adequada para produtos das categorias B e C (Rizkya et al., 2018).

2.9. Gestão de ativos

Neste capítulo será apresentado o conceito de ativo, bem como de gestão de ativos, área que tem vindo a crescer na indústria. Além disso, será analisada a importância da gestão de ativos para a manutenção. A tomada de decisões certas por parte da equipa de gestão é fundamental para assegurar a sustentabilidade dos sistemas pelo maior período possível. Para que a empresa se possa manter competitiva muitas vezes é obrigada a estender o tempo de vida não só dos seus equipamentos como de infraestruturas, indo ao encontro dos objetivos organizacionais.

Uma gestão e controlo de ativos eficazes são essenciais para produzir valor gerindo os riscos e as oportunidades, de forma a criar um equilíbrio entre custo, risco e desempenho (NP ISO 55000, 2016).

2.9.1. Conceito de ativo

O sucesso de uma empresa depende em grande parte da capacidade de gerir os seus ativos de maneira eficiente pois é esperado que estes forneçam valor por um longo período (Shien et al., 2007).

De acordo com a norma NP ISO 55000 (2016) um ativo é um bem, uma coisa ou uma entidade que tem um valor potencial ou real para uma organização. Para a área da contabilidade financeira um ativo é definido como um recurso económico tangível ou intangível que pertence a um particular ou uma empresa e que pode ser medido em termos monetários (Tholana & Neingo, 2016).

Um ativo também pode ser caracterizado como uma entidade que tem a capacidade de criar e sustentar valor quando está em funções, característico dos ativos tangíveis ou como algo que aumenta o seu valor devido à expectativa que este crie valor no futuro para a empresa, aplicável aos ativos intangíveis (Amadi-Echendu, 2004).

Para que consigam maximizar as suas receitas as organizações necessitam de utilizar os seus ativos de forma eficaz e eficiente. Além disso, os ativos são essenciais para a empresa obter vantagem competitiva. Ou seja, o sucesso da empresa é consequência de uma gestão eficaz dos seus ativos (Ouertani et al., 2008).

2.9.2. A importância da gestão de ativos

A implementação de um sistema de gestão apropriado proporcionará valor a uma organização. É ele que faz a ponte entre o plano estratégico da organização e a gestão de todo o ciclo de vida do ativo. Englobando, as decisões de investimento associadas ao ativo e o conjunto dos interesses que possam estar associados ao uso dos ativos para gerar valor (Rizman et al., 2017). De acordo com a norma NP ISO 55000 (2016), o controlo e gestão eficazes de ativos pelas organizações são essenciais para produzir valor, gerindo os riscos e as oportunidades, como o objetivo de alcançar o equilíbrio pretendido entre custo, risco e desempenho. Através desta gestão são traduzidos os objetivos em decisões, planos ou atividades utilizando uma abordagem apoiada no risco.

Os ativos de uma empresa são cruciais para que se atinjam os objetivos corporativos e por isso devem ser utilizados e geridos de forma otimizada. Uma boa gestão de ativos tem de ter capacidade para aumentar o retorno dos ativos e minimizar os seus custos de operação e manutenção (D. Kumar & Patnaikuni, 2012).

Além disso, permite-nos aplicar diferentes abordagens analíticas para gerir o ativo em diferentes fases do seu ciclo de vida. Esta gestão pode ser vista como a arte de tomar decisões corretas otimizando a entrega de valor (J. E. Pais et al., 2019).

Com os constantes desenvolvimentos na área da manutenção e a criação de novas abordagens e metodologias na vertente da gestão, centradas principalmente na área da qualidade e produção, a manutenção passou a ajustar-se e adequar-se a esses novos conceitos (Farinha, 2011).

É essencial envolver toda a organização no processo de gestão de ativos e equilibrar os níveis de serviço com os custos (D. Kumar & Patnaikuni, 2012).

2.9.3. Custo do Ciclo de Vida (LCC) de um ativo

O ciclo de vida de um ativo contempla o período em que uma entidade prevê utilizar um ativo de forma economicamente rentável (E. Pais et al., 2020). Uma boa gestão do ciclo de vida de um ativo é essencial para uma manutenção economicamente viável e rentável a longo prazo.

Além disso, garante que ao longo do tempo de operação os equipamentos entreguem a sua máxima performance a um custo relativamente baixo (Giglio et al., 2018).

Ao adquirir um ativo, os custos que ocorrerão ao longo do seu ciclo de vida são fatores essenciais a ter em conta para a tomada de decisões (Zampolli, 2018). Os Custos do Ciclo de Vida (LCC) de um ativo podem ser definidos como todos os custos necessários para manter o ativo em operação durante todo o seu ciclo de vida. O LCC também pode ser considerada uma técnica que auxilia a estabelecer o custo total de propriedade, tendo em conta todos os custos que a equipa de gestão considera adequados, como por exemplo: manutenção, formação, consumo de energia, descarte, entre outros. Outros custos relevantes são os custos ocultos, os impostos e os custos administrativos em contrapartida aos subsídios recebidos, valores

agregados e residuais (Zampolli, 2018). As diferentes etapas do ciclo de vida de um ativo encontram-se apresentadas na Figura 9.



Figura 9 - Processo de gestão de ativos (adaptado de Zampolli, 2018)

Na primeira fase, designada de Requisitos de projeto, é avaliada a necessidade de aquisição do ativo, bem como elaborado um plano de negócios baseado numa estimativa aproximada de custos e benefícios. Geralmente, o impacto financeiro destas decisões é superior ao valor do investimento inicial.

Na fase de Especificação devem ser avaliadas as características necessárias para que o ativo a adquirir cumpra as necessidades da organização.

Concluídas as duas primeiras fases, chega a etapa de Aquisição do ativo. Nesta fase, nem sempre só o custo inicial do ativo importa, sendo necessário avaliar outros aspetos, como por exemplo condições do regime normal de trabalho, custos durante do ciclo de vida, riscos associados à falha, entre outros.

A fase de Operação apenas foca-se em garantir que os planos de produção são cumpridos sem que ocorra um impacto nos objetivos de produção. Uma falha pode impactar diretamente nos resultados, por isso a operação tem de garantir a confiabilidade do sistema, gerir os riscos e minimizar as falhas.

A etapa de Manutenção tal como referido acima, engloba todas as atividades destinadas a manter ou restaurar o funcionamento do ativo para que este possa executar a função pretendida. A missão da manutenção passa por assegurar a disponibilidade dos ativos e garantir que os planos de produção sejam cumpridos com segurança e a custos adequados.

A Expansão refere-se à aquisição de novos equipamentos para atender às necessidades da organização.

Os ativos também se deterioram ao longo tempo. Apesar das atividades de manutenção para estender a vida útil dos ativos, chega uma fase em que estes devem ser substituídos ou reconicionados. Com o passar do tempo os custos operacionais tendem a aumentar, bem como as manutenções corretivas, havendo uma maior necessidade de realizar intervenções para que este cumpra a sua função.

A última fase do ciclo de vida do ativo, designa-se Descarte. Muitas empresas não consideram, erradamente, esta última fase, no entanto o descarte do ativo também apresenta custos face às responsabilidades ambientais e à legislação existente. Nesta fase, a empresa pode escolher o destino que lhe for mais conveniente: reciclar, vender, descartar o ativo, no entanto todas as operações apresentam o seu custo, desempenho e risco pelo que é essencial ponderar a tomada de decisão em cada caso (Zampolli, 2018).

2.10. Recondicionamento de equipamentos

A indústria da mineração é conhecida pelo uso de equipamentos pesados e de alto custo para realizarem as suas operações. O valor destes recursos tem ganho uma grande importância para as organizações da indústria mineira, uma vez que o valor despendido em operações de manutenção é bastante elevado. Os custos e a morosidade da manutenção está diretamente relacionada com a qualidade dos equipamentos de mineração, bem como da operação dos mesmos no ambiente de mineração e com a fiabilidade e facilidade de manutenção (Andreeva & Abramov2, 2023).

O recondicionamento de equipamentos é uma operação que garante a economia de recursos através da reutilização de componentes. Esta estratégia pode ser utilizada para alcançar-se benefícios económicos e ambientais (Kanazawa et al., 2022).

Em diversas situações os custos associados à manutenção preventiva ultrapassam o orçamento em cerca de 40% devido a paragens causadas por falhas. Também componentes com defeitos ou o uso de métodos de recondicionamento que não garantem uma operação do equipamento a longo prazo afetam os custos de manutenção. Ou seja, a qualidade resultante da atividade de manutenção resulta diretamente do uso de métodos eficazes de recondicionamento de componentes e consequentemente um desempenho eficaz e duradouro do equipamento (Andreeva & Abramov2, 2023).

Normalmente, este tipo de equipamentos opera 24 horas, sete dias por semana, 365 dias por ano e tendo em conta as condições extremas onde ocorre a extração do minério, resulta um enorme desgaste das máquinas. O recondicionamento dos equipamentos deve ser uma opção a ter em conta nestas situações.

Existe uma grande variedade de definições para o recondicionamento elaboradas por diferentes autores. Em 2016, seis grandes associações concordaram em definir o recondicionamento como um “processo industrial padronizado através do qual os produtos são restaurados para uma condição de desempenho igual ou superior ao de um produto novo. O processo segue especificações técnicas específicas, que incluem padrões de engenharia, qualidade e testes rigorosos” (CLEPA et al., 2016). Ou seja, trata-se de um processo de restauro profundo, com o qual se pretende que os equipamentos voltem ao seu estado operacional ideal ou próximo do original, através de uma série de intervenções. Na Figura 10 é possível visualizar todas as fases que um equipamento percorre durante o processo do seu recondicionamento.

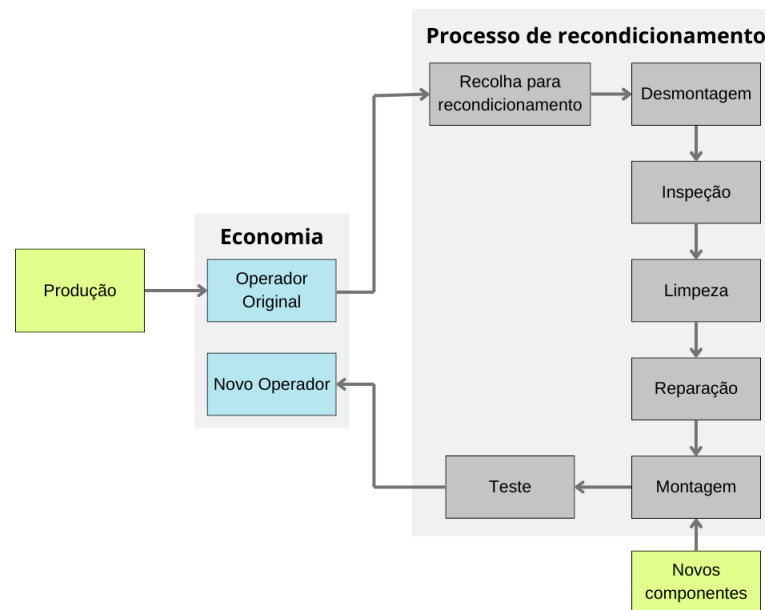


Figura 10 - Descrição do processo de acondicionamento de equipamentos (adaptado de Nasr et al., 2018)

Após a chegada do equipamento à oficina, o processo de acondicionamento inicia-se com a desmontagem do mesmo, de modo a possibilitar o acesso aos componentes internos da máquina. Esta tarefa permite a remoção de componentes inviáveis para acondicionar e a preparação para a limpeza e restauro, garantindo um maior potencial económico dos componentes (Sharma et al., 2015). Segue-se uma inspeção visual, onde são verificados e avaliados todos os componentes. É nesta fase que é decidido quais os componentes que serão substituídos, os que serão reparados e os que ainda são utilizáveis. Assim, é possível criar um plano de trabalhos, decidindo quais os sistemas e componentes mais críticos e que necessitam de uma maior atenção, além disso garante que no final do acondicionamento o equipamento mantenha os padrões de alta qualidade e que mantenha a durabilidade para um longo período de utilização (Sharma et al., 2015). O processo de inspeção terá um impacto direto na lucratividade do processo de acondicionamento (Sharma et al., 2015).

A próxima fase do acondicionamento é a limpeza, em que todos os componentes que serão reutilizados e os que se seguirão para reparação/restauro são limpos de modo a não só facilitar o processo de reparação, mas também para garantir que não fiquem resíduos que possam comprometer o bom desempenho do equipamento no final da intervenção. A limpeza desempenha um papel essencial na qualidade do equipamento no final do processo de acondicionamento. A disponibilidade, qualidade, custo e vida útil são diretamente afetados pelos métodos de limpeza e pela qualidade com que a mesma é efetuada (Li & Zhang, 2013).

Segue-se a fase de reparação onde os componentes que serão reutilizados são restaurados para um estado igual ou superior ao original, permitindo que estes tenham um bom desempenho durante o funcionamento do equipamento. Nesta fase, são executadas ações de pintura e de renovação do aspeto visual do equipamento. É expectável também, que a reparação prolongue o ciclo de vida do equipamento sem comprometer a eficácia do mesmo.

Concluído o restauro dos componentes reutilizados e a chegada dos componentes que serão substituídos inicia-se a fase de montagem. Garantir a qualidade desta fase é fundamental para que o bom desempenho e eficácia requerida sejam atingidas. Por vezes, na fase de montagem são instalados componentes mais recentes ou melhorados.

No final do processo de acondicionamento é efetuado um teste de funcionamento ao equipamento de forma a assegurar que cumpre todos os requisitos para que possa operar sem problemas (Sharma et al., 2015).

Contrariamente a uma simples reparação, o acondicionamento permite renovar o ciclo de vida de um equipamento. Desde o seu fabrico, o equipamento ao operar na extração de minério vai sofrendo desgaste surgindo avarias e falhas, ou seja, chega ao fim de vida útil. Entenda-se por fim de vida útil o momento em que o equipamento é incapaz de funcionar ou deixa de realizar a sua função conforme esperado (Nasr et al., 2018). No caso das avarias, uma intervenção de manutenção permite reparar o equipamento possibilitando que este volte às suas funções. São também as atividades de manutenção que permitem que o equipamento atinja o seu fim de vida esperado, ou seja, o ponto a partir do qual o equipamento já não é capaz de realizar a sua função como previsto e para a qual não existem outras opções senão acondicionar, descartar ou reciclar (Nasr et al., 2018).

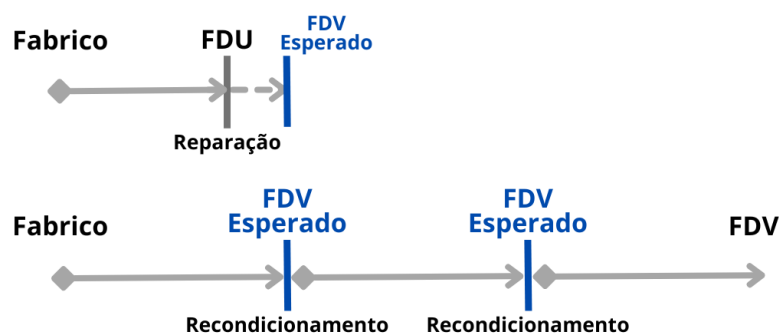


Figura 11 - Comparação entre a atividade de reparação e de acondicionamento (adaptado de Nasr et al., 2018)

Como se verifica pela análise da Figura 11, as reparações são efetuadas no momento em que ocorre uma falha, ficando o equipamento inutilizável, ou seja, quando é atingido o fim de vida útil (FDU). Ao longo do ciclo de vida de um ativo vão ocorrendo diversas reparações para que este consiga atingir o seu fim de vida esperado (FDV). O acondicionamento dos equipamentos permite estender o período durante o qual a máquina é operada dentro das condições especificadas. No caso exemplificado, observa-se que aplicando dois acondicionamentos, o equipamento conseguiu manter-se em funções por um período três vezes superior, quando comparado com o caso de apenas ser sujeito a reparações para corrigir avarias. Ou seja, até atingir o FDV esperado, o equipamento sofre múltiplas reparações para que este mantenha o seu funcionamento de modo eficiente. No entanto, ao atingir o FDV esperado, em vez de se descartar o equipamento e adquirir um novo, é realizado o seu acondicionamento que permite uma renovação total do mesmo. No final da intervenção de acondicionamento, o equipamento volta a um estado muito próximo de quando era novo, permitindo a extensão do seu ciclo de vida.

2.11. Análise de caso de estudo

Na literatura, encontram-se diversos casos de estudo na área do acondicionamento de equipamentos, onde é avaliado o desempenho desta estratégia de renovação de equipamentos usados face à aquisição de equipamentos novos.

Reforma como estratégia de manutenção: um caso de estudo comparativo entre o desempenho de camiões novos e acondicionados numa empresa de mineração (Gomes et al., 2022)

Este caso de estudo analisa os resultados da comparação do desempenho de camiões novos e camiões acondicionados de uma empresa do setor da mineração. Para efeitos de avaliação o autor teve em consideração três indicadores de desempenho: a Disponibilidade Física, o *MTBF* e o *MTTR*. A aquisição dos camiões foi efetuada em 2006, no entanto a empresa optou por retirar os equipamentos de operação em 2015. Após cinco anos desativados, para atender à procura a empresa decidiu aumentar a sua frota acondicionando estes veículos. A atividade de acondicionamento foi desempenhada por uma empresa certificada que garantiu um equipamento renovado semelhante a um novo por apenas 40% do custo de aquisição de um veículo novo.

Para efeitos de avaliação do acondicionamento dos veículos, o autor realizou um comparativo entre seis camiões acondicionados e seis camiões novos ao longo de 1000 horas de operação. Na Figura 12 pode observar-se o comparativo entre o *MTBF* e *MTTR* entre os dois tipos de veículos.

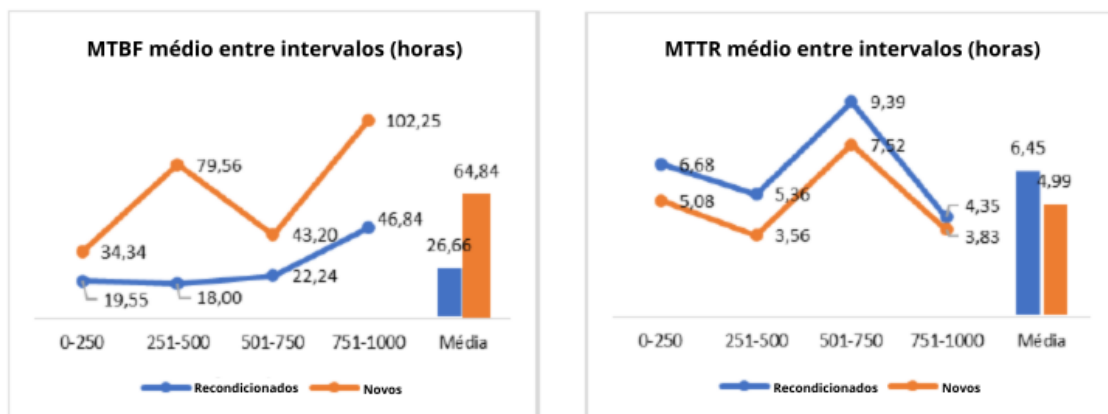


Figura 12 - *MTBF e MTTR médio de equipamentos novos e acondicionados (adaptado de Gomes et al., 2022)*

É notável uma discrepância no valor de *MTBF* entre os dois tipos de equipamento tanto a nível temporal, como no valor médio, que é 143% superior em equipamentos novos. Já no caso do *MTTR*, os valores entre ambos os tipos é mais próximo, tanto a nível temporal, como na média, onde a frota de camiões novos apresentou um *MTTR* 23% menor face aos camiões acondicionados.

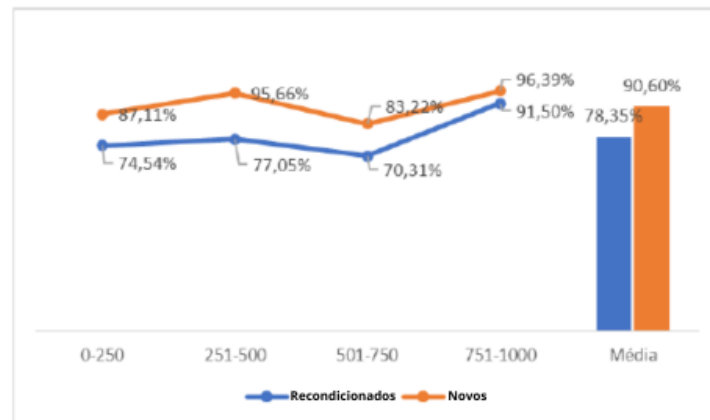


Figura 13 - Disponibilidade física média entre novos e reconicionados (adaptado de Gomes et al., 2022)

Quanto à disponibilidade física, apresentada na Figura 13, avaliada pelo autor, é perceptível uma diferença significativa tanto a nível temporal como na média, observando-se um melhor desempenho nos equipamentos novos.

Foi verificado também que os equipamentos reconicionados sofreram mais 161 ações corretivas do que os equipamentos novos, representando uma variação de 127% e um tempo total gasto em ações corretivas de 1401h, mais 801,67h do que os equipamentos novos.

O autor conclui que após as 1000h de operação nas quais os dois tipos de camiões foram comparados, os que foram reconicionados obtiveram um desempenho inferior. No entanto, a disponibilidade média da frota, mostrou-se dentro dos valores aceitáveis pela empresa, tornando-se uma opção de investimento viável visto que o recondicionamento permitiu poupar 60% face à aquisição de um camião novo. A realização do estudo permitiu também à empresa avaliar e melhorar as suas ações de manutenção de forma a possibilitar que os seus equipamentos atinjam os patamares de desempenho desejados.

2.12. O futuro da manutenção

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e software e com o crescente aumento de sistemas de “*machine learning*” torna-se possível a sua implementação na área da manutenção. Os algoritmos de *machine learning*, não dependem de informação pré-determinada, aprendendo através de dados históricos. Através da análise, é possível desenvolver um modelo que auxilia nas previsões e na tomada de decisões (Shaveta, 2023).

Estes algoritmos poderão tornar-se uma ferramenta indispensável para a aplicação em estratégias de manutenção que se baseiam na instrumentação e monitorização da condição dos equipamentos. Ao basear-se no estado e desempenho do equipamento, bem como no historial de falhas do mesmo, é possível realizar previsões de manutenções futuras. Sabendo que uma análise realizada por um operador para além de ser mais morosa, é mais suscetível ao erro. A aplicação de técnicas de inteligência artificial e *machine learning* pode ser útil neste contexto, possibilitando análises a um maior conjunto de dados de modo mais rápido e em tempo real. Adicionalmente, permite que o plano de manutenções se adapte rapidamente ao contexto, reduzindo riscos operacionais (Zahrah et al., 2018).

Empresas que aplicam estas tecnologias conseguem um prolongamento do ciclo de vida dos seus ativos, além disso mostram-se mais competitivas, conseguindo uma produção a custos inferiores, devido à otimização das ações de manutenção e uma maior flexibilidade (Zahrah et al., 2018).

2.13. Análise Bibliométrica

Foi realizada uma análise bibliométrica de modo a obter-se uma análise mais alargada do tema em estudo, qual a sua relevância e por forma a ter uma visão mais ampla da literatura existente. Com a análise foi possível verificar quais os autores mais influentes, as fontes de relevo na área e os temas relacionados com o tema em estudo. Além disso, a análise permitiu confirmar se os temas abordados estão relacionados com o tema em estudo bem como, ajudou a reunir uma base sólida de assuntos para pesquisas futuras.

A análise bibliométrica apresentada foi realizada 26 de novembro de 2024, extraindo-se os dados científicos da base de dados do *Web of Science Core Collection*, que é uma base de referência na área científica. Com recurso ao *software* VOSviewer foram construídos os diagramas de análise. Para a criação da *query*, apenas foram aplicados termos em inglês visto ser a linguagem mais utilizada pelos autores, possibilitando assim uma pesquisa mais completa e a obtenção de um maior conjunto de resultados. Para a primeira linha de pesquisa utilizou-se o campo *Topic*, de modo a focar a pesquisa em títulos, resumos e palavras-chave de artigos. As palavras-chave introduzidas focam-se no conceito do tema abordado, tendo-se adicionado outros termos como “refurbishment”, “restoration” pois outros autores utilizam estes termos para se referir a atividades de recondicionamento. Também se utilizou os termos “equipment” e “machine” para se obter um maior número de resultados. Foi acrescentada outra linha de pesquisa, novamente com o campo “*Topic*”, mas desta vez com termos relacionados com os diversos tipos de manutenção, já que esta área está intimamente ligada ao tema em estudo. Na Tabela 3, pode-se observar a *query* construída e os resultados obtidos.

Tabela 3 - Query construída no Web of Science

Base de Dados	Query	Resultado
Web of Science	“reconditioning program” OR “equipment reconditioning” OR “machine reconditioning” OR “refurbishment program” OR “equipment restoration” OR restoration OR refurbishment OR reconditioning OR repair OR repairing (Topic) AND “preventive maintenance” OR “predictive maintenance” OR “condition-based maintenance” OR “reliability-centered maintenance” OR “total productive maintenance” (Topic)	2493

Esta *Query* resultou num total de 2493 artigos científicos cuja informação foi introduzida no software VOSViewer com o qual se realizou as análises apresentadas nos seguintes capítulos.

2.13.1. Análise de co-ocorrência

A análise de co-ocorrência relaciona termos e expressões comuns a vários artigos científicos, permitindo descobrir associações temáticas entre os mesmos. Este estudo possibilita alargar o foco da pesquisa, compreender melhor o meio onde se insere e quais os principais tópicos abordados noutros trabalhos científicos relacionados com o tema principal. Para a elaboração da análise no software VOSViewer, apresentada no Apêndice A definiu-se “*Author Keywords*” como unidade de análise. Além disso, estabeleceu-se vinte como o número mínimo de ocorrências para incluir apenas as palavras-chave de destaque e não alargar o foco da pesquisa.

Através da análise de co-ocorrência obteve-se seis *clusters*, sendo estes as palavras-chaves mais significativas para esta análise. Destacam-se os termos “*predictive maintenance*”, “*reliability*”, “*maintenance*”, “*optimization*”, “*preventive maintenance*” e “*two-dimensional warranty*”. Destacam-se outros termos de interesse associados ao planeamento da manutenção e tipos de manutenção. É importante salientar que nesta análise, também surgem termos relacionados a tópicos mais atuais e que começam a estar relacionados à área da manutenção como a simulação e *machine learning*.

2.13.2. Análise de citação

A análise de citação permite obter com facilidade a quantidade de trabalhos científicos e o seu impacto acerca de um determinado tema. O estudo foi realizado com três unidades de análise diferentes: por documentos, por fontes e por autores.

Primeiramente, utilizando documentos como unidade de análise. Obteve-se a análise apresentada no Apêndice A, tendo-se definido 30 como o número mínimo de citações para não se prejudicar as publicações mais atuais. Autores como *Pham, Wang, Cho* revelam ser de grande importância quando são abordados assuntos relacionados com o tema em estudo. É importante referir que apesar de o artigo mais antigo na análise ser do ano de 1980, a grande maioria apresentada nos resultados situa-se entre 2015 e 2024, reforçando a importância deste tema para a indústria.

De seguida, com as fontes como unidade de análise, obteve-se a figura apresentada no Apêndice A. Definiu-se dez como o número mínimo de documentos de uma fonte. Evidenciam-se jornais da área da produção, investigação operacional e da manutenção e fiabilidade. Os jornais *Reliability Engineering & Syst*, o *European Journal of Operational* e *Computers & Industrial Engineer* mostraram ser os mais relevantes.

Por último, repetiu-se a análise com autores como unidade de análise. Definiu-se cinco como o número mínimo de documentos de um autor, de modo a destacar apenas os mais relevantes obtendo-se a figura apresentada no Apêndice A. Destacam-se no tema autores como *Shey-huei Sheu, Maxim Finkelstein, Zhe George Zhang, Chin Chih Chan*.

2.13.3. Análise de co-citação

A análise de co-citação permite-nos compreender com que frequência um par de artigos é citado em conjunto. Este estudo possibilita estabelecer relações entre diversos artigos que possam apresentar alguma semelhança acerca do tema em estudo. Também, neste caso utilizou-se três unidades de análise: referências citadas, fontes citadas e autores citados.

Com a unidade de análise referências citadas, obteve-se o estudo apresentado no Apêndice A. Definiu-se 30 como o valor mínimo de citações de um autor, de modo a não dispersar o foco de estudo. Nesta análise, o número de *clusters* obtido foi menor, destacando-se os autores *Pham H.*, *Wang Hz.*, *Barlow R.* e *Kijima M.*.

De seguida, repetiu-se a análise com a unidade fontes citadas, obtendo-se a figura apresentada no Apêndice A. Definiu-se 30 como o número mínimo de citações de uma fonte. Salientam-se jornais da área da engenharia industrial, investigação operacional e computacional. As fontes em destaque nesta análise foram *Reliability Engineering & System Safety Journal*, *European Journal of Operational Research*, *IEEE Transactions on Reliability* e *Computers & Industrial Engineering*.

Por último, realizou-se a análise com a unidade autores citados, obtendo-se a figura apresentada no Apêndice A. Para esta análise, o número mínimo definido de citações de um autor foi 30. De notar que o software para esta análise apenas considera o primeiro autor de um documento citado. Neste estudo foram obtidos cinco *clusters*, sendo que os dois primeiros agregam mais de 70 autores cada. De entre os apresentados destaca-se *Nakagawa W.*, *Sheu Sh.*, *Wang Hz.* e *Murthy Dnp.*.

2.13.4. Evolução temporal do número de publicações

Por último com a totalidade das publicações obtidas com a *query* efetuou-se uma análise da evolução temporal das publicações de artigos. Obteve-se o gráfico apresentado na Figura 14.

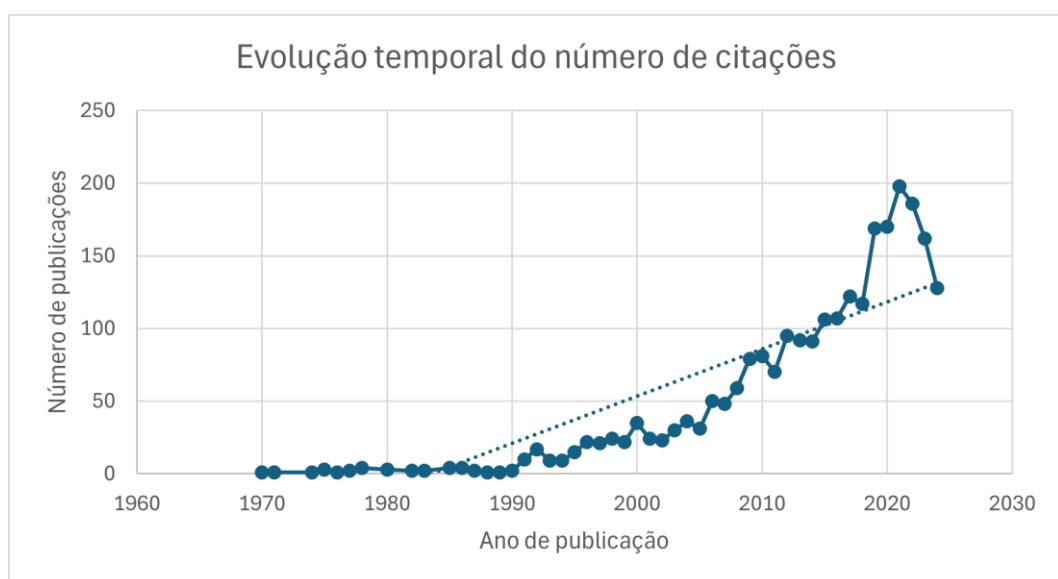


Figura 14 - Evlução temporal do número de citações

Verifica-se que desde 1990 o número de publicações na área tem vindo sempre em crescendo, atingindo-se o pico em 2021 com um total de 198 publicações. Apesar do aumento da importância das atividades de manutenção e recondicionamento para a indústria para que estas consigam manter-se competitivas no mercado e tirar maior rendimento dos seus ativos, é importante salientar que a informação nos últimos anos tem sido mais acessível. Com o surgimento da internet, o acesso a novos estudos, informação e a partilha desta é mais fácil. Isto levou também, a que surgissem novas conferências e jornais científicos o que pode explicar o aumento do número de publicações nos últimos anos.

2.14. Conclusão final da revisão bibliográfica

No presente capítulo foram abordados os conceitos que estão da base das intervenções de recondicionamento dos equipamentos. Na revisão da literatura foi possível analisar as diversas estratégias de manutenção de modo a compreender-se qual a sua relação com as atividades de recondicionamento. Foi exposto o impacto que as diversas estratégias de manutenção podem ter nos custos de operação, tempo de paragem dos equipamentos e quais as mais vantajosas para que se consiga alcançar um maior tempo de vida útil para o equipamento. Alguns conceitos importantes abordados foram o custo indireto e direto da manutenção que revelou que na análise das intervenções não se pode apenas focar no valor referente às tarefas de manutenção, mas deve também ter em conta os custos relacionados com a perda de produção causada pela paragem do equipamento. Verificou-se que para uma otimização das intervenções de manutenção é necessário encontrar-se um balanço entre os dois tipos de custo. O MWTR, o MTRR, o MTBF e o OEE foram definidos como os principais indicadores do desempenho das atividades de manutenção e da operação dos equipamentos, sendo um ponto chave para se efetuar a melhoria contínua das operações. Estes indicadores também serão o ponto a ter em conta para a avaliação do momento ideal para se realizar as intervenções de recondicionamento. Foi também identificado que um dos principais fatores de impacto nos custos das operações de manutenção são os stocks de peças de substituição, que podem comprometer os prazos das tarefas de manutenção, bem como o desenrolar das operações caso haja falhas inesperadas. Foi possível verificar que é vantajoso adotar uma estratégia de revisão contínua para produtos A que se caracterizam por ser de grande importância para as operações e representam uma grande fatia dos custos de stock. Já para os restantes produtos é vantajoso adotar uma estratégia de revisão periódica pois, estes apresentam um menor custo global e são de menor importância, pelo que o seu controlo não precisa de ser tão rigoroso.

Uma gestão eficaz dos ativos também é crucial para garantir uma operação sustentável e que gere valor para a empresa. Cada ativo ao longo do seu ciclo de vida passa por diversas fases, onde se encontram também as atividades de manutenção e recondicionamento, cada uma contendo os respetivos custos associados, daí a importância de uma boa gestão. Através desta análise foi possível averiguar quais as fases que um equipamento percorre durante o seu recondicionamento bem como qual o impacto desta intervenção na extensão do ciclo de vida útil do equipamento.

Revisão bibliográfica

A análise do caso de estudo permitiu comprovar a importância dos tópicos abordados anteriormente, bem como corroborar as vantagens da implementação das intervenções de recondicionamento. Após intervenção, apesar do desempenho do equipamento apresentar valores inferiores comparativamente a um saído de fábrica, a disponibilidade média dos mesmos manteve-se dentro dos valores aceitáveis. Mostrou-se que o recondicionamento, neste caso, dos camiões é uma opção viável permitindo uma poupança de 60% face a um camião novo, existindo margem de melhoria das operações de manutenção para que os valores de poupança sejam ainda superiores e se atinjam os patamares de desempenho ótimos.

3. Caracterização da empresa

Neste capítulo é apresentada a empresa onde foi realizada a dissertação. Inicialmente, é feita uma contextualização da empresa e das suas unidades de negócio. Serão apresentados os departamentos que constituem a empresa com especial foco no departamento de *Mining* e de gestão de equipamento, visto que foi nestes que se centrou o estudo. São descritos os diferentes programas utilizados para se fazer a gestão de equipamento, dos materiais em stock, dos registos de manutenção e a análise e tratamento de dados. Por fim, é explicada a codificação interna utilizada para identificar cada equipamento.

3.1. Apresentação da empresa

Será, primeiro, apresentada a empresa onde foi elaborada esta dissertação, neste caso, a Mota-Engil. Inicialmente, vai ser feita uma breve apresentação histórica da empresa, seguindo-se a apresentação da sua Missão, Visão e Valores. São também apresentadas as áreas de negócios onde a Mota-Engil atua e os departamentos com os quais foi desenvolvido o trabalho.

3.1.1. História da empresa

A Mota-Engil posiciona-se no mercado como um dos maiores grupos empresariais portugueses, tendo sido fundada em 1946 por Manuel António da Mota. Inicialmente, dedicada à construção civil e obras públicas, mas rapidamente expandiu-se para outros setores e consolidando a sua posição em Portugal. Posteriormente a empresa iniciou a sua internacionalização, estabelecendo operações em diversos países e diversificando as áreas de atuação. Em 2000 dá-se a fusão com a Engil, dando origem ao atual Grupo Mota-Engil.

Atualmente a empresa está presente em mais de 30 países distribuídos pela Europa, África e América Latina, contando com 54000 colaboradores. Em 2023, a empresa alcançou níveis recordes de carteira de encomendas conseguindo alcançar um lugar entre as 10 maiores construtoras da América Latina e África e ficando no Top 15 Europeu.

A Mota-Engil tem como visão ser uma referência internacional nos setores onde atua, destacando-se pela inovação e excelência no serviço prestado aos seus clientes e à comunidade. A sua missão centra-se na criação de valor de forma socialmente responsável, respeitando a comunidade e o futuro. Assente numa identidade forte, o Grupo rege-se por valores como a ambição, integridade, coesão e espírito de grupo.

3.1.2. Unidades de negócio

A Mota-Engil atua em diversas áreas de negócio consolidando a sua presença como um grupo de referência a nível internacional. O seu portefólio pode ser dividido em sete unidades de negócio:

- Engenharia e construção – abrange projetos de infraestruturas, afirmando a sua reputação de excelência, destacando-se na construção de autoestradas, portos, barragens, ferrovias, entre outros;
- Serviços industriais de engenharia – atua na exploração e extração de recursos minerais assegurando práticas sustentáveis que minimizam o impacto ambiental;
- Ambiente – dedica-se à gestão de resíduos, tratamento de águas e outras atividades relacionadas com a sustentabilidade ambiental;
- Capital – abrange serviços de gestão de investimentos e atividades financeiras do grupo, incluindo participações em diversos setores;
- MEXT – responsável por gerir diferentes áreas de negócio e alavancar a colaboração dentro do grupo, empresas e colaboradores com entidades externas, universidades e *start-ups*;
- Energia – dedica-se à produção e comercialização de energia elétrica;
- Concessões de infraestruturas – responsável pela gestão e operação de concessões de infraestruturas como portos, autoestradas e outros ativos públicos.

3.1.3. Organização da empresa

A estrutura organizativa da Mota-Engil é estruturada por várias unidades de negócios sendo que cada uma possui gestão autónoma, alinhada com os objetivos do grupo. Cada unidade é ainda subdividida em vários departamentos que gerem todas as operações. Abaixo descrevem-se as funções do departamento de Mineração e de gestão de equipamento que são fulcrais para o bom funcionamento das atividades de mineração e que gerem toda a manutenção e acondicionamento de equipamentos.

O departamento de Mineração é responsável pela execução e gestão de operações de mineração em diversas regiões, com especial destaque para o continente africano. É este departamento que gere todas as atividades relacionadas com a extração do minério, desde a prospeção, transporte e processamento. Toda a operação baseia-se na utilização de equipamentos projetados para maximizar a eficiência das operações.

Sendo o foco do departamento de gestão de equipamento garantir que a disponibilidade e durabilidade dos equipamentos, minimizando os custos operacionais e assegurando um desempenho elevado. O trabalho deste departamento inicia-se com a análise da oferta de mercado, seleção e aquisição de equipamentos, considerando sempre as necessidades do projeto. Para garantir o sucesso das operações é fundamental garantir um bom planeamento das manutenções, sendo responsabilidade do departamento de gestão de equipamento, implementar programas de inspeção, lubrificação, monitorização e reparação. Além disso,

realizam a monitorização de todos os equipamentos recolhendo diversos dados diariamente e realizando um conjunto de análises que permitem estudar as necessidades de manutenção do equipamento, servindo como base do planeamento. Todos os dados, permitem manter a eficiência das operações, com custos controlados e de forma sustentável.

3.2. Ferramentas de apoio à gestão de equipamento

Para auxiliar a gestão de todos os equipamentos, bem como dos dados relacionados com os mesmos são implementadas algumas ferramentas que facilitam não só a organização dos dados como também permitem uma fácil comunicação entre o departamento de gestão de equipamento e o local de mineração. São também, aplicadas outras ferramentas que permitem fazer o tratamento e análise de dados e que são a base para a tomada de diversas decisões estratégicas.

A ciência de dados é uma das bases do planeamento de manutenções. Esta permite uma abordagem mais eficiente, baseada em informação recolhida previamente para que seja possível a melhoria dos processos de manutenção (Duan et al., 2022). A análise de grandes volumes de dados fornecidos pelos operadores, histórico de avarias e condições operacionais promove um planeamento mais preciso e ainda a redução de custos. No entanto, a grande quantidade de dados dificulta a compreensão das relações entre variáveis, uma vez que muitas vezes estes encontram-se desorganizados ou incompletos (Romanowski & Nagi, 2001). De modo a resolvermos esta questão é necessário tratar e transformar os dados em conhecimento, extraíndo valor e atribuindo significado aos mesmos para que se possam tomar decisões mais acertadas.

O ciclo de vida dos dados, ilustrado na Figura 15, representa o conjunto de etapas que estes passam até se traduzirem em conhecimento.



Figura 15 - Ciclo de vida dos dados

A primeira fase envolve a recolha de dados. É essencial nesta etapa que os dados recolhidos sejam de boa qualidade uma vez que serão a base da análise (Wing, 2019). Segue a fase de armazenamento em que guardam os dados recolhidos de forma a reunir-se uma amostra suficientemente grande que permita encontrar padrões. Apesar de serem adicionados novos dados, ao aumentar a quantidade de informação não é possível eliminar erros que por vezes possam surgir e afetar a qualidade da análise. É por isso importante nesta etapa fazer-se uma verificação e limpeza dos dados (Levitin & Redman, 1993). De seguida, é realizada a análise dos dados, em que se utilizam métodos estatísticos para estudar os dados e transformá-los em

Caracterização da empresa

informação útil que sustente as tomadas de decisão (Wing, 2019). Toda a análise é depois representada em tabelas e gráficos que permitem uma apresentação dos dados de forma clara. Assim, a ciência de dados permite-nos compreender padrões entre diversas variáveis, antecipando falhas e otimizando as decisões estratégicas. Ao transformar os dados em conhecimento da operação consegue-se um maior equilíbrio entre os custos e a fiabilidade operacional.

3.2.1. Sistema SAP

A empresa utiliza para a gestão dos seus dados o *software* SAP que se baseia no sistema de gestão ERP ("*Enterprise Resources Planning*"). Este sistema permite centralizar a gestão de dados, possibilitando que colaboradores de diferentes áreas possam aceder aos mesmos, melhorando os fluxos de trabalho, a eficiência operacional e a produtividade. Todas as informações como horas de operação diárias, stocks de peças de substituição, operações de manutenção preventivas e corretivas, consumos de combustível, encontram-se registadas no sistema. Estes dados permitem a análise de desempenho dos diversos equipamentos, com os quais se determinam os KPI's e se estes estão nos intervalos aceitáveis.

3.2.2. Gestão de equipamento e das ações de manutenção

Com a enorme quantidade de dados disponíveis através da utilização do *software* SAP, é necessário tratar os mesmos e interpretá-los. Para isso são aplicadas as ferramentas *Microsoft Excel* e *Microsoft Power BI* com as quais se organizam e tratam os dados. É nesta fase que também são eliminados possíveis erros, uma vez que os dados utilizados na análise são introduzidos no SAP manualmente e por isso suscetíveis de erro. Com estas ferramentas são calculados diversos KPI's como por exemplo: MTTR, MTBF, disponibilidade, entre outros. Com os resultados destes, são elaborados gráficos que permitem avaliar a evolução dos indicadores ao longo do tempo. Tanto os valores dos diversos indicadores como evolução temporal dos mesmos são comparados com os valores de referência, fornecidos pelo fabricante do equipamento, permitindo o planeamento das ações de manutenção. No entanto, por vezes ocorrem avarias antes do período de manutenção preventiva e é aproveitada a paragem do equipamento para realizar a intervenção preventiva no equipamento. Daí resulta a necessidade de se manter um acompanhamento contínuo por parte da equipa do departamento de gestão de equipamento.

3.2.3. Gestão de stocks de peças de reposição e consumíveis

As gestões de stocks assumem um papel fundamental nas operações de manutenção, uma vez que estas operações encontram-se em locais remotos, em que o acesso a peças de substituição é difícil. Para garantir a continuidade das operações em caso de avaria dos equipamentos é essencial ter disponibilidade imediata de componentes críticos o que evita longos períodos de espera para reparação. No entanto, para termos estes componentes no local é necessário um grande investimento. Torna-se então essencial adotar uma boa política de gestão de stocks,

pois estas podem representar um grande encargo financeiro com custos de armazenamento e de manutenção de stocks, sendo necessário manter um equilíbrio entre a disponibilidade de componentes e a otimização de custos. Recorrendo novamente aos dados registados no SAP e às métricas determinadas com o *Microsoft Excel* e o *Microsoft Power BI* é possível realizar previsões de consumo de peças, identificar padrões e falha e antecipar a necessidade de componentes, reduzindo a necessidade de possuir grandes quantidades armazenadas. Outra componente fundamental, são as parcerias estratégicas com fornecedores locais ou próximos do local de mineração que permitam a disponibilidade das peças em tempo útil, reduzindo-se assim novamente a necessidade de grandes quantidades de stock e também o tempo de paragem do equipamento.

3.3. Codificação interna

Com a grande quantidade de equipamentos diferentes presentes no local de mineração e como por vezes estes apresentam nomes bastante compridos e complexo, é utilizada uma codificação interna, como a mostrada na Figura 16 que identifica o equipamento. Esta nomenclatura é gerada pelo SAP e é transversal a todos os departamentos. Todos os dados relativos a um equipamento são associados à sua respetiva codificação e inclusive o equipamento no local de mineração está etiquetado com essa codificação, como se pode visualizar na Figura 17 em que o número presente nas placas se refere ao número associado à codificação interna. Em todos os elementos visuais apresentados ao longo desta dissertação os equipamentos serão identificados pela sua codificação interna.

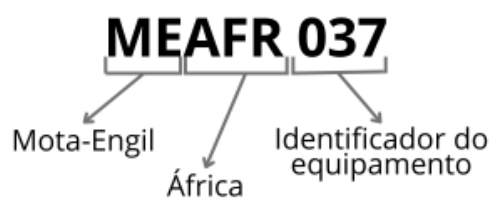


Figura 16 – Explicação da codificação interna



Figura 17 - Codificação aplicada nos equipamentos

Cada intervalo de identificadores refere-se a um tipo de equipamento diferente, sendo que os intervalos de classificação podem diferir entre diferentes minas.

Tabela 4 - Exemplificação da codificação de diferentes equipamentos

Código	Descrição
MEAFR 051 – MEAFR 079	Camião 100T
MEAFR 038 – MEAFR 041	Escavadora 230T

Caracterização da empresa

4. Caracterização e análise do problema

Neste capítulo descreve-se a situação atual do problema em estudo em três fases distintas, onde será feita uma análise a três operações de mineração. Inicialmente o estudo incide na mina localizada em Siguiri, na Guiné, que encerrou a operação no ano de 2023. De seguida, o estudo irá focar-se na mina localizada em Moatize, Moçambique que se encontra atualmente em operação. Por último, com base no estudo dos dois casos anteriores, irá iniciar-se o planeamento de recondicionamentos da mina localizada em Seguela, que arrancou em 2024 a sua operação. Com isto pretende-se obter uma visão com um horizonte temporal mais alargado, avaliando-se operações do passado, presente e do futuro. Já há medidas implementadas na mina de Moatize após a análise dos problemas identificados em Siguiri, pretendendo-se, assim, avaliar a sua eficácia. Por último, pretende-se elaborar um conjunto de medidas a implementar na mina de Seguela de modo a conseguir-me melhores resultados operacionais com os recondicionamentos.

4.1. Descrição de uma exploração de mineração

A exploração mineira é um processo complexo que envolve diversas etapas interligadas, ilustradas na Figura 18. Antes de se iniciar a extração são realizados levantamentos geológicos, através dos quais se identificam os depósitos de mineração e que permitem definir a área a minerar. Após este estudo, passa-se à fase do planeamento, em que se dimensiona a frota de equipamentos e constrói-se a infraestrutura necessária como estradas de acesso, oficinas, áreas de depósito, entre outras. De seguida inicia-se o processo de extração. Para remover o minério é necessário fragmentar a rocha. Para isso, é realizada a perfuração de furos onde são inseridos explosivos. Posteriormente, carrega-se o material para camiões que o transportam para a zona de processamento. Neste local, o material é depositado em tremonhas que realizam a britagem do minério, reduzindo a dimensão do mesmo, facilitando desta forma o seu processamento. Na saída da tremonha estão colocados tapetes que transportam o material para a fábrica de processamento onde se realiza a limpeza do material extraído.

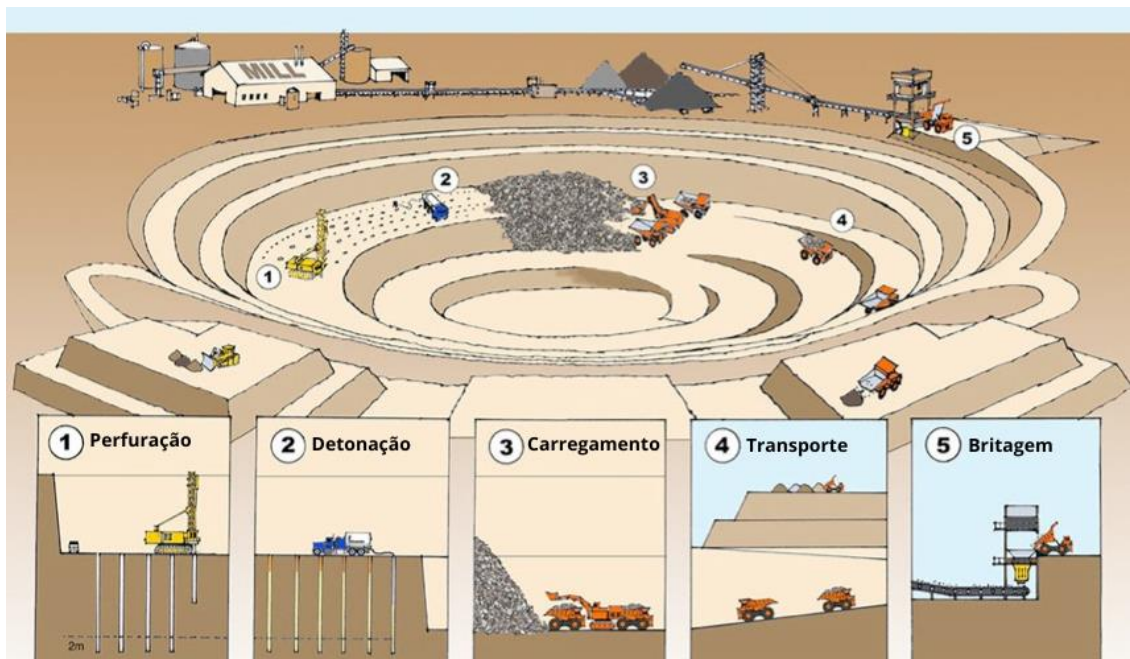


Figura 18 - Etapas de extração de minério (adaptado de Huq, 2016)

4.1.1. Metodologia de *ranking* de equipamentos

Na mineração são diversos os equipamentos utilizados numa operação, no entanto, nem todas apresentam a mesma importância na forma como contribuem para a produtividade. A importância de cada um varia, consoante a organização da mina, o método utilizado para a extração do minério, sendo que alguns equipamentos são indispensáveis para a continuidade das operações. Para além de existir uma grande variedade de máquinas no local de extração, a quantidade existente também é muito diversificada, sendo a principal razão o custo de cada um dos equipamentos. Apesar de não existir nenhum método de avaliação da importância dos equipamentos, foram definidos alguns parâmetros que permitiram classificar as máquinas e organizá-las de acordo com a sua importância para a operação. Esta comparação permite a tomada de decisões quanto às operações de manutenção e acondicionamento, bem como possibilita a escolha dos equipamentos que devem sofrer um acompanhamento mais rigoroso e requerendo uma maior atenção por parte do departamento de equipamento e por parte das equipas de manutenção.

Para classificar-se o equipamento pela sua importância para a produtividade da operação, foi atribuída uma classificação de um a cinco de acordo com cada parâmetro definido, sendo um o grau mais crítico e cinco o grau menos crítico. Foram considerados para a avaliação os parâmetros apresentados na Tabela 5. O ranking do equipamento resulta da multiplicação de cada um dos parâmetros. Um menor valor resultante da multiplicação significa maior importância do equipamento para a operação.

Tabela 5 - Descrição dos parâmetros utilizados para classificar a importância dos equipamentos

Parâmetro	Descrição
Criticidade operacional (CO)	Caracteriza a importância do equipamento para a continuidade da operação.
Impacto na produtividade (IP)	Caracteriza a influência do equipamento na produtividade da operação.
Custo de aquisição (CA)	Caracteriza o custo inicial de aquisição do equipamento.
Custo de manutenção (CM)	Caracteriza o custo das atividades de manutenção (compras de peças, mão de obra, tempo de paragem).
Facilidade de manutenção (FM)	Caracteriza a facilidade manter o equipamento em operação.

Esta metodologia de avaliação apenas será aplicada a máquinas que têm impacto direto na operação de extração de minério e que passaram por um processo de recondiçãoamento.

4.1.2. Indicadores de desempenho

Os KPI's são conceitos que muitas vezes não são valorizados na área da mineração. Muitas vezes, recolhe-se uma enorme quantidade de dados, que não são utilizados em análise ou apenas servem como fonte de informação para relatórios de performance sem providenciar informação útil para a equipa de gestão de equipamento. Apenas a análise dos dados não permite retirar conclusões diretas se a operação está a corresponder às expectativas de produção e se os equipamentos estão a oferecer o desempenho esperado.

A aplicação dos KPI's permite traduzir os dados recolhidos em resultados que são possíveis de comparar com uma escala previamente definida, possibilitando que se avalie e retire conclusões mais facilmente e que os resultados possuam realmente algum significado prático. Além disso, a aplicação dos indicadores permite:

- Quantificar o desempenho relativamente aos objetivos internos da empresa;
- Facilita a previsão do comportamento do equipamento com base em dados do passado;
- Identificar oportunidades de redução de custos e de melhoria de intervenções de manutenção;
- Identificar problemas e implementar ações corretivas;
- Estabelecer prioridades no uso de recursos;
- Monitorizar o progresso das ações implementadas para mitigação dos problemas.

Abaixo apresentam-se as expressões utilizadas para determinar o valor dos KPI's dos respetivos equipamentos. Estas traduzem para valores a disponibilidade, produtividade, fiabilidade, dos equipamentos e são a base para a tomada de decisões estratégicas da empresa. Os indicadores

Caracterização e análise do problema

são a base de análise que permitem a elaboração do plano de manutenções preventivas e através destes também se avalia a performance dos equipamentos, existindo uma equipa na empresa dedicada apenas à análise da performance destes equipamentos.

Todas as intervenções de manutenção, tempos de paragem, utilização de peças, horas de operação são registadas diariamente na plataforma SAP, sendo estes dados posteriormente tratados e analisados pela equipa de performance. Estes valores permitem adequar o plano de manutenções a cada equipamento e são importantes na tomada de decisões para a aquisição de novos equipamentos.

Abaixo apresenta-se uma breve descrição de cada um dos indicadores bem como as expressões aplicadas para determinar o valor dos respetivos KPI's. As variáveis utilizadas nas expressões foram as seguintes:

Av. Hours é o número total de horas que o equipamento podia operar;

Op Time é o número de horas de operação do equipamento;

Stand by é o número de horas em que o equipamento esteve disponível para operação, mas não foi utilizado;

TBD é o número total de horas que o equipamento esteve parado por avaria mecânica ou por acidente;

TPVM é o número de horas gastas em intervenções de manutenção preventiva;

TDT é o número total de horas que o equipamento esteve parado por avaria mecânica ou por acidente e devido a manutenções preventivas;

NBD é a quantidade total de avarias mecânicas ou de acidentes;

NPM é a quantidade de intervenções de manutenção preventiva;

NDT é o número total de paragens devido a avarias, acidentes e manutenções preventivas.

$$MTBF = \frac{Av. Hours - TBD}{NBD} \quad (1)$$

$$MTBFM = \frac{Av. Hours - TDT}{NDT} \quad (2)$$

$$MTTR = \frac{TBD}{NBD} \quad (3)$$

$$MTTRM = \frac{TDT}{NDT} \quad (4)$$

$$MTBS = \frac{Op Time}{NDT} \quad (5)$$

$$MTTM = \frac{TPVM}{NPM} \quad (6)$$

$$AV (\%) = \frac{AV Hours - TDT}{AV Hours} \quad (7)$$

$$Ut AV (\%) = \frac{Op Time}{Av Hours - TDT} \quad (8)$$

$$Mec/Av (\%) = \frac{Op Time}{Op Time + TDT} \quad (9)$$

$$UT (\%) = \frac{Op Time}{Av Hours} \quad (10)$$

$$SB (\%) = \frac{\text{Stand by}}{\text{Av Hours}} \quad (11)$$

$$SM (\%) = \frac{\text{TPVM}}{\text{Av Hours}} \quad (12)$$

$$UM (\%) = \frac{\text{TBD}}{\text{Av Hours}} \quad (13)$$

$$\text{Stand by} = \text{Av Hours} - \text{Op Time} - \text{TDT} \quad (14)$$

O MTBF, da equação (1) representa o tempo médio que decorre entre duas paragens não planeadas consecutivas no mesmo equipamento. Permite avaliar a fiabilidade dos equipamentos. Foi também determinado o MTBFM (2) em que se considerou o tempo médio entre duas paragens consecutivas considerando as paragens para manutenção preventiva.

O MTTR, da equação (3), representa o tempo médio necessário, em horas, para reparar um equipamento, considerando apenas as horas de avaria. Possibilita que se avalie o desempenho das equipas de manutenção. Foi determinado também o MTTRM (4), que considera o tempo de paragem tanto de avarias como de manutenções preventivas.

O MTBS, calculado pela equação (5), representa o tempo médio, em horas, entre paragens, considerando apenas as horas em que o equipamento esteve realmente em operação. Este indicador permite-nos avaliar a fiabilidade da máquina e eficiência das equipas de manutenção.

O MTTM, apresentado na equação (6), representa o tempo médio gasto com intervenções de manutenção preventiva, em horas. Permite avaliar a eficiência das equipas de manutenção e se estas estão preparadas para as devidas manutenções.

A AV, calculado pela equação (7) representa a taxa de disponibilidade em que o equipamento poderia operar, ou seja, é a taxa das horas em que o equipamento não esteve parada devido a avarias ou manutenções e que poderia estar a operar.

A Ut AV, obtido pela equação (8), representa a taxa em que o equipamento foi utilizado durante o período de tempo em que este esteve disponível para operação. Permite-nos determinar o nível de utilização do equipamento.

operar.

A Mec/Av, na equação (9), representa a taxa de tempo de operação relativamente ao tempo de operação somado do número de horas de paragem por avarias, acidentes e manutenções preventivas.

A UT, determinado pela equação (10), representa a taxa de horas de operação relativamente às horas disponíveis para operar. Permite avaliar a eficácia com que o departamento do equipamento planeia a manutenção e a eficiência e a eficiência com que este é utilizado.

A SB, calculado pela equação (11), representa a taxa de não utilização do veículo relativamente às horas disponíveis para operar. O *Stand by* apresentado na equação é calculado pela expressão (14).

A SM, na equação (12), representa a taxa de manutenções preventivas relativamente às horas disponíveis para operar.

A UM, calculado pela expressão (13), representa a taxa de avarias/acidentes relativamente às horas disponíveis para operar.

4.2. Mina de Siguiri

A mina de Siguiri, é uma operação de mineração de ouro localizada na Guiné, no continente africano. É composta por um conjunto de minas a céu aberto a partir das quais se extrai o minério. Apesar das operações terem-se iniciado em 2017, a Mota-Engil apenas iniciou a sua atividade no início do ano de 2018, através da assinatura de um contrato de mineração. O encerramento da extração deu-se em junho de 2023.

4.2.1. Parque de máquinas

Como já foi referido nos capítulos anteriores, são vários os equipamentos que compõem o parque de máquinas e que são diariamente utilizados nas operações.

Grupo	Quantidade	Custo de aquisição
+ Equipamento de apoio à produção	3	\$43.686
+ Equipamento de mineração	49	\$65.748.941
+ Equipamento de produção	75	\$9.766.824
+ Equipamento estrutural	27	\$1.355.544
Total	154	\$76.914.995

Figura 19 - Quantidade e custo de aquisição de equipamentos por grupo

O parque é composto por um conjunto de 154 equipamentos, como se verifica na Figura 19 e que podem ser agrupados em quatro grupos distintos. O grupo Equipamento de mineração é constituído por todas as máquinas que são utilizadas para a extração do minério, inserindo-se neste conjunto as escavadoras, perfuradoras, camiões, motoniveladoras e pás carregadoras. É neste grupo que se concentra a grande parte dos custos de aquisição de equipamento. O grupo Equipamento de produção engloba todos os equipamentos de apoio direto à mineração e responsáveis por manter o bom funcionamento da mina, do qual fazem parte cilindros compactadores, camiões de transporte de combustível, miniescavadoras, tratores de rastos, geradores, bombas de água, torres de iluminação, camiões de transporte de veículos, autocarros, camiões de assistência, empilhadores e carregadoras telescópicas. O grupo Equipamento de apoio à produção é composto por máquinas auxiliares, principalmente de apoio às oficinas de reparação. Compõem este conjunto máquinas de soldar e máquinas de lavar à pressão. O grupo Equipamento estrutural inclui todos os equipamentos de apoio às infraestruturas, onde se inserem veículos ligeiros e pequenas *Pick-up*.

O foco desta dissertação é avaliar se é viável ou não a realização de recondicionamentos aos equipamentos. Nesse sentido, apenas farão parte da análise equipamentos que sofreram recondicionamentos. Cumprem essas condições os Equipamentos de mineração, exceto as perfuradoras e os tratores de rastos pertencentes ao Equipamento de produção. De forma a contextualizar a função de cada equipamento em análise na extração do minério apresenta-se na Tabela 6 uma descrição da função desempenhada na mina.

Tabela 6 - Descrição da função de cada equipamento

<p>Off-Highway Truck</p>		<p>São os responsáveis por realizar o transporte do minério desde o local de extração até ao local de deposição.</p>
<p>Hydraulic Mining Shovels</p>		<p>São responsáveis por realizar a extração do minério e carregá-lo nos camiões.</p>
<p>Motor Grader</p>		<p>São responsáveis por manter as pistas de circulação limpas e em bom estado, de forma a evitarem acidentes e avarias.</p>
<p>Wheel Loader</p>		<p>São responsáveis por carregar o material depositado na zona de descarga para as tremonhas que vão levar o minério para a limpeza.</p>
<p>Track Dozer</p>		<p>Responsáveis por manter a área de carga limpas.</p>

Na Tabela 7, apresenta-se a quantidade de cada tipo de equipamento que compõe o parque de máquinas, bem como o número de equipamentos que sofreram intervenções de acondicionamento.

Caracterização e análise do problema

Tabela 7 - Lista de equipamentos do parque de máquinas

	Equipamento de mineração				Equipamento de produção	
	<i>Off-Highway Truck</i>	<i>Hydraulic Mining Shovels</i>	<i>Motor Grader</i>	<i>Wheel Loader</i>	<i>Track Dozer</i>	
Quantidade total	31	5	3	3	7	
Recondicionados	22	4	3	2	6	
Ano de Aquisição	2017	27	3	3	2	6
	2018	-	-	-	-	-
	2019	-	2	-	1	-
	2020	-	-	-	-	-
	2021	4	-	-	-	-
	2022	-	-	-	-	1

É possível verificar-se que nem todos os equipamentos em análise foram recondicionados. Uma das razões são os diferentes anos de aquisição dos veículos sendo que alguns foram adquiridos mais tarde, por necessidade de se aumentar a capacidade produtiva. Por esse motivo, os equipamentos mais recentes tiveram uma acumulação de horas de operação bastante menor pelo que a grande maioria não sofreu recondicionamento. Outra razão que levou a esta diferença de quantidade de equipamentos no parque de máquinas e de equipamentos que foram recondicionados foi a capacidade da oficina de reparação. Esta apenas consegue servir uma pequena quantidade da frota simultaneamente e dado que as operações de recondicionamento são bastante morosas, bem como algumas intervenções de manutenção, acabou-se por não se realizar o recondicionamento a todos os equipamentos.

Na Tabela 8, apresenta-se a classificação atribuída a cada equipamento através da metodologia de *Ranking*.

Tabela 8 - Classificação do equipamento

Equipamento	CO	IP	CA	CM	FM	Total
<i>Off-Highway Trucks</i>	4	3	1	1	3	36
<i>Hydraulic Mining Shovels</i>	1	1	2	2	2	8
<i>Motor Grader</i>	1	1	4	4	3	48
<i>Wheel Loader</i>	1	1	2	3	4	24
<i>Track Dozer</i>	3	2	3	3	3	162

Com os resultados obtidos, verifica-se que as *Hydraulic Mining Shovels* são o equipamento mais crítico sendo estas a base de toda a operação, nesse sentido devem ser a prioridade da equipa de manutenção. Em segundo lugar, classificam-se as *Wheel Loaders*, uma vez que estas existem em pouca quantidade nas operações e as suas paragens por avaria podem ter um grande impacto na produtividade. De seguida, os *Off-Highway Trucks*, seguidos dos *Motor Graders*. Por último classificam-se os *Track Dozers*. Ao longo dos próximos subcapítulos os equipamentos presentes no parque de máquinas serão designados pela sua codificação interna. Na Tabela 9 abaixo apresenta-se a codificação associada a cada tipo de equipamento.

Tabela 9 - Codificação interna utilizada na mina de Siguiri

Categoria	Marca/modelo	Codificação
<i>Off-Highway Trucks</i>	CAT 777G	MEAFR 051 – MEAFR 079
<i>Hydraulic Mining Shovels</i>	CAT 6020B	MEAFR 038 – MEAFR 041; MEAFR 044
<i>Motor Grader</i>	CAT 16M3	MEAFR 081 – MEAFR 083
<i>Wheel Loader</i>	CAT 992K	MEAFR 035 – MEAFR 037
<i>Track Dozer</i>	CAT D9R	MEAFR 086 – MEAFR 091

4.2.2. Infraestruturas de manutenção

As infraestruturas de manutenção desempenham um papel fundamental no desenrolar das operações de mineração, garantindo que estas se mantenham em funcionamento com eficiência e segurança. Devido à elevada intensidade de trabalho, é essencial que a mina disponha de uma infraestrutura capaz de assegurar o acompanhamento necessário aos equipamentos, garantindo o cumprimento do plano de manutenção preventiva.

Este é um dos fatores que condiciona o planeamento das intervenções de manutenção. Apesar do elevado número de equipamentos em operação, verificou-se que o espaço disponível para as intervenções apresentava limitações. A oficina de manutenção permitia apenas a realização

Caracterização e análise do problema

de operações em espaço coberto para três equipamentos, o que aumentava significativamente a complexidade em casos de reparações prolongadas.

A construção e o dimensionamento das instalações de oficina podiam, por outro lado, enfrentar constrangimentos relacionados com a dificuldade em obter mão de obra especializada, bem como alojamento para os mesmos, uma vez que se trata de operações em zonas remotas.

Outro desafio que contribui para o aumento dos tempos de reparação são as dificuldades logísticas entre a encomenda dos materiais necessários e a sua entrega no local. Este processo envolve aprovações de encomendas, verificação de disponibilidade em stock, transporte e procedimentos alfandegários. Como exemplo, o camião MEAFR 051, conforme ilustrado na Figura 19, esteve mais de um mês e meio em reparação. Situações como esta acabam por afetar o cumprimento dos planos de manutenção de outros equipamentos.

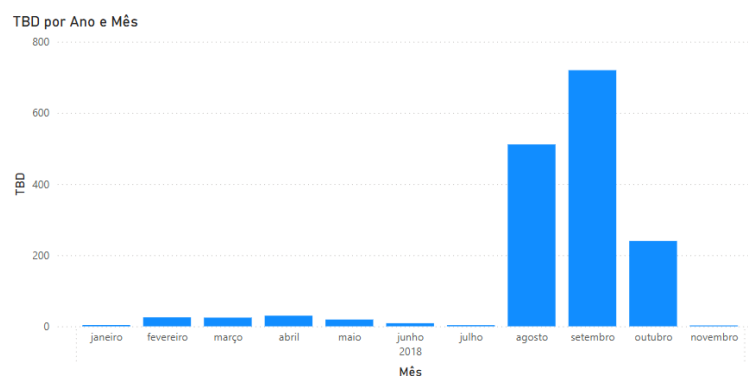


Figura 20 - Disponibilidade mensal no ano de 2018 do camião MEAFR 051

4.2.3. Análise dos indicadores de desempenho

Neste capítulo serão apresentados os resultados de desempenho obtidos através dos dados recolhidos durante a operação dos equipamentos na mina de Siguiri. Visto o contrato exploração já ter terminado, é possível obter uma visão global de como o equipamento desempenhou ao longo do seu tempo de vida na mina. Além disso, permite que se faça a análise comparativa entre equipamentos da mesma categoria e que se analise o valor dos indicadores ao longo de diferentes fases do ciclo de vida do equipamento, por exemplo: ao longo do primeiro ano de operação, um ano antes de se realizar o recondicionamento e um ano após o recondicionamento. Devido à grande quantidade de equipamentos, para efeito de análise e estudo sobre a viabilidade dos recondicionamentos apenas serão apresentados dados relativos a uma amostra de cada tipo de equipamento.

Na Figura 21, apresenta-se o valor de cada um dos parâmetros utilizados na determinação dos KPI's desde o início de operação do equipamento até ao último dia de operação.

Equipamento	TBD	TPM	TDT	NBD	NPM	NDT	Op time	Av Hours
Hydraulic Mining Shovels 230 T	11409	10915	22324	2229	2494	4723	93152	144504
MEAFR 039	3490	3269	6759	677	823	1500	31706	48168
MEAFR 040	4079	3790	7869	776	854	1630	30895	48168
MEAFR 041	3840	3856	7697	776	817	1593	30551	48168
Motor Graders 25 T	14954	8136	23091	2254	1724	3978	87815	144504
MEAFR 081	3762	1204	4966	732	473	1205	31347	48168
MEAFR 082	7046	2505	9551	770	580	1350	27314	48168
MEAFR 083	4146	4427	8573	752	671	1423	29154	48168
Off-Highway Trucks 100 T	12936	7971	20907	2932	1370	4302	158890	288264
MEAFR 054	1912	1165	3078	494	216	710	24402	48168
MEAFR 056	1371	1692	3062	492	233	725	24166	48168
MEAFR 058	2607	1048	3656	541	230	771	27419	48168
MEAFR 059	3456	1068	4524	513	203	716	27666	47424
MEAFR 063	2575	1112	3686	474	243	717	27396	48168
MEAFR 067	1015	1886	2901	418	245	663	27841	48168
Track-Type Dozer 50 T	33296	12289	45585	3863	2921	6784	141581	289008
MEAFR 086	4875	3638	8512	627	576	1203	23458	48168
MEAFR 087	5188	1690	6879	675	501	1176	23739	48168
MEAFR 088	4395	1327	5722	666	456	1122	22927	48168
MEAFR 089	7337	1916	9253	690	471	1161	22278	48168
MEAFR 090	7322	1792	9114	707	451	1158	24390	48168
MEAFR 091	4179	1926	6105	498	466	964	24789	48168
Wheel Loader 100 T	5816	2849	8665	854	661	1515	65156	96336
MEAFR 035	2546	1234	3780	411	324	735	32655	48168
MEAFR 036	3269	1616	4885	443	337	780	32501	48168
Total	78412	42160	120572	12132	9170	21302	546594	962616

Figura 21 - Dados base para cálculo dos KPI's

Analisando os dados é facilmente perceptível que pelo número de horas disponíveis para operação dos vários equipamentos é praticamente igual, excetuando o caminhão MEAFR 059, que entrou em operação mais tarde. Além disso como o tempo total do ciclo de vida dos equipamentos é semelhante permite uma comparação entre máquinas do mesmo grupo mais fácil e realista. Quanto às horas de paragem, constata-se que excluindo os caminhões, os restantes equipamentos apresentam tempos de paragem devido a avarias bastantes superiores aos tempos de paragens para manutenções preventivas, o que também se verifica na quantidade de paragens existindo uma diferença considerável entre paragens planeadas e não planeadas. Seria esperado que o número de paragens por avaria fosse bastante inferior ao das paragens planeadas uma vez que estas últimas servem para fazer reparações e inspeções de rotina de modo a evitar paragens repentinas da produção. O elevado número de horas associado a intervenções de reparação não planeadas leva-nos a concluir que as oficinas não dispunham de capacidade suficiente para atender os pedidos de reparação, sendo que por vezes verificou-se falta de stock de peças de substituição. No que diz respeito ao tempo de operação, para a grande maioria dos equipamentos este representa apenas cerca de 67% do tempo disponível para operação, o que é longe do esperado. Dado que estes, equipamentos operam 24h, sete dias por semana seria esperado um número de horas de operação muito mais próximo do valor de horas disponíveis. Este baixo valor, é justificado pelo elevado número de horas gastos em reparação e também pelo número de horas em que o equipamento esteve em *Stand by*. Relativamente a este último, verificou-se que certos equipamentos possuem um valor acima do esperado, ou seja, existiram equipamentos que estavam em condições de operação, mas, no entanto, estiveram inutilizados. Este problema, ainda é mais gravoso no caso dos *Track Dozers*, verificando-se que o tempo de operação representa menos de 50% do tempo disponível

Caracterização e análise do problema

para operar, sendo que também possuem tempos de paragem para reparação bastante acima dos restantes grupos de equipamentos.

Estes valores possibilitaram o cálculo dos KPI's de cada equipamento apresentando-se os resultados na Figura 22.

Equipamento	MTBF	MTBFM	MTTR	MTTRM	MTBS	MTTM	UT	Av.	Ut Ava	SB	SM	UM
Hydraulic Mining Shovels 230 T	59,71	25,87	5,12	4,73	19,72	4,38	64,46%	84,55%	76,24%	20,09%	7,55%	7,90%
MEAFR 039	65,99	27,61	5,15	4,51	21,14	3,97	65,82%	85,97%	76,57%	20,15%	6,79%	7,25%
MEAFR 040	56,82	24,72	5,26	4,83	18,95	4,44	64,14%	83,66%	76,66%	19,52%	7,87%	8,47%
MEAFR 041	57,12	25,41	4,95	4,83	19,18	4,72	63,43%	84,02%	75,49%	20,60%	8,01%	7,97%
Motor Graders 25 T	57,48	30,52	6,63	5,80	22,08	4,72	60,77%	84,02%	72,33%	23,25%	5,63%	10,35%
MEAFR 081	60,66	35,85	5,14	4,12	26,01	2,55	65,08%	89,69%	72,56%	24,61%	2,50%	7,81%
MEAFR 082	53,41	28,61	9,15	7,07	20,23	4,32	56,71%	80,17%	70,73%	23,47%	5,20%	14,63%
MEAFR 083	58,54	27,82	5,51	6,02	20,49	6,60	60,53%	82,20%	73,63%	21,68%	9,19%	8,61%
Off-Highway Trucks 100 T	93,90	62,15	4,41	4,86	36,93	5,82	55,12%	92,75%	59,43%	37,63%	2,77%	4,49%
MEAFR 054	93,64	63,51	3,87	4,33	34,37	5,40	50,66%	93,61%	54,12%	42,95%	2,42%	3,97%
MEAFR 056	95,12	62,21	2,79	4,22	33,33	7,26	50,17%	93,64%	53,58%	43,47%	3,51%	2,85%
MEAFR 058	84,22	57,73	4,82	4,74	35,56	4,56	56,92%	92,41%	61,60%	35,49%	2,18%	5,41%
MEAFR 059	85,71	59,92	6,74	6,32	38,64	5,26	58,34%	90,46%	64,49%	32,12%	2,25%	7,29%
MEAFR 063	96,19	62,04	5,43	5,14	38,21	4,57	56,88%	92,35%	61,59%	35,47%	2,31%	5,34%
MEAFR 067	112,81	68,28	2,43	4,38	41,99	7,70	57,80%	93,98%	61,50%	36,18%	3,92%	2,11%
Track-Type Dozer 50 T	66,20	35,88	8,62	6,72	20,87	4,21	48,99%	84,23%	58,16%	35,24%	4,25%	11,52%
MEAFR 086	69,05	32,96	7,77	7,08	19,50	6,32	48,70%	82,33%	59,15%	33,63%	7,55%	10,12%
MEAFR 087	63,67	35,11	7,69	5,85	20,19	3,37	49,28%	85,72%	57,49%	36,44%	3,51%	10,77%
MEAFR 088	65,72	37,83	6,60	5,10	20,43	2,91	47,60%	88,12%	54,02%	40,52%	2,76%	9,12%
MEAFR 089	59,18	33,52	10,63	7,97	19,19	4,07	46,25%	80,79%	57,25%	34,54%	3,98%	15,23%
MEAFR 090	57,77	33,73	10,36	7,87	21,06	3,97	50,64%	81,08%	62,45%	30,44%	3,72%	15,20%
MEAFR 091	88,33	43,63	8,39	6,33	25,71	4,13	51,46%	87,33%	58,93%	35,86%	4,00%	8,68%
Wheel Loader 100 T	106,00	57,87	6,81	5,72	43,01	4,31	67,63%	91,01%	74,32%	23,37%	2,96%	6,04%
MEAFR 035	111,00	60,39	6,20	5,14	44,43	3,81	67,79%	92,15%	73,57%	24,36%	2,56%	5,29%
MEAFR 036	101,35	55,49	7,38	6,26	41,67	4,79	67,47%	89,86%	75,09%	22,38%	3,35%	6,79%
Total	72,88	39,53	6,46	5,66	25,66	4,60	56,78%	87,47%	64,91%	30,69%	4,38%	8,15%

Figura 22 - Indicadores de desempenho por equipamento

Abaixo, na Tabela 10 apresentam-se os valores de referência fornecidos pelo vendedor do equipamento e que são a base da comparação com as análises realizadas na empresa e a que será aplicada para avaliar os resultados obtidos para os equipamentos em análise.

Tabela 10 - KPI's definidos pelo fornecedor para o grau excelente

	<i>Hydraulic Mining Shovel</i>	<i>Off-Highway Truck</i>	<i>Motor Grader</i>	<i>Wheel Loader</i>	<i>Track Dozer</i>
MTBF (h)	55	65	95	55	55
Av. (%)	88	85	89	88	88

As *Hydraulic Mining Shovels* apresentam um valor de MTBF acima do valor de referência, no entanto a disponibilidade de equipamento está abaixo do valor esperado. Isto deve-se ao facto de nestes equipamentos serem realizadas uma grande quantidade de manutenções preventivas, dado que estas máquinas são o elemento mais crítico da operação e, por isso, têm a necessidade de um maior controlo. Já as *Motor Graders* apresentam um MTBF muito abaixo do valor de referência estabelecido devido ao grande número de avarias que este tipo de equipamentos apresentou ao longo da operação. A disponibilidade das *Motor Graders* apesar de estar abaixo do valor esperado, não é crítica, isto porque apesar do grande número de avarias estas foram em grande parte de reparação fácil e rápida. É importante destacar, o equipamento MEAFR 082 que apresentou um desempenho inferior, uma vez que teve uma

avaria que necessitou de um período de reparação mais extenso, levando a um sobre esforço dos restantes equipamentos para compensar a diminuição do número de máquinas disponíveis, o que pode justificar o grande número de avarias encontradas nas *Motor Graders*. Para os *Off-Highway Trucks* tanto os valores de MTBF como de disponibilidade encontram-se bastante acima do esperado, mesmo sendo o número de paragens de avarias mecânicas não planeadas aproximadamente o dobro do número de paragens planeadas, verifica-se que o tempo gasto com as reparações não planeadas e planeadas é semelhante. Contribui para estes bons resultados, o elevado tempo de *Stand by* apresentado por este grupo de equipamentos, que apesar de terem um grande impacto na produtividade da operação, afetam positivamente o valor dos *KPI's* destes equipamentos. Uma vez, parados, não há possibilidade de estes sofrerem avarias inesperadas. Os *Track Dozers* apresentaram ao longo do período de operação um MTBF superior ao valor de referência ao contrário da disponibilidade que se revela inferior ao mínimo pretendido, uma vez que apesar de o número de paragens planeadas e não planeadas não ser muito distinto, os tempos gastos com reparações de avarias é bastante superior ao tempo gasto com paragens planeadas, afetando a disponibilidade do equipamento. Por fim, as *Wheel Loaders* apresentam um MTBF e uma disponibilidade superiores aos valores de referência. Apesar de, normalmente as reparações de avaria neste grupo de equipamentos serem mais extensas, estas aconteceram em reduzida quantidade quando comparadas com outros equipamentos.

4.2.4. Análise do registo de intervenções

De forma a perceber-se como está a situação global a nível de manutenções foram também analisados os dados globais, correspondentes ao conjunto dos equipamentos em análise. Visualiza-se na Figura 23 que ao longo de toda a operação realizaram-se um total de 21302 intervenções aos equipamentos, sendo cerca de 57% correspondentes a manutenções corretivas. Olhando para as horas gastas nas reparações a diferença é ainda mais acentuada, com o total de 120572 h, correspondendo cerca de 65% a manutenções corretivas.

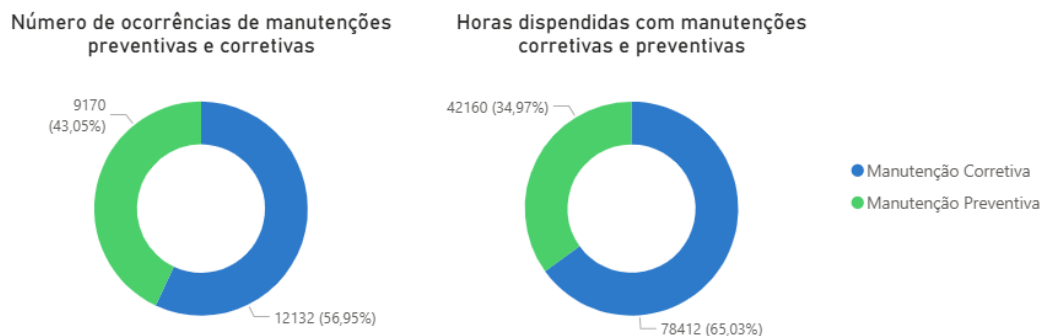


Figura 23 - Análise do registo de intervenções

É notável que o número de manutenções corretivas na mina é bastante elevado e tendo em conta a existência de uma equipa dedicada a acompanhar toda operação, a disposição dos valores devia de ser a oposta. Além disso, tendo em conta todo plano de manutenções existente

Caracterização e análise do problema

o número de avarias deveria ser inferior. Verifica-se, contudo, que muitas destas acontecem devido à falta de experiência dos operadores que acabam por comprometer o estado do equipamento.

Outro fator identificado na análise dos registos de intervenção prende-se com a ocorrência de erros nos dados dos equipamentos. Dado que estas informações são introduzidas manualmente por pessoal administrativo, logo a possibilidade de lapsos na inserção ou interpretação dos dados é elevada. É, por isso, fundamental assegurar uma monitorização contínua da qualidade dos registos, uma vez que inconsistências podem comprometer o planeamento das atividades de manutenção, que é elaborado com base em parâmetros que, na realidade, podem não se confirmar. Estes erros têm, igualmente, impacto direto nos indicadores de desempenho operacional, calculados mensalmente pela equipa de gestão de equipamento. A presença de dados imprecisos exige um esforço adicional no tratamento da informação, comprometendo a fiabilidade dos resultados e, em última instância, a capacidade de tomada de decisão com base nesses indicadores. Adicionalmente, a inexistência de um sistema digital integrado para o registo estruturado da informação contribui para o agravamento do problema. Atualmente, os dados relativos às intervenções de manutenção são primeiramente registados manualmente em papel, tanto no terreno como nas oficinas. Posteriormente, essa informação é transferida para folhas de cálculo em Excel, onde é tratada e organizada, sendo então inserida no sistema SAP. Este processo em múltiplas etapas, com forte componente manual, expõe o sistema a uma elevada suscetibilidade a erros de transcrição e interpretação.

Foram identificadas diversas inconsistências, entre as quais se destacam erros no registo de horas, como ilustrado no exemplo da Figura 24, onde são apresentados valores de horas negativos. Do mesmo modo, nas ordens de reparação, foram detetadas incongruências nas datas de abertura e fecho, como se observa na Figura 25, em que é registada uma data de fecho ilógica face à cronologia da intervenção.

jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18
-172	0	40	372	368	-963

Figura 24 - Registo de horas de um equipamento

Equipment Type	TAG	Close Date	Status
DUMPER 100T	MEAFR 052	00/01/1900	COMPLETED

Figura 25 - Registo de ordens de intervenção

Na Figura 21 apresentada acima, verifica-se uma grande quantidade de intervenções de manutenção preventiva. No entanto, apesar de existir registo das mesmas no sistema SAP, não há nenhum elemento que nos garanta que estas intervenções foram realizadas no período de tempo adequado. As manutenções preventivas fora das datas estipuladas podem comprometer o desempenho dos equipamentos e levar a avarias inesperadas. Nesse sentido, foi realizada uma análise ao plano de manutenções de cada um dos equipamentos, em que se efetuou uma comparação entra a data registada no plano e a data em que a manutenção foi realizada.

Para esta exploração de mineração foram elaborados planos de manutenção em ciclos de 250h. Este valor foi determinado com base em análises realizadas na fase inicial da operação. Nos primeiros meses de operação foram retiradas amostras de óleo aos equipamentos que foram

posteriormente analisadas em laboratório e foram periodicamente verificados componentes de degradação rápida, como filtros, válvulas, rolamentos, entre outros. O acompanhamento do desgaste destes componentes permitiu aferir o tempo ótimo para se realizar as manutenções preventivas com base nas condições de trabalho. Para efeitos de análise foi consultado o registo de intervenções periódicas onde constavam registadas as datas de serviço e as horas de operação do equipamento, tendo-se dividido as horas de operação em ciclos de 250 h. Foi considerado como aceitável um desvio de 50h face ao tempo de ciclo de intervenção, ou seja, entre as 200 e as 300 h.

Verifica-se através da Figura 26, que a taxa de cumprimento do plano de manutenção preventiva dos *Off-Highway trucks* é cerca de 98%, tendo-se averiguado que apenas as primeiras manutenções não cumpriram o prazo estabelecido.

MEAFR 063		MEAFR 054		MEAFR 056	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
129	123	100	99	98	97
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
95,35%		99,00%		98,98%	

MEAFR 067		MEAFR 058		MEAFR 059	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
112	107	113	110	112	112
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
95,54%		97,35%		100,00%	

Média da taxa de ciclos cumpridos:	
97,78%	

Figura 26 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de *Off-Highway Trucks*

As *Hydraulic Mining Shovels* também apresentam uma taxa de cumprimento do plano de quase 100%, verificando-se novamente que apenas algumas intervenções na fase inicial da operação foram realizadas fora do período planeado.

MEAFR 039		MEAFR 040		MEAFR 041	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
130	125	126	125	123	123
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
96,15%		99,21%		100,00%	
Média da taxa de ciclos cumpridos:					
98,45%					

Figura 27 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de *Hydraulic Mining Shovels*

Novamente, verifica-se o cumprimento quase perfeito dos ciclos de tempo para as intervenções de manutenção preventiva das *Motor Graders*, como se verifica na Figura 28.

MEAFR 081		MEAFR 082		MEAFR 083	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
125	125	110	109	118	114
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
100,00%		99,09%		96,61%	
Média da taxa de ciclos cumpridos:					
98,57%					

Figura 28 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de *Motor Graders*

Caracterização e análise do problema

A taxa de cumprimento dos planos de manutenção preventiva para as *Wheel Loaders* é mais uma vez bastante elevado, verificando quase o total cumprimento dos ciclos planeados. Mais uma vez, os únicos ciclos não cumpridos foram na fase inicial da operação.

MEAFR 035		MEAFR 035	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
132	127	132	129
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
96,21%		97,73%	
Média da taxa de ciclos cumpridos:			
96,97%			

Figura 29 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de *Wheel Loaders*

Os *Track Dozers* foi o grupo de equipamento que apresentou a taxa mais baixa de cumprimento de todos os grupos em análise, como se vê na Figura 30. No entanto, o valor obtido mantém-se num nível bastante elevado, sendo que as falhas dos ciclos encontram-se mais uma vez na fase inicial da operação.

MEAFR 086		MEAFR 087		MEAFR 088	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
97	74	101	92	90	86
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
76,29%		91,09%		95,56%	

MEAFR 089		MEAFR 090	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
90	90	98	94
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
100,00%		95,92%	

Média da taxa de ciclos cumpridos:	
91,77%	

Figura 30 - Análise de cumprimento do plano de manutenções preventivas de *Track Dozer*

Na análise conjunta a todos os grupos de equipamentos, constata-se que os valores obtidos são bastante bons, existindo apenas falhas na fase inicial da operação, situação que é natural uma vez que é que o arranque da operação. No entanto, como já averiguado anteriormente, nem todos os equipamentos ofereceram o desempenho esperado, apesar de as manutenções planeadas serem cumpridas. Logo pode-se concluir que a periodicidade entre manutenções pode não ter sido a mais ajustada tendo em conta as condições de operação. Além disso, foi considerado o mesmo período entre manutenções para todos os grupos de equipamentos, sendo que cada um apresenta necessidades diferentes. Um plano de manutenções elaborado especificamente para cada grupo de equipamentos poderia ter resultado num melhor desempenho dos equipamentos.

4.2.5. Análise das intervenções de recondicionamento

As intervenções de recondicionamento são desencadeadas quando um equipamento apresenta um grau de desgaste muito elevado, não conseguindo fornecedor garantias de disponibilidade, eficiência na operação e segurança ou quando o motor atinge um valor muito elevado de horas de operação. Este tipo de intervenção é também recomendada pelo fabricante, visto que este

anuncia um tempo de vida útil para o motor do equipamento de cerca de 15000h de operação. Contudo, tendo em conta a vasta experiência da empresa na área da mineração, verifica-se que o motor consegue garantir fiabilidade até às 20000h de operação, sendo que as intervenções são planeadas com base neste valor, conseguindo-se uma maior aproveitação dos recursos. Com esta paragem, que normalmente é longa, a equipa de manutenção aproveita e substitui outras peças pertencentes ao grupo propulsor do equipamento e outras peças que apresentam desgaste ou que estão previstas ser trocadas nas horas de operação seguintes. Por vezes, também são implementadas outras tecnologias ou funcionalidades que o equipamento originalmente não possuía.

Com isto, pretende-se trazer o equipamento de volta a um estado bastante próximo de quando era novo, restaurando-se assim o ciclo de vida do mesmo. Porém, não são previstos inúmeros recondicionamentos para os equipamentos, o que levaria ao equipamento a possuir uma durabilidade infinita, isto porque certos componentes não são substituíveis (exemplo: chassis). Com um plano de manutenções adequado e recondicionamentos efetuados em ciclos de 20000h de operação, o fabricante dos equipamentos anuncia um tempo limite de vida do equipamento de aproximadamente 60000h.

Passar-se-á à análise das intervenções de recondicionamento. Com isto, pretende-se estudar o impacto deste tipo de intervenções no desempenho dos equipamentos e compreender o planeamento destas atividades. Uma vez que cada categoria de equipamentos possui funções e características bastante diversificadas, realizou-se a análise para os diferentes grupos de maneira que posteriormente se possa ajustar cada recondicionamento de acordo com as necessidades de cada equipamento. Como foram muitos os que passaram por este processo, apenas será apresentada a análise realizada para dois elementos de cada grupo, considerando-se a amostra uma representação do comportamento dos restantes equipamentos.

Nos gráficos seguintes, apresentados a seguir, estão assinalados através de uma linha tracejada a vermelho, os valores de referência para a disponibilidade anunciados pelo fabricante e que também são os considerados pela empresa. Encontra-se também assinalado o período de intervenção de recondicionamento, com a data inicial a aparecer assinalada com uma linha vertical tracejada verde-claro e a data de término a aparecer assinalada com uma linha tracejada verde-escura. Em algumas situações, surgem valores de disponibilidade no período do PCR (entre as linhas verdes), isto devido aos erros relacionados com as datas das ordens de reparação, sendo que em alguns casos estas foram encerradas cerca de um mês após o PCR ser concluído.

- **Recondicionamento de *Off-Highway Trucks***

O MEAFR 065 passou por um processo de recondicionamento no terceiro ano de operação, onde contava com 20082 horas de operação. O procedimento teve uma duração de 18 dias com um custo de cerca de 53,6% face ao valor de aquisição de um equipamento novo.

Durante a intervenção foram substituídos um total de 382 componentes, como por exemplo, tubos de fluido de refrigeração, tubos hidráulicos, alternador, vedantes, rolamentos, compressor, radiador, filtros, válvulas, sensores, ecrãs, vidros, entre outros.

Caracterização e análise do problema

De forma a avaliar o efeito do recondicionamento no desempenho do equipamento foi realizada uma análise dos KPI's no primeiro ano de operação, no ano antes do PCR e ano após a realização do PCR, apresentando-se os resultados na Figura 31. É esperado que os valores dos KPI's do primeiro ano após o PCR sejam bastante próximos do primeiro ano de operação e que haja uma melhoria dos valores comparativamente ao ano anterior ao PCR. Foi ainda elaborado o gráfico apresentado na Figura 32.

Recurso Típico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Off-Highway Trucks 100 T	146,51	57,66	71,82	75,33	7,15	31,85%	97,49%	78,88%	91,17%	89,11%	20082	7499
MEAFR 065	146,51	57,66	71,82	75,33	7,15	31,85%	97,49%	78,88%	91,17%	89,11%	20082	7499

Figura 31 - KPI's do equipamento MEAFR 065



Figura 32 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

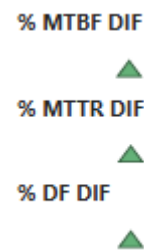


Figura 33 - Resumo KPI's

O valor acima do qual a disponibilidade é considerada um grau de excelência é de 85%, sendo este o valor referenciado pela marca e também o adotado pela empresa. Através da análise do gráfico verifica-se que ao longo do primeiro ano de operação, a disponibilidade do equipamento manteve-se sempre em valores acima do limite. Já no ano antecedente ao PCR verifica-se que existiram duas situações que impactaram fortemente na disponibilidade, sendo que na segunda o equipamento ficou um mês completo sem operar. Após a aplicação do PCR, os níveis de disponibilidade mantiveram-se acima do limite pretendido, não existindo nenhum período de indisponibilidade considerável após a intervenção. Quanto ao tempo médio entre falhas, o valor de referência considerado de excelência, definido pelo fabricante e também o utilizado pela empresa é de 65h. No primeiro ano de operação foi possível manter um MTBF bem acima do estabelecido, no entanto é notável o desgaste do equipamento ao longo do seu período de operação, com este valor a descer cerca de 2,5 vezes no ano antecedente ao PCR, abaixo do KPI definido. A implementação do PCR permitiu o aumento deste valor para parâmetros de excelência, permitindo-nos manter a média de disponibilidade ao longo da operação acima dos 85%.

Passando a uma análise da disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida, apresentada na Figura 34, verifica-se que para além das indisponibilidades referidas acima, existiu ainda uma indisponibilidade no segundo ano de operação. Mais uma vez confirma-se que em todo o período após a realização do PCR não se obteve nenhum período de indisponibilidade relevante.

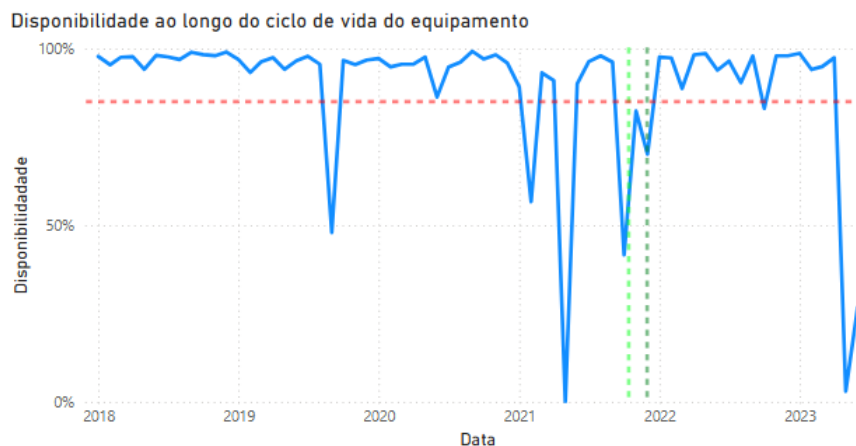


Figura 34 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

Comparando os picos em que a disponibilidade dos equipamentos com os materiais que foram trocados durante as intervenções, verifica-se através da Figura 35 que componentes de grandes grupos foram substituídos em períodos antecedentes ao PCR e inclusive a transmissão teve de ser substituída mais duas vezes. Este diagrama permite-nos concluir que o período planeado para a realização dos PCR não é o adequado, existindo diversas paragens antes da realização do mesmo. Principalmente, o motor que foi substituído 2000h antes do PCR, não conseguindo atingir as 20000h de operação inicialmente previstas. De modo a tornar mais eficiente a utilização dos recursos e a minimizar os períodos de paragem, o PCR deveria ser antecipado para cerca das 17000h permitindo com apenas uma paragem intervir na reparação de todos estes componentes. Além disso, estes costumam apresentar sinais de fadiga com antecedência sendo possível a antecipação destes problemas.

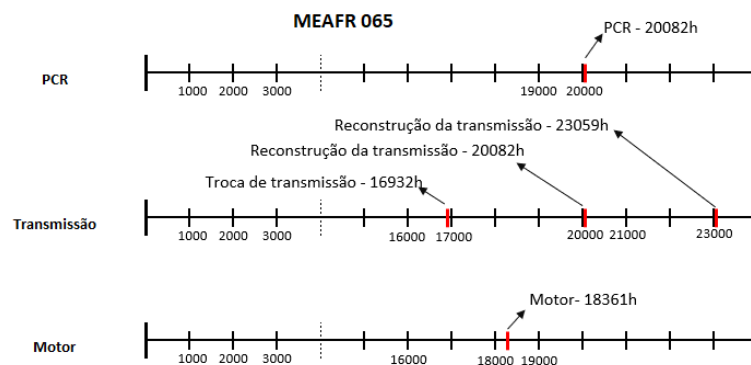


Figura 35 - Descrição das intervenções mais críticas

A mesma análise foi conduzida para o MEAFR 063, de modo a corroborar a análise anterior. Novamente, para este equipamento o plano foi realizar o PCR às 20000h de operação, tendo o mesmo sido executado ao equipamento quando este possuía 20226h, cumprindo-se o plano. O recondicionamento teve uma duração de 31 dias, com um custo de 35,7% face ao custo de um equipamento novo. Durante a intervenção foram substituídos um total de 508 componentes. Na Figura 36, apresenta-se o MTBF e a disponibilidade determinada para este equipamento, considerando-se novamente o primeiro ano de operação, o ano antecedente ao PCR e o ano após o PCR, em que mais uma vez se espera que os níveis de desempenho após o

Caracterização e análise do problema

recondicionamento sejam semelhantes aos valores de quando era novo. Tal como no caso anterior, no primeiro ano de operação o equipamento apresentou um MTBF bastante acima do nível de excelência, no entanto, com o decorrer do tempo verificou-se o decréscimo deste valor. No, ano antecedente ao PCR o MTBF era de 74,18h sendo superior ao patamar de excelência estabelecido. Após a intervenção de recondicionamento foi possível reestabelecer o valor do MTBF para um nível bastante próximo do inicial.

Na Figura 37, apresenta-se o gráfico de disponibilidade que permitiu avaliar o impacto do PCR no desempenho deste equipamento. Facilmente se verifica que tal como na situação anterior ao longo do primeiro ano de operação não existiram intervenções que afetassem significativamente a disponibilidade do equipamento. No entanto, no ano antecedente ao PCR foi necessário realizar-se uma grande intervenção que levou a uma longa paragem do camião. Após o PCR, o equipamento manteve o seu desempenho acima dos parâmetros pretendidos.

Recurso Típico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Off-Highway Trucks 100 T	111,27	74,18	107,07	96,19	5,43	35,47%	96,49%	83,04%	96,57%	92,35%	20226	7170
MEAFR 063	111,27	74,18	107,07	96,19	5,43	35,47%	96,49%	83,04%	96,57%	92,35%	20226	7170

Figura 36 - KPI's do equipamento MEAFR 063

Disponibilidade no primeiro ano de operação, 1 ano antes do PCR e 1 ano após PCR

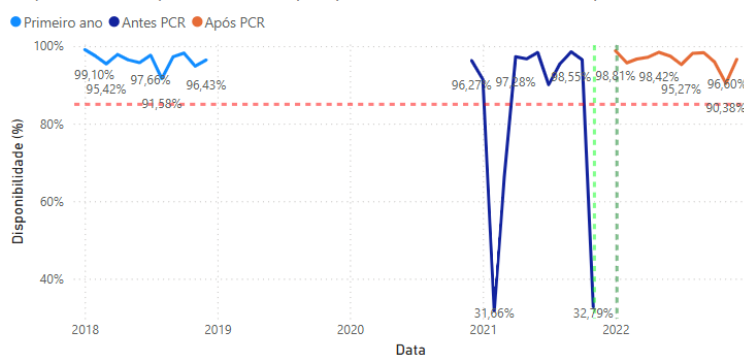


Figura 37 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

% MTBF DIF



% MTTR DIF



% DF DIF



Figura 38 - Resumo KPI's

Passando, para uma análise de todo o ciclo de vida do equipamento, apresentada na Figura 39, observa-se que anteriormente à grande intervenção referida foi necessário outra grande paragem. Estas reparações, revelam o grande desgaste do equipamento e indiciam a necessidade de uma paragem para uma manutenção mais aprofundada. No entanto, o PCR manteve-se planeado para as 20000h, comprometendo maior rentabilidade do equipamento.

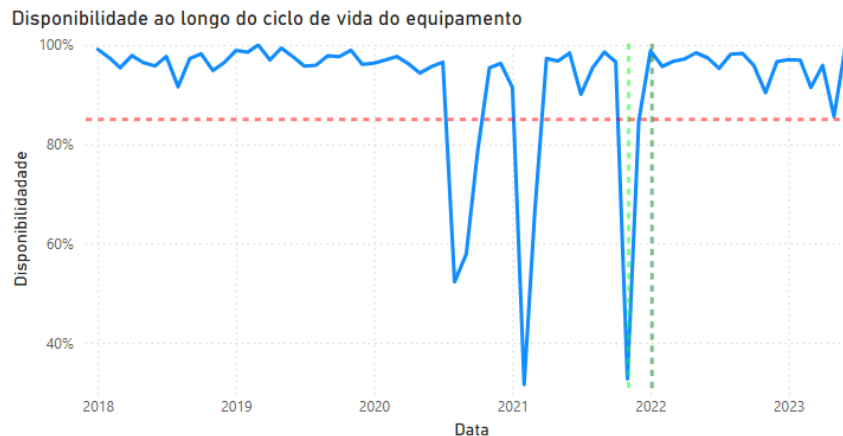


Figura 39 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

Analisando-se a Figura 40, em que se apresentam as intervenções mais críticas, constata-se que foi necessário intervir em grandes grupos de materiais. Novamente foi necessário substituir o motor 4000h antes do esperado e a transmissão 7000h antes do pretendido, sendo que esta última, teve de ser reparada uma segunda vez. Ou seja, o plano de acondicionamento não esteve adequado às necessidades do equipamento, podendo-se ter poupado bastantes horas de paragem com um acondicionamento antecipado, tornando mais eficiente a utilização do equipamento.

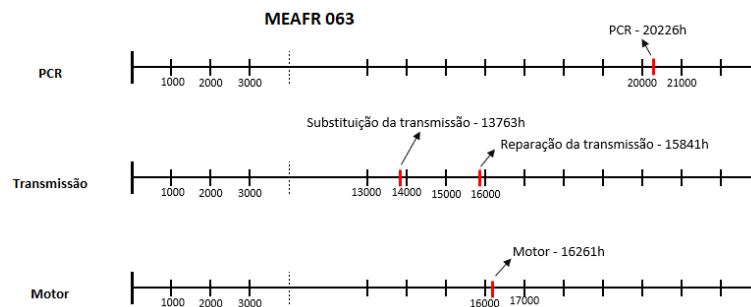


Figura 40 - Descrição das intervenções mais críticas

▪ **Recondicionamento de *Hydraulic Mining Shovel***

A mesma análise foi realizada para as *Hydraulic Mining Shovels*, de modo a obter-se uma melhor compreensão da eficácia das intervenções de recondicionamento nestes equipamentos. Como demonstrado anteriormente, estes equipamentos são críticos nas operações de mineração, exigindo-se que os planos de manutenções preventivas bem como os recondicionamentos estejam alinhados com as necessidades do equipamento para que não seja comprometida a operação. Para estes equipamentos, as intervenções de recondicionamento são planeadas para as 20000h de operação. O valor de referência anunciado pelo fornecedor como de excelência para o MTBF é de 55h, sendo este também o valor de referência adotado pela empresa.

O MEAFR 040 passou por um recondicionamento após 21185h de operação, sendo realizada com atraso face ao planeado. Os recondicionamentos neste tipo de equipamentos são muito mais demorados pelo grande número de componentes que apresentam e pela criticidade que revelam para operação, requerendo uma intervenção mais profunda e cuidada. Por este motivo também apresentam um custo bastante superior. No caso do MEAFR 040 o PCR teve uma

Caracterização e análise do problema

duração de 73 dias, com um custo total de cerca de 40,2% face a um equipamento novo. Durante a intervenção foram substituídos 420 componentes, destacando-se tubos hidráulicos, bombas de fluido hidráulico e de refrigeração, vedantes, sensores, entre outros. Com os dados recolhidos, determinou-se o MTBF e a disponibilidade durante o primeiro ano de operação, um ano antes do acondicionamento e um ano após o acondicionamento, apresentando-se os dados na Figura 41. Foi também elaborado o gráfico da Figura 42 com a disponibilidade ao longo dos períodos considerados.

No primeiro ano de operação, o MTBF apresentado pelo equipamento ficou bastante abaixo do parâmetro de excelência. Também a disponibilidade do equipamento ficou aquém do esperado, sendo este valor prejudicado por uma grande avaria ocorrida logo no terceiro mês da operação. No ano antecedente ao PCR, o equipamento apresentou um MTBF superior ao parâmetro de excelência, no entanto a disponibilidade apesar de ter aumentado, manteve-se abaixo do nível esperado. Após o PCR o valor do MTBF diminuiu bastante contrariamente ao esperado, mas a disponibilidade do equipamento aumentou, demonstrando que apesar de existir um maior número de avarias, estas são de rápida resolução.

Recurso Tipico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTRR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Hydraulic Mining Shovels 230 T	46,48	74,33	54,37	56,82	5,26	19,52%	78,89%	82,83%	90,11%	83,66%	21185	9710
MEAFR 040	46,48	74,33	54,37	56,82	5,26	19,52%	78,89%	82,83%	90,11%	83,66%	21185	9710

Figura 41 - KPI's do equipamento MEAFR 040

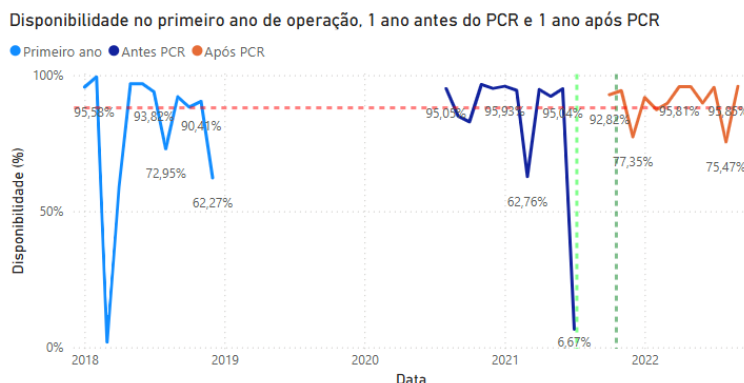


Figura 42 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR



Figura 43 - Resumo KPI's

Passando a uma análise mais global de todo o ciclo de vida do equipamento apresenta-se o gráfico de disponibilidade do mesmo na Figura 44. Verifica-se que excetuando a grande intervenção inicial, até ao PCR não aconteceram paragens com elevado impacto na disponibilidade. Como se verifica no gráfico da Figura 44, o número de picos de menor disponibilidade reduziu após o acondicionamento, o que permitiu estabilizar o valor do MTBF, obtendo-se um valor médio para todo o ciclo de vida de 56,82h, acima do patamar de excelência. Já o valor para a disponibilidade ao longo do ciclo de vida ficou ligeiramente abaixo do valor de referência, isto porque apesar de não existirem picos muito grandes de indisponibilidade, estes surgem em grande quantidade.

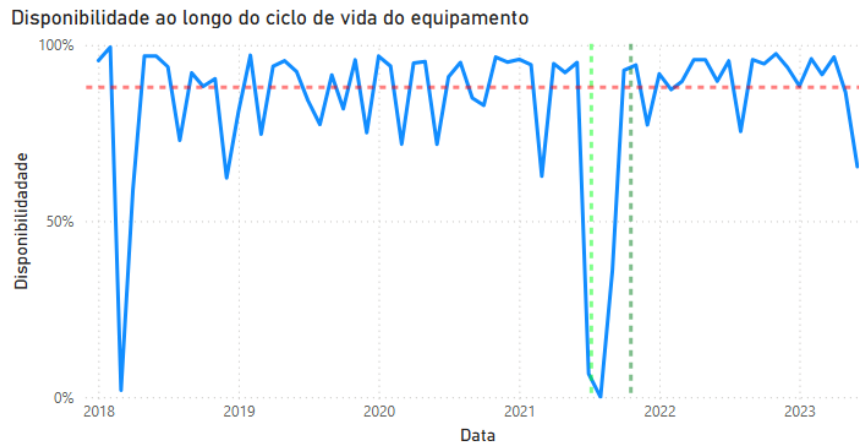


Figura 44 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

Analisando a Figura 45 em que se apresentam as intervenções mais críticas, verifica-se que, a primeira grande intervenção no equipamento foi despoletada por uma avaria no motor, no entanto, esta ocorreu num período muito prematuro para a realização do PCR. Contudo, olhando para o período de tempo mais avançado verifica-se que ocorreram reparações em componentes críticos num período muito próximo ao da execução do PCR. Retirando a substituição do cilindro, as restantes intervenções poderiam ser todas executadas durante o PCR se este fosse realizado mais cedo. Mais uma vez se verifica que o período de tempo planeado para este tipo de intervenções é demasiado extenso, levando a demasiadas paragens. Ao ser executado antecipadamente, seria possível atuar nos componentes críticos de uma só vez.

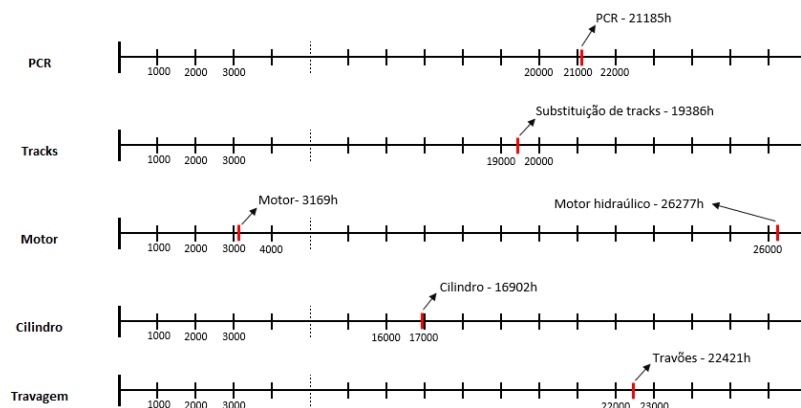


Figura 45 - Descrição das intervenções mais críticas

Foi ainda aplicada a mesma análise ao MEAFR 041, máquina da mesma família da anterior, de modo a eliminar a hipótese de os resultados anteriores serem um caso exclusivo. Esta máquina sofreu um PCR após 22725h de operação, tendo a intervenção durado 91 dias e com um custo que representa cerca de 40,4% do custo de um equipamento novo. Este recondição foi realizado ainda mais tarde que o anterior e que o prazo planeado, no entanto isto sucedeu-se uma vez que seria prejudicial para o desenrolar da operação parar-se duas escavadoras ao mesmo tempo, para manutenção. Por esse motivo só se iniciou o PCR do MEAFR 041, após a conclusão do PCR do MEAFR 040. Na Figura 46 apresenta-se o valor do MTBF e da

Caracterização e análise do problema

disponibilidade para o primeiro ano de operação, o ano antecedente ao PCR e o ano após o PCR. Foi ainda elaborado o gráfico da Figura 47, com a disponibilidade ao longo destes períodos. No primeiro ano de operação o equipamento apresentou um MTBF e uma disponibilidade bastante acima do nível de excelência considerado, não se verificando avarias significativas durante o primeiro ano. No ano antecedente ao PCR verificou-se um maior número de paragens devido a avaria o que levou à redução do valor do MTBF, no entanto este manteve-se acima do patamar de referência. Já a disponibilidade sofreu uma redução, situando-se abaixo do nível de referência esperado. Após o recondicionamento, não se conseguiu o aumento do valor do MTBF, tendo inclusive diminuído. Contrariamente o valor da disponibilidade aumentou, mas manteve-se abaixo do nível de referência, afetada por duas paragens significativas após o PCR.

Recurso Típico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Hydraulic Mining Shovels 230 T	72,95	56,94	52,49	57,12	4,95	20,60%	93,55%	81,36%	83,11%	84,02%	22725	7826
MEAFR 041	72,95	56,94	52,49	57,12	4,95	20,60%	93,55%	81,36%	83,11%	84,02%	22725	7826

Figura 46 - KPI's do equipamento MEAFR 041

Disponibilidade no primeiro ano de operação, 1 ano antes do PCR e 1 ano após PCR

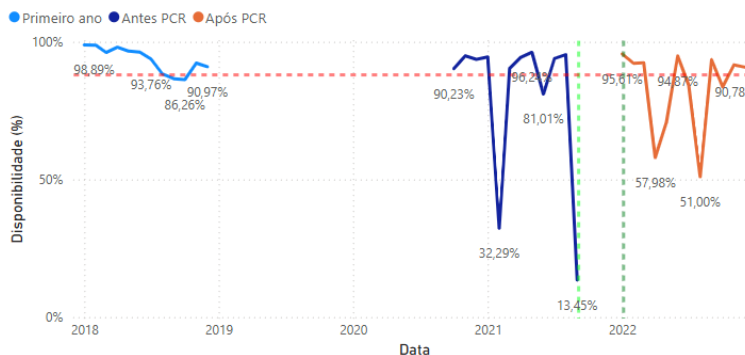


Figura 47 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

% MTBF DIF

▼

% MTTR DIF

▼

% DF DIF

▲

Figura 48 - Resumo KPI's

Passando a uma análise ao longo de todo o ciclo de vida, apresentada na Figura 49, verifica-se que o equipamento sofreu menos paragens relativamente ao MEAFR 040, levando a que este equipamento apresentasse um MTBF e disponibilidade superiores. Conseguiu-se ao longo de todo o período de operação um MTBF superior ao patamar de referência, ficando a disponibilidade abaixo do nível esperado, revelando que apesar do menor número de intervenções estas são mais demoradas que o esperado, levando a menor disponibilidade.

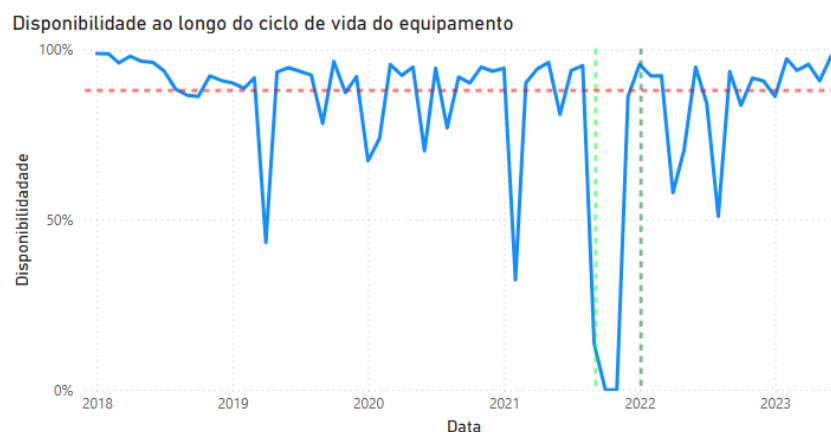


Figura 49 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

Na Figura 50, apresentam-se as descrições das intervenções que levaram a maiores períodos de indisponibilidade do equipamento. Verifica-se que logo às 7717h existiu uma tentativa de troca de motor que não foi concluída com sucesso, levando a uma paragem desnecessária do equipamento. Por volta das 15000h de operação do equipamento realizou-se uma troca de motor, revelando já o grande desgaste do equipamento, confirmando-se o mesmo às 18882h em que foram necessárias reparações no chassis da máquina e substituição de componentes de desgaste. Só às 22725h foi realizado o PCR, no entanto o equipamento necessitou de intervenções profundas antes desse período, levando a que o MTBF no período antecedente ao PCR descesse para um nível muito próximo do limite pretendido. Verifica-se também pela análise da figura que após o PCR foram realizadas duas intervenções em componentes que deveriam ter sido substituídos no recondicionamento. Não estando a intervenção adequada às necessidades do equipamento comprometeu-se a produtividade da operação, não permitindo ao equipamento oferecer melhores níveis de desempenho.

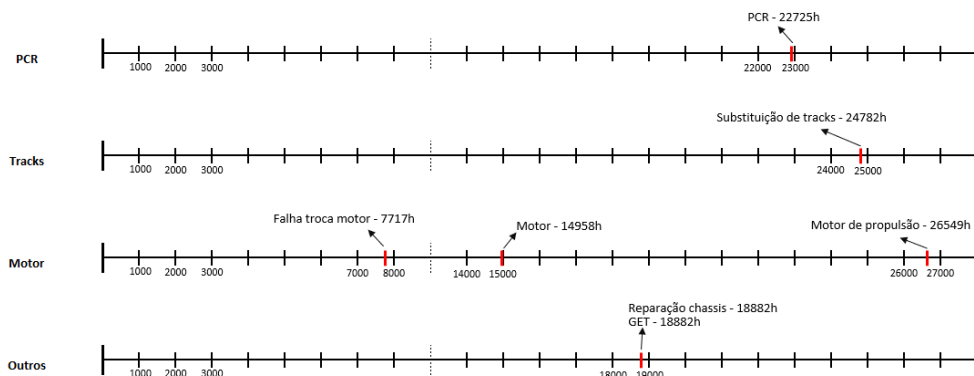


Figura 50 - Descrição das intervenções mais críticas

▪ **Recondicionamento de Wheel Loader**

Para este grupo de equipamentos as intervenções de recondicionamento também são planeadas para serem realizadas às 20000h de operação.

O MEAFR 035 passou por uma intervenção de recondicionamento no seu quarto ano de operação onde contava com 19642h, cumprindo o inicialmente previsto. O PCR teve uma duração total de 14 dias, onde foram substituídos um total de 258 componentes, entre os quais tubos de lubrificação, bombas de fluido hidráulico e de refrigeração, vedantes, conversor de torque, transmissões, entre outros, com um custo total representando cerca de 43,6% face a um equipamento novo. Com os dados recolhidos foi possível determinar-se o MTBF e a disponibilidade no primeiro ano de operação, no ano anterior ao PCR e no ano seguinte ao PCR, permitindo retirar conclusões acerca do impacto deste tipo de intervenções. Os resultados apresentam-se na Figura 51. Foi ainda elaborado um gráfico representativo da disponibilidade ao longo dos períodos de tempo considerados, apresentado na Figura 52.

Recurso Típico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Wheel Loader 100 T	181,60	136,78	103,46	111,00	6,20	24,36%	97,44%	92,53%	93,61%	92,15%	19642	13013
MEAFR 035	181,60	136,78	103,46	111,00	6,20	24,36%	97,44%	92,53%	93,61%	92,15%	19642	13013

Figura 51 - KPI's do equipamento MEAFR 035

Caracterização e análise do problema

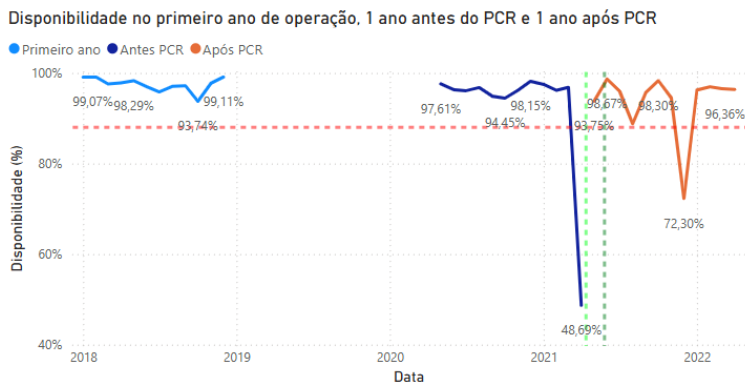


Figura 52 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

Figura 53 - Resumo KPI's

Durante o primeiro ano de operação não se registraram paragens relevantes, conseguindo-se um MTBF bastante acima do valor de referência de 55h. Pelo mesmo motivo, a disponibilidade também cumpre com o nível de referência de 88%, considerado pela marca e pela empresa como um nível de excelência. No ano antecedente ao recondicionamento verifica-se uma redução de cerca 25% do valor do MTBF. No entanto, os parâmetros mantiveram-se acima dos valores de referência, tendo estas duas intervenções pouco impacto também na disponibilidade do equipamento. Logo após o recondicionamento, registou-se uma avaria que levou a uma paragem significativa do MEAFR 035 e posteriormente ainda se verificou nova avaria que impossibilitou a operação do equipamento ao longo de quase um mês. Devido a estas duas paragens obteve-se um valor para o MTBF ainda mais baixo que o do período anterior contrariando a previsão tendo em conta a intervenção de recondicionamento. Quanto à disponibilidade conseguiu-se uma ligeira melhoria isto porque o número de avarias com longo período de reparação foram menores.

Fazendo uma análise dos dados ao longo do ciclo de vida do equipamento obtém-se um MTBF de 111,0h e uma disponibilidade de 92,15%, cumprindo-se os parâmetros previstos de desempenho para este equipamento.

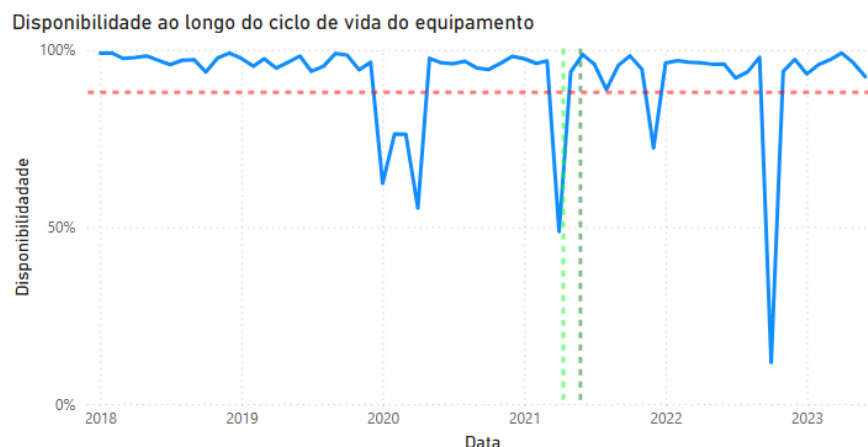


Figura 54 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

Passando agora a uma análise das intervenções mais críticas realizadas ao longo do ciclo de vida do equipamento, na Figura 55, verificam-se duas intervenções significativas no equipamento em que foi substituída a transmissão, o cilindro da lança e componentes de desgaste, revelando

já algum desgaste do equipamento. Após o PCR, existiu a necessidade de se realizar outra intervenção que levou a uma longa paragem do equipamento, executando-se reparações no balde da máquina e substituição de outros componentes, revelando algumas falhas na intervenção do recondicionamento, que poderiam ter evitado as paragens posteriores.

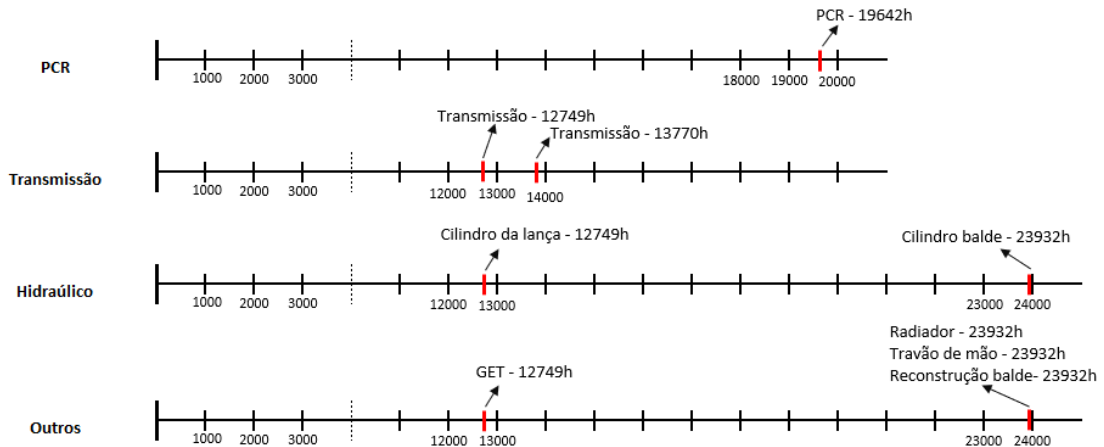


Figura 55 - Descrição das intervenções mais críticas

A mesma análise foi realizada ao MEAFR 036 que passou por um recondicionamento no quarto ano de operação, em que contava com 19073h de operação, cumprindo o plano previsto. A intervenção teve uma duração de 23 dias sendo substituídos no total 270 componentes, entre eles, filtros, compressores, válvulas, tubos hidráulicos, bombas de fluido hidráulico e de refrigeração, motores elétricos, transmissão, conversor de torque entre outros. A intervenção teve um custo de 58,8% face ao valor de aquisição de um equipamento novo. Novamente com os dados recolhidos determinou-se o valor do MTBF e da disponibilidade, construindo-se ainda o gráfico representativo desta última. Os resultados apresentam-se nas Figura 56 e Figura 57.

Recurso Típico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Wheel Loader 100 T	193,93	118,11	127,46	101,35	7,38	22,38%	95,27%	93,57%	94,72%	89,86%	19073	13428
MEAFR 036	193,93	118,11	127,46	101,35	7,38	22,38%	95,27%	93,57%	94,72%	89,86%	19073	13428

Figura 56 - KPI's do equipamento MEAFR 036

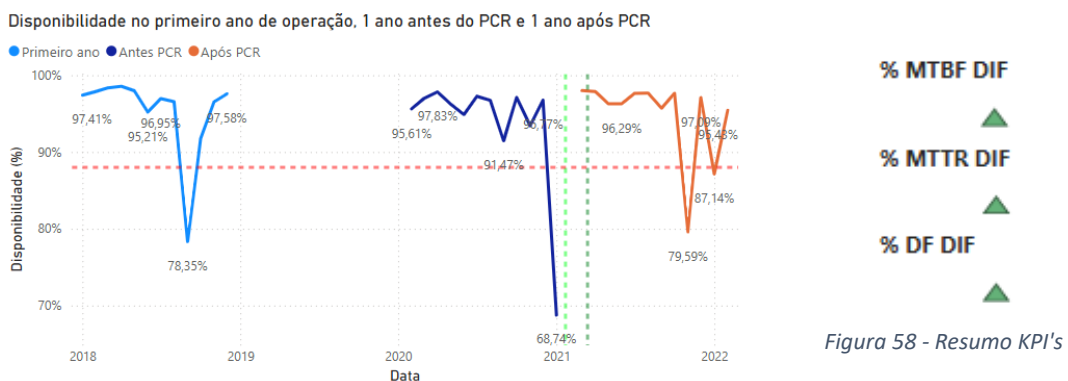


Figura 57 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

Ao longo do primeiro ano de operação o equipamento obteve um desempenho bem acima do esperado, registando-se apenas uma intervenção que levou à descida da disponibilidade. Até ao momento em que foi realizado o PCR não se registaram mais reparações demoradas,

Caracterização e análise do problema

existindo apenas pequenas avarias de reparação rápida, no entanto é notável que a frequência de ocorrência das mesmas aumentou no período mais próximo da realização do PCR, levando a uma descida do MTBF e da disponibilidade. Após o acondicionamento conseguiu-se um aumento destes parâmetros, indo de encontro ao objetivo da intervenção. Passando para uma visão global verifica-se que o valor do MTBF e da disponibilidade obtidos são inferiores aos dos períodos analisados, apesar de cumprirem ainda assim os níveis exigidos. Este decréscimo deve-se ao facto de no segundo ano após o PCR ocorreram duas grandes avarias que levaram a longas paragens do equipamento. Como se verifica na Figura 60, as duas falhas ocorreram muitas horas de operação após o PCR tornando difícil averiguar se durante o PCR seria possível evitar o acontecimento destas ocorrências.

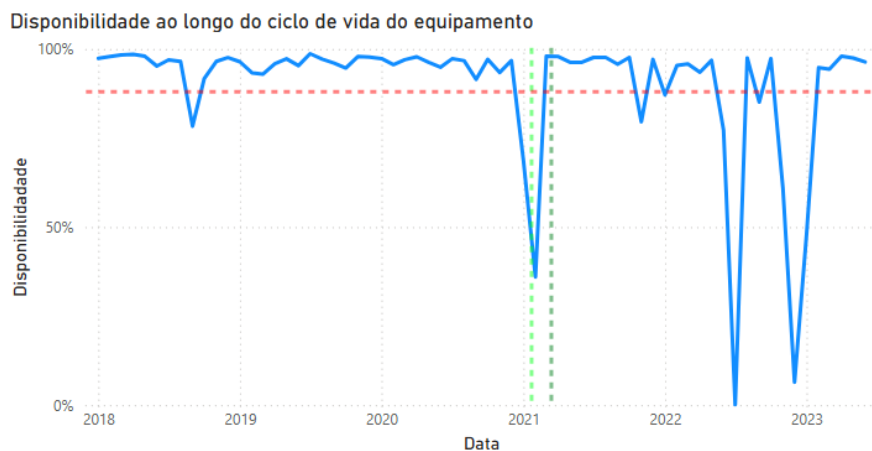


Figura 59 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

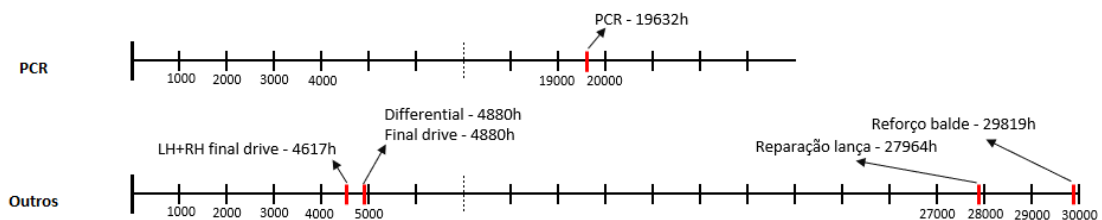


Figura 60 - Descrição das intervenções mais críticas

▪ Recondicionamento de *Motor Grader*

O recondicionamento deste grupo de equipamentos é planeado para ser realizado após um ciclo de 20000h de operação. Este conjunto é o qual se espera um MTBF e uma disponibilidade mais elevados uma vez que o trabalho por eles realizado é menos pesado, exigindo menos esforço do equipamento. No entanto, para manter o bom funcionamento do mesmo a empresa decidiu realizar o recondicionamento destas máquinas.

O MEAFR 081 passou por um recondicionamento após 20125h de operação, cumprindo-se o plano estabelecido. A intervenção teve uma duração de 12 dias, sendo substituídos um total de 488 componentes. O recondicionamento teve um custo total de cerca de 40,0% do valor de um equipamento novo. Com os dados recolhidos foi determinado o MTBF e a disponibilidade do equipamento, apresentando-se os resultados nas Figura 61 e Figura 62.

Recurso Tipico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Motor Graders 25 T	138,58	43,09	58,22	60,66	5,14	24,61%	95,93%	78,56%	91,03%	89,69%	20125	11222
MEAFR 081	138,58	43,09	58,22	60,66	5,14	24,61%	95,93%	78,56%	91,03%	89,69%	20125	11222

Figura 61 - KPI's do equipamento MEAFR 081

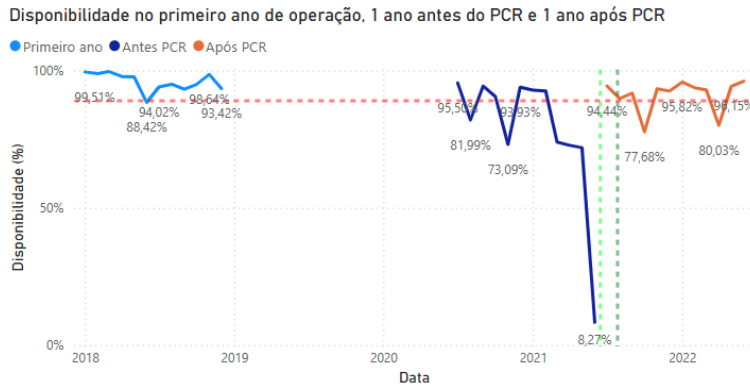


Figura 62 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

% MTBF DIF



% MTTR DIF



% DF DIF



Figura 63 - Resumo KPI's

Verifica-se que ao longo do primeiro ano de operação não ocorreram avarias relevantes no equipamento que levassem a grandes indisponibilidades. Por esse motivo, obteve-se um MTBF bem acima do nível de excelência requerido, assim como a disponibilidade. No ano anterior ao PCR começam a surgir um maior número de avarias que apesar de não serem de longa reparação, levaram a uma diminuição abrupta do MTBF e da disponibilidade do equipamento, demonstrando que este já estava limitado nas suas capacidades e apresentava desgaste. É importante salientar ainda que o PCR decorre de uma avaria, tendo o mesmo sido executado numa tentativa de repor o equipamento em níveis de desempenho ótimos. Após o PCR conseguiu-se uma ligeira melhoria no valor do MTBF, diminuindo-se a frequência das avarias. Já a disponibilidade, mostrou um aumento mais relevante, demonstrando que as reparações necessárias após PCR foram de curta duração. No entanto, ambos os indicadores continuaram abaixo do nível de excelência pretendido.

Passando para uma visão global do ciclo de vida do equipamento, verifica-se que excetuando os casos referidos não ocorreram outras avarias relevantes, como se verifica na Figura 64. O valor de MTBF e de disponibilidade obtidos para o ciclo de vida do equipamento são inferiores aos níveis requeridos, sendo afetado principalmente afetados pelas ocorrências no período antecedente ao PCR e após o mesmo. Olhando para as principais intervenções realizadas, apresentadas na Figura 65, constata-se que a intervenção de recondicionamento deveria ter sido realizada antecipadamente face ao planeado, permitindo atuar sobre as avarias que ocorreram às 15783h e 17248h reduzindo-se os períodos de paragem e aumentando o grau de utilização do equipamento.

Caracterização e análise do problema

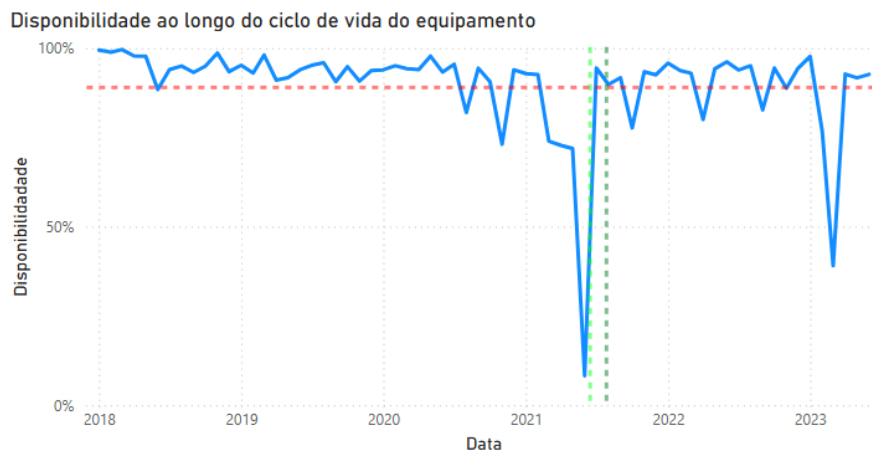


Figura 64 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

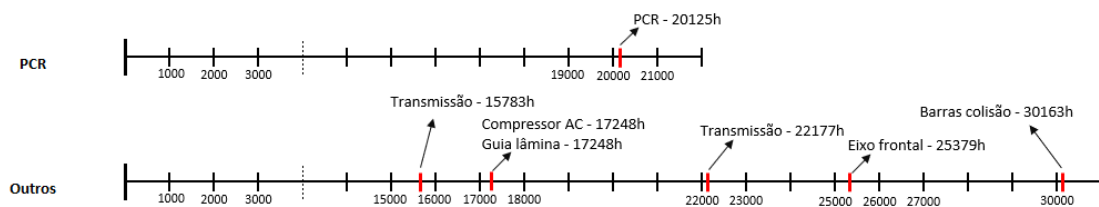


Figura 65 - Descrição das intervenções mais críticas

Repetiu-se a análise para o MEAFR 082 que sofreu um PCR à 20887h de operação, cumprindo o prazo planeado. A intervenção teve uma duração total de 74 dias, sendo muito mais demorada que o equipamento anterior. Esta teve um custo total que representa cerca de 41,1% do valor de um equipamento novo, sendo substituídos um total de 270 componentes. Novamente com os dados recolhidos foi determinado o MTBF e a disponibilidade, apresentando-se os resultados nas Figura 66 e Figura 67.

Recurso Típico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Motor Graders 25 T	134,60	30,58	75,61	53,41	9,15	23,47%	96,57%	58,95%	93,70%	80,17%	20887	6427
MEAFR 082	134,60	30,58	75,61	53,41	9,15	23,47%	96,57%	58,95%	93,70%	80,17%	20887	6427

Figura 66 - KPI's do equipamento MEAFR 082



Figura 67 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

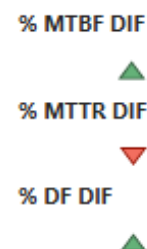


Figura 68 - Resumo KPI's

Durante o primeiro ano de operação não ocorreram avarias que comprometessem significativamente a disponibilidade do equipamento, conseguindo-se para este período um MTBF e uma disponibilidade acima dos valores de referência definidos pelo fornecedor do

equipamento. No ano antecedente ao PCR verifica-se uma descida abrupta tanto do MTBF como da disponibilidade maioritariamente causada por duas avarias significativas, sendo que a última resultou numa longa paragem do equipamento e que acabou por levar à execução do PCR. Após a intervenção, conseguiu-se um aumento de ambos os parâmetros, no entanto o MTBF ficou consideravelmente abaixo do nível pretendido e bastante abaixo do nível inicial. Já a disponibilidade teve um aumento para um valor muito próximo do primeiro ano de operação, mas ainda ligeiramente abaixo no valor de referência pretendido.

Numa visão mais global do ciclo de vida do equipamento, observa-se na Figura 69 que durante o segundo ano de operação o MEAFR 082 sofreu uma grande avaria que o levou a uma paragem de cerca de 2 meses, ocorrendo ainda outra paragem significativa do equipamento em 2020 que contribuíram para o baixo valor de MTBF obtido de apenas de 53,41h, metade do valor de referência. Analisando as intervenções realizadas no equipamento, apresentadas na Figura 70, constata-se que diversas intervenções ocorreram num período próximo do da realização do PCR. Antecipando a realização do PCR para as 19000h de operação seria possível eliminar duas reparações, aumentando o aproveitamento dos recursos. Quanto às reparações realizadas às 22775h, constata-se que estas poderão resultar de falhas ocorridas durante o recondicionamento do equipamento.

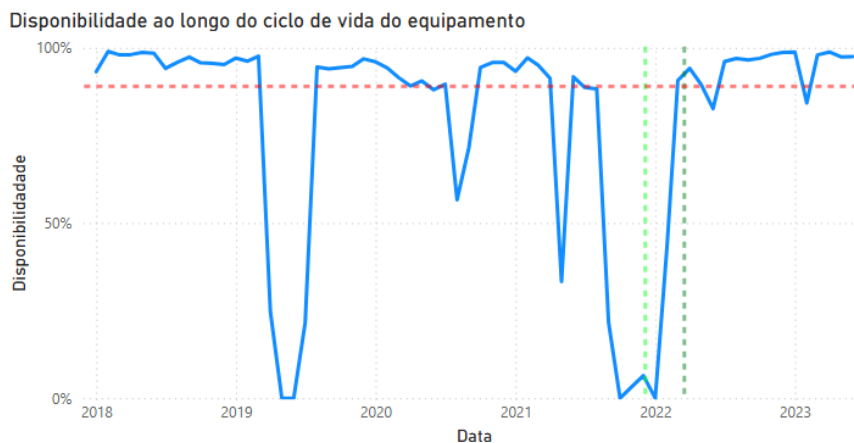


Figura 69 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

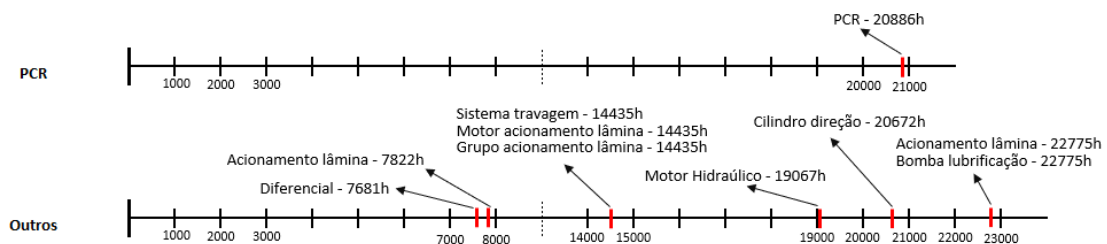


Figura 70 - Descrição das intervenções mais críticas

▪ **Recondicionamento de Track Dozer**

A mesma análise foi realizada para os *Track Dozer*. Estes equipamentos têm PCR planeado também para as 20000h.

O MEAFR 087 foi sujeito a um recondicionamento no final do quarto ano de operação, em que o equipamento contava com 17591h de operação. A intervenção teve uma duração de 114 dias,

Caracterização e análise do problema

com um custo de cerca de 49,0% quando comparado ao valor de venda de um equipamento novo sendo substituídos um total de 139 componentes.

Com os valores recolhidos durante o período de operação calculou-se o MTBF e a disponibilidade do equipamento apresentando-se os resultados nas Figura 71 e Figura 72.

Recurso Típico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Track-Type Dozer 50 T	115,99	34,70	62,84	63,67	7,69	36,44%	88,93%	76,57%	92,56%	85,72%	17591	6148
MEAFR 087	115,99	34,70	62,84	63,67	7,69	36,44%	88,93%	76,57%	92,56%	85,72%	17591	6148

Figura 71 - KPI's do equipamento MEAFR 087

Disponibilidade no primeiro ano de operação, 1 ano antes do PCR e 1 ano após PCR

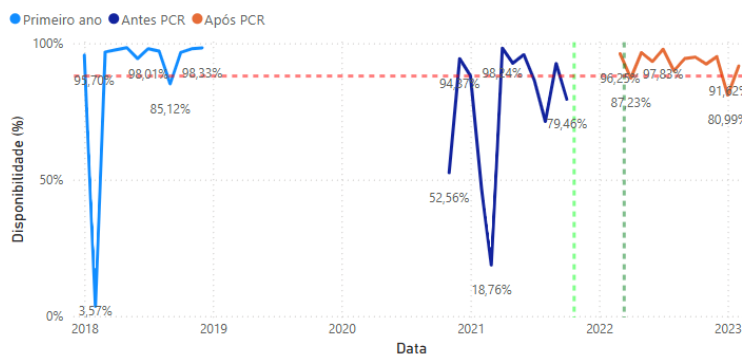


Figura 72 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

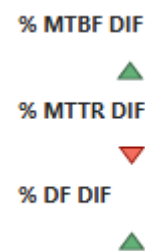


Figura 73 - Resumo KPI's

Ao longo do primeiro ano de operação o MTBF do equipamento superou em larga escala o valor de referência, já a disponibilidade apesar de superar o nível pretendido mostrou-se muito próxima deste. Isto porque se verifica que logo no segundo mês existiu uma paragem de quase um mês de duração que teve um grande impacto na disponibilidade, no entanto ao consultar-se os registos não há informação de nenhuma reparação realizada durante esse período, podendo a mesma ser considerada um erro de registo de dados no sistema. Já no ano anterior ao PCR verificam-se três paragens significativas do equipamento, causando a descida acentuada do valor do MTBF para este período, passando a ficar agora abaixo do nível de referência. Quanto à disponibilidade do equipamento, esta também sofreu uma descida não tão significativa, contudo o valor passou a ficar abaixo do nível pretendido. Após o recondicionamento o MTBF do MEAFR 087 aumentou, passando a situar-se acima das 55h, contudo bastante abaixo do valor verificado no primeiro ano de operação, ao qual deveria ser semelhante. Também a disponibilidade sofreu um aumento considerável, ultrapassando inclusive o valor do primeiro ano da operação, o que indica que apesar de ocorrerem ainda bastantes avarias estas são de rápida resolução.

Passando a uma visão global do ciclo de vida do equipamento, apresentada nas Figura 74 e Figura 75, observa-se que a frequência de reparações realizadas no período de cerca de um ano e maio antes do PCR aumentou, demonstrando o elevado desgaste do equipamento. Isto resultou na grande redução do valor do MTBF. Um PCR num período mais antecipado, intervindo-se nos componentes referidos na Figura 75 poderia evitar o tão elevado número de paragens prolongadas, contribuindo para a melhoria de desempenho do equipamento.

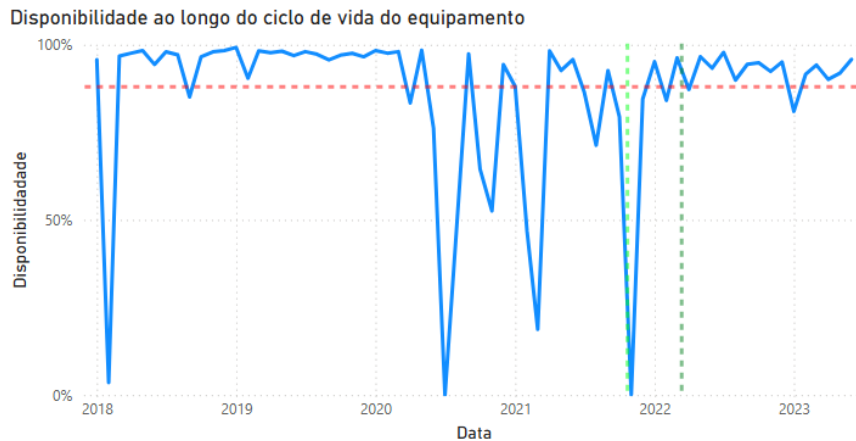


Figura 74 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

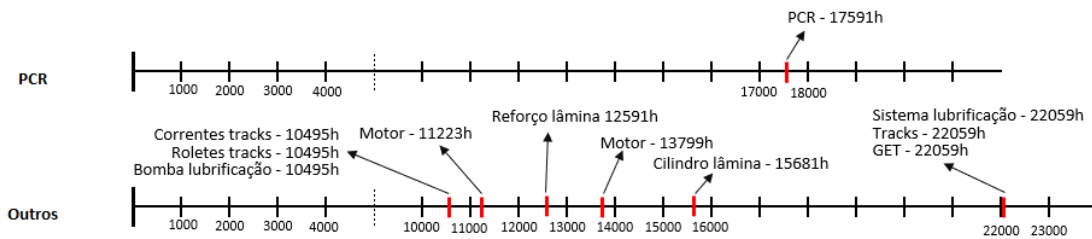


Figura 75 - Descrição das intervenções mais críticas

O MEAFR 086 também passou por um recondicionamento, no seu quinto ano de operação em que contava com 18166h de operação, sendo iniciado após a conclusão do PCR do MEAFR 087. O procedimento teve uma duração de 116 dias, com um custo de cerca de 58,6% quando comparado com o valor de um equipamento novo. Durante a intervenção foram substituídos um total de 138 componentes.

Com os dados recolhidos determinou-se o MTBF e a disponibilidade do equipamento, apresentando-se os resultados nas Figura 76 e Figura 77.

Recurso Típico	MTBF FY	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% FY	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Track-Type Dozer 50 T	46,90	89,04	102,46	69,05	7,77	33,63%	74,82%	89,85%	95,76%	82,33%	18166	5292
MEAFR 086	46,90	89,04	102,46	69,05	7,77	33,63%	74,82%	89,85%	95,76%	82,33%	18166	5292

Figura 76 - KPI's do equipamento MEAFR 086

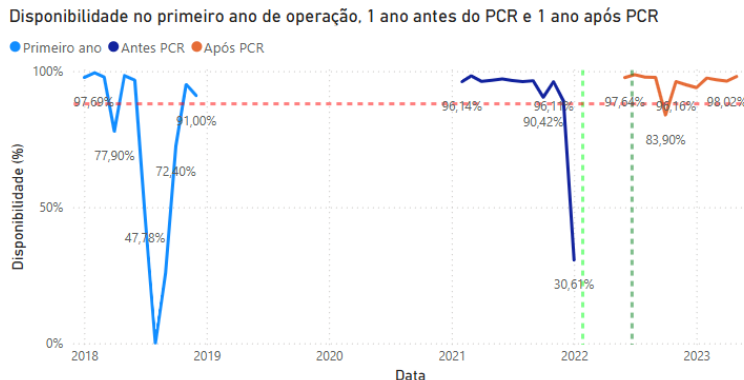


Figura 77 - Disponibilidade do equipamento no primeiro ano de operação e um ano antes e após o PCR

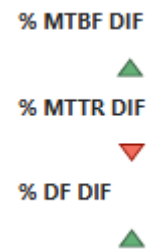


Figura 78 - Resumo KPI's

Caracterização e análise do problema

No primeiro ano de operação verificou-se uma avaria que levou a um grande período de paragem do equipamento, resultando um baixo valor de disponibilidade. Já no ano antecedente ao PCR não se verificaram avarias relevantes conseguindo-se um MBTF e disponibilidade acima dos níveis de referência indicados pelo fabricante do equipamento. Após a intervenção de PCR conseguiu-se uma melhoria tanto do MTBF e como da disponibilidade, verificando-se um aumento do desempenho do equipamento.

Fazendo uma análise ao longo de todo o ciclo de vida do equipamento, apresentada na Figura 79, observa-se que ocorreram duas avarias, em que uma delas, inclusive levou a uma paragem de um mês do equipamento, afetando o valor global da disponibilidade e do MTBF. No geral obteve-se uma disponibilidade abaixo do valor de referência, ao contrário do MTBF, o que revela que as avarias apesar de acontecerem em menor quantidade do que o esperado foram de resolução demorada.

Analisando as intervenções realizadas, mostradas na Figura 80, verifica-se que mais uma vez foi necessária realizar uma substituição do motor bastante antes da realização do PCR, sendo para além disso executadas outras reparações nesse período de tempo. O plano desajustado de PCR para este conjunto de equipamentos levou a um maior número de paragens, contribuindo para o decréscimo da disponibilidade. Um PCR antecipado possibilitaria a intervenção em grupos de componentes mais crítico, minimizando a probabilidade de ocorrência de avarias futuras.

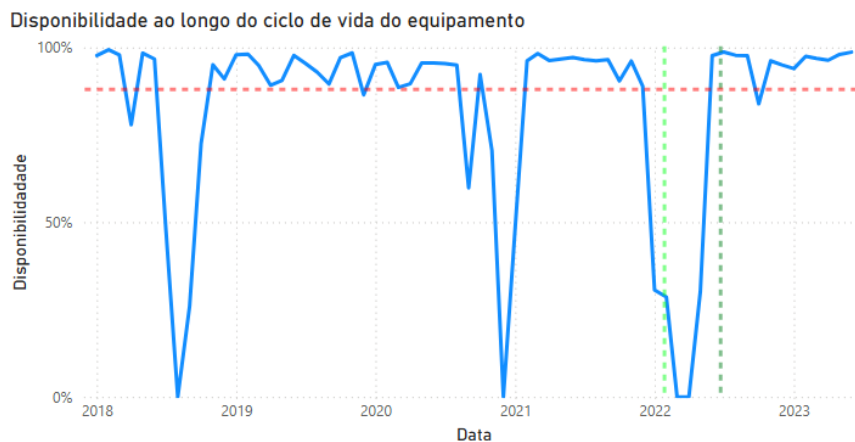


Figura 79 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

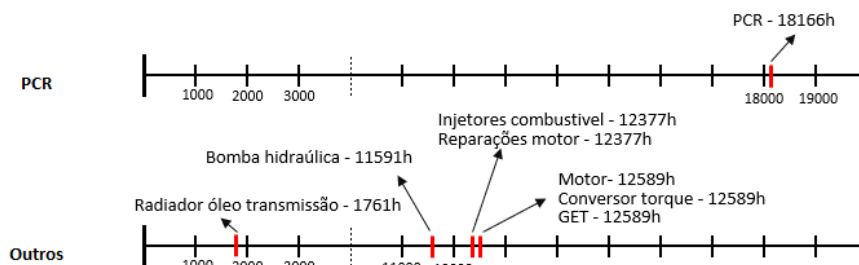


Figura 80 - Descrição das intervenções mais críticas

4.2.6. Comparação entre equipamentos reconicionados e equipamentos reparados à condição

Para além da análise dos indicadores de desempenho ao longo das fases do ciclo de vida dos equipamentos reconicionados, foi realizada uma comparação entre o reconicionamento com a estratégia de manutenção CBM. Esta é aplicada aos equipamentos que não foram reconicionados. Nestes casos, é realizada uma inspeção em intervalos predefinidos, substituindo-se os componentes desgastados, conforme se verificar necessário. No reconicionamento é realizada uma única paragem do equipamento sendo substituídos diversos componentes de uma só vez. A estratégia CBM permite um maior aproveitamento do ciclo de vida dos componentes dado que estes apenas são trocados quando apresentam sinais de desgaste ou falha, no entanto requer um maior número de paragens. Contrariamente, no reconicionamento, existem componentes que são substituídos num momento muito próximo ao final do seu ciclo de vida, enquanto outros são substituídos apenas por precaução não se tirando todo o proveito do mesmo. Neste caso prejudica-se a componente da disponibilidade em detrimento de menores custos, uma vez que haverá um maior número de paragens para as trocas de componentes que apresentarem desgaste considerável e apenas serão trocados os componentes necessários e só quando atingirem o seu fim de vida.

Em baixo apresentam-se os dados de dois *Off-Highway Trucks*, uma vez que este foi o equipamento que teve maior quantidade de veículos não reconicionados. Posteriormente realizou-se a comparação dos dados com os apresentados anteriormente. Quanto aos outros grupos por estarem presentes na operação em menor quantidade, foram praticamente todos reconicionados, não o sendo apenas os equipamentos adquiridos mais tarde.

O camião MEAFR 052 operou um total de 22075h, apresentando ao longo do seu ciclo de vida a disponibilidade representada no gráfico da Figura 82. Além disso, apresenta-se na Figura 83, as intervenções mais críticas realizadas no equipamento e as horas de operação em que estas foram efetuadas. Na Figura 81 apresentam-se os valores de MTBF e de disponibilidade durante o tempo de vida do equipamento. Ambos estes parâmetros, ficaram abaixo dos níveis de referência pretendidos. Estes valores vão de encontro ao referido em cima uma vez que existe um maior número de intervenções para substituir cada componente danificado, prejudicando a disponibilidade e obtendo-se um MTBF baixo.

Pela análise do gráfico, observa-se que no segundo ano de operação o equipamento esteve praticamente todo o ano parado devido a uma avaria de motor, sendo ainda reparados os cubos de rodas de transmissão traseiros e a caixa de carga, afetando bastante o valor de MTBF e disponibilidade calculados. Após a intervenção, o equipamento não sofreu grandes oscilações na sua disponibilidade, tendo apenas de ser intervencionado em dois momentos que fizeram baixar a disponibilidade para níveis inferiores ao valor de referência. Na primeira realizou-se a substituição de filtros e na segunda paragem realizou-se uma tentativa de substituição de motor, mas sem sucesso.

Caracterização e análise do problema

Recurso Tipico	MTBF	DF%	Total Op.
Off-Highway Trucks 100 T	43,40	76,24%	22075
MEAFR 052	43,40	76,24%	22075
Total	43,40	76,24%	22075

Figura 81 - KPI's do equipamento MEAFR 052

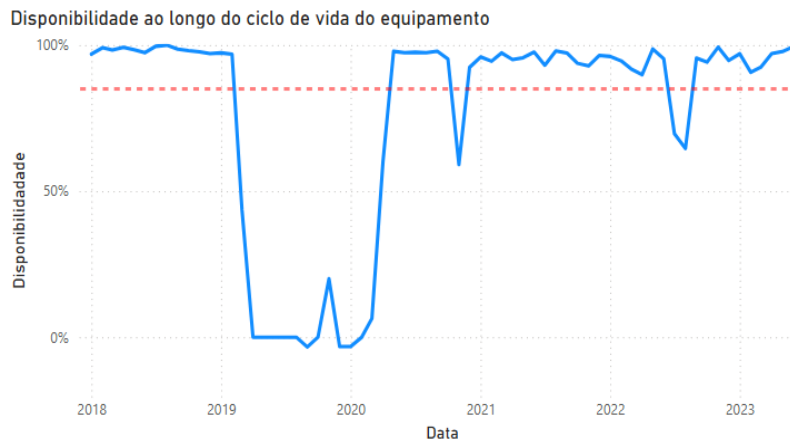


Figura 82 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

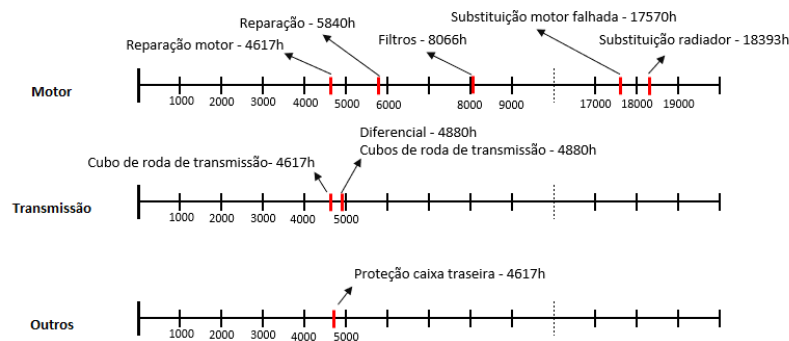


Figura 83 - Descrição das intervenções mais críticas

Realizou-se a mesma análise com o MEAFR 060. Este equipamento operou 20437 horas, sendo que ao longo do seu ciclo de vida nunca passou por um recondicionamento, apenas reparado à condição. Na Figura 84 apresenta-se o MTBF e a disponibilidade do equipamento ao longo do seu ciclo de vida, estando esta última ainda representada mais detalhadamente na Figura 85. Na Figura 86, apresentam-se as intervenções críticas realizadas no equipamento e que tiveram mais impacto na sua disponibilidade.

Contrariamente ao primeiro caso, o MEAFR 060 apresentou um MTBF e disponibilidade acima do pretendido. Neste caso, não se verificam paragens tão longas como no MEAFR 052, observando-se apenas dois picos de indisponibilidade mais relevantes, o primeiro no início de 2021 e outro no final desse mesmo ano, não afetando tão significativamente estes parâmetros. A primeira grande paragem deveu-se a uma substituição de turbo e transmissão que levou posteriormente à troca de motor. A segunda paragem deveu-se a uma reparação na caixa de direção do camião. No restante período de tempo, o equipamento conseguiu oferecer uma disponibilidade superior ao valor de referência e sem grandes oscilações.

Recurso Típico	MTBF	DF%	Total Op.
Off-Highway Trucks 100 T	99,31	93,39%	20437
MEAFR 060	99,31	93,39%	20437
Total	99,31	93,39%	20437

Figura 84 - KPI's do equipamento MEAFR 060

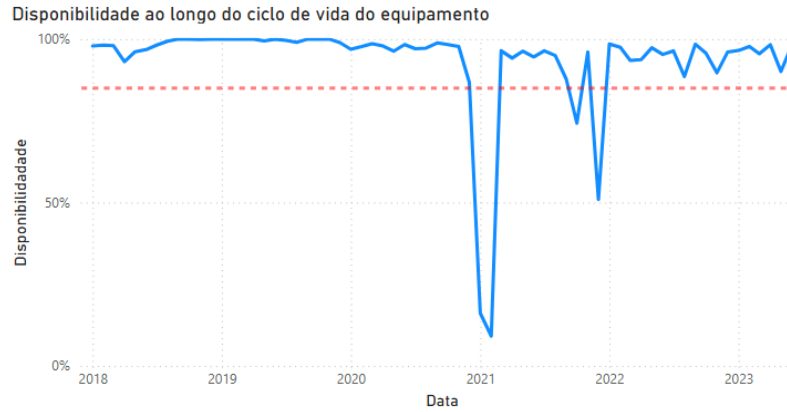


Figura 85 - Disponibilidade do equipamento ao longo de todo o seu ciclo de vida

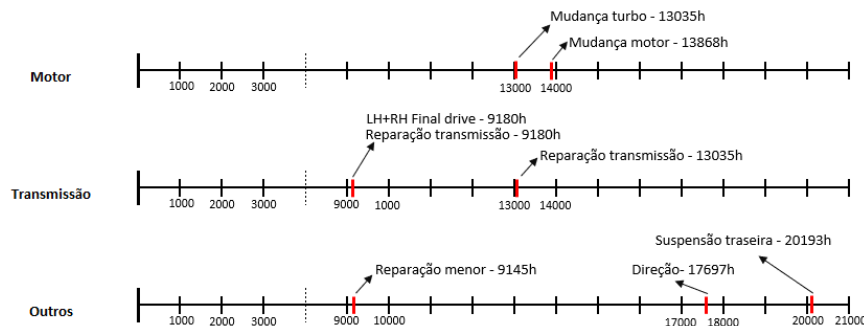


Figura 86 - Descrição das intervenções mais críticas

4.2.7. Problemas identificados

Após a análise dos recondiçionamentos realizados na mina de Siguiri é notável que existem um conjunto de fatores que impedem que esta estratégia permita a obtenção de melhores resultados operacionais. Verifica-se que à exceção das *Hydraulic Mining Shovels* todos os outros equipamentos apresentam um maior número de manutenções corretivas do que preventivas. Existindo um plano de manutenções previamente definido seria esperado o comportamento contrário. Além disso, observa-se que o número de horas gastos com manutenções corretivas é também bastante superior.

Verifica-se em diversos casos que no período próximo à realização do PCR, ocorrem um grande conjunto de avarias, demonstrando que esta intervenção não está bem planeada. Isto leva a um maior número de paragens do equipamento comprometendo a sua disponibilidade. Em certos casos, observa-se avarias após a realização do recondiçionamento.

No caso das *Hydraulic Mining Shovels* verifica-se que o recondiçionamento não levou à melhoria do MTBF e na grande maioria, como por exemplo, no caso dos *Track Dozers* não se conseguiu

Caracterização e análise do problema

repor o valor do MTBF num nível próximo ao de quando o equipamento era novo, o que era esperado após a intervenção.

Com a análise das intervenções que tiveram maior impacto na disponibilidade dos equipamentos, constata-se que em grande parte as avarias devem-se à transmissão dos equipamentos, pelo que o tempo de vida útil deste componente deverá ser um fator relevante a ter em conta na elaboração do plano de recondicionamentos.

Foram identificadas situações, em equipamentos como as *Hydraulic Mining Shovels* e os *Motor Graders*, após o PCR sofreram avarias com um impacto relevante na sua disponibilidade. Grande parte destas paragens foram causadas por componentes que deveriam ter sido reparados ou substituídos durante o recondicionamento.

Na última análise realizada aos equipamentos da mina de Siguri verifica-se que os equipamentos reparados à condição apresentam melhor desempenho que os recondicionados. Era esperado o comportamento contrário uma vez que o recondicionamento uma vez que é uma estratégia planeada deve resultar no maior disponibilidade e eficiência do equipamento, sendo, no entanto, financeiramente menos viável uma vez que o tempo de vida útil dos componentes não é totalmente aproveitada e muitos são substituídos mesmo sem ser necessário, apenas por precaução. Já a reparação à condição é baseada na falha do componente, sendo este apenas substituído no seu fim de vida. Por isso, esta estratégia é economicamente mais viável, no entanto traz maior instabilidade à operação uma vez que podemos ser surpreendidos com avarias a qualquer momento.

4.3. Mina de Moatize

A mina de Moatize, é uma operação de mineração de carvão a céu aberto localizada em Moatize, Moçambique. A Mota-Engil foi contratada para a realização da escavação da camada superficial do solo e extração do minério, iniciando-se as operações em 2018. À data da análise a mina ainda se encontra em funcionamento.

4.3.1. Parque de máquinas

Em Moatize, o parque de máquinas é bastante mais extenso que no caso apresentado anteriormente, como se verifica na Figura 87. Isto porque a área de prospeção é maior e o cliente requer um maior volume de produção diário.

Grupo	Quantidade	Custo de aquisição
▣ Equipamento de apoio à produção	8	\$351.972
▣ Equipamento de mineração	91	\$157.086.281
▣ Equipamento de produção	231	\$35.153.540
▣ Equipamento estrutural	61	\$2.055.230
Total	391	\$194.647.022

Figura 87 - Parque de máquinas da mina de Moatize

O parque é composto por um total de 391 equipamentos distribuídos por quatro grupos distintos, tal como na mina de Siguri. As funções dos equipamentos são as descritas na Tabela

6. Contrariamente, ao verificado no estudo anterior em que cada conjunto de equipamentos era constituído apenas por uma única marca e modelo, em Moatize verifica-se uma maior diversidade. Para além disso, o ano de aquisição dos mesmos, como se observa na Tabela 11, é mais diversificado, sendo que alguns deles são provenientes de explorações mineiras que encerraram operações. Para o estudo, serão analisados os recondicionamentos realizados aos equipamentos do grupo Equipamento de mineração e aos conjuntos de *Track Dozers* e *Wheel Dozers* pertencentes ao grupo Equipamento de produção.

Tabela 11 - Lista de equipamentos do parque de máquinas por ano de aquisição

	Equipamento de mineração				Equipamento de produção		
	Off-Highway Trucks	Hydraulic Mining Shovels	Motor Grader	Wheel Loader	Track Dozer	Wheel Dozer	
Quantidade total	58	10	7	9	16	2	
Recondicionados	24	6	5	2	11	1	
Ano de aquisição	2009	6	2	-	3	-	-
	2012	-	-	2	2	8	-
	2014	11	2	2	-	-	-
	2015	13	2	-	1	-	-
	2017	4	1	-	1	2	1
	2018	20	3	2	1	6	-
	2019	-	-	-	1	-	1
	2021	2	-	1	-	-	-
	2022	4	-	-	-	-	-
	2024	1	-	-	-	-	-

— - Início de contrato

Mais uma vez verifica-se que nem todos os equipamentos em estudo foram recondicionados. Existindo uma grande diversidade de anos de aquisição de equipamentos, deu-se prioridade aos adquiridos há mais tempo e com maior número de horas de operação. Apesar do contrato ter iniciado em 2018, uma grande quantidade de equipamento foi adquirida anteriormente e usadas em outras operações, pelo que quando chegaram a Moatize já apresentavam desgaste, e assim, as intervenções de recondicionamento foram direcionadas para estes equipamentos. É importante salientar que alguns chegaram a estar mais de um ano parados à espera de reparação devido ao desgaste que apresentavam, como se verifica na Figura 88. Neste caso, o

Caracterização e análise do problema

equipamento que foi adquirido no ano de 2015, esteve em operação noutra mina sendo depois deslocado para Moatize em 2020, chegando ao local num estado de enorme desgaste ficando cerca de três anos sem operar.

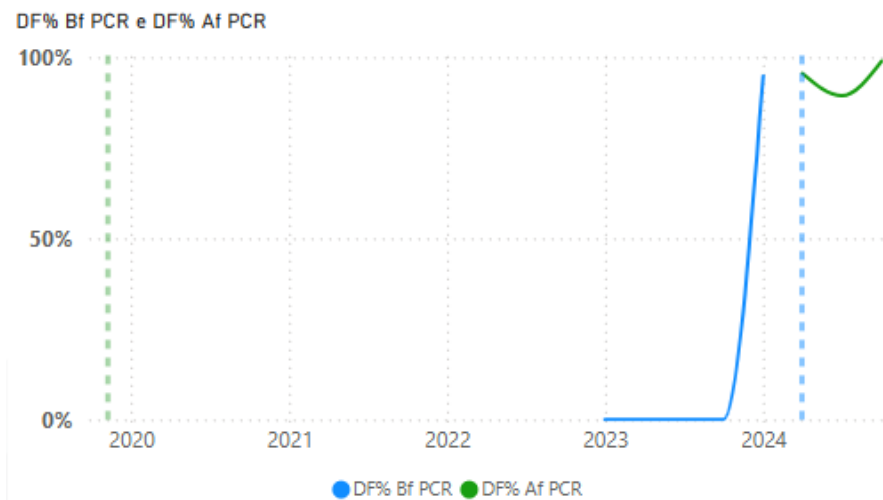


Figura 88 - Disponibilidade funcional de um Off-Highway Truck

Ao longo dos próximos subpontos, os equipamentos serão designados pela sua codificação interna. Na Tabela 12 apresenta-se a codificação associada a cada tipo de equipamento.

Tabela 12 - Codificação interna utilizada na mina de Moatize

Off-Highway Trucks	CAT 793D	MEAFR9401 – MEAFR9418
	CAT 777F	MEAFR9429; MEAFR9431 – MEAFR9433; MEAFR9437 – MEAFR9443; MEAFR9464
	Komatsu HD785	MEAFR9434 – MEAFR9436 MEAFR9464 – MEAFR9465
	CAT 777G	MEAFR9444 – MEAFR9456 MEAFR9665 – MEAFR9666
	CAT 777E	MEAFR 9457 – MEAFR9462 MEAFR9466 – MEAFR9470
Hydraulic Mining Shovels	CAT 6060BH	MEAFR2001 – MEAFR2003
	LIEBHERR R250	MEAFR2057 – MEAFR2058
	CAT 6030BH	MEAFR2059 – MEAFR2060
	LIEBHERR R9350	MEAFR2061
Motor Graders	CAT 16M	MEAFR4003; MEAFR4061 – MEAFR4064
	CAT 14M	MEAFR4080; MEAFR4082
Wheel Loaders	CAT 994K	MEAFR3101
	CAT 993K	MEAFR3102
	CAT 992K	MEAFR3103
	CAT 980H	MEAFR3104; MEAFR3163; MEAFR3199
	CAT D9R	MEAFR3225 – MEAFR3230 MEAFR3239 – MEAFR3240 MEAFR3279; MEAFR3281
Track Dozers	CAT D10	MEAFR3231 – MEAFR3236
	CAT D8	MEAFR3237 – MEAFR3238
	Komatsu D275AX	MEAFR3241 – MEAFR3242
Wheel Dozers	CAT 834	MEAFR3301 – MEAFR3302

4.3.2. Análise dos indicadores de desempenho

Os dados recolhidos no decorrer da operação encontram-se organizados de forma diferente à apresentada no estudo anterior, pelo que neste capítulo serão determinadas algumas métricas diferentes para que seja possível fazer a avaliação ao desempenho do equipamento. É importante referir que para o cálculo dos indicadores apenas foram considerados valores a partir do ano de 2020, uma vez que o sistema SAP foi substituído por uma versão mais recente, não havendo histórico do equipamento no período antecedente. Devido ao grande número de equipamentos existentes na operação, para efeito de análise, apenas serão apresentados dados relativos a uma amostra de cada tipo de equipamento que passou por este tipo de intervenção. Na Figura 89 apresentam-se os valores dos parâmetros que permitiram o cálculo dos KPI's

Caracterização e análise do problema

utilizados na análise. Para além disso, serviu de suporte o mapa de oficina, onde se encontram registadas todas as manutenções corretivas e preventivas realizadas.

Classe	NBD	NPM	NDT	TBD	TPM	TDT	Op. Time	Horimetro	Av. Hours
Hydraulic Mining Shovels	2740	186	2926	25313	8567	33880	102.108	48.024	159.840
MEAFR2002	966	67	1033	11418	736	12154	39.178	42.829	53.280
MEAFR2003	953	65	1018	7936	913	8849	37.734	40.944	53.280
MEAFR2059	821	54	875	5959	6918	12877	25.196	48.024	53.280
Motor Graders	1300	193	1493	51568	1332	52900	61.794	31.305	159.840
MEAFR4063	463	83	546	16558	498	17056	26.017	29.106	53.280
MEAFR4064	479	80	559	16018	593	16611	26.842	31.305	53.280
MEAFR4082	358	30	388	18992	241	19233	8.935	22.070	53.280
Off-Highway Trucks	1247	251	1498	22050	3312	25362	103.389	42.995	159.840
MEAFR9401	450	84	534	7080	1015	8095	33.932	40.286	53.280
MEAFR9403	355	83	438	5169	651	5820	37.120	42.995	53.280
MEAFR9417	442	84	526	9801	1646	11447	32.337	34.739	53.280
Track-Type Dozer	918	148	1066	19896	4549	24445	104.822	41.270	159.840
MEAFR3231	281	52	333	7927	370	8297	34.056	39.825	53.280
MEAFR3233	340	49	389	6529	868	7397	35.930	41.270	53.280
MEAFR3236	297	47	344	5440	3311	8751	34.836	40.333	53.280
Wheel Loader	823	64	887	38623	2018	40641	42.434	36.090	106.560
MEAFR3101	529	37	566	16888	1546	18434	26.714	28.343	53.280
MEAFR3102	294	27	321	21735	472	22207	15.720	36.090	53.280
Total	7028	842	7870	157450	19778	177228	414.547	48.024	745.920

Figura 89 - Dados base para cálculo dos KPI's

Pela análise dos parâmetros, verifica-se que o número de horas disponíveis para operar é igual para todos os equipamentos. Apesar de existirem equipamentos que foram adquiridos que estiveram em outras operações antes do início deste contrato, não se conhece o histórico dos mesmo ao longo desse período. Por esse motivo para efeito de cálculo será considerada a data de entrada do equipamento na mina de Moatize. No entanto, para o estudo das avarias será considerado o número do horimetro da máquina, uma vez que este é o tempo real que o equipamento trabalhou, causando desgaste nos seus componentes. Outra conclusão que é possível retirar do parâmetro *Calendar Time*, é que todos os equipamentos que foram reconicionados, foram os que chegaram à operação no momento do início do contrato. Os restantes equipamentos que foram adquiridos posteriormente não passaram por intervenções de reconicionamento. Olhando para o número de paragens para reparação e para o tempo de realização das mesmas verifica-se que existem uma grande quantidade de avarias inesperadas que levam a muitas manutenções corretivas, sendo a diferença bastante acentuada nas *Hydraulic Mining Shovels*. Por este grupo de equipamento ser o mais crítico da operação torna-se importante realizar-se uma análise do que poderá levar a este número de paragens. Pelos diagramas apresentados na Figura 90, verifica-se que cerca de 89% das paragens são relativas a manutenções corretivas. Existindo um plano de manutenção preventiva delineado para cada equipamento seria esperado obter-se o contrário do apresentado. Já, quanto ao número de horas despendidas com as manutenções a diferença não é tão acentuada, pelo que é possível inferir que apesar do elevado número de avarias, grande parte delas são de resolução rápida. Já para as manutenções preventivas é consumido mais tempo por ocorrência, uma vez que a realização dos reconicionamentos, por serem intervenções mais profundas acabam por ser mais morosas.

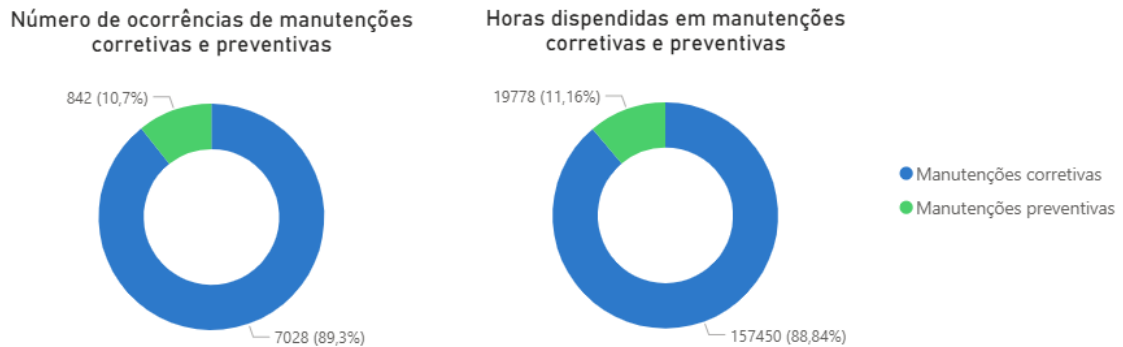


Figura 90 - Análise do registo de intervenções

Estes parâmetros permitiram o cálculo dos KPI's que são utilizados na análise de desempenho do equipamento. Os valores encontram-se na Figura 91. Os valores de referência utilizados para comparação encontram-se na Tabela 10.

Classe	MTBF	MTBFM	MTTR	MTTRM	MTBS	MTTM	UT%	DF%	UT AV%	SB%	SM%	UM%
Hydraulic Mining Shovels	49,10	43,05	12,36	11,58	34,90	46,06	63,88%	71,3%	81,06%	14,92%	5,36%	15,84%
MEAFR2002	43,34	39,81	12,58	11,77	37,93	10,99	73,53%	79,5%	95,26%	3,66%	1,38%	21,43%
MEAFR2003	47,58	43,65	9,29	8,69	37,07	14,05	70,82%	77,6%	84,93%	12,57%	1,71%	14,89%
MEAFR2059	57,64	46,17	15,68	14,72	28,80	128,11	47,29%	56,7%	62,36%	28,54%	12,98%	11,18%
Motor Graders	83,29	71,63	40,69	35,43	41,39	6,90	38,66%	48,6%	57,78%	28,24%	0,83%	32,26%
MEAFR4063	79,31	66,34	36,84	31,24	47,65	6,00	48,83%	59,9%	71,82%	19,16%	0,93%	31,08%
MEAFR4064	77,79	65,60	34,68	29,72	48,02	7,41	50,38%	58,0%	73,20%	18,44%	1,11%	30,06%
MEAFR4082	95,78	87,75	53,72	49,57	23,03	8,03	16,77%	28,1%	26,24%	47,13%	0,45%	35,65%
Off-Highway Trucks	110,50	89,77	20,34	16,93	69,02	13,20	64,68%	73,4%	76,88%	19,45%	2,07%	13,80%
MEAFR9401	102,67	84,62	17,99	15,16	63,54	12,08	63,69%	73,9%	75,10%	21,12%	1,91%	13,29%
MEAFR9403	135,52	108,36	16,39	13,29	84,75	7,84	69,67%	74,2%	78,21%	19,41%	1,22%	9,70%
MEAFR9417	98,37	79,53	25,90	21,76	61,48	19,60	60,69%	72,2%	77,30%	17,82%	3,09%	18,40%
Track-Type Dozer	152,44	127,01	26,63	22,93	98,33	30,74	65,58%	77,9%	77,42%	19,13%	2,85%	12,45%
MEAFR3231	161,40	135,08	29,53	24,92	102,27	7,12	63,92%	74,7%	75,71%	20,51%	0,69%	14,88%
MEAFR3233	137,50	117,95	21,76	19,02	92,37	17,71	67,44%	82,7%	78,31%	18,68%	1,63%	12,25%
MEAFR3236	161,08	129,44	29,46	25,44	101,27	70,45	65,38%	76,3%	78,23%	18,19%	6,21%	10,21%
Wheel Loader	82,55	74,32	49,38	45,82	47,84	31,53	39,82%	55,6%	64,37%	22,04%	1,89%	36,25%
MEAFR3101	68,79	61,57	34,85	32,57	47,20	41,78	50,14%	62,9%	76,66%	15,26%	2,90%	31,70%
MEAFR3102	107,30	96,80	75,53	69,18	48,97	17,48	29,50%	48,3%	50,59%	28,82%	0,89%	40,79%

Figura 91 - Indicadores de desempenho por equipamento

O valor dos KPI's permitem a avaliação do desempenho do equipamento ao longo da sua permanência em operação na mina. Estes traduzem toda a informação da base de dados em parâmetros que podem ser avaliadas e comparados com níveis de referência.

Observa-se que as *Hydraulic Mining Shovels* apresentam um valor de MTBF abaixo do valor de referência, no entanto a disponibilidade apesar de se encontrar abaixo dos 88% que era esperado, a diferença não é muito significativa. Ou seja, seria esperado um menor número de avarias, no entanto, como se verifica pelo baixo valor do MTTR, a eficácia com que as equipas de manutenção atuam na paragem deste tipo de equipamentos permitem que o impacto das avarias na disponibilidade seja minimizado. As *Motor Graders* apresentam um valor de MTBF e de disponibilidade bem abaixo do valor de referência. Este tipo de equipamento requer bastante experiência para ser manobrado e na região é difícil encontrar operadores com essas capacidades. Por esse motivo, as *Motor Graders* apresentam um elevado número de avarias o que tem impacto na disponibilidade das mesmas. Os *Off-Highway Trucks* apresentam um MTBF muito acima do nível que referência. Já a disponibilidade dos mesmos encontra-se abaixo do

Caracterização e análise do problema

esperado. Analisando também o valor do MTTR verifica-se que este grupo de equipamentos é o segundo com maior valor absoluto de tempo médio de reparação. Pelo que apesar de ocorrerem poucas avarias, estas levam bastante tempo a serem reparadas. Como existem vários camiões na operação, a gestão da frota torna-se mais fácil, assim ao parar um camião devido a avaria o impacto na operação é menor. Com isto, as equipas de manutenção podem concentrar os seus esforços noutros equipamentos. Os *Track Dozers* também apresentam um MTBF muito acima do nível que referência. No entanto, a disponibilidade situa-se abaixo do pretendido. Por fim, nas *Wheel Loaders* verifica-se que um dos equipamentos possui um MTBF bem acima do KPI definido como excelente, mas o outro ficou abaixo do esperado. Porém apenas, duas máquinas deste grupo foram recondiçionadas pelo que não se possui mais elementos para comparação.

4.3.3. Análise das intervenções de manutenção

Para a mina de Moatize foram desenvolvidos planos de manutenção para diferentes horas de operação de modo a maximizar a vida útil dos equipamentos. Existem planos para 250h, 500h, 1000h, 2000h, 4000h e 6000h sendo que em cada um são substituídos diferentes componentes. Para os equipamentos de grande dimensão, como por exemplo *Off-Highway Trucks*, *Hydraulic Mining Shovels* e *Wheel Loaders* aplicam-se os planos a partir das 500h. Sendo que para as *Hydraulic Mining Shovels* está ainda implementada a troca dos filtros de ar dos motores à 250h, devido à exposição a poeiras a que o equipamento está sujeito. Para os equipamentos de menor dimensão aplica-se o plano a partir das 250h pois possuem motores de menor dimensão sendo mais solicitados. Após as 6000h repete-se novamente o ciclo de planos. Apesar dos componentes substituídos nos planos de 1000h, 2000h e 4000h serem iguais, são recolhidas amostras de diferentes fluidos em cada um dos planos, daí a existência de três planos distintos. Quando o equipamento é novo ou após uma intervenção de recondiçionamento é aplicado um plano adicional após as 50h de operação em que são substituídos todos os óleos e filtros de modo a eliminar contaminações que possam ser causadas por componentes novos ou reconstruídos. Na Tabela 13 encontra-se um exemplo dos planos de manutenção aplicados às *Hydraulic Mining Shovels*.

Tabela 13 - Planos de manutenções preventivas

Plano					Componentes
6000h	4000h	2000h	1000h	250h	Filtro de ar primário e secundário Recolha de amostras de óleos
				500h	Filtro de óleo do motor Filtro de combustível Filtro de água Filtro de ar Filtro A/C Filtro do óleo de transmissão Substituição de óleo do motor Verificação do nível da bateria Verificação dos cilindros hidráulicos Verificação de apoios de motor Verificação do sistema de rodagem Verificação do sistema de lubrificação automática Verificação de fugas de óleo
					Filtro de fluido hidráulico Filtro da bomba de fluido hidráulico Filtro do respiro do motor Óleo da caixa de velocidade Óleo do diferencial Óleo da transmissão
					Substituição de óleo hidráulico Adição de fluido de refrigeração Inspeção das bombas de água

Apesar do planeamento, ainda não existe nenhuma ferramenta que garanta a cumprimento dos planos de manutenção dos equipamentos, quer a nível da substituição dos componentes requeridos, quer a nível de prazos de execução. A única forma de realizar essa verificação é consultando os mapas de oficinas que contém o registo das manutenções realizadas. Esta informação permite calcular a taxa de cumprimento dos planos de manutenção. Estabeleceu-se para a análise ciclos de 500h entre MP para os *Off-Highway Trucks*, para as *Hydraulic Mining Shovels* e para os *Wheel Dozers*. Para os restantes equipamentos estabeleceu-se ciclos de 250h. Foi considerado como aceitável um desvio de 50h face ao tempo de ciclo para a realização da manutenção. Ao contrário dos intervalos de execução utilizados na mina de Siquiri, que foram definidos com base nas análises dos óleos, para a mina de Moatize decidiu-se seguir os intervalos recomendados pelo fabricante do equipamento.

Na Figura 92 apresenta-se os resultados da análise aos *Off-Highway Trucks*. Observa-se que de modo geral os planos de manutenções foram cumpridos. Apenas no equipamento MEAFR9401, verifica-se um atraso das últimas manutenções. Os outros dois equipamentos, apesar de uma

Caracterização e análise do problema

taxa de cumprimento de 100%, verifica-se que existiu a necessidade de reduzir a periodicidade da realização das manutenções para um período a rondar as 380-400h. Seria importante, realizar-se um estudo com a equipa presente na mina de modo a perceber-se se o plano realmente cumpre as necessidades do equipamento ou se é preciso reajustá-lo de modo a garantir uma maior disponibilidade.

MEAFR9401		MEAFR9403		MEAFR9417	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
64	52	83	83	83	83
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
81,25%		100,00%		100,00%	
Média da taxa de ciclos cumpridos:					
93,75%					

Figura 92 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Off-Highway Trucks

Já as *Hydraulic Mining Shovels*, cujos resultados se encontram na Figura 93 apresentam uma taxa de cumprimento muito elevada. Este tipo de equipamento, por ser o mais importante da operação, não pode ser afetado por falhas na realização das manutenções.

MEAFR2002		MEAFR2003		MEAFR2059	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
52	51	49	48	45	45
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
98,08%		97,96%		100,00%	
Média da taxa de ciclos cumpridos:					
98,68%					

Figura 93 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Hydraulic Mining Shovels

Também as *Motor Graders* apresentam uma taxa de cumprimento de manutenções preventivas elevada, como se verifica pela Figura 94. Apesar da criticidade destes equipamentos não ser tão elevada como a das *Hydraulic Mining Shovels*, estes existem em pouca quantidade na mina, pelo que é essencial cumprir-se o plano de manutenções para que se mantenham em funcionamento.

MEAFR4063		MEAFR4064		MEAFR4082	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
60	60	66	66	24	24
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
100,00%		100,00%		100,00%	
Média da taxa de ciclos cumpridos:					
100,00%					

Figura 94 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Motor Graders

No caso das *Wheel Loaders*, Figura 95, uma possui uma elevada taxa de cumprimento de manutenções preventivas, já a outra apresenta o contrário. Uma vez que os dois equipamentos são de modelos diferentes, deverá ser equacionada a hipótese de se fazer um plano de manutenção distinto para cada uma delas, uma vez que a MEAFR3101 sendo de maior dimensão e mais robusta pode não necessitar de manutenção tão frequentemente.

MEAFR3101		MEAFR3102	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
25	8	19	18
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
32,00%		94,74%	
Média da taxa de ciclos cumpridos:			
63,37%			

Figura 95 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Wheel Loaders

Os *Track Dozers* possuem uma taxa de cumprimento de manutenções preventivas baixa, como se observa na Figura 96. Tal como aconteceu com os *Off-Highway Trucks*, estes equipamentos entraram na operação já com algumas horas de operação, sendo a primeira manutenção preventiva realizada muito depois da entrada na mina. Por exemplo, o equipamento MEAFR 3231 chegou à operação com cerca de 9000h de operação, mas a sua primeira manutenção preventiva apenas encontra-se registada às 13996h.

MEAFR3231		MEAFR3233		MEAFR3236	
Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:	Total ciclos:	Ciclos cumpridos:
33	9	31	6	33	5
Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:		Taxa de ciclos cumpridos:	
27,27%		19,35%		15,15%	
Média da taxa de ciclos cumpridos:					
20,59%					

Figura 96 - Análise do registo de intervenções de manutenção preventiva de Track Dozers

O incumprimento dos planos de manutenção leva ao aumento da probabilidade da ocorrência de avarias. Para além disso, é através destas que é possível realizar o acompanhamento do equipamento e detetar possíveis falhas prematuras. É fundamental verificar se os planos para este tipo de equipamentos podem ser estendidos sem colocar em causa o desempenho dos mesmos. A paragem tardia dos equipamentos pode levar a avarias mais severas uma vez que componentes que deveriam ser substituídos na MP estão a ser utilizados para além do tempo de vida útil previsto. As baixas taxas de cumprimento podem comprometer o desempenho dos equipamentos impedindo que se atinjam os objetivos de produção estabelecidos.

4.3.4. Análise das intervenções de recondicionamento

Tal como em Siguiri, também na mina de Moatize se optou por aplicar os recondicionamentos aos equipamentos de modo a tentar manter os níveis de disponibilidade elevados e com baixo número de avarias. No entanto, em Moatize a estratégia foi aplicada de uma maneira diferente. Em 2018, a operação iniciou-se com um número reduzido de equipamentos. Com o crescer da operação foi necessário aumentar o número de equipamentos para corresponder aos objetivos de produção. A frota foi aumentada com novos equipamentos, dos quais alguns provenientes de outras minas e obras.

Como os recondicionamentos realizados em Siguiri não tiveram o resultado esperado, a equipa de planeamento alterou a sua estratégia. O PCR estava planeado para ser realizado após 20000h de operação, no entanto, os motores e outros componentes fundamentais ao correto funcionamento da máquina falharam antes de atingirem esse valor. Por esse motivo, em

Caracterização e análise do problema

Moatize definiu-se que os recondiçionamentos seriam realizados às 18000h de operação. No entanto, pela grande quantidade de equipamentos, não existe mão de obra suficiente para imobilizar todos os equipamentos no período definido. Foi então decidido, realizar-se uma reparação geral de modo a prolongar o funcionamento do equipamento após as 18000h e posteriormente realizar-se o recondiçionamento. Desta forma, tenta-se maximizar o uso da vida útil dos componentes e não sobrecarregar a oficina mecânica. Outros equipamentos da frota chegaram à mina com bastantes horas de operação, pelo que foram realizadas inspeções aos equipamentos antes de entrarem em operação. Como se verifica na Figura 97, alguns dos equipamentos, tal era o desgaste apresentado que seria economicamente inviável operá-los, pelo que se decidiu recondiçioná-los. Estas intervenções tiveram de ser realizadas em fases pois o número de equipamentos a recondiçionar era elevado e a mão de obra especializada disponível no local era limitada. Por este motivo alguns equipamentos ficaram bastante tempo parados e a aguardar a intervenção. Na Figura 97, pode observar-se o exemplo da *Hydraulic Mining Shovel* MEAFR 2060 que esteve cerca de dois anos e meia parada, até ao início do seu recondiçionamento (assinalado no gráfico pela linha vertical tracejada verde). Outros equipamentos que chegaram à operação também com algumas horas, mas com menor desgaste iniciaram a operação com limitações, verificando diversas paragens para reparações de modo a mantê-lo em funcionamento. Na Figura 98 apresenta-se um exemplo dessa situação.

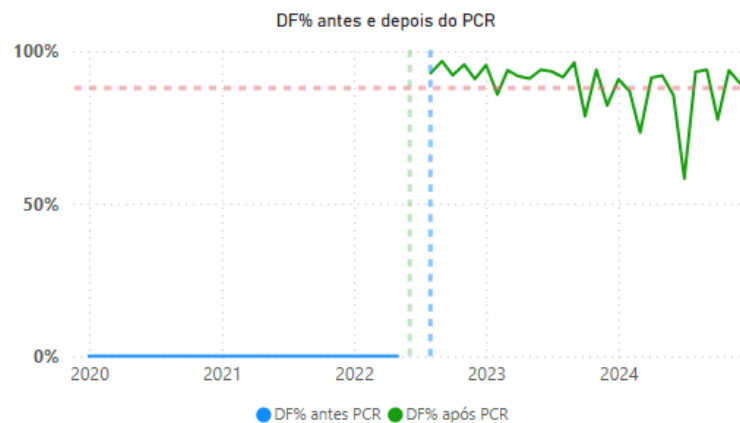


Figura 97 - Disponibilidade funcional do equipamento MEAFR 2060

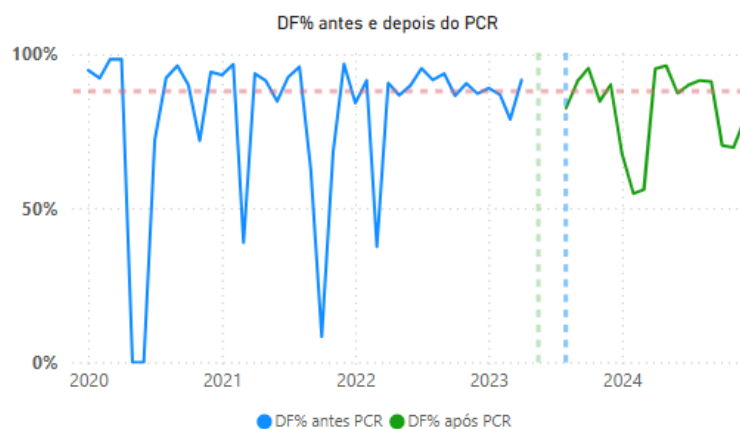


Figura 98 - Disponibilidade funcional do equipamento MEAFR 2002

Nos próximos pontos passar-se-á à análise das intervenções de recondicionamento que foram executadas. Com isto pretende-se determinar se a intervenções tem um impacto positivo no desempenho do equipamento e se a estratégia é economicamente viável.

Com o recondicionamento pretende-se trazer o equipamento para um estado semelhante a quando era novo, no entanto como a grande parte das máquinas da frota chegaram de outras operações apenas será realizada a análise com base nos KPI's do ano antecedente ao PCR e um ano após o mesmo. Os valores obtidos para os KPI's serão ainda comparados com os valores de referência definidos pela empresa.

Nos gráficos de disponibilidade apresentados, encontra-se assinalado por uma linha tracejada a vermelho o valor de referência para a disponibilidade. Encontra-se também assinalado pela linha tracejada verde a data de início do PCR e pela linha tracejada azul a data de fim do mesmo. A linha laranja representa a disponibilidade do equipamento no ano antes do PCR e a linha azul a disponibilidade do restante período antecedente. A linha a roxo representa a disponibilidade ao longo de um ano após o PCR e a linha a verde representa a disponibilidade do restante período após o recondicionamento. Junto ao gráfico encontra-se um resumo da evolução dos principais KPI's analisados antes e após o recondicionamento, o ícone verde representa a melhoria do valor do indicador, a situação contrária é indicada pelo ícone vermelho. Nos diagramas de intervenções de maior impacto de disponibilidade apenas serão contabilizadas na representação as horas desde a entrada do equipamento na mina.

É importante referir que em quase todos os equipamentos observou-se uma indisponibilidade em janeiro de 2020 devido à pandemia Covid-19.

▪ **Recondicionamento de Off-Highway Trucks**

O MEAFR 9401 foi recondicionado após 19027h de operação, num procedimento com a duração de 50 dias e um custo de 29,8% comparativamente à aquisição de um equipamento novo. Na Figura 99 apresentam-se os valores dos KPI's calculados antes e após a realização do PCR. Foi ainda elaborado o gráfico da Figura 100 com a disponibilidade do equipamento.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTRR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Off-Highway Trucks	74,53	44,28	83,15	17,99	17,58%	67,43%	88,76%	73,7%	28.482	9.550
MEAFR9401	74,53	44,28	83,15	17,99	17,58%	67,43%	88,76%	73,7%	28.482	9.550

Figura 99 - KPI's do equipamento MEAFR 9401

Caracterização e análise do problema

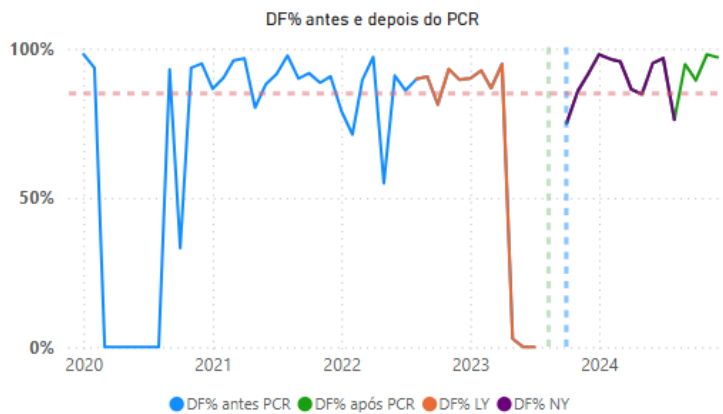


Figura 100 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 9401

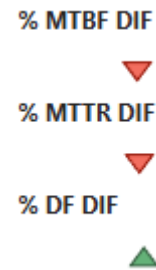


Figura 101 - Resumo KPI'S

Paragens prolongadas nos anos de 2020 e 2022 levaram a uma redução acentuada da disponibilidade, no entanto o MTBF manteve-se acima do nível de excelência. Em 2023, uma avaria após 28482h de operação, levou a que se desencadeasse a intervenção, 10000h após o planeado. Concluída a mesma observou-se um aumento da disponibilidade, apesar da diminuição do MTBF, pois as avarias tornaram-se mais frequentes, no entanto o MTTR manteve-se baixo.

Uma análise às ordens de reparação, representadas na Figura 102, permite verificar que na primeira grande paragem do equipamento foi necessário realizar reparações ao motor, sistema elétrico e hidráulico, necessitando este último de ser novamente intervencionado algumas horas de operação depois. Voltam a acontecer avarias nos mesmos sistemas em horas de operação próximo do período previsto para o PCR (18000h), no entanto o mesmo só acontece 10000h depois, levando a um maior número de paragens.

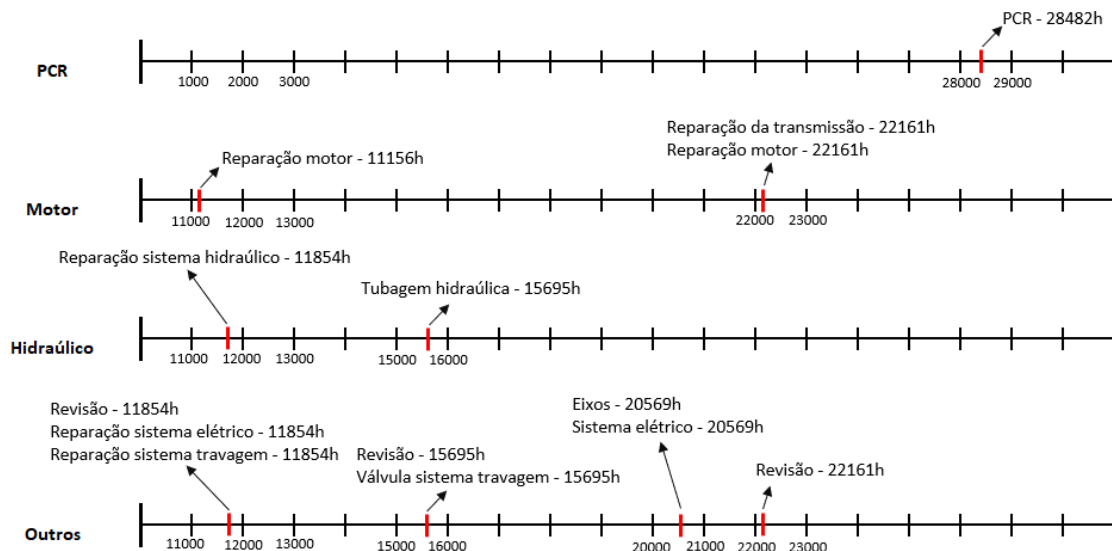


Figura 102 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

A mesma análise foi realizada para o MEAFR 9403. O equipamento foi recondiçãoado após 20138h de operação. A intervenção teve uma duração de 58 dias com um custo total de 40% face à aquisição de um equipamento novo. Com os dados recolhidos ao longo da sua operação foi possível determinar o valor dos KPI que permitem avaliar o seu desempenho, apresentando-

se os seus valores na Figura 103. Na Figura 104 encontra-se um gráfico da disponibilidade do equipamento ao longo do tempo.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Off-Highway Trucks	94,63	89,28	110,78	16,39	17,65%	72,67%	91,15%	74,0%	28.816	10.686
MEAFR9403	94,63	89,28	110,78	16,39	17,65%	72,67%	91,15%	74,0%	28.816	10.686

Figura 103 - KPI's do equipamento MEAFR 9403

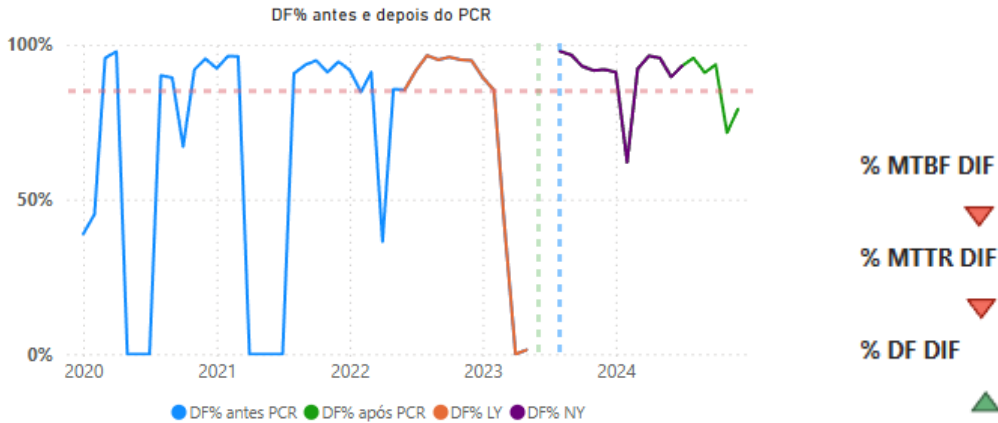


Figura 104 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 9403

Figura 105 - Resumo KPI'S

Em maio de 2020 observa-se a paragem do equipamento devido ao motivo anteriormente referido. Seguiu-se em abril de 2021 uma avaria que se prolongou por vários meses e outra paragem significativa em 2022, reduzindo a disponibilidade para um valor inferior ao nível de excelência. No entanto o MTBF manteve-se elevado uma vez que as paragens apesar de longas foram poucas. Após o recondicionamento é notório um aumento da disponibilidade do equipamento registando-se apenas uma paragem considerável no início de 2024. Já o valor do MTBF sofreu um decréscimo dado que apesar de não se verificarem paragens prolongadas, estas ocorrem com maior frequência. Também não se conseguiu a melhoria do indicador MTTR. Através do registo das ordens de reparação elaborou-se o diagrama apresentado na Figura 106. É notório que grande parte das reparações incidem sobre a caixa de velocidades e o sistema hidráulico, com várias ocorrências próximas do período de recondicionamento. Um PCR mais aprofundado e detalhado poderia ter evitado reparações no período subsequente.

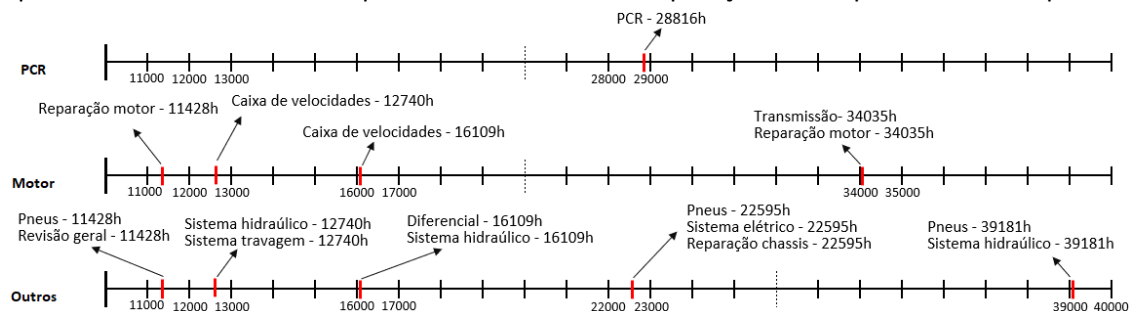


Figura 106 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

▪ **Recondicionamento de Hydraulic Mining Shovels**

A Hydraulic Mining Shovel MEAFR 2002 foi recondicionada após 28962h de operação, mais 10000h do que o previsto. O procedimento durou 76 dias com um custo de 42,4% comparativamente à aquisição de um equipamento novo. Para uma análise completa do

Caracterização e análise do problema

desempenho do equipamento no desenrolar da operação foram determinados os valores dos KPI's, encontrando-se os mesmo apresentados na Figura 107.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Hydraulic Mining Shovels	23,21	14,68	34,24	12,58	0,01%	89,01%	82,79%	79,4%	28.962	10.585
MEAFR2002	23,21	14,68	34,24	12,58	0,01%	89,01%	82,79%	79,4%	28.962	10.585

Figura 107 - KPI's do equipamento MEAFR 2002

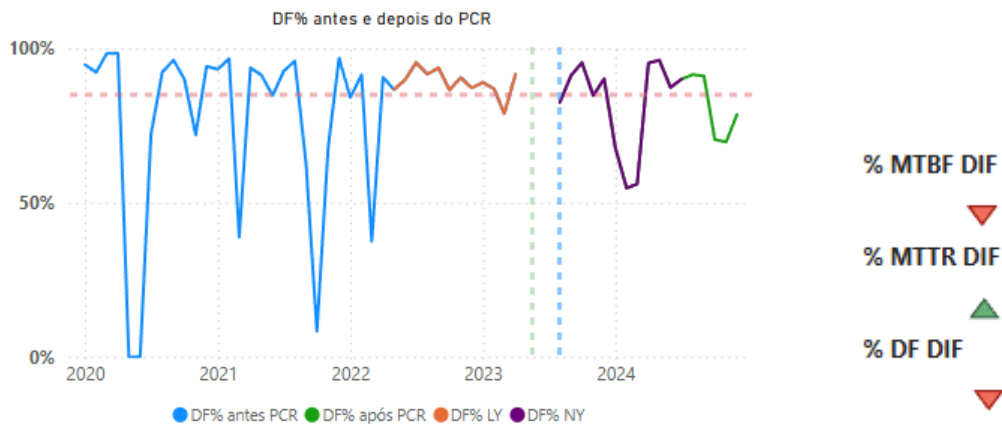


Figura 108 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 2002

Figura 109 - Resumo KPI's

Pela análise do gráfico da Figura 108, verifica -se que até ao PCR ocorrem diversos picos de indisponibilidade não sendo possível atingir o objetivo pré-estabelecido de 88%. O MTBF também ficou abaixo do que era esperado. Estas máquinas são as mais importantes da operação e por esse motivo, aquando da ocorrência de uma avaria são concentrados os esforços da equipa de manutenção para que o equipamento volte o mais rapidamente ao ativo, resultando num valor de MTTR baixo. No ano antecedente ao PCR não existem paragens com impacto significativo na disponibilidade conseguindo-se neste período ultrapassar a barreira dos 88%. Após a intervenção, não se conseguiu o aumento dos valores de MTBF e da disponibilidade, tal como era pretendido, verificando-se logo no ano seguinte um conjunto de avarias que levam a longas paragens do equipamento.

Uma análise às ordens que causaram maiores indisponibilidades, na Figura 110, revela que ao longo da operação existem diversas substituições de material rodante e problemas no sistema hidráulico e de rotação. Após a intervenção existiu a necessidade de se realizar uma grande reparação. Estes elementos que foram substituídos no recondicionamento voltam a afetar a disponibilidade do equipamento. Estas paragens revelam falhas dos recondicionamentos realizados.

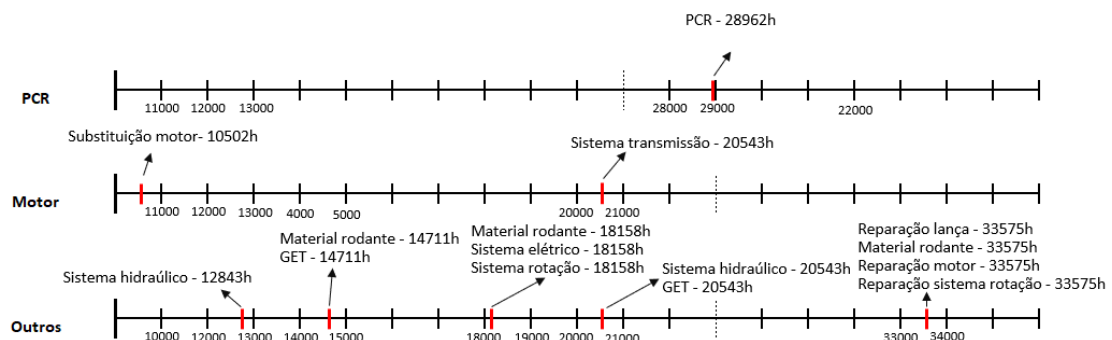


Figura 110 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

Seguiu-se a mesma análise para o MEAFR 2003, pertencente à mesma categoria. No sexto ano de operação e após 22867h realizou-se o acondicionamento do equipamento, com uma duração de 55 dias e um custo de 61,4% comparativamente à aquisição de um equipamento novo. Com os dados recolhidos foram determinados os KPI's no período em que o equipamento foi operado, apresentando-se os resultados na Figura 111. Foi também elaborado o gráfico da Figura 112 com a disponibilidade do equipamento ao longo do tempo.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Hydraulic Mining Shovels	28,20	27,26	38,36	9,29	10,14%	58,40%	88,98%	77,4%	22.867	14.625
MEAFR2003	28,20	27,26	38,36	9,29	10,14%	58,40%	88,98%	77,4%	22.867	14.625

Figura 111 - KPI's do equipamento MEAFR 2003

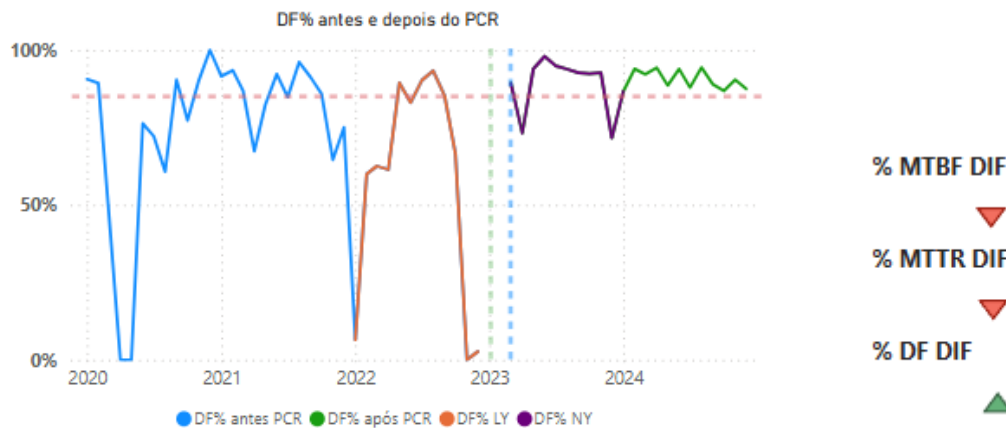


Figura 112 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 2003

Figura 113 - Resumo KPI's

A análise do gráfico revela que até ao acondicionamento ocorreram quatro paragens que comprometeram a disponibilidade do equipamento. O grande número de paragens fez com o MTBF ficasse bem abaixo das 55h pretendidas. No entanto, o valor do MTTR revela que estas são de rápida resolução. O acondicionamento levou a um aumento da disponibilidade para um nível acima do patamar de excelência e permitindo ao equipamento oferecer um desempenho mais constante ao longo do tempo. No entanto, não se verificaram melhorias no valor do MTBF, o que indica que o número de avarias não diminuiu.

Focando a análise nos momentos que causaram as maiores indisponibilidades do equipamento, na Figura 114, verifica-se que os grupos de componentes avariados são recorrentes. Em todas as paragens prolongadas houve a necessidade de se intervir no sistema hidráulico e mesmo após o PCR não foi possível mitigar o problema. Uma abordagem mais intensiva logo na fase inicial destes problemas poderia evitar as futuras paragens.

Caracterização e análise do problema

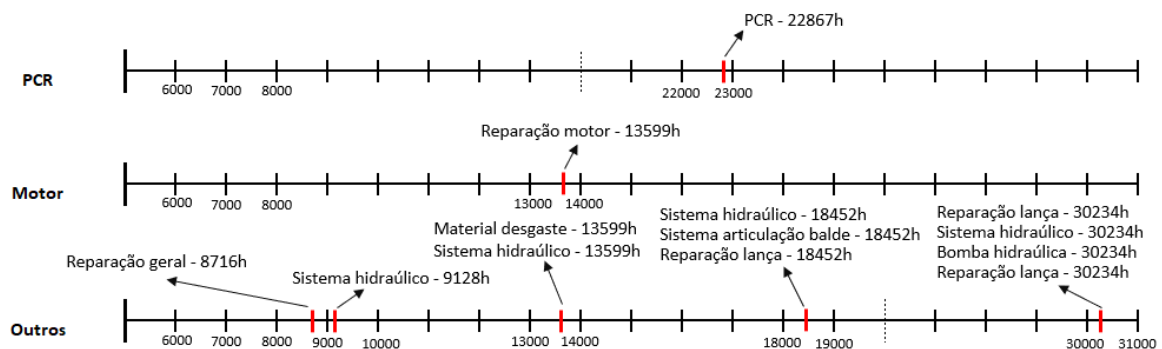


Figura 114 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

▪ Recondicionamento de *Wheel Loaders*

A *Wheel Loader* MEAFR 3101 foi recondicionada às 17308h de operação. Contrariamente aos casos apresentados, este equipamento foi recondicionado antes das 18000h planeadas. A grande quantidade de avarias e baixa disponibilidade levou a que a equipa de manutenção antecipasse o seu PCR. A intervenção teve uma duração de 54 dias com um custo de 52,7% do preço de aquisição de um equipamento novo. Para a análise foram determinados os valores dos KPI's apresentando-se os seus valores na Figura 115. Foi elaborado o gráfico da Figura 116, com a disponibilidade do equipamento.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Wheel Loader	29,40	38,77	52,19	34,85	8,41%	71,82%	82,67%	62,6%	17.308	7.629
MEAFR3101	29,40	38,77	52,19	34,85	8,41%	71,82%	82,67%	62,6%	17.308	7.629

Figura 115 - KPI's do equipamento MEAFR 3101

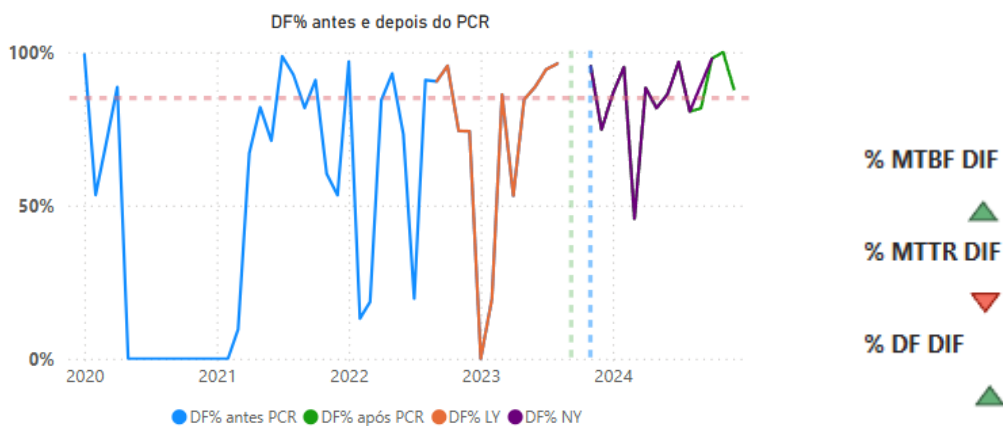


Figura 116 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 3101

Figura 117 - Resumo KPI's

Observa-se que o MEAFR 3101 apresenta bastantes momentos de indisponibilidade pelo que a sua DF% não consegue ultrapassar os 62,6%, ficando bem abaixo do objetivo estabelecido. A grande quantidade de paragens leva a que o MTBF fique também abaixo do nível esperado. Após prolongada reparação em 2020, voltam a suceder-se diversas avarias com grande impacto no seu desempenho, pelo que se decide avançar para o recondicionamento. Após a intervenção verifica-se uma melhoria do cenário com o aumento do MTBF e da disponibilidade, no entanto ambos ficando ainda abaixo do que seria esperado, ocorrendo avarias mesmo após o

procedimento. É ainda de salientar o elevado MTTR deste equipamento, em grande parte influenciado pela longa paragem de 2020.

Observa-se na Figura 118, que as paragens advêm em que grande parte do mesmo tipo de avarias, com constantes avarias nos mesmos grupos de componentes. A reparação incompleta dos componentes leva a que estes voltem a surgir levando a paragens que poderiam ser evitadas.

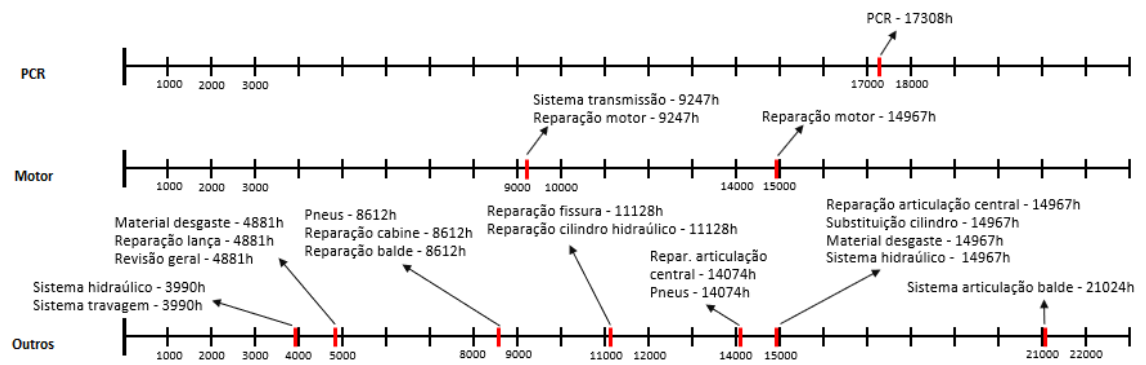


Figura 118 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

A mesma análise foi realizada para o MEAFR 3102, para verificar se o mesmo comportamento se verifica nos restantes elementos da categoria. Este equipamento chegou a Moatize com 16722h, sendo apenas recondicionado pelas 30688h, muito para além do planeado, motivado pelo elevado número de avarias que se vinha a verificar. A intervenção durou 92 dias com um custo total de 37,9% face à aquisição de um equipamento novo. Novamente determinaram-se os KPI's do equipamento, encontrando-se os mesmos apresentados na Figura 119. Também foi elaborado o gráfico da Figura 120, com a disponibilidade ao longo do tempo.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Wheel Loader	22,47	33,56	77,42	75,53	17,50%	39,26%	70,87%	47,0%	30.688	3.667
MEAFR3102	22,47	33,56	77,42	75,53	17,50%	39,26%	70,87%	47,0%	30.688	3.667

Figura 119 - KPI's do equipamento MEAFR 3102

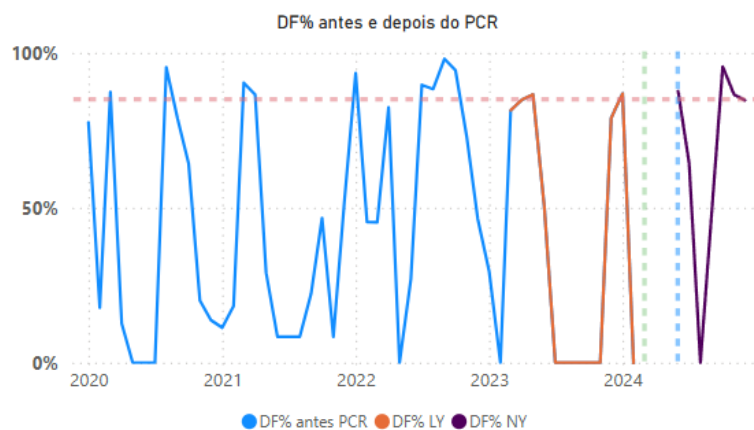


Figura 120 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 3102

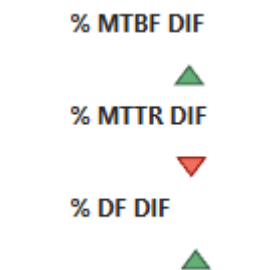


Figura 121 - Resumo KPI's

Observa-se que o equipamento apresenta um elevado índice de indisponibilidade, com diversas paragens no período antecedente ao PCR. O equipamento não conseguiu ir além dos 47% de disponibilidade ficando bastante abaixo do que era esperado. Já o MTBF apresenta um valor acima do nível de excelência uma vez que o número de avarias que ocorrem é baixo, no entanto

Caracterização e análise do problema

bastante prolongadas. Com o recondicionamento consegue-se uma notável melhoria da disponibilidade, mas o mesmo não se verifica nos outros indicadores. Contudo o período após o PCR não é suficientemente longo para que se possa retirar uma conclusão eficaz do impacto da intervenção no equipamento. Através do registo de intervenções com maior impacto na disponibilidade apresentada na Figura 122, constata-se que existe uma grande concentração de avarias no período entre as 20000h e 25000h de operação. Um PCR realizado no momento planeado, ou seja, às 18000h teria mitigado grande partes dos problemas.

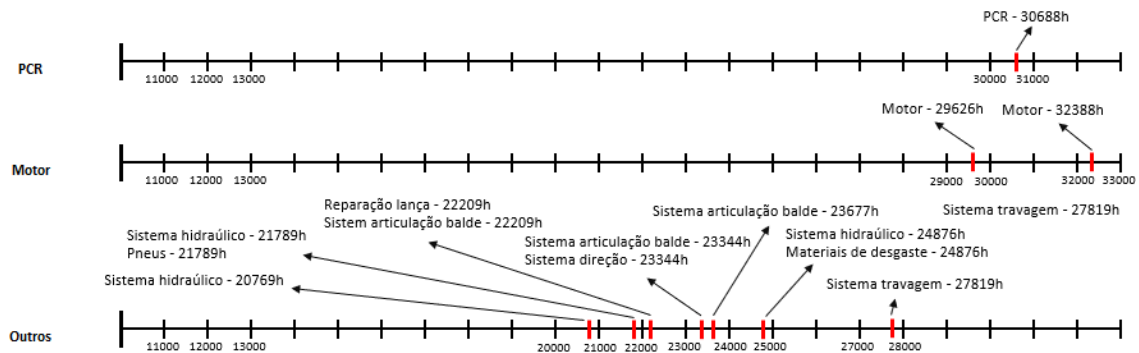


Figura 122 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

▪ Recondicionamento de *Motor Graders*

O MEAFR 4063 passou por um recondicionamento no seu quinto ano de serviço onde contava com 19519h. Cumprindo-se apesar de ligeiramente tardio o plano de recondicionamento. A intervenção teve uma duração de 60 dias com um custo total de 17,2% comparativamente ao custo de aquisição de um equipamento novo. Para avaliar-se o impacto do recondicionamento na atividade do equipamento foram calculados diversos KPI's, encontrando-se os resultados apresentados na Figura 123. Foi também construído o gráfico da Figura 124 com a disponibilidade da máquina ao longo do tempo.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Motor Graders	63,25	16,61	60,34	36,84	14,14%	74,62%	48,40%	59,5%	19.519	7.225
MEAFR4063	63,25	16,61	60,34	36,84	14,14%	74,62%	48,40%	59,5%	19.519	7.225

Figura 123 - KPI's do equipamento MEAFR 4063

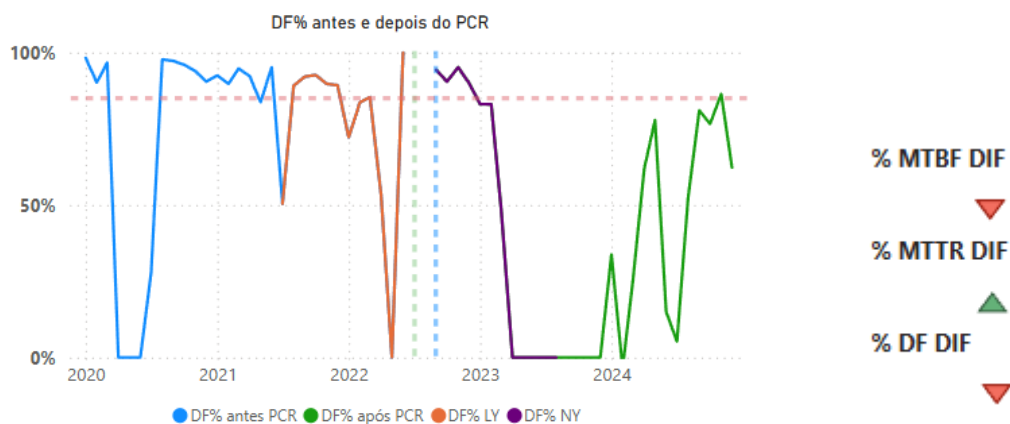


Figura 124 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 4063

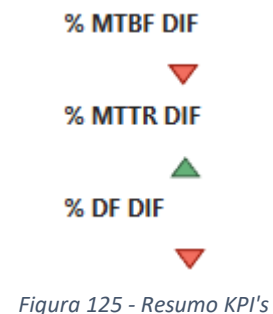


Figura 125 - Resumo KPI's

O elevado número de avarias não permitiu ao equipamento obter uma melhor performance no que diz respeito ao MTBF. Além disso, as longas paragens em 2020, 2021 e 2022

impossibilitaram que o nível de disponibilidade ultrapassasse o nível de excelência. Após o recondicionamento o número de avarias aumentou impedindo ao equipamento oferecer um melhor desempenho. Poucos foram os meses após a intervenção em que o equipamento conseguiu funcionar em pleno. As paragens também se refletiram no valor do MTTR apresentando este um valor bastante elevado, contudo melhor que o do ano anterior.

Através do diagrama de intervenções da Figura 126, constata-se que as avarias com maior impacto na disponibilidade ocorrem próximo do recondicionamento. As avarias antecedentes levam-nos a perceber que o equipamento nessa fase já apresenta algum desgaste e que os seus componentes começam a atingir o final da sua vida útil pelo que a necessidade de uma intervenção profunda era essencial. Já as avarias no período posterior ao PCR não eram esperadas uma vez que os componentes reparados deviam ter sido restaurados no recondicionamento, não permitindo que este trouxesse o resultado desejado.

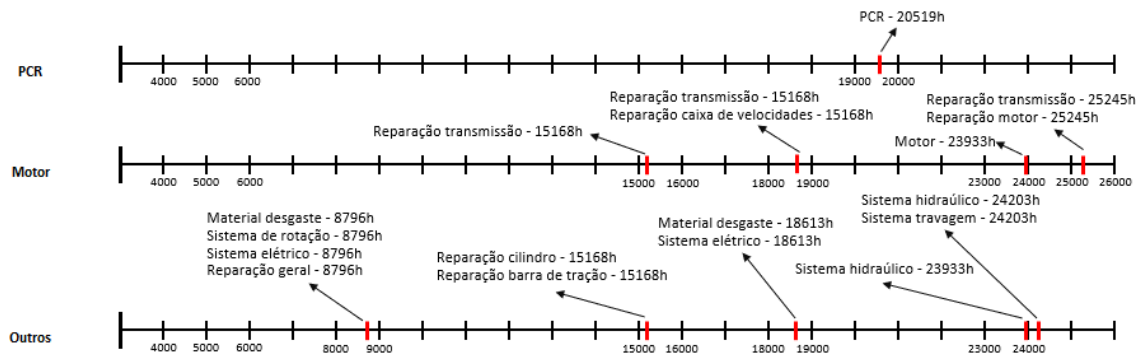


Figura 126 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

A mesma análise foi conduzida para o MEAFR 4082 que chegou a Moatize com 13368h proveniente de outra operação. No entanto, tal era o seu estado de desgaste que necessitou de grandes reparações até voltar a operar. Como se verifica pela Figura 128, o MEAFR 4082 volta a operar no final de 2021, contudo as avarias eram constantes, como se vê pelo baixo índice de disponibilidade demonstrado. Decidiu-se então avançar para o recondicionamento do mesmo, de modo a tentar reverter a situação. Na Figura 127 encontram-se os valores dos KPI's calculados.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Motor Graders	23,86	14,51	71,24	53,72	38,35%	56,22%	36,65%	27,3%	17.681	3.129
MEAFR4082	23,86	14,51	71,24	53,72	38,35%	56,22%	36,65%	27,3%	17.681	3.129

Figura 127 - KPI's do equipamento MEAFR 4082

Caracterização e análise do problema

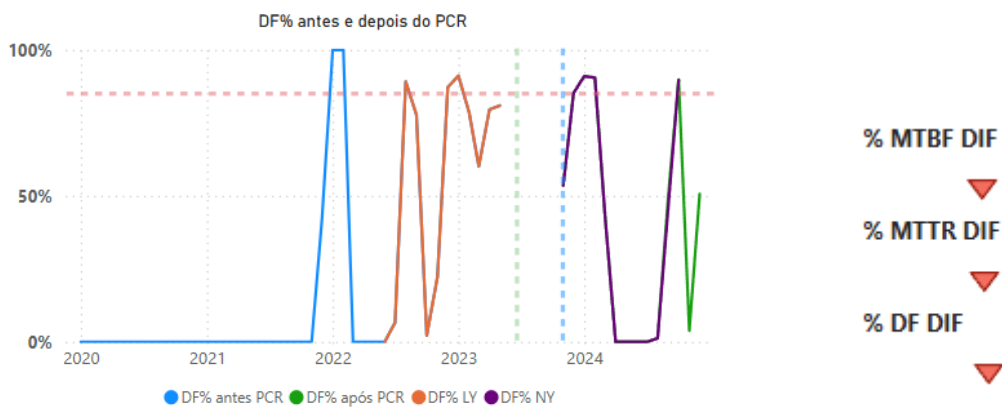


Figura 128 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 4082

Figura 129 - Resumo KPI's

Ao longo do período de operação o equipamento apresenta um valor de MTBF elevado, próximo do nível de excelência, no entanto a sua disponibilidade é bastante baixa, influenciada em grande parte pelo longo período de paragem. De volta à operação no final de 2021, o equipamento consegue desempenhar dois meses com elevada disponibilidade, voltando após esse período a avariar. No ano antecedente ao PCR, o equipamento ainda consegue realizar algumas horas de operação, verificando-se um aumento do nível de DF%, mas as constantes avarias, demonstradas pelo baixo MTBF, levam a que às 17681h de operação o equipamento seja recondicionado. A intervenção teve uma duração de 134 dias, com um custo de 30% face à aquisição de um equipamento novo. Após o recondicionamento surgem novas avarias. Por esse motivo no período após o recondicionamento não se verifica um aumento dos KPI's como seria esperado.

Analisando as ordens com maior impacto na disponibilidade do equipamento, apresentadas na Figura 130, observa-se que existe uma grande concentração de avarias no período entre as 13000h e as 16000h de operação pelo que seria mais vantajoso após a avaliação da equipa de manutenção ter antecipado o recondicionamento evitando a grande quantidade de paragens. O recondicionamento por volta das 13000h tendo em conta o estado debilitado do equipamento poderia ter resultado numa melhoria substancial dos KPI's. O pouco detalhe nestas intervenções leva a que os problemas não sejam completamente mitigados.

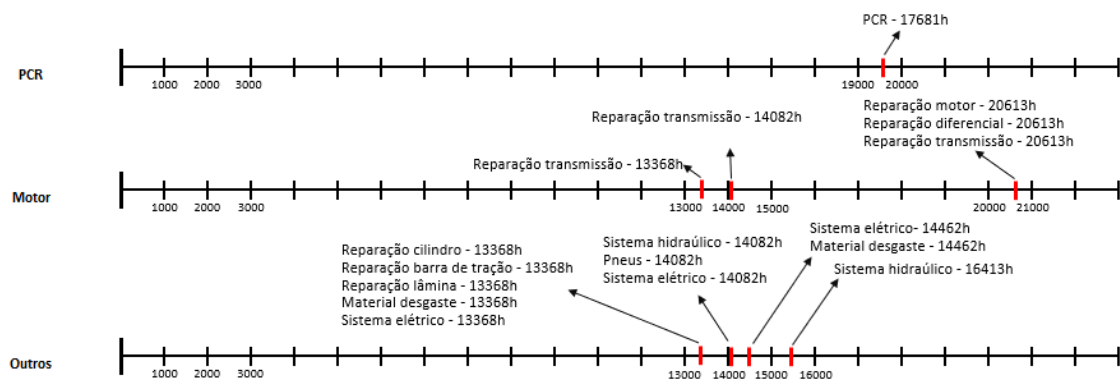


Figura 130 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

▪ **Recondicionamento de *Track-Type Dozers***

O MEAFR 3231 foi submetido a um recondicionamento pelas 29302h, muito além do planeado. A intervenção teve uma duração de 52 dias com um custo de 53,2% face à aquisição de um equipamento novo. Na Figura 131 apresenta-se o resultado dos KPI's calculados. Com o registo das horas de operação, elaborou-se o gráfico da Figura 132 com a disponibilidade do equipamento ao longo do tempo.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR	
Track-Type Dozer	199,00	83,11	130,14	29,53	17,45%	77,69%	72,31%	74,9%	29.302	8.199
MEAFR3231	199,00	83,11	130,14	29,53	17,45%	77,69%	72,31%	74,9%	29.302	8.199

Figura 131 - KPI's do equipamento MEAFR 3231

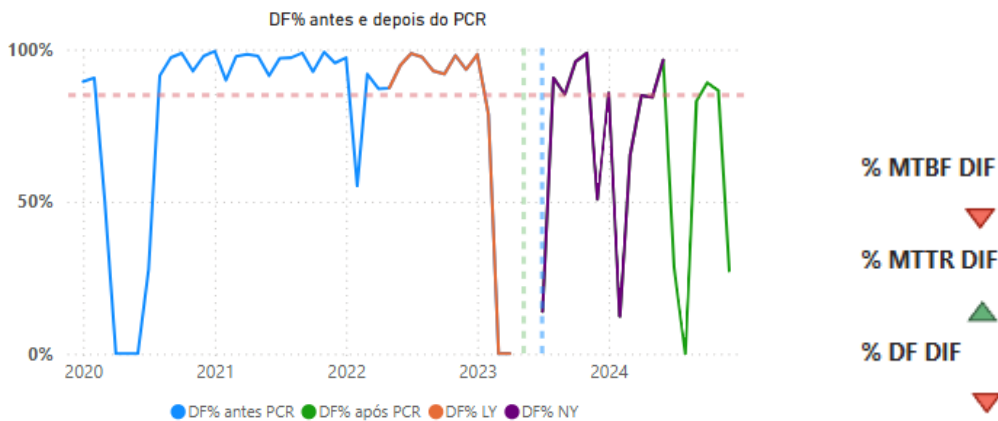


Figura 132 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 3231

Figura 133 - Resumo KPI's

Após longa paragem em 2020, verifica-se uma disponibilidade do equipamento bastante estável e acima do valor de referência. Existindo apenas no início de 2022 avaria mais significativa que reduz a disponibilidade até aos 55%. Após o recondicionamento a situação agrava-se observando-se um aumento do número de avarias que resultou num decréscimo do MTBF. Estas paragens geraram impacto na disponibilidade do equipamento, no entanto em pouco grau uma vez que o período de reparação é curto. No período de um ano após o recondicionamento ainda se destaca mais uma paragem que leva à imobilização total do *Track-Type Dozer* durante um mês. Para completar a análise realizou-se um estudo às avarias com maior impacto na disponibilidade. As mesmas encontram-se representadas na Figura 134. Observa-se que o equipamento apresenta diversas avarias no conjunto material rodante que o leva a parar três vezes. Após o recondicionamento verifica-se que foi necessário intervir no sistema de transmissão diversas vezes num período próximo do recondicionamento. Destaca-se também a recorrência de avarias no sistema de transmissão. Constata-se assim que ocorreram falhas durante o recondicionamento.

Caracterização e análise do problema

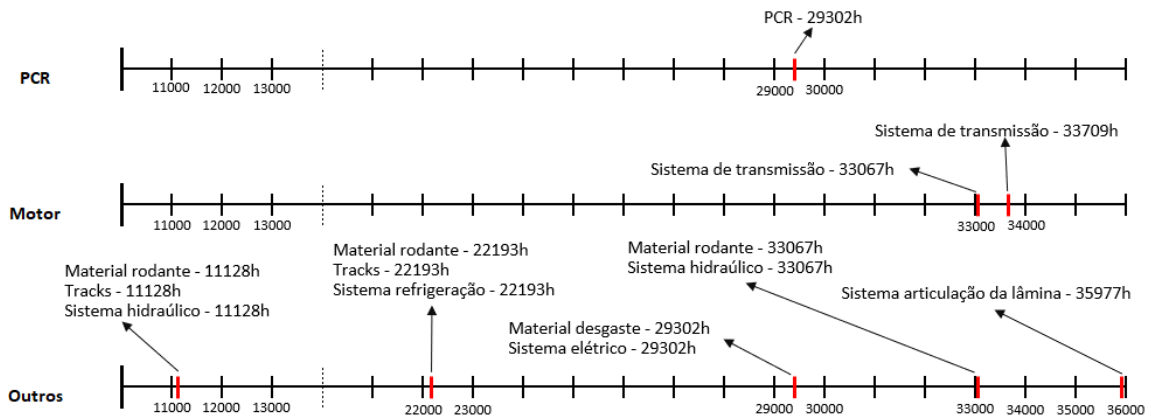


Figura 134 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

A mesma análise foi realizada ao MEAFR 3233, sendo recondicionado no seu sexto ano de operação em que contava com 26949h, verificando-se novamente um atraso face ao planeado. A intervenção teve uma duração de 61 dias com um custo de 55,3% face à aquisição de um equipamento novo. Para avaliar o efeito da aplicação do recondicionamento no equipamento foram calculados vários KPI's cujos valores se encontram na Figura 135. Para além disso foi construído um gráfico representativo da disponibilidade ao longo do tempo, que se apresenta na Figura 136.

Recurso Típico	MTBF LY	MTBF NY	MTBF	MTTR	SB	DF% LY	DF% NY	DF%	Tempo Op. até PCR	Tempo Op. após PCR
Track-Type Dozer MEAFR3233	89,52	58,67	111,67	21,76	15,89%	71,72%	86,34%	83,1%	26.949	11.109

Figura 135 - KPI's do equipamento MEAFR 3233

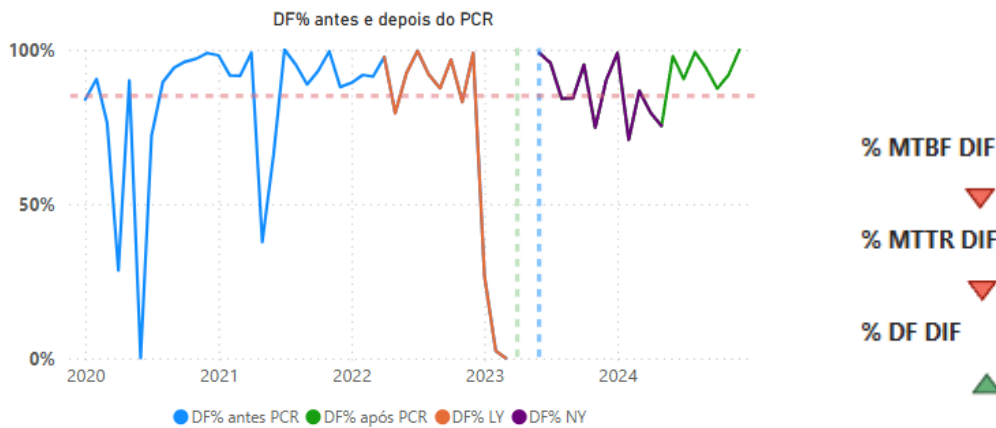


Figura 136 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 3233

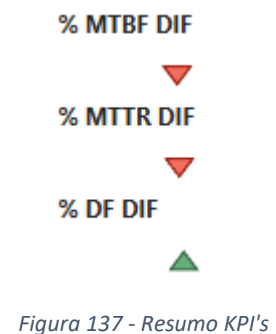


Figura 137 - Resumo KPI's

O equipamento apresenta um MTBF de 111,67h, ficando bastante acima do que era esperado, porém a disponibilidade apesar de elevada não ultrapassou o nível de excelência devido a duas longas avarias em 2020 e outra em 2021 que levou a uma redução da disponibilidade para 40%. No ano antecedente ao PCR, tanto o valor do MTBF como da disponibilidade desceram ligeiramente, principalmente devido à paragem antecipada da máquina antes do recondicionamento. Após a intervenção, consegue-se um aumento da disponibilidade, aproximando-se do objetivo para este indicador. Contrariamente ao que seria esperado, verifica-se uma diminuição do valor de MTBF, no entanto mantendo-se acima das 55h. Não se

conseguiu melhorias no indicador MTTR. Para completar a análise, elaborou-se o diagrama da Figura 138, em que se apresentam as avarias que resultaram numa maior indisponibilidade do equipamento. Observa-se que no ano de 2020, ocorre conjunto de reparações, levando a uma paragem prolongada do equipamento. Porém após este período, não se registaram avarias com grande impacto no desempenho, conseguindo a máquina manter a sua disponibilidade sem oscilações.

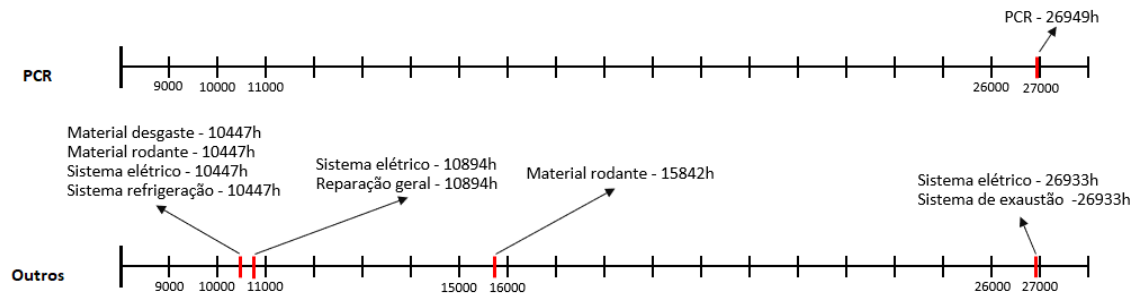


Figura 138 - Intervenções com maior impacto na disponibilidade

4.3.5. Comparação entre equipamentos reconicionados e reparados à condição

O parque de máquinas de Moatize é muito vasto, o que dificulta o reconicionamento de todos os equipamentos devido à necessidade de mão de obra especializada e ao elevado custo das intervenções, já que implicam um grande investimento num curto período. Alguns equipamentos também não são reconicionados pois encontram-se com um elevado desgaste e com muitas horas de operação. Assim torna-se mais viável vendê-los e adquirir outros novos. Aos restantes aplica-se a manutenção baseada na condição. Neste caso, é realizada uma manutenção preventiva com base na atual condição do equipamento em vez de ser baseada num calendário pré-determinado, ou seja, a troca ou reparação de componentes apenas é realizada quando algum indicador o sugere. Com esta análise pretende-se compreender qual a estratégia que permite ao equipamento fornecer um melhor desempenho com baixo custo. Apresenta-se, na Figura 139 a análise da *Hydraulic Mining Shovel* MEAFR 2061 que foi reparada à condição.

Recurso Típico	MTBF	MTTR	DF%	Tempo Op.
Hydraulic Mining Shovels	24,31	43,74	47,0%	57.777
MEAFR2061	24,31	43,74	47,0%	57.777

Figura 139 - KPI's do equipamento MEAFR 2061

Caracterização e análise do problema

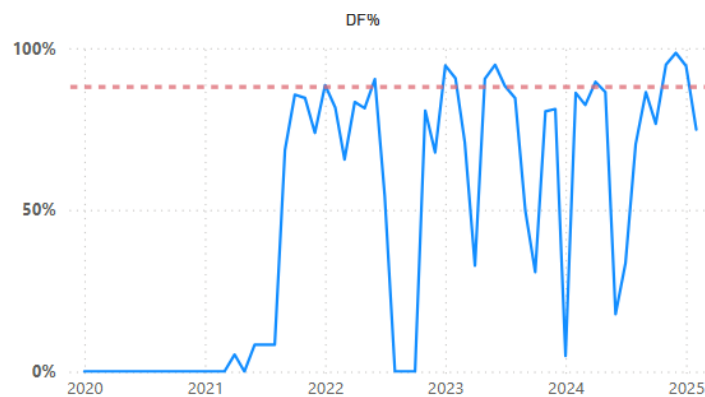


Figura 140 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 2061

O equipamento chegou a Moatize com 40076h de operação e elevado desgaste, ficando parada cerca de um ano e meio. Em julho de 2021, o mesmo é reparado voltando ao funcionamento. Pela análise do gráfico de disponibilidade da Figura 140, verifica-se que consegue obter um desempenho bastante próximo do nível de excelência. No entanto em 2022, uma avaria leva a nova paragem e volta a ser necessário uma nova reparação, que se encontra assinalada pela linha tracejada a amarelo. Opta-se então por uma reparação mais profunda ao equipamento, de forma a tentar estender o seu tempo de vida. Após a intervenção, consegue-se um aumento do indicador da disponibilidade, mas por curtos períodos de tempo, dada a grande quantidade de avarias que surgem. O aumento deve-se ao facto de entre 2020 e 2021 a máquina ter estado parada influenciando negativamente a disponibilidade funcional da mesma. Com esta estratégia apesar de repor o equipamento ao funcionamento, este não dá garantias de disponibilidade a longo prazo o que poderia ser alcançado com um recondicionamento.

Esta estratégia é aplicada também a outros equipamentos como por exemplo os *Off-Highway Trucks*. Abaixo apresenta-se a análise ao MEAFR 9409, com os seus KPI's na Figura 141 e gráfico de disponibilidade na Figura 142.

Recurso Típico	MTBF	MTTR	DF%	Tempo Op.
Off-Highway Trucks	91,89	23,32	84,9%	36.744
MEAFR9409	91,89	23,32	84,9%	36.744

Figura 141 - KPI's do equipamento MEAFR 9409

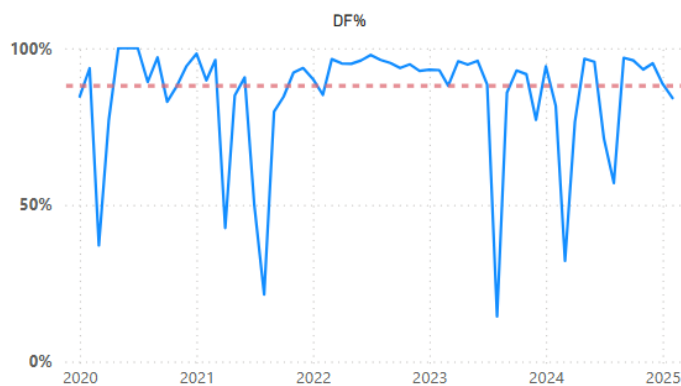


Figura 142 - Disponibilidade do equipamento MEAFR 9409

O equipamento chegou em estado novo à operação. O mesmo apresenta uma disponibilidade bastante elevada, próximo do nível de referência, observando-se poucas paragens ao longo da sua permanência na mina. Em 2020, verifica-se uma paragem do equipamento devido à pandemia Covid-19 e em 2021 duas avarias motivaram uma reparação mais exaustiva. Após a reparação, dá-se uma subida da disponibilidade, conseguindo-se ultrapassar o nível de excelência. Desde agosto de 2023 têm ocorrido algumas paragens que levam a indisponibilidades do equipamento, alertando para a necessidade de nova reparação geral do equipamento. Estes exemplos mostram que a manutenção à condição pode proporcionar bom desempenho, no entanto o acondicionamento pode garantir fiabilidade a longo prazo. No Apêndice C encontra-se uma tabela resumo das métricas utilizadas na análise antes e após o acondicionamento.

4.3.6. Problemas identificados

Concluída a análise dos acondicionamentos realizados na mina de Moatize, constatou-se que, na maioria dos casos, as intervenções efetuadas não foram suficientes para elevar os indicadores de desempenho aos níveis preconizados pelo fabricante ou aos valores esperados. No caso dos *Off-Highway Trucks* e das *Hydraulic Mining Shovels*, o acondicionamento permitiu um aumento da disponibilidade operacional, porém não se verificou uma redução significativa no número de avarias, o que comprometeu, conseqüentemente, a melhoria do indicador MTBF. Para os restantes equipamentos analisados, observou-se, inclusive, uma diminuição nos valores dos principais indicadores de desempenho após a intervenção.

Foram identificados vários casos em que, após a realização do acondicionamento, ocorreram falhas em componentes que, de acordo com o plano inicial, deveriam ter sido substituídos. Tal situação pode indicar falhas no processo de reparação e uma não substituição de componentes críticos. O incumprimento da lista de componentes a substituir compromete seriamente a possibilidade de atingir os níveis esperados de disponibilidade e de MTBF.

Verificou-se, ainda, a necessidade de se antecipar os planos de manutenção preventiva dos *Off-Highway Trucks*, sendo recomendável uma análise mais aprofundada, no contexto da mina, sobre a eventual necessidade de reduzir os ciclos de manutenção, de forma a responder adequadamente às exigências operacionais dos equipamentos. Em contraste, nos casos das *Wheel Loaders* e dos *Track-Type Dozers*, os dados sugerem a possibilidade de prolongar os ciclos de manutenção sem comprometer a disponibilidade, sendo importante estudar esta hipótese de forma sistemática.

Outro problema identificado refere-se ao planeamento dos acondicionamentos. Atualmente, considera-se um número uniforme de horas de operação para todos os equipamentos, desconsiderando-se as particularidades de cada modelo, o que leva a uma abordagem generalista para necessidades que, na realidade, são distintas. Esta discrepância é particularmente evidente em Moatize, onde coexistem diversos modelos de equipamentos dentro da mesma categoria. Por exemplo, em Siquiri, os motores dos CAT 777F tendem a falhar por volta das 17000 horas de operação, enquanto em Moatize, os motores dos CAT 793D demonstram capacidade para operar, com fiabilidade, durante mais horas.

Caracterização e análise do problema

O planeamento deveria também considerar a capacidade de mão de obra disponível no local, de forma a garantir a exequibilidade dos planos definidos. A não observância desta variável tem levado ao adiamento de manutenções e recondicionamentos, resultando num esforço acrescido de gestão da frota.

Por fim, identificaram-se diversos problemas mecânicos recorrentes, comuns a diferentes tipos de equipamentos, com destaque para as falhas no sistema hidráulico. Torna-se, assim, essencial realizar uma análise aprofundada das causas subjacentes a este tipo de avaria, investigando-se, por exemplo, os materiais utilizados, os métodos de montagem e os processos de controlo de qualidade, de forma a mitigar a sua ocorrência futura.

4.4. Planeamento de recondicionamentos na mina de Seguela

Para o sucesso da operação é fundamental garantir o contínuo e eficiente funcionamento dos equipamentos. As condições severas das atividades de mineração exigem um esforço acrescido das equipas de manutenção para garantir a operacionalidade do equipamento com impacto direto na disponibilidade. O planeamento das intervenções de recondicionamento torna-se crucial. Apesar dos recondicionamentos em Siguri e em Moatize não terem permitido a subida dos indicadores de desempenho para níveis superiores aos que eram pretendidos, é importante definir alguma estratégia que garanta a operacionalidade do equipamento. Vender o equipamento quando este chega ao fim de vida útil não é opção uma vez que a procura de mercado por este tipo de equipamentos é muito reduzida. Se for economicamente viável realizar a intervenção, resta então definir uma estratégia que permita a extensão do seu tempo de vida útil, ou recondicionar o equipamento ou repará-lo à condição. Neste capítulo será realizado o planeamento dos recondicionamentos da mina de Seguela, como uma prática de gestão de ativos que permite prolongar a vida útil dos equipamentos, reduzir custos operacionais e garantir a fiabilidade da operação. Será analisada de forma sistemática a definição das intervenções, quais os critérios de substituição de componentes e que dados devem ser tidos em conta na tomada de decisão. A empresa realiza a exploração da mina através de um contrato de extração de minério iniciado em 2022 com a duração de seis anos. O cliente exige uma elevada produtividade pelo que é imprescindível garantir a elevada disponibilidade dos equipamentos. Na Figura 143 apresenta-se uma tabela com as vantagens e desvantagens de cada uma das estratégias.

Recondicionamento	Reparação à condição
Prós	Prós
<ul style="list-style-type: none"> - Evita custos com paragens não planeadas; - Permite a reutilização de componentes de acordo com as especificações do fornecedor; - O tempo de vida útil do motor pode ser estendido sem risco de ocorrência de grandes avarias; - Possibilita o planeamento logístico e financeiro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor custo imediato; - Maximiza a utilização dos componentes; - Tempo de paragem mais curto.
Contras	Contras
<ul style="list-style-type: none"> - Custo imediato elevado; - Necessidade de paragem prolongada do equipamento; - Necessita de mão de obra especializada; - Possível substituição de componentes com vida útil remanescente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado risco de falhas inesperadas; - Falhas inesperadas podem comprometer a - Custos imprevisíveis; - Pode causar falhas em cadeia; - Maior custos com stocks.

Figura 143 - Prós e contras da estratégia de recondicionamento e de reparação à condição

A estratégia de recondicionamento como troca preventiva de diversos componentes, reduz a probabilidade de ocorrência de avarias. Além disso, como os componentes são substituídos antes de atingirem o seu fim de vida útil, permite com que sejam reparados e possam ser reutilizados. Contrariamente, devido à extensividade destas intervenções, estas têm um custo elevado e necessitam de uma grande quantidade de mão de obra especializada. A estratégia de reparação à condição não necessita de um elevado investimento inicial e permite tirar o máximo proveito da utilização dos componentes. No entanto, para corrigir as avarias inesperadas necessita de uma maior quantidade de stock, além disso as avarias não planeadas podem levar a custos inesperados. Como se verifica pela Figura 144, com o decorrer das horas de operação o equipamento vai sofrendo desgaste, sendo necessárias várias intervenções de manutenção para manter o equipamento em funcionamento. Ao aproximar-se do fim de vida do componente (período de recondicionamento), os custos associados à manutenção corretiva começam a aumentar exponencialmente devido à fadiga acumulada dos componentes, já a manutenção preventiva mantém um comportamento linear uma vez que é realizada em períodos de tempo fixos. Com o recondicionamento, ao substituir-se os componentes críticos, consegue-se uma expansão da vida útil do equipamento, repetindo-se um novo ciclo de custos. Sem este tipo de intervenção aos equipamentos, verificar-se-ia um aumento de custos a tender para infinito, aumentando o número de reparações necessárias para manter o equipamento em funcionamento.

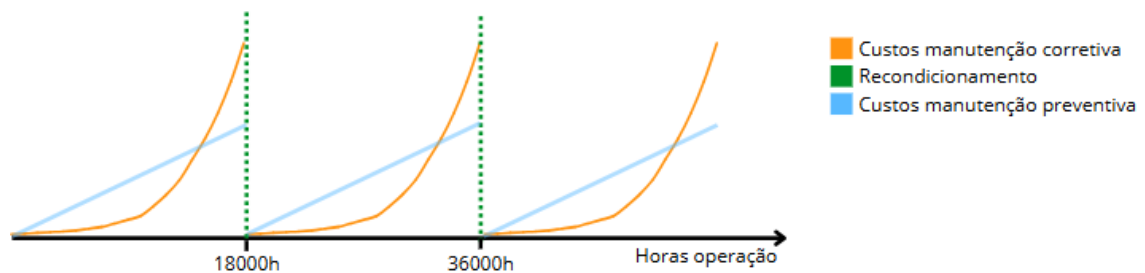


Figura 144 - Custos acumulados de manutenção

Caracterização e análise do problema

Uma vez que o cliente pretende uma grande produtividade e de maneira a atingir os objetivos propostos pelo mesmo, o recondicionamento vê-se como a única estratégia capaz de garantir a fiabilidade e disponibilidade necessárias a longo prazo. Para que o recondicionamento resulte na reposição do nível dos indicadores a valores bastante próximos de novo é essencial realizar-se um planeamento detalhado. Para além disso é crucial garantir o cumprimento do plano de recondicionamentos e de manutenção preventivas.

A criação de um plano de recondicionamentos exige uma abordagem estruturada, baseada em dados históricos e adaptada à realidade de cada operação. O processo de planeamento pode ser resumido em cinco fases, encontrando-se as mesmas descritas na Tabela 14.

Tabela 14 - Fases de elaboração do plano de recondicionamento

Fase	Descrição
1. Definição dos objetivos a atingir	<ul style="list-style-type: none">▪ Determinar os objetivos que se pretendem atingir com o recondicionamento;▪ Escolher os indicadores que serão utilizados para quantificar os objetivos.
2. Seleção dos equipamentos a recondicionar	<ul style="list-style-type: none">▪ Identificar os equipamentos com maior necessidade de intervenção;▪ Avaliar as horas atuais de operação e condições do equipamento.
3. Análise de dados	<ul style="list-style-type: none">▪ Análise de dados históricos para suporte ao planeamento;▪ Realizar inspeções aos grupos funcionais.
4. Elaboração da estratégia de PCR	<ul style="list-style-type: none">▪ Decidir a estratégia a implementar e quais os componentes a substituir (recondicionamento total, parcial).
5. Elaboração de orçamento e cronograma	<ul style="list-style-type: none">▪ Identificar e reunir com fornecedores:▪ Estimar custos de reparação;▪ Estimar tempos de paragem e de execução;▪ Determinar plano logístico.

Pretende-se com o recondicionamento elevar a disponibilidade e o MTBF dos equipamentos para níveis iguais ou superiores aquando destes eram novos, tomando sempre como referência os valores do nível de excelência mostrados na Tabela 10. Para além disso, espera-se um aumento significativo do tempo de vida útil do equipamento, com redução do número de avarias e do custo por hora de operação. Para quantificar os objetivos considera-se necessário utilizada as métricas DF% e MTBF, ainda deve-se considerar para avaliação do impacto do recondicionamento, o custo da intervenção e as horas de paragem por avaria após o PCR.

O parque de máquinas, apresentado na Figura 145 em Seguela é composto por um total de 137 equipamentos, no entanto grande parte deles são de apoio à operação, como por exemplo,

torres de iluminação, bombas de água, entre outros e por isso não têm tanta necessidade de intervenção. Os recondiçionamentos centrar-se-ão nos equipamentos do grupo de *Mining Equipment* e nos *Track-Type Dozer* e escavadoras de 95t do grupo *Production Equipment*. Estes equipamentos são o núcleo da operação e os mais solicitados, sendo necessário um acompanhamento profundo para que se cumpram os objetivos de produção.

Grupo	Quantidade
Equipamento de apoio à produção	1
Equipamento estrutural	26
Equipamento mineração	31
Equipamento produção	80
Total	137

Figura 145 - Parque de máquinas da mina de Seguela

A data de realização do PCR é determinada com base na média mensal de horas de operação através da qual se faz uma extrapolação para o futuro e calcula-se a data de início de intervenção. Pelo que ter-se-á um plano dinâmico que irá modificar-se ao longo do tempo. Dar-se-á prioridade à realização do recondiçionamento a equipamentos cujo número de horas de operação esteja próximo de atingir ou tenha ultrapassado as horas de operação previstas para a realização do recondiçionamento e que apresentem maior nível de desgaste. Este será avaliado pelas equipas de manutenção presentes no local. O plano de recondiçionamento poderá também sofrer alterações dependendo do resultado de análises de óleo realizadas e do consumo de óleo pelo motor. O plano também poderá ser reajustado para não haver conflitos de calendário e de sobrecarga de oficina. A alteração de datas leva a que a empresa tenha de estar bem articulada com os seus fornecedores para que os componentes chegam ao local em tempo útil para a realização da intervenção.

O plano de recondiçionamentos é construído à escala semanal, considerando um prazo para a realização do PCR de 21 dias e para as *Hydraulic Mining Shovels* por serem mais complexas considerou-se um prazo de 30 dias. Estes valores já se encontram afetados de sete dias extra de modo a prevenirem-se atrasos e imprevistos que possam ocorrer durante o procedimento. De maneira a decidir-se a estratégia que permite obter a maior disponibilidade pelo menor custo foi contactado o fornecedor do equipamento para que disponibilizasse alguma informação acerca dos períodos a realizar o recondiçionamento. Com isto conseguimos obter um maior conjunto de dados que auxiliam a tomada de decisões. O fornecedor considera diferentes períodos de tempo para a realização do recondiçionamento de diferentes componentes de um equipamento. Para além disso, para componentes com tempos de operação mais longo, aconselha à realização de um *midlife*. Para a elaboração do plano utilizar-se-á como guia o tempo estimado de vida útil para o motor do equipamento, uma vez que este é o componente principal do equipamento e o que requer mais atenção da equipa de manutenção. Na Tabela 15 apresentam-se os tempos de paragem para PCR que foram considerados como base de planeamento nas minas de Siguiiri e Moatize, os tempos aconselhados com o fornecedor e os tempos que com base nos resultados do estudo, que irão ser considerados para o planeamento da mina de Seguela.

Caracterização e análise do problema

Tabela 15 - Tempos de paragem para recondicionamento por mina

Classe de equipamento	Fornecedor do equipamento	Mina de Siguiri	Mina de Moatize	Mina de Seguela
<i>Hydraulic Mining Shovels</i>	18000h	20000h	18000h	18000h
<i>Crawler Excavators</i>	15000h	-	-	18000h
<i>Off-Highway Trucks</i>	18000h	20000h	18000h	17000h
<i>Motor Graders</i>	12000h	20000h	18000h	14000h
<i>Wheel Loaders</i>	15000h	20000h	18000h	15000h
<i>Track-Type Dozers</i>	14000h	20000h	18000h	14000h
<i>Hydraulic Drilling Rigs</i>	Sem plano	-	-	16000h

Como se verifica na Tabela 15, para a mina de Seguela foram definidos diferentes tempos de paragem de acordo com a classe de equipamento a recondicar. Em algumas máquinas decidiu-se estender o número de horas de operação para além do aconselhado pelo fornecedor, uma vez que após a análise dos resultados do estudo às minas de Siguiri e Moatize considera-se a abordagem deste, muito conservadora. Para as *Hydraulic Mining Shovels* foi decidido manter-se as 18000h utilizadas em Moatize, valor que também é aconselhado pelo fornecedor e uma vez que os resultados obtidos foram positivos. Para as *Crawler Excavators*, o fornecedor aconselha um PCR pelas 15000h de operação. No entanto, este valor do fornecedor é referente à classe das *Crawler Excavators* que abrange uma gama alargada de equipamentos. Os utilizados em Seguela são os de maior dimensão (CAT 374 e CAT 395) dessa mesma categoria, aproximando-se da dimensão de uma *Hydraulic Mining Shovels*, sendo também mais robustas. Por esse motivo, considerou-se para o planeamento o mesmo período de paragem que as *Hydraulic Mining Shovels*. Para os *Off-Highway Trucks*, a CAT aconselha o recondicionamento dos mesmos pelas 18000h, no entanto, estes por serem do modelo 777E, ou seja, menos robustos que os 793D e uma vez que em Siguiri se observaram muitas avarias de motor por volta das 17000h de operação, decidiu-se antecipar o recondicionamento para esse período. Os *Motor Graders*, segundo o fornecedor devem ser recondicados após 12000h de operação. Contudo após o estudo a ambas as minas, considera-se viável estender o prazo até às 14000h, uma vez que nos equipamentos estudados verificou-se um aumento de ocorrências de avarias a partir das 15000h de operação. Considerou-se para o plano a paragem dos *Wheel Loaders*, seguir-se as recomendações do fabricante. Para os *Track-Type Dozers*, o fornecedor aconselha a paragem pelas 14000h de operação. Em Siguiri, este equipamento apresentou diversas falhas, incluindo falhas de motor pelas 10000h de operação. A marca desenvolveu um modelo mais moderno e robusto e em Moatize já não se verificaram avarias dessa natureza nesse período de tempo. Nos casos estudados em Moatize observou-se menor indisponibilidade em 2020 devido à pandemia de Covid-19 e após esse período só se verifica avarias com grande impacto na disponibilidade no período entre as 15000 e 16000h de operação. Considera-se então viável estender o período de recondicionamento para as 15000h. Contudo em versões mais antigas deve-se considerar períodos mais reduzidos para a intervenção. No caso das *Hydraulic Drilling Rigs*, o fornecedor do equipamento não tem previsto o recondicionamento dos mesmos pelo que não tem um plano de intervenção. Nas minas estudadas, verificou-se que também não foram realizados recondicionamentos uma vez que

são demasiados dispendiosos, tornando-se mais caros do que a aquisição de um equipamento novo. Apesar de estar prevista a intervenção neste, tipo de equipamentos, será necessário fazer-se previamente uma análise de custo dado que o fator financeiro levou em operações passadas a optar por apenas manter este equipamento à condição. Com base, nos custos dos componentes utilizados no acondicionamento dos equipamentos das minas de Siguiiri e de Moatize realizou-se uma estimativa de custos dos PCR's de Seguela, apresentando-se os mesmos na Tabela 16.

Tabela 16 - Estimativa de custos de acondicionamento para a mina de Seguela

Classe	Unid.:	Custo aquisição:	Custo unitário estimado PCR:	Custo total PCR:	PCR/Aquisição	
Wheel Loaders	2	1 694 K \$	700 K \$	1 400 K \$	82,6%	
Off-Highway Trucks	13	14 440 K \$	662 K \$	8 603 K \$	59,6%	
Motor Graders	3	1 303 K \$	164 K \$	492 K \$	37,8%	
Shovels	Hydraulic Mining Shovels	2	3 609 K \$	1 187 K \$	2 374 K \$	65,8%
	Crawler Excavators	3	2 117 K \$	549 K \$	1 646 K \$	77,8%
Dozers	Track-Type Dozers	4	3 897 K \$	652 K \$	2 042 K \$	52,4%
	Wheel Dozers	1	977 K \$	397 K \$	397 K \$	40,6%
Total:		28	28 039 K \$	-	16 955 K \$	60,5%

Prevê-se o acondicionamento de 28 equipamentos, resultando num investimento total estimado de 16 955 K \$, ou seja cerca de 60,5% do valor de aquisição dos equipamentos. Em todos os casos, observa-se que o custo do acondicionamento é inferior ao valor de aquisição de um equipamento novo, pelo que é economicamente viável a realização da intervenção. Com base na capacidade de mão de obra da oficina é possível a realizar dois acondicionamentos em simultâneo, sem impactar as manutenções diárias da oficina. Isto levou a ter em conta mais um fator no planeamento do acondicionamento, de modo a não ocorrer a paragem de mais de dois equipamentos em simultâneo. De acordo, com o histórico de horas mensal e os tempos de paragem definidos foi contruída a tabela apresentada no Apêndice E, através da qual se determinou a data planeada para o início do acondicionamento. Com os dados obtidos foi possível construir-se um diagrama de *Gantt*, de maneira a verificar a não sobreposição excessiva de acondicionamentos, permitindo o ajuste das datas de início. Sempre que

Caracterização e análise do problema

necessário as datas foram antecipadas de maneira a nunca ultrapassar o número de horas definidas para a realização do PCR. Por fim, restou avaliar o prazo de amortização do investimento no PCR. O contrato atual de extração cessa a 01/02/2028, existindo a possibilidade de extensão. No entanto, a confirmação do mesmo apenas acontece próximo do término do contrato atual, o que torna mais difícil a decisão de avançar-se ou não com o acondicionamento do equipamento. Como se verifica no Apêndice E, a depreciação do investimento do acondicionamento de nenhum equipamento termina antes do encerramento do contrato atual. Numa perspectiva de manter os equipamentos com elevados níveis de disponibilidade, a realização do acondicionamento deve ser a opção a tomar, contudo é compreensível que não se avancem com certas intervenções por estas se iniciarem muito próximo do fim de contrato. Contrariamente, se forem realizados todos os acondicionamentos e houver boas previsões para a extensão do contrato, os PCR's podem ser uma mais valia dado que temos garantias de bom desempenho do equipamento num período futuro, para além disso o período de depreciação do investimento é aumentado.

5. Apresentação de soluções desenvolvidas e propostas de melhoria

Neste capítulo apresentam-se as propostas de melhoria e soluções desenvolvidas após a análise do programa de recondiçionamentos realizados na mina de Siguiri e na mina de Moatize com o objetivo de maximizar o impacto destas intervenções no desempenho dos equipamentos. Com base nos resultados da análise foram identificados os principais desafios enfrentados durante os processos de recondiçionamento, delineando-se estratégias e ferramentas de modo a otimizar a gestão da manutenção e dos PCR's, melhorar o desempenho dos equipamentos e estender o ciclo de vida dos ativos. As soluções procuram responder às necessidades verificadas para o contexto operacional das minas promovendo-se uma abordagem alinhada com as exigências do setor.

5.1. Soluções desenvolvidas

Uma das principais dificuldades encontradas na análise dos programas de recondiçionamento foi o tratamento de dados, verificando-se uma grande quantidade de erros no registo de horas, de ordens de reparação e nas folhas de inspeção. Estes erros influenciam toda a análise, uma vez que levam a um maior esforço de cálculo para que se consigam obter resultados fidedignos. Para além disso, estes erros podem causar desvios nos planos de manutenção uma vez que as ordens de manutenção preventiva são desencadeadas com base na informação fornecida pelos operadores da mina. No sentido de solucionar esse problema foi desenvolvida uma aplicação utilizando a ferramenta *Power Apps*. Esta permitiu a elaboração de uma aplicação protótipo para mais tarde ser melhorada pelo departamento informático. No entanto, a utilização da aplicação para efetuar-se o registo de horas e de reparações não eliminaria a utilização de folhas de papel para os registos que se fazem diariamente nas minas. Este recurso que muitas vezes se esgota e estando as minas localizadas em locais remotos é bastante difícil de encontrar. Então, adicionou-se à aplicação páginas onde o operador consegue registar o abastecimento de combustível e lubrificantes, registos de turno, registo e consulta de informação acerca do equipamento da mina e registo de inspeção que é realizada ao equipamento antes do início de cada turno. Toda esta informação é carregada para uma base de dados sendo acessível pelo departamento de equipamento a qualquer momento. Futuramente, com recurso à ferramenta

Apresentação de soluções desenvolvidas e propostas de melhoria

Power Automate pretende-se criar alertas em que quando for reportada uma avaria do tipo grave durante a inspeção de início de turno, o departamento de equipamento ser imediatamente notificado para que se possa agir mais rapidamente na resolução do problema. Nas Figura 146 e Figura 147 apresenta-se o ecrã inicial da aplicação e o menu com as várias opções de registo disponíveis. No Apêndice B é possível consultar-se detalhadamente cada uma das folhas de registo.

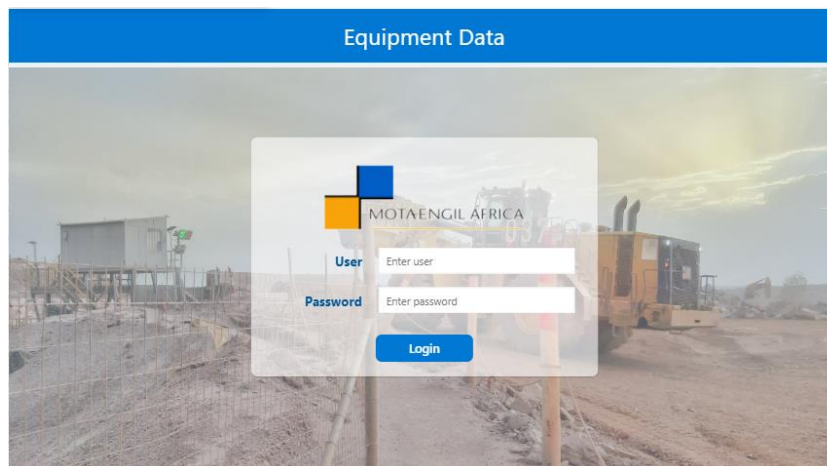


Figura 146 - Ecrã inicial

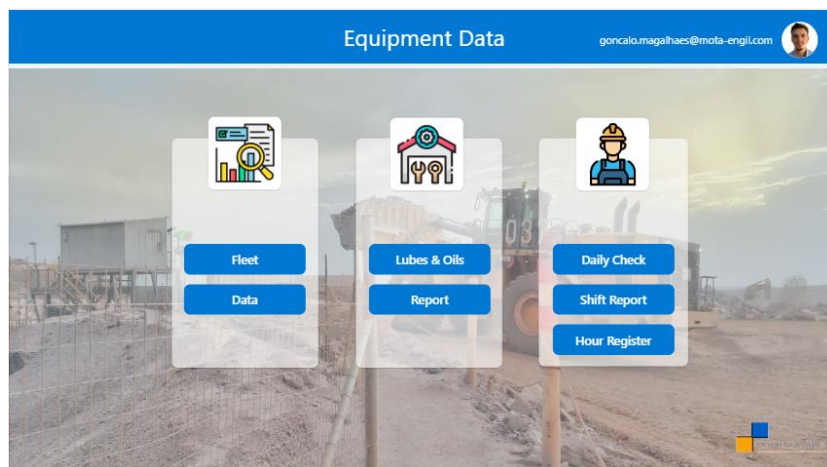


Figura 147 – Menu de seleção de registo

5.2. Propostas de melhoria

Com base na análise das operações das minas de Siquiri e de Moatize, avaliando os indicadores de desempenho e as dificuldades observadas, identificaram-se diversas oportunidades de melhoria que visam reforçar a eficácia das intervenções de recondicionamento. Com as propostas abaixo apresentadas pretendesse o aumento do desempenho dos equipamentos, a redução do número de avarias, com o menor impacto financeiro possível.

- Definir um plano de recondicionamento personalizado para cada tipo de equipamento

Verificou-se que à data do estudo é considerado para o planeamento as mesmas horas de operação para diversos tipos de equipamento. No entanto, cada um apresenta características

operacionais distintas e níveis de desgastes diferentes pelo que a necessidade de manutenção varia entre equipamentos. Os planos devem ser ajustados às particularidades de cada máquina e ao seu histórico de utilização.

- Adotar um planeamento dinâmico

Os equipamentos não realizam as mesmas horas de operação todos os meses. Com base nesses dados, é possível realizar uma previsão para o acondicionamento. Se o equipamento operar mais ou menos do que era esperado é possível ajustar o plano. Além disso, podem ser evitados os problemas que se verificaram, por exemplo, na mina de Moatize em que os intervalos de horas em que os equipamentos foram intervencionados é muito dispersa e em muitos casos ultrapassa largamente o valor planeado. O planeamento dinâmico permite adequar o plano de acordo com uma revisão constante das necessidades e prioridades dos equipamentos, tendo em conta a disponibilidade de peças e de mão de obra.

- Cumprir rigorosamente os planos de substituição de componentes

Os componentes a serem substituídos durante o acondicionamento dos equipamentos é previamente definido pelo fabricante que fornece uma lista detalhada de peças a substituir de modo que a intervenção seja bem sucedida. Para além disso, esta lista pode ser estendida se se verificarem necessidades de reparações noutros elementos não listados. Nos casos analisados, observa-se que grande parte das vezes não são substituídos todos os elementos que eram supostos, comprometendo a eficácia da intervenção e levando a paragens futuras do equipamento. É essencial garantir a substituição completa dos componentes definidos mesmo que o estado aparente seja aceitável.

- Análise sistemáticas das ordens de manutenção

A análise do histórico de ordens de manutenção e das causas de paragens por avarias, permite a adequação dos planos de acondicionamento às necessidades do equipamento. Como se verificou no estudo à mina de Moatize, foram identificadas falhas repetitivas no sistema hidráulico, particularmente na tubagem hidráulica. É fundamental o estudo da recorrência destes problemas, investigando-se a qualidade dos materiais, métodos de execução, procedimentos, etc. No caso apresentado seria aconselhado durante o acondicionamento a substituição de toda a tubagem hidráulica.

- Aquisição de simuladores para a formação de operadores

O procedimento operacional tem impacto direto no desgaste e desempenho do equipamento, sendo essencial garantir a formação contínua e qualificada dos operadores. Com a evolução tecnológica, existem ferramentas no mercado que permitem a formação dos operadores em contexto bastante próximo da realidade. Neste âmbito propõe-se a aquisição de simuladores para formação prática em ambiente controlado. Estes equipamentos permitem o treino em ambientes virtuais, expondo os operadores a diversos cenários perigosos, permitindo o desenvolvimento de reflexos e decisões adequadas em situações críticas. Operadores qualificados tendem a adotar boas práticas, reduzindo esforços no sistema máquina e evitando avarias associadas ao erro humano.

- Acompanhamento após acondicionamento

Apresentação de soluções desenvolvidas e propostas de melhoria

Após a realização dos recondicionamentos é essencial garantir o acompanhamento do equipamento após a intervenção, avaliando-se os principais indicadores de desempenho. Esta ação, permite aferir se os componentes substituídos são os adequados e se há necessidade de se ajustar os planos futuros com base em dados reais de desempenho.

As propostas apresentadas visam o reforço da estratégia de recondicionamento dos equipamentos, promovendo intervenções planeadas, completas e adaptadas à realidade de cada equipamento. A implementação das mesmas poderá traduzir-se em melhorias relevantes no desempenho, na longevidade dos equipamentos e na eficiência das intervenções.

6. Conclusões e propostas de trabalhos futuros

Neste capítulo apresentam-se as conclusões retiradas ao longo do estudo realizado, sintetizando-se os principais resultados alcançados e se estes estão alinhados com os objetivos inicialmente propostos.

6.1. Conclusões finais

A dissertação teve como principal objetivo o estudo dos programas de recondicionamento de equipamentos de mineração de grande dimensão, procurando analisar qual o impacto dos mesmos nos indicadores de despenho, os desafios associados à sua implementação e a exploração de oportunidades de melhoria de modo a maximizar os benefícios destas intervenções. As exigentes condições de operação de uma exploração mineira, a elevada competitividade na indústria e os elevados custos relacionados à manutenção de ativos, leva a que as empresas desenvolvam estratégias operacionais para que consigam prolongar a vida útil dos equipamentos e extrair o máximo de desempenho com segurança e elevada fiabilidade operacional. Numa primeira fase, a abordagem teórica, com base na revisão do estado da arte da manutenção e recondicionamento de equipamentos, permitiu a compreensão das estratégias aplicadas no setor da mineração e quais os impactos de cada uma nas operações. Na segunda parte, foi seguida uma abordagem prática em que se realizou o estudo dos programas de recondicionamento aplicados em duas operações de mineração distintas. A análise permitiu uma visão comparativa entre diferentes contextos operacionais e estratégias de manutenção distintas. Foram ainda avaliados, indicadores de desempenho antes e após as intervenções que permitiu quantificar o impacto do recondicionamento nos equipamentos. Durante o estudo foram identificadas lacunas no modo como os recondicionamentos eram realizados e no seu planeamento, destaca-se a inconsistência nos planos de substituição de componentes, a necessidade de um planeamento dinâmico e a criação de planos mais personalizados de acordo com as necessidades de cada equipamento. Estas levaram à criação de um conjunto de oportunidades de melhoria, propondo-se soluções práticas como a análise aprofundada das causas de avarias recorrentes, a aquisição de simuladores para formação de operadores e a implementação de ferramentas digitais.

Conclusões e propostas de trabalhos futuros

No início do estudo foram propostos um conjunto de objetivos que se pretendia atingir com a análise realizada. Na Tabela 17 apresentam-se os objetivos propostos e o seu estado no final o estudo.

Tabela 17 - Estado dos objetivos inicialmente propostos

Objetivos	Estado
Analisar as implicações da manutenção e recondicionamento no ciclo de vida de um ativo.	✓ Concluído
Avaliar as consequências económicas e operacionais das operações de manutenção e recondicionamento.	✓ Concluído
Comparar o desempenho do equipamento no primeiro ano de operação e no primeiro ano após a execução do recondicionamento.	✓ Concluído
Identificar os principais fatores que influenciam a decisão entre recondicionar ou não um equipamento.	✓ Concluído
Analisar o impacto da manutenção e do recondicionamento na disponibilidade dos equipamentos.	✓ Concluído
Verificar a adequação dos planos de manutenção preventiva e os planos de recondicionamento.	✓ Concluído
Comparação dos indicadores de desempenho entre equipamentos que sofreram recondicionamento e equipamentos em que foi aplicado CBM.	✓ Concluído
Desenvolver soluções que contribuam para a melhoria do acompanhamento, registo e eficiência das intervenções de recondicionamento e das manutenções.	⚠ Parcialmente concluído

A grande maioria dos objetivos foram concluídos com sucesso, restando concluir o desenvolvimento e implementação de uma ferramenta digital que permita o registo de *check-ups* e manutenções de modo a facilitar a análise de dados. Esta ferramenta ainda se encontra numa fase de protótipo pelo que requer uma maior atenção para que cumpra as necessidades das pessoas presentes na operação e para que seja algo que facilmente possam utilizar no dia a dia.

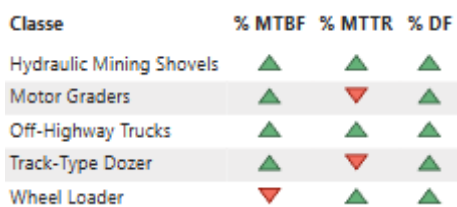


Figura 148 - Resumo da evolução dos KPI's após o recondicionamento por classe de equipamento em Siguiri

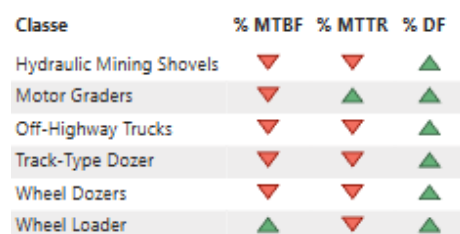


Figura 149 - Resumo da evolução dos KPI's após o recondicionamento por classe de equipamento em Moatize

Com o estudo observou-se que de facto consegue-se um aumento de disponibilidade dos equipamentos através do recondicionamento, como se verifica nas Figura 148 e Figura 149.

Quanto aos restantes indicadores existe uma maior variedade de resultados. Em Siguri, observa-se a melhoria do MTBF dos equipamentos e também do MTTR. Já em Moatize, o mesmo só se verifica para os *Wheel Loaders* no caso do MTBF e nos *Motor Graders* no caso do MTTR. Contudo, o objetivo principal de conseguir manter os equipamentos com uma elevada disponibilidade funcional foi cumprido. Uma vez que os contratos de mineração exigem uma operação em funcionamento contínuo durante todo o ano é importantíssimo garantir que este indicador possua um elevado valor. Por outro lado, verifica-se que de modo geral estas intervenções levam a uma diminuição do MTBF e do MTTR, reforçando a necessidade de melhorar o planeamento e execução destas intervenções para que obtenham melhores resultados. A estratégia da empresa para o cumprimento dos contratos de mineração e consolidação de parcerias futuras assenta na garantia de elevados níveis de disponibilidade assegurando simultaneamente a contenção de custos de modo a manter a sua competitividade no mercado. Neste enquadramento, observa-se que os recondicionamentos encontram-se alinhados com a estratégia da organização.

Os resultados obtidos demonstram que quando bem delineados os recondicionamentos podem trazer diversas vantagens para a operação. Para além de estender a vida útil dos equipamentos, possibilita que sejam realizados planeamentos a longo prazo uma vez a equipa tem total conhecimento do tempo de vida útil dos componentes críticos e apresenta total confiança no resultado das intervenções realizadas. Contudo, a eficácia dos recondicionamentos está dependente de uma gestão rigorosa quer da parte logística como das oficinas de reparação. O contínuo investimento nesta estratégia poderá trazer resultados operacionais significativos, bem como financeiros e ambientais, contribuindo para um modelo de exploração mineira mais competitivo e sustentável a longo prazo.

6.2. Proposta de trabalhos futuros

Uma vez concluídos a grande maioria dos objetivos propostos e apesar de terem sido identificadas e expostas propostas de melhoria, foram identificadas algumas oportunidades de melhoria que poderão auxiliar na análise do histórico de informação e no planeamento de futuros recondicionamentos. Para além disso, poder-se-á extrair um maior desempenho destes equipamentos com intervenções de recondicionamento mais aprimoradas. Na Tabela 18 apresentam-se sugestões para trabalhos futuros.

Conclusões e propostas de trabalhos futuros

Tabela 18 - Sugestões de trabalhos futuros

Propostas	Objetivos
Digitalização do registo de horas de operação e de avaria, <i>check-ups</i> e manutenções.	<ul style="list-style-type: none">▪ Melhoria da ferramenta desenvolvida em <i>Power Apps</i>;▪ Implementação da ferramenta nas operações.
Normalização de registos e dados	<ul style="list-style-type: none">▪ Facilitar a análise de dados normalizando os períodos de tempo de avarias e as designações associadas.
Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao planeamento	<ul style="list-style-type: none">▪ Recolha direta de horas mensais de operação e de avarias;▪ Planeamento de recondicionamentos de acordo com o histórico e os períodos de paragem definidos.
Integração de tecnologias de inteligência artificial para análise de padrões de avarias	<ul style="list-style-type: none">▪ Desenvolver modelo de <i>machine learning</i> para prever falhas com base no histórico de avarias e otimizar os períodos de recondicionamento.

Referências

- Amadi-Echendu, J. E. (2004). Managing Physical Assets is a Paradigm Shift from Maintenance Business Strategies, Sustainable Development, Sustainable Growth. *International Engineering Management Conference*. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2004.1408874>
- Andreeva, L., & Abramov, S. (2023). Methods of mining machine components reconditioning and hardening by means of concentrated energy fluxes. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Gornyi Zhurnal*, 1, 7–15. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2023-1-7-15>
- Ashjaei, M., & Bengtsson, M. (2017). Enhancing smart maintenance management using fog computing technology. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2017-December*, 1561–1565. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8290155>
- Aspinwall, E., & Elgharib, M. (2013). TPM implementation in large and medium size organisations. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(5), 688–710. <https://doi.org/10.1108/17410381311327972>
- Bloch, H. P., & Geitner, F. K. (2005). *Machinery Component Maintenance and Repair* (Burlington, Ed.; 3rd ed.). Gulf Professional Publishing. <https://web.p.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=3&sid=24159d65-5c21-4632-963b-8309a44a27d4%40redis&bdata=Jmxhbmc9cHQtcHQmc2l0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3BIPXNpdGU%3d#AN=117174&db=e00xww>
- Cabral, J. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção: dos conceitos à prática* (6º). Lidel.
- CLEPA, MERA, APRA, ANRAP, FIRM, & CPRA. (2016, September 13). *Remanufacturing Associations Agree on International Industry Definition*.
- de Jonge, B., & Scarf, P. A. (2020). A review on maintenance optimization. *European Journal of Operational Research*, 285(3), 805–824. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2019.09.047>
- Duan, X., Vasudevan, A., Turanoglu Bekar, E., Gandhi, K., & Skoogh, A. (2022). A Data Scientific Approach Towards Predictive Maintenance Application in Manufacturing Industry. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 21, 292–303. <https://doi.org/10.3233/ATDE220148>
- Farinha, J. T. (2011). *Manutenção - A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão* (1º). Monitor - Projeto e Edições, LDA.
- Ferreira, S., Silva, F. J. G., Casais, R. B., Pereira, M. T., & Ferreira, L. P. (2019). KPI development and obsolescence management in industrial maintenance. *Procedia Manufacturing*, 38, 1427–1435. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.145>
- Flowbiz. (2022, September 12). *Curva ABC: por que ela é importante para o seu e-commerce*. <https://blog.flowbiz.com.br/curva-abc-por-que-ela-e-importante-para-o-seu-e-commerce/>
- Fonseca, D. J., & Knapp, G. M. (2000). An expert system for reliability centered maintenance in the chemical industry. *Expert Systems with Applications*, 19(1), 45–57. [https://doi.org/10.1016/S0957-4174\(00\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0957-4174(00)00019-1)

Referências

- Fonseca, B. S. da, & Galhano, C. (2013). Importância da Indústria Mineira na Sociedade Envolvente. *III Congresso de Jovens Investigadores em Geociências & 6th PGUE*. <https://www.researchgate.net/publication/274078560>
- François Monchy. (1989). *A Função Manutenção. Formação para a gestão da manutenção industrial*. Durban.
- Fraser, K., Hvolby, H.-H., & Tseng, T.-L. (2015). Maintenance management models: a study of the published literature to identify empirical evidence A greater practical focus is needed. *INTERNATIONAL JOURNAL OF QUALITY & RELIABILITY MANAGEMENT*, 32(6), 635+. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2013-0185>
- Giglio, J. M., Friar, J. H., & Crittenden, W. F. (2018). Integrating lifecycle asset management in the public sector. *Business Horizons*, 61(4), 511–519. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.03.005>
- Gomes, B. T., Barbosa, L. C. M., Pereira, N., & Real, L. B. (2022). Reforma como estratégia de manutenção: um estudo de caso comparativo entre o desempenho de caminhões fora de estrada novos e reformados em uma empresa de mineração. *Research, Society and Development*, 11(8), e36011830854. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30854>
- Gonçalves, J. F. (2012). *Gestão de Aprovisionamentos* (Publindústria, Ed.; 2ª). Publindústria.
- Huq, N. (2016). *Cyber Threats to the Mining Industry*.
- Ivina, D., & Olsson, N. O. E. (2020). Lean construction principles and railway maintenance planning. *IGLC 28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, 565–576. <https://doi.org/10.24928/2020/0025>
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications* (2º). CRC Press.
- Kanazawa, T., Matsumoto, M., Yoshimoto, M., & Tahara, K. (2022). Environmental Impact of Remanufacturing Mining Machinery. *Sustainability (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/su14138118>
- Kardec, A., & Nascif, J. (2001a). *Manutenção: Função Estratégica* (2º). QUALITYMARK.
- Kardec, A., & Nascif, J. (2001b). *Manutenção: Função Estratégica* (2º). QUALITYMARK.
- Kumar, D., & Patnaikuni, I. (2012). Why Simplified Asset Management is Vital for Organizational Growth. *International Journal of Construction Engineering and Management*, 2012(3), 14–19. <https://doi.org/10.5923/j.ijcem.20120103.01>
- Kumar Sahu, S., Gangber, P., Kumar Mishra, S., Kumar Sahu, S., Student, P., & Professor, A. (2016). Total Productive Maintenance (TPM) Implementation-A Review. *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*, 4, 2321–0613. www.ijssrd.com
- Kumar, U. (2009). Special issue on reliability and maintenance of mining systems. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 3. <https://doi.org/10.1080/17480930902916528>
- Lee, J., Wu, F., Zhao, W., Ghaffari, M., Liao, L., & Siegel, D. (2014). Prognostics and health management design for rotary machinery systems—Reviews, methodology and applications. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 42(1–2), 314–334. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2013.06.004>
- Levitin, A. V., & Redman, T. C. (1993). A model of the data (life) cycles with application to quality. *Information and Software Technology*, 35(4), 217–223. [https://doi.org/10.1016/0950-5849\(93\)90069-F](https://doi.org/10.1016/0950-5849(93)90069-F)
- Li, M.-Z., & Zhang, H.-C. (2013). *Study on remanufacturing cleaning technology in mechanical equipment remanufacturing process*. <https://www.researchgate.net/publication/283271741>

Referências

- Liu, J. C., & Wu, Y. (2014). Application of abc analysis in inventory management. In Scientific (Ed.), *Advanced Materials Research* (Vols. 1030–1032, pp. 2515–2518). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1030-1032.2515>
- Martins, R. J. C. (2017). *Análise da Degradação Mecânica de Ativos Físicos*.
- Monchy, F. (1989). *A função manutenção* (DURBAN, Ed.).
- Nasr, N., Russell, J., Bringezu, S., Hellweg, S., Hilton, B., Kreiss, C., & von Gries, N. (2018). *Redefining Value: The manufacturing revolution* (1º). <https://www.resourcepanel.org/reports/re-defining-value-manufacturing-revolution>
- Nowakowski, T., Tubis, A., & Werbińska-Wojciechowska, S. (2019). Evolution of technical systems maintenance approaches – Review and a case study. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 835, 161–174. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97490-3_16
- NP 4483. (2008). *Sistemas de gestão da manutenção: requisitos* (p. 7). www.ipq.pt
- NP ISO 55000. (2016). *Gestão de ativos: Visão geral, princípios e terminologia*. www.ipq.pt
- Ouertani, M. Z., Parlikad, A. K., & Mcfarlane, D. (2008). Asset Information Management: Research Challenges. *Second International Conference on Research Challenges in Information Science*. <https://doi.org/10.1109/RCIS.2008.4632126>
- Pais, E., Farinha, J. T., Cardoso, A. J. M., & Raposo, H. (2020). Optimizing the life cycle of physical assets – A review. In *WSEAS Transactions on Systems and Control* (Vol. 15, pp. 417–430). World Scientific and Engineering Academy and Society. <https://doi.org/10.37394/23203.2020.15.42>
- Pais, J. E., Raposo, H., & Farinha, J. (2019). ISO 55001-Gestão de Activos. *15.º Congresso Nacional de Manutenção*. <https://www.researchgate.net/publication/339363909>
- Pedro, J., & De Sousa, R. (2011). *Organização do sistema de manutenção em empresa de lavandaria industrial*. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/21771>
- Prabowo, H. A., Suprpto, Y. B., & Farida, F. (2018). THE EVALUATION OF EIGHT PILLARS TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) IMPLEMENTATION AND THEIR IMPACT ON OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) AND WASTE. *SINERGI*, 22(1), 13. <https://doi.org/10.22441/SINERGI.2018.1.003>
- Ramos, P. G. D. (2012). *Organização e Gestão da Manutenção Industrial*. UBI.
- Rizman, M., Ghazali, M., Shah, H., Othman, A., & Abdullah, Y. (2017). Value Management: Implementation of Asset Life Cycle in one of Oil and Gas Service Company. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 4(10), 2456–1908. <https://doi.org/10.22161/ijaers.4.10.12>
- Romanowski, C. J., & Nagi, R. (2001). *Analyzing Maintenance Data Using Data Mining Methods*. 235–254. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4911-3_10
- Selvik, J. T., & Aven, T. (2011). A framework for reliability and risk centered maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(2), 324–331. <https://doi.org/10.1016/J.RESS.2010.08.001>
- Setiawan, I., & Purba, H. H. (2020). A Systematic Literature Review of Key Performance Indicators (KPIs) Implementation. *JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING & MANAGEMENT RESEARCH*, 1. <https://doi.org/10.7777/jjemar.v1i3.79>
- Sharma, V., Garg, S. K., & Sharma, P. B. (2015). Remanufacturing process: The case of heavy equipment support services. *International Journal of Services and Operations Management*, 22(1), 40–59. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2015.070882>
- Shaveta. (2023). A review on machine learning. *International Journal of Science and Research Archive*, 2023(01), 281–285. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.9.1.0410>
- Shien, L., Gao, J., Koronios, A., & Chanana, V. (2007). Developing a data quality framework for asset management in engineering organisations. *International Journal of Information Quality*, 1(1), 100–126. <https://doi.org/10.1504/IJIQ.2007.013378>

Referências

- Sousa, J. P. R. (2011). *Organização do sistema de manutenção em empresa de lavandaria industrial* [UMinho]. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/21771>
- Suleiman, A., Saleh, U. A., & Onuigbo, F. I. (2017). Application of Information and Communication Technology in Engineering for Effective Maintenance Management. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4. www.choa.bc.ca/season%20Bi%20preventive/%preventive%.
- Terminologia da manutenção. (2007). *NP EN 13306*. IPQ.
- Tholana, T., & Neingo, P. N. (2016). Extending the application of PAS 55/ ISO 55 000 to mineral asset management. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n11a6>
- Valadares, J. (2022). *Desenvolvimento de processos de monitorização para a avaliação da performance de equipamentos CNC*. UMinho.
- Valente, R. F. D. (2018). *ORGANIZAÇÃO E GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DA EMPRESA FLAMINGO, S.A.* ISEP.
- Viana, A. C. R. (2022). *OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DO PROCESSO DA MANUTENÇÃO NUMA EMPRESA DE ENERGIA, SISTEMAS E MOBILIDADE*.
- Wing, J. M. (2019). The Data Life Cycle. *Harvard Data Science Review*, 1(1). <https://doi.org/10.1162/99608F92.E26845B4>
- Zahrah, S. F., Yusof, Y. A., Kumar, K., & Sorooshian, S. (2018). Maintenance in the era of industry 4.0. *Journal of Management and Science*, 8(2), 176–181. <https://doi.org/10.26524/jms.2018.16>
- Zampolli, M. (2018). *GESTÃO DE ATIVOS: GUIA PARA A APLICAÇÃO DA NORMA ABNT NBR ISO 55001* (R. Honda & G. Garcia Jr., Eds.; 2nd ed.). International Copper Association.

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

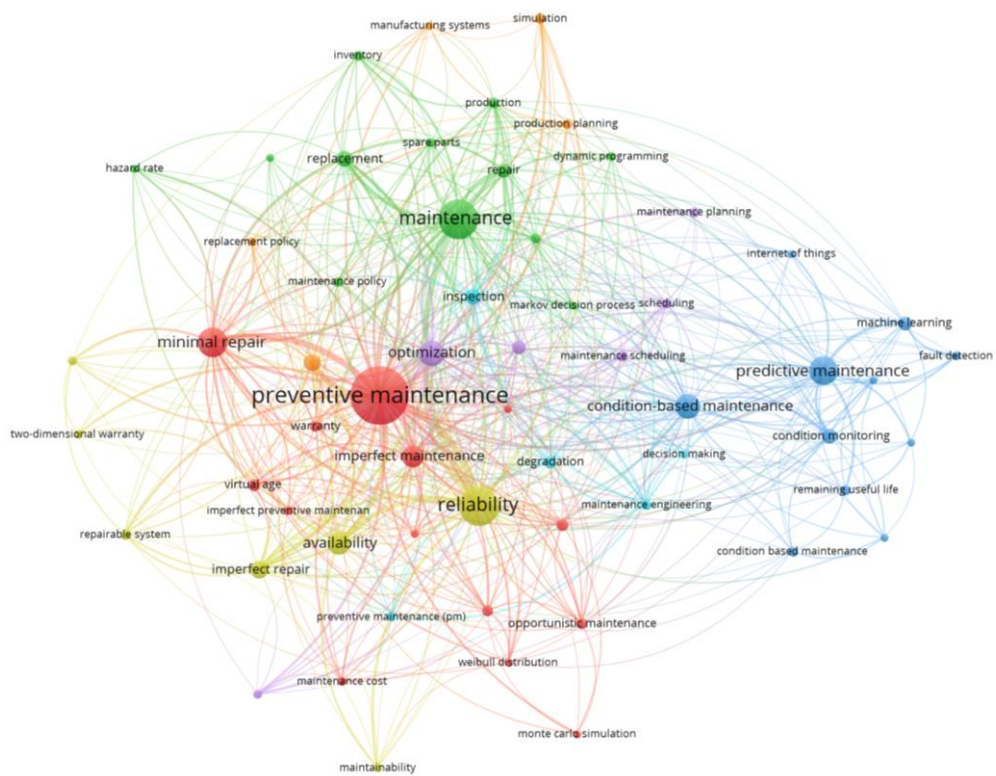
Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

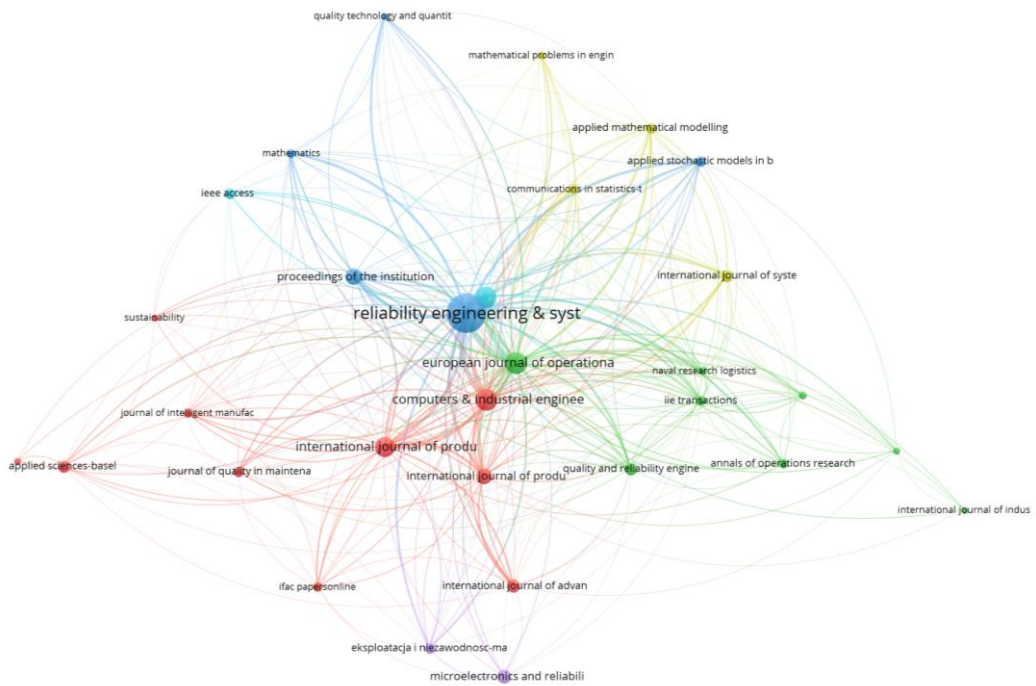
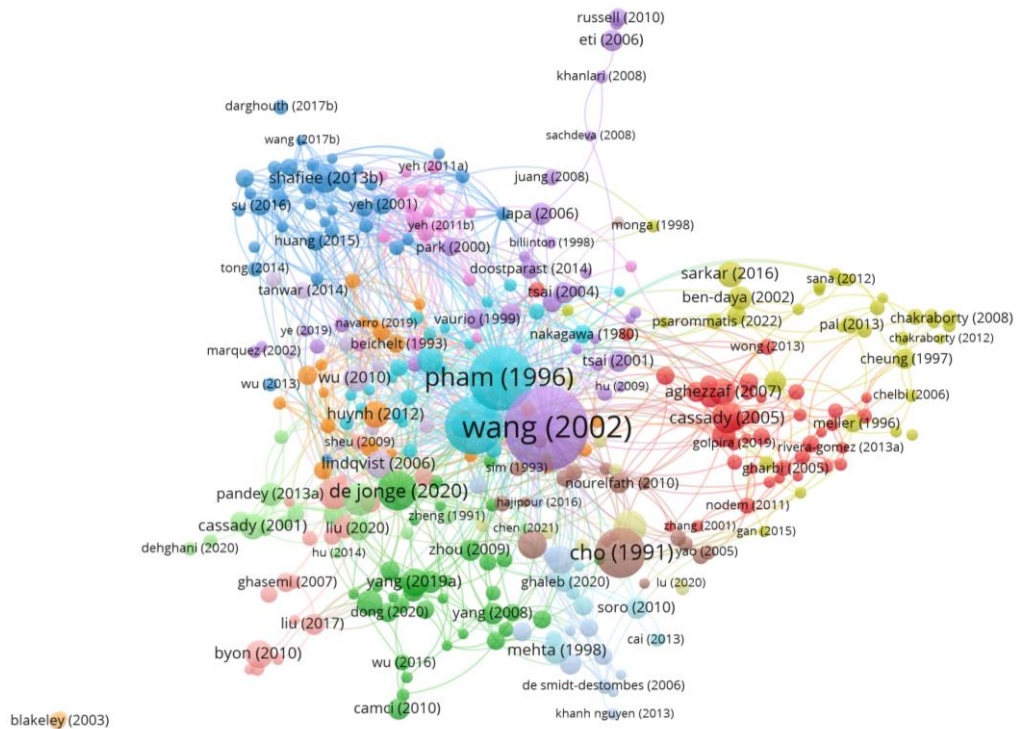
NOME: Gonçalo Correia Magalhães

ISEP, Porto, 10 de junho de 2025

Apêndice A



Apêndice A



Apêndice B

Fleet goncalo.magalhaes@mota-engil.com

Search by TAG

+ New Equipment

MEAFR 153 ATLAS COPCO HILIGHT V5+ 42900	Title GN11/5751	Manufacturer of Asset ATLAS COPCO	Model number HILIGHT V5+
MEAFR 154 ATLAS COPCO HILIGHT V5+ 42900	Description of technical objec ATLAS COPCO HILIGHT V5+	Quantity 0	Acquisition Value 8202,34
MEAFR 155 ATLAS COPCO HILIGHT V5+ 42900	Status Installed	Equipment category description Equipamentos Ligeiros (S/ETM)	ChassisNo. WUX909380
MEAFR 156 ATLAS COPCO HILIGHT V5+ 42900	Inventory number MEAFR 153	Anexos Não há nada anexado.	Image
MEAFR 157			

Daily Lubes Consumption goncalo.magalhaes@mota-engil.com

* Date: 31/12/2001

* Shift: insert shift

* Machine Number: Choose an equipment

* Hourmeter: Insert hourmeter register

* Service Station: Insert service

* Oil/Coolant: Select

* Grease: Select

* Reason:

* Signature:

Submit

Apêndice B

⏪
Report goncalo.magalhaes@mota-engil.com

* Date
* Inv Number

12/03/2025
Select

Lubricants

* Part * Model * Type Amount

Select a part
Insert model
Insert type
Insert amount

Filters

Filter Ref# Amount.

Select an option
Insert reference
Insert amount

Radiator

Check Level
Change of Coolant
External Washing
Anti-Freeze (Lts)

Batteries

Washers

Supplied Diesel

⏪
Report goncalo.magalhaes@mota-engil.com

Batteries
Washers
Supplied Diesel

Check Level
Attest Level
General Washing
Part Washed
Supplied Diesel

Information

Operation Initial Service Hour Duration

Select an operation
Insert hours
Insert duration

Description of Service

Insert description of the service

Submit

⏪
Daily Check goncalo.magalhaes@mota-engil.com

* Operator Name * Internal Number * Supervisor Name

Goncalo Magalhães
Insert number
Insert name

Shift Start * Shift TAG

31/12/2001 00 : 00
Insert shift
Select an equipment

Risk A

* Braking System Ok

* Parking Brake Ok

* Horn Ok

* Reverse Horn Ok

* Lights Ok

* Safety Key Ok

* Fire Extinguisher Ok

* Steering System Ok

* Engine Oil Level Ok

* Hydraulic Oil Level Ok

* Water Leakage Ok

* Safety Belt Ok

Submit

←
goncalo.magalhaes@mota-engil.com

Daily Check

<p>* Hydraulic Oil Level <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Fire Supression System Seal <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Mirrors <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Braking Oil Level <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Wipers Water <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Lock-out System <input type="checkbox"/> </p>	<p>* Water Leakage <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Warning System <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p style="text-align: center;">Risk B</p> <p>* Tyres <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Wiper Blade <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Triangles <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Doors <input type="checkbox"/> </p>	<p>* Safety Belt <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Water Level <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Wheel Studs and Rims <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* AC <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Hold <input type="checkbox"/> </p>
--	---	--

Submit

←
goncalo.magalhaes@mota-engil.com

Daily Check

<p>* Lock-out System <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Cabin Status and Seats <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Tracks (Dozer/Excavator) <input checked="" type="checkbox"/> </p> <p>* Blade and Ripper <input checked="" type="checkbox"/> </p>	<p>* Doors <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Flashing Lights <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Bucket and Teeth <input checked="" type="checkbox"/> </p> <p>* Ladders, Starways and Platforms <input checked="" type="checkbox"/> </p>	<p>* Hold <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p> <p>* Two Ways Radio <input checked="" type="checkbox"/> Ok</p>
--	--	---

Risk C

Comments

Submit

←
goncalo.magalhaes@mota-engil.com

Shift Report



<p>* Employee Name Goncalo Magalhães</p>	<p>* Internal N° Insert number</p>	<p>* Cost Center Insert cost center</p>
<p>* Start time 12/03/2025 07 : 00</p>	<p>* End Time 12/03/2025 19 : 00</p>	<p>* Shift Select an shift</p>





<p>* Equipment Number Select an equipment</p>	<p>* Operations Select operations</p>
---	---

* Service Description

Add Equipment
Save

Apêndice B

 **Hours Register** goncalo.magalhaes@mota-engil.com 

Equipment Number Select an equipment 	* Date 12/03/2025 	* Units Select an unit 
Type of register Operation 	* Value Insert hour <input type="text"/>	

Submit

Apêndice C

Classe	TAG	Idade	Horimetro antes PCR	Horimetro depois PCR	DF% Antes	DF% Depois	DF% Dif.	UF% Antes	UF% Depois	UF% Dif.	MTBF Antes	MTBF Depois	MTBF Dif.	MTRR Antes	MTRR Depois	MTRR Dif.
Hydraulic Mining Shovels	MEAFR2002	7	28962	10585	74,20%	81,40%	7,30%	93,40%	93,90%	0,50%	40,66	21,34	-19,32	8,12	12,80	-4,68
Hydraulic Mining Shovels	MEAFR2003	7	22867	14625	66,00%	89,40%	23,40%	90,00%	93,40%	3,40%	36,28	25,98	-10,31	12,15	5,90	6,26
Hydraulic Mining Shovels	MEAFR2059	10	40537	4274	49,50%	82,70%	33,20%	88,00%	88,60%	0,60%	27,92	18,91	-9,01	15,50	12,46	3,04
Motor Graders	MEAFR4063	7	19519	7225	69,60%	43,40%	-26,20%	85,40%	76,10%	-9,30%	75,67	19,96	-55,72	23,59	35,12	-11,53
Motor Graders	MEAFR4064	7	28847	294	56,80%	35,90%	-20,90%	85,80%	37,90%	-47,80%	46,27	2,77	-43,50	18,16	79,11	-60,96
Motor Graders	MEAFR4082	13	17681	3129	19,80%	41,10%	21,30%	67,80%	65,40%	-2,40%	31,10	13,97	-17,13	61,43	31,97	29,46
Off-Highway Trucks	MEAFR9401	12	28482	9550	65,90%	90,30%	24,30%	87,80%	85,20%	-2,70%	67,47	37,90	-29,57	18,26	11,69	6,57
Off-Highway Trucks	MEAFR9403	12	28816	10686	63,30%	89,20%	25,90%	101,30%	86,50%	-14,70%	90,30	49,70	-40,60	17,83	8,58	9,25
Off-Highway Trucks	MEAFR9417	7	27602	4328	70,90%	68,80%	-2,10%	85,50%	78,40%	-7,00%	60,92	27,74	-33,18	20,93	23,74	-2,81
Track-Type Dozer	MEAFR3231	7	29302	8199	75,20%	65,90%	-9,30%	87,90%	84,90%	-3,00%	153,30	40,79	-112,50	23,76	25,68	-1,92
Track-Type Dozer	MEAFR3233	7	26949	11109	75,60%	87,40%	11,90%	83,70%	83,00%	-0,70%	113,98	49,82	-64,16	23,62	15,59	8,03
Track-Type Dozer	MEAFR3236	7	31100	7256	71,90%	85,10%	13,20%	88,30%	83,80%	-4,50%	96,70	64,21	-32,49	15,25	21,35	-6,10
Wheel Loader	MEAFR3101	7	17308	7629	51,60%	84,00%	32,40%	84,50%	78,00%	-6,50%	50,66	27,64	-23,02	52,06	12,09	39,96
Wheel Loader	MEAFR3102	16	30688	3667	40,50%	71,70%	31,20%	69,00%	78,00%	9,00%	60,20	26,57	-33,63	100,28	21,07	79,22

Apêndice D



- Legenda:**
- Hydraulic Mining Shovels
 - Crawler Excavators
 - Off-Highway Trucks
 - Motor Graders
 - Wheel Loaders
 - Track-Type Dozers

Apêndice E

Classe	Brand	Model	Serial Number	Inventory Number	Sort Field	Custo aquisição	Entrada operação	Horimetro à entrada	Horimetro atual	Meses Operação	Horas realizadas	Horas mensais	Estimativa horas final contrato	Horas para final contrato	Horas PCR fabricante	Horas PCR ME	Vida (Anos)	Quantidade PCR	Horas até PCR	Dias até PCR	Data inicio PCR planeada	Data inicio PCR	Horimetro no inicio do PCR (estimado)	Depreciação custos (meses)	Fin depreciação
Motor Graders	CATERPILLAR	14	NN400195	C140/5134	MESEG 4001	434 260 €	jul/23	1588	11047	21	9459	444	26398	15351	12000	14000	3	1	2953	199	16/10/2025	16/10/2025	13993	36	30/09/2028
Track-Type Dozer	CATERPILLAR	D9 GC	AK400544	C132/5168	MESEG 3201	779 844 €	jul/23	1509	11255	21	9746	458	27071	15816	14000	15000	3	1	3745	246	01/12/2025	04/11/2025	14580	36	19/10/2028
Track-Type Dozer	CATERPILLAR	D9 GC	AK400649	C132/5183	MESEG 3203	779 844 €	jul/23	854	11040	21	10186	478	27570	16530	14000	15000	3	1	3960	248	04/12/2025	04/12/2025	14993	36	18/11/2028
Track-Type Dozer	CATERPILLAR	D9 GC	AK400542	C132/5169	MESEG 3202	779 844 €	jul/23	1537	11205	21	9668	454	26895	15690	14000	15000	3	1	3795	251	06/12/2025	06/12/2025	14987	36	20/11/2028
Motor Graders	CATERPILLAR	14	NN400217	C140/5139	MESEG 4002	434 260 €	jul/23	1260	9723	21	8463	397	23457	13734	12000	14000	3	1	4277	323	16/02/2026	16/02/2026	14000	36	31/01/2029
Hydraulic Mining Shovels	CATERPILLAR	6020 B	DNY00126	C120/5270	MESEG 2001	2 596 674 €	jul/23	1214	11866	21	10652	500	29153	17287	18000	18000	3	1	6134	368	02/04/2026	02/04/2026	18000	36	17/03/2029
Off-Highway Trucks	CATERPILLAR	777 E	KYD00354	C194/5335	MESEG 9404	962 732 €	jul/23	1227	10920	21	9693	455	26650	15730	18000	17000	3	1	6080	401	11/04/2026	05/05/2026	17000	36	19/04/2029
Off-Highway Trucks	CATERPILLAR	777 E	KYD00449	C194/5333	MESEG 9402	962 732 €	jul/23	1474	10993	21	9519	447	26441	15448	18000	17000	3	1	6007	403	02/05/2026	08/05/2026	17000	36	22/04/2029
Crawler Excavators	CATERPILLAR	395	SGD00338	C120/5268	MESEG 2002	830 205 €	jul/23	1535	11595	21	10060	472	27921	16326	15000	18000	3	1	6405	407	02/05/2026	11/05/2026	18000	36	25/04/2029
Off-Highway Trucks	CATERPILLAR	777 E	KYD00448	C194/5332	MESEG 9401	962 732 €	jul/23	1378	10850	21	9472	445	26222	15372	18000	17000	3	1	6150	415	19/05/2026	23/05/2026	17046	36	07/05/2029
Off-Highway Trucks	CATERPILLAR	777 E	KYD00357	C194/5342	MESEG 9408	962 732 €	jul/23	1035	10535	21	9500	446	25952	15417	18000	17000	3	1	6465	435	08/06/2026	08/06/2026	17000	36	23/05/2029
Off-Highway Trucks	CATERPILLAR	777 E	KYD00355	C194/5340	MESEG 9406	962 732 €	jul/23	1228	10459	21	9231	433	25440	14981	18000	17000	3	1	6541	453	26/06/2026	26/06/2026	17000	36	10/06/2029
Off-Highway Trucks	CATERPILLAR	777 E	KYD00356	C194/5341	MESEG 9407	962 732 €	jul/23	783	10108	21	9325	438	25241	15133	18000	17000	3	1	6892	472	16/07/2026	16/07/2026	17000	36	30/06/2029
Off-Highway Trucks	CATERPILLAR	777 E	KYD02505	C194/5334	MESEG 9403	962 732 €	jul/23	1390	10254	21	8864	416	24639	14385	18000	17000	3	1	6746	486	30/07/2026	30/07/2026	17000	36	14/07/2029
Off-Highway Trucks	CATERPILLAR	777 E	KYD00343	C194/5339	MESEG 9405	962 732 €	jul/23	1178	10044	21	8866	416	24432	14388	18000	17000	3	1	6956	501	14/08/2026	14/08/2026	17000	36	29/07/2029
Wheel Loader	CATERPILLAR	988	L8X00476	C131/5139	MESEG 3101	847 293 €	jul/23	819	8437	21	7618	358	20800	12363	15000	15000	3	1	6563	551	02/10/2026	21/09/2026	14863	36	05/09/2029
Wheel Loader	CATERPILLAR	988	L8X00477	C131/5140	MESEG 3102	847 293 €	jul/23	753	8345	21	7592	356	20666	12321	15000	15000	4	1	6655	560	12/10/2026	12/10/2026	15000	36	26/09/2029
Crawler Excavators	CATERPILLAR	395	SGD02123	C120/5347	MESEG 2005	595 613 €	jun/24	155	5265	10	5110	506	22754	17489	15000	18000	3	1	12735	755	25/04/2027	25/04/2027	18000	36	09/04/2030
Track-Type Dozer	KOMATSU	D275A-SR	46305	C132/5245	MESEG 3205	575 140 €	out/24	200	2908	6	2708	449	18423	15515	14000	15000	3	1	12092	808	17/06/2027	11/04/2027	14000	36	26/03/2030
Off-Highway Trucks	KOMATSU	HD785-7	N12173	C194/5483	MESEG 9410	855 241 €	ago/24	230	3980	8	3750	465	20049	16069	18000	17000	3	1	13020	840	19/07/2027	19/07/2027	17000	36	03/07/2030
Wheel Dozers	CATERPILLAR	834 K	L4Y00270	C133/5003	MESEG 3301	978 603 €	jul/23	762	6869	21	6107	287	16779	9910	15000	15000	4	1	8131	851	29/07/2027	29/07/2027	15000	36	13/07/2030
Off-Highway Trucks	KOMATSU	HD785-7	N12172	C194/5482	MESEG 9409	855 241 €	set/24	518	3740	7	3222	458	19575	15835	18000	17000	3	1	13260	868	16/08/2027	16/08/2027	17000	36	31/07/2030
Off-Highway Trucks	KOMATSU	HD785-7	N11853	C194/5494	MESEG 9414	855 241 €	out/24	180	3067	6	2887	479	19607	16540	18000	17000	3	1	13933	874	21/08/2027	21/08/2027	17000	36	05/08/2030
Off-Highway Trucks	KOMATSU	HD785-7	N12174	C194/5484	MESEG 9411	855 241 €	ago/24	7	3604	8	3597	446	19018	15414	18000	17000	3	1	13396	901	18/09/2027	15/09/2027	16952	36	30/08/2030
Motor Graders	KOMATSU	GD755-SR	10801	C140/5180	MESEG 4003	337 642 €	ago/24	239	3124	8	2885	358	15487	12363	12000	14000	3	1	10876	912	29/09/2027	29/09/2027	14000	36	13/09/2030
Off-Highway Trucks	KOMATSU	HD785-7	N12175	C194/5485	MESEG 9412	855 241 €	ago/24	11	3550	8	3539	439	18715	15165	18000	17000	3	1	13450	920	06/10/2027	06/10/2027	17000	36	20/09/2030
Crawler Excavators	CATERPILLAR	374	RGM10053	C120/5272	MESEG 2003	690 868 €	jul/23	1331	7958	21	6627	311	18713	10755	15000	18000	5	1	10042	968	24/11/2027	24/11/2027	18000	36	08/11/2030
Hydraulic Mining Shovels	KOMATSU	PC1250-11R	50439	C120/5362	MESEG 2007	1 011 822 €	out/24	90	2827	6	2737	454	18508	15681	18000	18000	3	1	15173	1003	29/12/2027	29/12/2027	18000	36	13/12/2030